

Point-of-Care-basierte Gerinnungstherapie mit viskoelastischen Testverfahren

Point-of-care-based coagulation therapy relying on viscoelastic test procedures

P. Pütz¹ · C. F. Weber² · M.-L. Lindner³ · M. Coburn¹ · F. Schmitt⁴ · F. Piekarski¹

► **Zitierweise:** Pütz P, Weber CF, Lindner M-L, Coburn M, Schmitt F, Piekarski F: Point-of-Care-basierte Gerinnungstherapie mit viskoelastischen Testverfahren. *Anästh Intensivmed* 2026;67:252–267.
DOI: 10.19224/ai2026.252

Zusammenfassung

Perioperative und traumabedingte Blutungen stellen nach wie vor eine der häufigsten Ursachen für Morbidität und Mortalität in der Akutmedizin dar. Eine rasche und präzise Gerinnungsdiagnostik ist entscheidend, um eine adäquate Hämotherapie einzuleiten und den Verbrauch von allogenen Blutprodukten zu minimieren.

Viskoelastische Testverfahren wie ClotPro®, Multiclot®, Quantra®, ROTEM Sigma®, und TEG 6s® stehen hierbei als wesentliche Instrumente im Point-of-Care(POC)-Setting zur Verfügung. Sie ermöglichen eine dynamische Beurteilung der Gerinnungseigenschaften in Echtzeit und liefern damit eine funktionelle Einschätzung der Hämostase, die über klassische Laborparameter hinausgeht.

In dieser Übersichtsarbeit werden die technologischen Grundlagen, die aktuellen Gerätegenerationen sowie die klinische Evidenzlage der viskoelastischen Testverfahren dargestellt. Darüber hinaus werden gerätespezifische Behandlungsalgorithmen und praxisrelevante Strategien in verschiedenen klinischen Kontexten (Herzchirurgie, Traumatologie, Geburtshilfe, Lebertransplantation und Intensivmedizin) diskutiert.

Abschließend werden Kosteneffizienz, Perspektiven zukünftiger Entwicklungen und die Integration künstlicher Intelligenz in die POC-Diagnostik beleuchtet.

Summary

Perioperative and trauma-related hemorrhages still constitute one of the most

frequent causes of morbidity and mortality in acute medicine. Quick and precise coagulation diagnostics are decisive for the induction of adequate hemotherapy and minimizing the application of allogenic blood products.

Viscoelastic test methods such as ClotPro®, Multiclot®, Quantra®, ROTEM Sigma®, and TEG 6s® are available essential instruments applicable in a point-of-care (POC) setting. They enable dynamic coagulation assessment in realtime and thus a functional evaluation of hemostasis which exceeds classical laboratory parameters.

In this review article we outline the technological foundations, the current generations of appliances as well as the clinical evidence pertaining to the viscoelastic test procedures applied. In addition, device-specific treatment algorithms and practically relevant strategies are discussed in various contexts of clinical work (cardiac surgery, traumatology, obstetrics, liver transplantation and intensive medical care).

Finally, we discuss the cost effectiveness, the perspectives of future developments, and the integration of artificial intelligence into POC diagnostics.

Hintergrund

Trotz fortschreitender diagnostischer und therapeutischer Möglichkeiten gehören perioperative und traumabedingte Blutungen weiterhin zu den bedeutendsten klinischen Herausforderungen in Anäs-

- 1 Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Bonn
(Direktor: Prof. Dr. M. Coburn)
- 2 Abteilung für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Schön Klinik Hamburg Eilbek
(Chefarzt: Prof. Dr. Dr. C. F. Weber)
- 3 Abteilung für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Notfallmedizin, Asklepios Kliniken Hamburg GmbH, Asklepios Klinik Wandsbek
(Chefarzt: Dr. K. Stegwerth)
- 4 Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Philipps-Universität Marburg
(Direktor: Prof. Dr. F. C. F. Schmitt)

Schlüsselwörter

Point-of-Care-Diagnostik – Gerinnung – Viskoelastische Testverfahren – Blutungsmanagement

Keywords

Point-of-Care Diagnostics – Coagulation – Viscoelastic Test Methods – Bleeding Management

thesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin und sind mit einer erhöhten Inzidenz von Morbidität und Mortalität assoziiert [1,2]. Schwere Blutungen werden häufig durch eine Koagulopathie kompliziert, die durch Blutverlust, Dilutionseffekte, Verbrauch oder Funktionseinschränkung von Gerinnungsfaktoren und Thrombozytopenien sowie -pathien bedingt sein kann [3–6]. So führen eine anhaltende massive Blutung und der konsekutiv notwendige Einsatz kristalloider bzw. kolloidaler Infusionslösung infolge einer Kombination von erheblichem Blutverlust, Verbrauch von Gerinnungsfaktoren sowie hämodilutionellen Effekten zu einer sekundären Koagulopathie [7,8]. Die Zahl der Patienten, die unter therapeutischer Antikoagulation dringende oder notfallmäßige Eingriffe benötigen, steigt stetig, wobei insbesondere ältere Personen mit Komorbiditäten oder antithrombotischer Medikation ein erhöhtes Risiko für Blutverluste und Hämostasestörungen tragen [9–11]. Dementsprechend nehmen sowohl die effektive Blutstillung als auch die gezielte Optimierung der Hämostase eine entscheidende Rolle bei der Therapie schwerer Blutungen ein.

Zur Beurteilung der Gerinnungssituation bei Blutungen werden im klinischen Alltag weiterhin regelhaft Standardgerinnungstests (SGT) wie Prothrombinzeit (PTZ/Quick, International Normalized Ratio (INR)) und aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT) eingesetzt. Diese Tests erfassen jedoch lediglich isolierte Abschnitte der plasmatischen Gerinnung unter künstlichen Laborbedingungen, ohne die zellulären Komponenten oder die Dynamik der Gerinnungsbildung abzubilden, und wurden ursprünglich zur Überwachung antithrombotischer Therapien entwickelt. Sie bilden zudem lediglich den Beginn der Gerinnung ab und erlauben keine Aussage über den weiteren Verlauf der Gerinnungsbildung und sind daher zur Ursachenanalyse akuter Blutungen nur bedingt geeignet; darüber hinaus liefern sie erst mit relevanter zeitlicher Verzögerung verwertbare Ergebnisse [12–14]. Viskoelastische Testverfahren (VET) im Point-of-Care(POC)-Setting wie das

ClotPro® (Vertrieb wurde eingestellt, Haemonetics, Braintree, MA, USA), Multiclot® (Vertrieb angekündigt für 2026, Apiro Diagnostics, Budapest, Ungarn), Quantra® (HemoSonics, Durham, NC, USA), ROTEM® Sigma (Werfen, Barcelona, Spanien) oder das TEG® 6s (Haemonetics, Braintree, MA, USA) bieten demgegenüber eine dynamische, ganzheitlichere Beurteilung der Hämostase unter patientennahen Bedingungen. Die bettseitige Durchführung erlaubt eine deutlich schnellere Diagnostik und damit eine zeitnahe, zielgerichtete hämostatische Therapie [15,16]. In verschiedenen klinischen Kontexten führte die Implementierung VET-basierter Therapiealgorithmen zu einer Reduktion des Transfusionsbedarfs und in einzelnen Studien zudem zu einer Verbesserung patientenrelevanter Outcome-Parameter, wie beispielsweise Krankenhausaufenthaltsdauer, Niereninsuffizienz und Mortalität [17–25]. Bei Erwachsenen, die sich einer elektiven Herzoperation unterzogen, konnten TEG®-/ROTEM®-gesteuerte Transfusionsalgorithmen das Blutungsvolumen sowie den Bedarf an Fresh Frozen Plasma (FFP) und Thrombozyten verringern. Es konnte kein statistisch signifikanter Einfluss auf die Mortalität nachgewiesen werden, die Aussagekraft ist bei einem ausschließlich kardiochirurgischen Patientenkollektiv limitiert [26]. Internationale Leitlinien empfehlen den Einsatz viskoelastischer Verfahren zur Diagnostik und Steuerung der hämostatischen Therapie [8,27–33]. Die 2024 publizierte Leitlinie der European Association of Cardio-Thoracic Surgery/European Association of Cardiothoracic Anesthesiology and Intensive Care (EACTS/EACTAIC) zum Patient Blood Management empfiehlt bei blutenden Patienten den Einsatz viskoelastischer Point-of-Care-Verfahren zur Steuerung der perioperativen Therapie [31]. In der S3-Polytrauma-Leitlinie (AWMF 187-023, 2022) wird der frühzeitige Einsatz viskoelastischer Testverfahren zur Gerinnungssteuerung im Schockraum empfohlen (Empfehlungsgrad A) [28]. Im Zeitraum zwischen 2018 und 2025 wurden neue VET-Systeme eingeführt,

die sich sowohl in ihren technischen Grundlagen als auch in ihrem diagnostischen Spektrum teils deutlich voneinander unterscheiden. Diese Variabilität erweitert das diagnostische Einsatzfeld viskoelastischer Verfahren, führt jedoch zugleich zu einer zunehmenden Heterogenität der verfügbaren Methoden [34–37].

Diese Übersichtsarbeit verfolgt einen fokussierten Ansatz und stellt exemplarisch die im klinischen Alltag häufig eingesetzten viskoelastischen Verfahren dar. Neben ROTEM® und ClotPro® stehen mit dem TEG® 6s und dem Quantra® weitere Point-of-Care-Systeme zur Verfügung. ROTEM®, ClotPro® und TEG® 6s basieren auf einer gezielten Aktivierung der Gerinnung mittels definierter Aktivatoren (z. B. Tissue Factor oder Kontaktaktivatoren) und erlauben eine funktionelle Beurteilung der Gerinnungsinitiation, Gerinnselfestigkeit und Fibrinolyse. Das Quantra®-System verfolgt hingegen einen global-funktionellen Ansatz, bei dem die Gerinnselfestigkeit und deren fibrinogene sowie thrombozytäre Anteile ohne getrennte intrinsische und extrinsische Aktivierungsassays bestimmt werden. Die unterschiedlichen technologischen Konzepte führen zu abweichenden Parameterdefinitionen und Referenzbereichen, ohne dass daraus grundsätzlich eine diagnostische Überlegenheit eines einzelnen Systems abgeleitet werden kann.

Technologische Grundlagen der viskoelastischen Testverfahren

VET messen die Ausbildung und den Abbau eines Gerinnsels im Gegensatz zu SGT im Vollblut. Sie erfassen innerhalb von Minuten dynamisch die Interaktion plasmatischer Faktoren, Thrombozyten und zellulärer Bestandteile [38,39]. Die Entstehung von Fibrinfäden verändert die viskoelastischen Eigenschaften der Probe, die daraus entstehende Bewegungseinschränkung wird kontinuierlich registriert und graphisch dargestellt; aus dieser Kurve lassen sich charakteristische Parameter zur Beurteilung von Gerinnungsinitiation, -kinetik, und -stärke

sowie der Fibrinolyse ableiten [40,41]. Sowohl die technischen Messprinzipien der verfügbaren VET-Systeme als auch die jeweiligen Reagenzien unterscheiden sich zwischen den Herstellern (Tab. 1). Während die grundsätzliche klinische Aussage vergleichbarer Testansätze oft übereinstimmt, ist ein direkter Vergleich von Ergebnissen verschiedener Geräte daher nur sehr eingeschränkt möglich [42]. Dies erfordert geräte- und herstellerspezifische Referenzbereiche sowie dedizierte Therapiealgorithmen [32].

Detektionsprinzipien einzelner VET-Systeme

Zu den älteren Generationen zählt das TEG® 5000, hierbei wird ein mit einem Torsionsdraht verbundener Pin in einen mit Citratblut gefüllten Cup getaucht. Der Cup rotiert kontinuierlich in einem Winkel von ca. 4,75° von rechts nach links. Die fortschreitende Ausbildung von Fibrinfasern dämpft diese Rotationsbewegung zunehmend und die daraus resultierende Restriktion

der mechanischen Bewegung wird als Zeit-Amplituden-Kurve aufgezeichnet [44] (Abb. 1). Ein vergleichbares Grundprinzip liegt auch dem ROTEM® delta, ebenfalls ein Gerät der älteren Generation, zugrunde, wobei hier ein zylindrischer Stempel in der Probe oszilliert und die Bewegungsrestriktion optisch erfasst wird [40,45]. Das ROTEM® sigma zählt zur neuesten Generation und basiert auf dem gleichen Messprinzip, verfügt aber über eine vollautomatisierte kartuschenbasierte Testdurchführung [46]. ClotPro® nutzt ebenfalls ein Cup-/Stempel-System, jedoch mit rotierendem Cup, unterscheidet sich allerdings durch ein eigenes Reagenzienportfolio sowie eine weitergehende Automatisierung [47,48]. Die Produktion und der Vertrieb des ClotPro®-Systems wurden inzwischen eingestellt [43]. Das TEG® 6s stellt eine Weiterentwicklung der klassischen Thrombelastographie dar und verwendet ein vollständig kartuschenbasiertes resonanzviskoelastisches Messprinzip. Die Blutprobe wird durch akustische Schwingungen in Bewegung versetzt; mit zunehmender Gerinnelsbildung steigt die viskoelastische Steifigkeit, wodurch sich die Resonanzfrequenz der Probe verändert. Aus diesen Steifigkeitsänderungen werden rechnerisch die bekannten TEG-Parameter (R-Zeit,

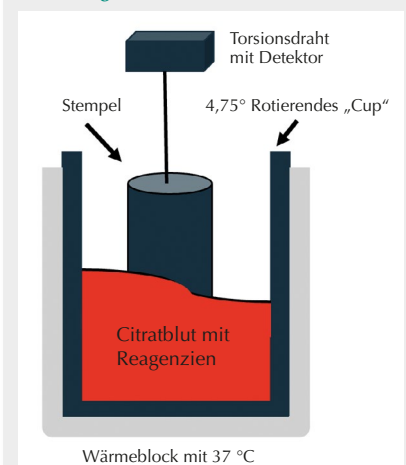
Tabelle 1

Assays und Aktivierungsmechanismen viskoelastischer Testverfahren (ROTEM®, ClotPro®).

Hämostaseologische Aussage	Aktivatoren/ Inhibitoren	Assay
Intrinsische Tests		
Darstellung der intrinsischen Gerinnungskaskade nach Kontaktaktivierung. Erlaubt funktionelle Beurteilung der Faktoren VIII, IX, XI, XII, in Analogie zur aPTT; heparinsensitiv.	Ellagsäure	INTEM (ROTEM®) IN-Test (ClotPro®)
Extrinsische Test		
Darstellung der extrinsischen Gerinnungskaskade. Entspricht funktionell der Prothrombinzeit mit besonderer Sensitivität für Faktor VII; gering heparinsensitiv.	Tissue factor	EXTEM (ROTEM®) EX-TEST (ClotPro®)
Fibrinpolymerisationstests		
Darstellung der fibrinbasierten Gerinnselfestigkeit, durch selektive Inhibition der Thrombozytenfunktion. Ermöglicht Differenzierung zwischen fibrinogen- und thrombozytenbedingter Reduktion der Clot-Amplitude in Globaltests.	Cytochalasin und Tirofiban	FIBTEM (ROTEM®) FIB-Test (ClotPro®)
Heparinase-Tests		
Nachweis oder Ausschluss von Heparineffekt. Liegt Heparin in der Probe vor, zeigt sich eine verkürzte CT im Heparinase-Test verglichen mit dem entsprechenden intrinsischen Assay.	Intrinsisch aktivierter Test mit Heparinase	HEPTM (ROTEM®) HEP-Test (ClotPro®)
Lyse-Test		
Nachweis einer klinisch relevanten Hyperfibrinolyse. Beurteilung der Gerinnselstabilität unter pharmakologischer Fibrinolysehemmung.	Extrinsisch aktivierter Test mit Tranexamsäure	APTEM (ROTEM®) AP-Test (ClotPro®)
Ermöglicht Hinweise auf eine reduzierte fibrinolytische Aktivierbarkeit („fibrinolytic shutdown“) im Rahmen von Inflammation oder Sepsis.	Tissue plasminogen activator	t-PA-Test (ClotPro®)
DOAC-spezifische Tests		
Ecarinvermittelte Konversion von Prothrombin zu Meizothrombin. Direkte Thrombininhibitoren hemmen Meizothrombin, was sich funktionell durch Verlängerung der CT zeigt.	Ecarinbasierter Test	ECA-Test (ClotPro®)
Direkte Aktivierung von FX durch RVV. Eine Hemmung des aktivierten Faktors X durch FXa-Inhibitoren führt zu prolongierter CT.	Russell's Viper Venom Test	RVV-Test (ClotPro®)

aPTT: aktivierte partielle Thromboplastinzeit; **CT:** Clotting Time; **FX:** Faktor X; **RVV:** Russell's Viper Venom.

Abbildung 1



„Cup-and-Pin“-Messprinzip viskoelastischer Testverfahren, modifiziert nach [43].

K-Zeit, α -Winkel, maximale Amplitude und Lyseparameter) abgeleitet. Die Global-Hemostasis-Kartusche enthält mehrere parallel arbeitende Messkammern, darunter einen kaolinaktivierten Test, einen heparinasehaltigen Test zum Nachweis eines Heparineffekts, einen fibrinogenfokussierten Test mit pharmakologischer Thrombozyteninhibition sowie einen Tissue-Factor-aktivierten RapidTEG(CRT)-Assay [49–51]. Das vollständig automatisierte Quanta®-System arbeitet resonanzsonometrisch nach dem SEER-Prinzip (sonic estimation of elasticity via resonance). Dabei wird die Blutprobe mittels Schallwellen in definierte Schwingung versetzt. Die mit zunehmender Gerinnelsbildung einhergehenden Veränderungen der Resonanzfrequenz werden sonographisch erfasst und zur Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften des Gerinnels genutzt [52,53]. Multiclot® entspricht sowohl methodisch als auch hinsichtlich des verfügbaren Reagenzienportfolios dem Clotpro®. Es wird voraussichtlich im 2. Quartal 2026 auf dem deutschen Markt eingeführt (www.apiro.eu).

VET-Parameter

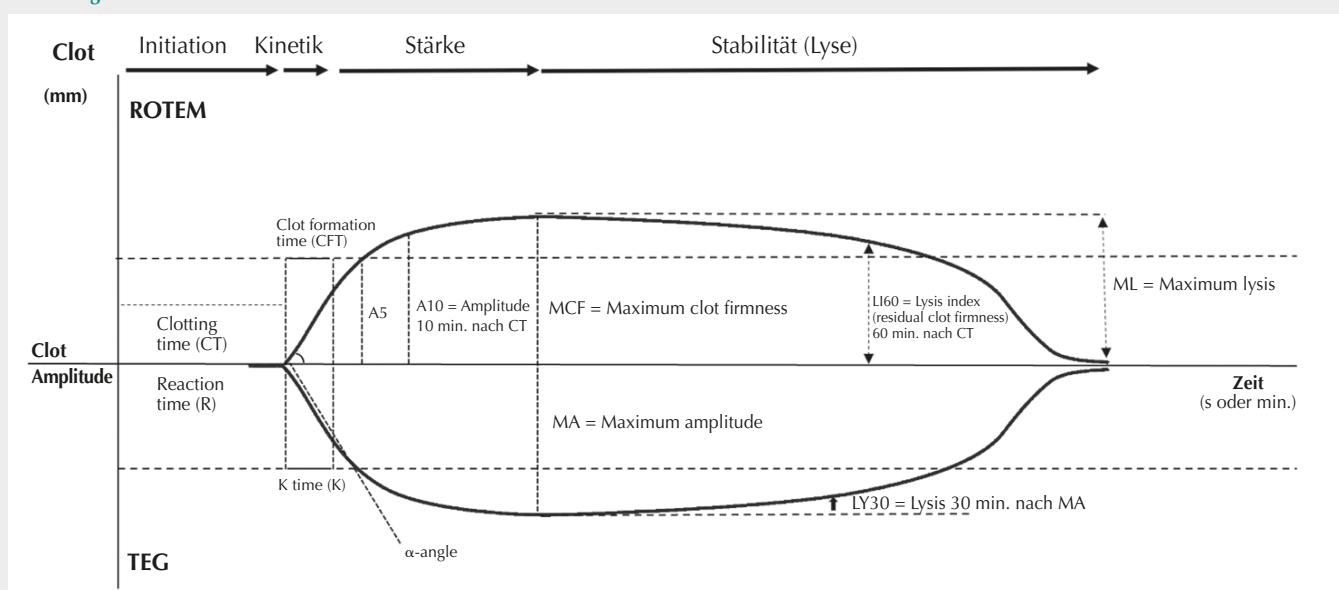
Die viskoelastische Testung erlaubt eine dynamische Beurteilung der Hämostase über den gesamten Verlauf der Gerinnelsbildung hinweg, von der initialen Gerinnungsaktivierung bis zur maximalen Gerinnselfestigkeit und deren Stabilität im zeitlichen Verlauf (Abb. 2). Parameter wie die Clotting-Time (CT, Clotpro®/ROTEM®) oder die R-Zeit (TEG® 6s) beschreiben die Dauer bis zum Start der Gerinnelsbildung und reflektieren damit als Surrogat der plasmatischen Gerinnung die faktorenabhängige extrinsische und intrinsische Thrombingenerierungszeit. Die Clot Formation Time (CFT) beschreibt das Zeitintervall in Sekunden vom Ende der Clotting-Time (2-mm-Amplitude) bis zum Erreichen einer Gerinnelsamplitude von 20 mm. Die Gerinnselfestigkeit kann frühzeitig anhand der Clot-Amplitude nach 5 oder 10 Minuten (A5/A10) abgeschätzt werden, während Parameter wie die maximale Gerinnselfestigkeit (MCF, MA oder Clot Stiffness) die maximale mechanische Stabilität des Clots widerspiegeln. Die Beurteilung der Gerinnelsstabilität und der fibrinolytischen

Aktivität werden anhand zeitabhängiger Veränderungen der Gerinnselfestigkeit erhoben. Die Lyse-Indizes beschreiben die prozentuale Abnahme der Clot-Festigkeit bezogen auf die maximale Gerinnselfestigkeit (MCF) zu definierten Zeitpunkten, typischerweise nach 30, 45 oder 60 Minuten. Aufgrund unterschiedlicher Messprinzipien, Reagenzien und Auswertungsalgorithmen sind die numerischen Ergebnisse zwischen verschiedenen VET-Systemen nicht vergleichbar; die Interpretation sollte daher stets gerätespezifisch erfolgen. Angesichts der herstellerabhängig heterogenen Nomenklatur der VET-Parameter ist eine zusammenfassende Übersicht in Tabelle 2 dargestellt.

Assays und Aktivierungsstrategien viskoelastischer Testverfahren

Viskoelastische Testverfahren verwenden spezifische Aktivatoren und Inhibitoren, um einzelne Abschnitte der Hämostase gezielt zu modulieren und so die Ursache einer Koagulopathie zu charakterisieren. Je nach Assay kommen extrinsische oder intrinsische Aktivie-

Abbildung 2



Schematische Darstellung einer Zeit-Amplituden-Kurve eines viskoelastischen Testverfahrens am Beispiel von TEG® und ROTEM®. Auf der x-Achse ist die Zeit in Minuten, auf der y-Achse die Gerinnelsamplitude in Millimetern dargestellt, modifiziert nach [54].

Tabelle 2

Übersicht viskoelastischer Parameter und ihrer Entsprechungen in verschiedenen VET-Systemen. Die dargestellten Parameter sind zwischen den Systemen konzeptionell vergleichbar, numerisch jedoch nicht direkt äquivalent. Interpretation und therapeutische Konsequenzen müssen unter Verwendung geräte- und herstellerspezifischer Referenzbereiche erfolgen. Weitere von den VET erfasste Parameter werden übersichtshalber nicht dargestellt.

Erfasster Gerinnungsschritt	Physiologische Bedeutung	Parameter (systemabhängig)	Einheit
Gerinnungsbeginn	Zeit bis zur initialen Fibrinbildung	„Clotting time“ (CT) ClotPro®/ROTEM® „Reaction time“ (R) TEG® „Clot time“ (CT) Quantra®	s
Gerinnselformungsgeschwindigkeit	Dynamik der Clot-Entwicklung nach Gerinnungsbeginn	„Clot formation time“ (CFT) ROTEM®/ClotPro® „Kinetic time“ (K) TEG® „Clot stiffness“ (CS), Quantra®	s/hPa
Frühe Gerinnselfestigkeit	Clot-Stabilität in der frühen Phase	Amplitude 5 bzw. 10 Min. nach Gerinnungsstart A5/10 ClotPro®/ROTEM®	mm
Maximale Gerinnselfestigkeit	Maximale mechanische Stabilität des Clots	„Maximum clot firmness“ (MCF) ClotPro®/ROTEM® „Maximum amplitude“ (MA) TEG®, „Clot stiffness“ (CS), Quantra®	mm/hPa
Gerinnselfestigkeit / Fibrinolyse	Abnahme der Clot-Festigkeit über die Zeit als maximale Stabilität des Clots verhältnismäßig zur Stabilität zum einem bestimmten Zeitpunkt	„Clot lysis index 60“ (CLI) 60 Min. nach CT bei ClotPro®/ROTEM® LY30 30 Min. nach MA bei TEG®	%
	Verhältnis der maximalen Stabilität des Clots bei Aktivierung durch Tissue Factor mit oder ohne Zusatz von Tranexamsäure	„Clot stability to lysis“ (CSL) Quantra®	
	Beurteilung der Fibrinolysekapazität und Quantifizierung eines fibrinolytic shutdown [55,56]	„Lysis Time“ (LT) ClotPro®	s

ungswege zum Einsatz, die sich konzeptionell an den etablierten Standardgerinnungstests orientieren. In Tabelle 1 sind die verfügbaren Assays und ihr koagulatorischer Hintergrund am Beispiel von ClotPro® und ROTEM® dargestellt. Trotz ähnlicher Grundprinzipien der Messung bestehen relevante Unterschiede in der technischen Umsetzung und in der Zusammensetzung der Reagenzien. Dies bedingt abweichende Referenzbereiche, sodass eine direkte Vergleichbarkeit der numerischen Ergebnisse nicht gegeben ist. Der klinische Einsatz erfordert daher die Anwendung geräte- und herstellerspezifischer Referenzbereiche sowie darauf abgestimmter

Therapiealgorithmen, die nicht auf andere VET-Systeme übertragen werden können [57–59].

Limitationen viskoelastischer Testverfahren

Trotz der Verwendung von Vollblut stellen VET Ex-vivo-Messungen dar und bilden die komplexe Physiologie der Hämostase nicht vollständig ab. Insbesondere bleiben der Einfluss von Blutfluss und Scherkräften, die Interaktion der Gerinnung mit dem vaskulären Endothel sowie regulatorische Systeme wie Antithrombin, Protein C und S unberücksichtigt [60,61]. Methodisch

bedingt erfolgt die Analyse standardisiert bei 37 °C, sodass der Einfluss einer klinisch relevanten Hypothermie auf die Hämostase nicht erfasst wird. Ebenso werden hypokalzämiebedingte Gerinnungsstörungen nicht zuverlässig detektiert, da die Proben in der Regel rekalkifiziert werden. Darüber hinaus kann ein niedriger Hämatokrit zu einer scheinbar beschleunigten und stabileren Gerinnselformung führen, was eine Überschätzung der Gerinnungsfunktion zur Folge haben kann [62].

Einzelfaktormangelzustände, insbesondere ein Mangel an Faktor XIII, sowie das Vorliegen eines Von-Willebrand-Syndroms werden durch die gängigen viskoelastischen Verfahren nur unzureichend erfasst [63–65]. Auch heparinasoziierte Gerinnungsstörungen stellen eine relevante Limitation dar: Unfraktioniertes Heparin kann grundsätzlich durch VET detektiert werden, wobei die Aussagekraft – analog zur aPTT – durch die Abhängigkeit vom intrinsischen System und weiteren Faktoren wie z. B. Akutphasenreaktionen begrenzt ist. Dagegen ist die Sensitivität gegenüber niedermolekularen Heparinen in den Standardtests (INTEM/HEPTEM) eingeschränkt [34,66]. Darüber hinaus zeigen aktuelle Daten, dass das ROTEM® nach Protamin-Gabe nur unzureichend in der Lage ist, verbliebene Heparinaktivität zuverlässig nachzuweisen, was die Interpretation der Ergebnisse im postinterventionellen Setting erschwert [67]. Auch Thrombozytenfunktionsstörungen werden mit klassischen VET-Parametern nur begrenzt erfasst; das für das TEG® entwickelte Platelet-Mapping™ (PM™) sowie Quantra® platelet contribution to clot stiffness (PCS) erlauben eine grobe Abschätzung plättchenabhängiger Effekte [68–72]. Der klinische Nutzen von Thrombozytenaggregometrie bei schweren Blutungen ist noch nicht hinreichend bewiesen [22,68,73,74]. Darüber hinaus ist eine relevante In-Test-Variabilität zu berücksichtigen, sodass wiederholte Messungen desselben Assays zu unterschiedlichen Werten führen können [75]. Entsprechend können VET nicht alle Facetten hämostaseologischer Störungen erfassen und sind stets im klinischen Kontext zu interpretieren.

VET werden im klinischen Alltag häufig durch ärztliches oder pflegerisches Personal durchgeführt und nicht durch spezialisiertes Laborpersonal, was mit einem erhöhten Risiko für Anwenderfehler verbunden ist. Der Einsatz vollständig automatisierter Kartuschensysteme wie bei TEG® 6s, ROTEM® sigma oder Quanta® reduziert zwar Pipettierfehler und verbessert die Standardisierung, ersetzt jedoch keine adäquate Schulung und unterliegt ebenfalls einer relevanten In-Test-Variabilität [76]. Gemäß der aktuellen Richtlinie der Bundesärztekammer (RiliBÄK) obliegt die Verantwortung für Betrieb, Überwachung und Qualitätssicherung von Point-of-Care-Systemen dem jeweiligen Zentrallabor [77]. Die Richtlinie definiert verbindliche Anforderungen an ein strukturiertes Qualitätsmanagementsystem, einschließlich regelmäßiger interner Qualitätskontrollen, klar geregelter Zuständigkeiten sowie standardisierter prä- und postanalytischer Abläufe. Darüber hinaus sind kontinuierliche Schulungen und Kompetenznachweise des Anwenderpersonals erforderlich. Insbesondere in der Hämostaseologie ist die konsequente Umsetzung dieser Vorgaben essenziell, da die diagnostische Aussagekraft viskoelastischer Verfahren in hohem Maße von der analytischen Qualität abhängt. Die Umsetzung dieser Anforderungen ist mit einem nicht unerheblichen organisatorischen und personellen Aufwand verbunden und stellt einen relevanten Kostenfaktor dar.

Ungeachtet der zunehmenden klinischen Etablierung viskoelastischer POC-Verfahren besteht weiterhin ein zentrales Limitationselement: Mehrere randomisierte kontrollierte Studien belegen für viskoelastisch gesteuerte Therapiealgorithmen eine Reduktion des Transfusionsbedarfs. Ein konsistenter Mortalitätsvorteil konnte jedoch bisher nicht in allen Patientenkollektiven gezeigt werden. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass VET zwar in der Lage sind, hämostaseologische Störungen zu detektieren, ein potenzieller Mortalitätsvorteil jedoch maßgeblich davon abhängt, ob die erhobenen Befunde in adäquate therapeutische Maßnahmen

umgesetzt werden. Darüber hinaus limitieren heterogene Studiendesigns die Ableitung allgemeingültiger Grenzwerte. Die derzeit verwendeten Entscheidungsstrukturen beruhen überwiegend auf Expertenkonsens, pathophysiologischer Plausibilität sowie retrospektiven Daten. Diese Evidenzlücke limitiert die externe Validität der Algorithmen und erschwert eine standardisierte, leitliniengestützte Anwendung. Darüber hinaus existieren bislang kein einheitlich validierten Grenzwerte, die patientenübergreifend eine sichere therapeutische Ableitung erlauben. Die Heterogenität der verwendeten Geräte, Reagenzien und Algorithmen erschwert zusätzlich die Vergleichbarkeit zwischen Studien und limitiert die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere klinische Settings. Vor diesem Hintergrund muss die VET-basierte Hämotherapie weiterhin als ein entscheidungsunterstützendes Instrument verstanden werden, dessen Ergebnisse stets im klinischen Kontext interpretiert werden müssen. Die Entwicklung und Durchführung von randomisiert kontrollierten Studien (RCTs) mit klar definierten Endpunkten bleibt daher essenziell, um den Stellenwert POC-basierter Gerinnungsdiagnostik evidenzbasiert abzusichern und künftig standardisierte Therapiealgorithmen zu ermöglichen.

Individuelle VET-gestützte Hämotherapie

Im Blutungsnotfall zielt die VET-basierte Hämotherapie auf die rasche Identifikation der jeweils dominierenden hämostatischen Störung, um eine gezielte und individualisierte Therapie zu ermöglichen. Viskoelastische Testverfahren liefern dabei dynamische, funktionelle Echtzeiteinformationen zur Gerinnungsinitiation, -stabilität und -lyse. Im Gegensatz zu empirischen Massivtransfusionsstrategien unterstützen VET-basierte Algorithmen eine bedarfsorientierte, komponentenspezifische Hämotherapie.

Im Folgenden werden zentrale viskoelastische Muster im Blutungsnotfall sowie deren therapeutische Konsequenzen dargestellt (Abb. 3).

Interpretation zentraler VET-Muster im Blutungsnotfall

Hyperfibrinolyse

Eine ausgeprägte Hyperfibrinolyse ist insbesondere bei schwer traumatisierten Patienten mit einer erhöhten Mortalität assoziiert [78]. Typische Befunde sind selten nachweisbar und zeigen sich als spindelförmige Graphik im EXTEM/EX- oder INTEM/IN-Test oder als nahezu amplitudenloser („0-Linien“-)FIBTEM/FIB-Test [79]. Der zusätzliche Einsatz antifibrinolytischer Kontrolltests (APTEM/AP-Test) liefert meist keinen relevanten diagnostischen Zusatznutzen, ermöglicht jedoch eine funktionelle Beurteilung des Effekts eines Antifibrinolytikums auf die Gerinnelastabilität. Das Fehlen viskoelastischer Lysezeichen schließt eine klinisch relevante Hyperfibrinolyse nicht sicher aus [80]. Insbesondere bei polytraumatisierten Patienten sollte die Entscheidung zur Tranexamsäuregabe vorrangig klinisch getroffen und nicht ausschließlich auf VET-Befunden beruhen. Empfohlen wird eine frühe Applikation von Tranexamsäure (15–20 mg/kgKG, üblicherweise 1 g i.v. über 10 Min. und 1 g als Erhaltungsdosis) [27].

Gerinnselfestigkeit als zentrales Steuerungselement der Hämotherapie

Bereits fünf Minuten nach Beginn der viskoelastischen Testung ist eine Beurteilung der Clot-Amplitude (A5) möglich. Bereits wenige Minuten nach Testbeginn kann anhand früher Gerinnselfestigkeitsparameter (z. B. A5/A10) die maximale Gerinnselfestigkeit zuverlässig abgeschätzt werden. Niedrige Werte sind mit einem erhöhten Transfusionsbedarf assoziiert und unterstützen die frühzeitige klinische Entscheidungsfindung [81,82]. Verminderte Schwellenwerte im Globaltest (z. B. EXTEM/EX-Test A5 <35 mm) weisen auf ein relevantes Defizit der Gerinnselfestigkeit hin und erfordern eine differenzierte Ursachenklärung [83]. Hierfür ist die zusätzliche Analyse der Fibrinpolymerisation mittels FIBTEM- bzw. FIB-Test essenziell [84–86].

Abbildung 3



Originalabbildungen relevanter Gerinnungsbefunde am Beispiel von Clotpro®.

EX: Extrinsischer Test; **FIB:** Fibrinpolymerisationstest; **AP:** Lyse-Test; **IN:** Intrinsischer Test; **HI:** Heparinase-Test; **RVV:** Russel's Viper Venom Test; **ECA:** Ecarinbasierter Test.

Fibrinogen- versus thrombozyten-limitierte Koagulopathie

Fibrinogen spielt eine Schlüsselrolle in der Hämostase und stellt häufig den frühesten limitierenden Gerinnungs-

faktor bei akuter Blutung dar [87,88]. Niedrige Fibrinogenspiegel sind mit erhöhtem Transfusionsbedarf und erhöhter Mortalität assoziiert [89–91]. Kritische Schwellenwerte im Kontext aktiver Blu-

tung liegen bei 1,5–2,0 g/l [90,92]. Eine Substitution wird bei Vorhandensein einer Koagulopathie daher frühzeitig, mindestens jedoch bei <1,5 g/l Fibrinogen empfohlen [8,27].



Mund- befeuchtung aldiaimed

zur feuchtigkeitsspendenden
Pflege auch auf der Intensivstation

Trockene Mundschleimhäute benötigen eine intensive Pflege und Schutz. Gerade auch bei beatmeten Patienten ist eine gute Mundbefeuchtung sehr wichtig, um die Vorbeugung von Infektionen zu unterstützen.

Die aldiamed-Produkte verfügen über hervorragende Feuchthalteeigenschaften. Sie unterstützen eine gesunde natürliche Mundflora und helfen Entzündungen vorzubeugen.

Neben dem in der Klinik beliebten aldiamed Mundspray gibt es das, noch länger befeuchtende, aldiamed Mundgel, das sich zur Anwendung bei Nacht bewährt hat, sowie die aldiamed Mundspülung.

Alle aldiamed-Produkte sind alkoholfrei und unterstützen dank ihrer enthaltenen Enzyme die Abwehr schädlicher Bakterien.



Fach- und Bestellinfos
erhalten Sie hier →



www.aldiamed.de/aerzte-apotheken/

Warnhinweise: Mundspray: Für Kleinkinder unzugänglich aufbewahren. Nicht in die Augen sprühen! Mundspülung: Das Produkt nicht schlucken. Für Kleinkinder unzugänglich aufbewahren. Hersteller: Certmedica International GmbH, Aschaffenburg

Anzeige

FIBTEM/FIB-Tests ermöglichen eine funktionelle Abschätzung der fibrinabhängigen Gerinnselfestigkeit, zeigen aber lediglich eine limitierte Korrelation mit der plasmatischen Fibrinogenbestimmung nach Clauss [48,58,93]. Demnach kann eine Clot-Amplitude von <10 mm/12 mm im FIBTEM/FIB-Test nach 10 Min. (A10) hinweisend auf einen Fibrinogenmangel sein und eine Substitution indizieren [41,48,84,94]. Diese erfolgt üblicherweise durch Gabe von 25–50 mg/kgKG Fibrinogenkonzentrat mit dem Ziel, eine A10 von ≥ 10 mm bzw. ≥ 12 mm (ClotPro® bzw. ROTEM®) zu erwirken. VET-gestützte Fibrinogensubstitution konnte verglichen mit einer ausschließlichen FFP-Gabe in mehreren Studien die Rate an Massivtransfusionen reduzieren [19,21,95,96]. Zeigt sich dagegen in EXTEM/EX- oder INTEM/IN-Tests eine verminderte Clot-Amplitude bei gleichzeitig normwertigen FIBTEM/FIB-Tests, weist dies auf eine eingeschränkte thrombozytäre Beteiligung an der Gerinnselfestigkeit hin. Besteht in dieser Konstellation in den Globaltests eine A10 <40 mm, kann bei klinisch relevanter Hämorrhagie die Gabe von Thrombozytenkonzentraten erwogen werden. Eine Transfusionsentscheidung sollte stets im Kontext der klinischen Blutungssituation und unabhängig von definierten Grenzwerten getroffen werden.

Interpretation der Clotting-Time

Die Clotting-Time (CT) reflektiert die Gerinnungsinitiation, wird jedoch nicht ausschließlich durch Gerinnungsfaktoraktivität beeinflusst, sondern auch durch Fibrinogenkonzentration und Antikoagulanzen [97,98]. Eine isolierte Interpretation der CT ohne Berücksichtigung des FIBTEM/FIB-Tests ist daher nicht zielführend. Erst bei normwertiger Clot-Amplitude im Fibrinpolymerisationstest und persistierend verlängerter CT ist von einer eingeschränkten Thrombingenerierung auszugehen. Therapeutisch kommen Prothrombinkomplex-Konzentrat (PPSB, 25–50 U/kgKG) oder alternativ FFPs in ausreichendem Volumen (20–30 ml/kgKG) infrage [99,100]. Eine isolierte Verlängerung der CT im INTEM/IN-Test sollte zudem an eine bestehende

Antikoagulation, wie ein Heparineffekt, denken lassen und durch einen HEP-TEM/HEP-Test weiter abgeklärt werden. Verkürzt sich die CT im Heparinase-Test im Vergleich zum INTEM/IN-Test, kann eine Heparinwirkung angenommen und gegebenenfalls durch die Gabe von Protamin antagonisiert werden [101,102]. Persistiert die CT-Verlängerung, können andere Antikoagulanzen oder Einzel-faktorenmangel durch ECA- (Ecarin) oder RVV (Russell's Viper Venom)-Test sowie eine Einzelfaktoranalyse abgeklärt werden [103].

Antikoagulanzen als besondere Herausforderung der VET-basierten Hämotherapie

Das Auftreten von Hämorrhagien steht besonders bei älteren Patienten zunehmend im Kontext mit der Einnahme von Antikoagulanzen oder Thrombozytenaggregationshemmern [104]. Beinahe jeder 25. Traumapatient ist unter gerinnungshemmender Dauertherapie, bei den Patienten mit Schenkelhalsfraktur ist der Anteil noch deutlich höher [10,11,105,106]. Direkte orale Antikoagulantien (DOAK) haben Vitamin-K-Antagonisten (VKA) durch vergleichbare Wirksamkeit bei häufig niedrigerem Blutungsrisiko weitgehend ersetzt [107,108]. Aufgrund der im Allgemeinen gut vorhersehbaren Pharmakokinetik und -dynamik von DOAK wird eine routinemäßige Spiegelbestimmung nicht empfohlen [109]. In der Praxis zeigen sich bei Aufnahme jedoch teilweise deutlich höhere DOAK-Konzentrationen als gewünscht [110]. Ursachen hierfür können eingeschränkte Nieren- oder Leberfunktion sowie genetische Polymorphismen sein [107,109,111,112]. SGT können DOAK-Konzentrationen nicht zuverlässig detektieren, da die Verlängerung von aPTT, INR oder PTZ nicht linear mit den Plasmaspiegeln korrelieren [109]. Für die Bestimmung der Plasmaspiegel von Faktor-Xa-Hemmern können chromogene Anti-Faktor-Xa-Tests verwendet werden [109]. Ein Dabigatran-Monitoring kann über die verdünnte Thrombinzeit oder die Ecarin-Clotting-Time (ECT) erfolgen [113,114].

Tabelle 3

Monitoring und Antagonisierung von Antikoagulanzen und Plättchenhemmern.

Antikoagulans/ Plättchenhemmer	Wirkmechanismus	Monitoring	Antagonisierung	Hinweise
Vitamin-K-Antagonisten (z. B. Warfarin, Phenprocoumon)	Hemmung der γ-Carboxylierung von FII, VII, IX, X	INR EXTEM/EX-Test nur eingeschränkt	Vitamin K (langsamer Effekt), PPSB 25–50 U/kgKG (schnelle Antagonisierung) (116–118)	PPSB thromboembolisches Risiko ~ 5–6 % (119); bei HIT nur heparinfreies PPSB
Dabigatran	Direkte Thrombinhem- mung	ECA-Test (ClotPro®, Multiclot®), SGT ungeeignet	Idarucizumab 5 g i.v. (lebensbe- drohliche Blutung/dringliche OP)	Redistribution aus extravas- kulärem Raum möglich, ggf. Spiegelkontrolle wiederholen
FXa-Hemmer (Apixaban, Rivaroxaban, Edoxaban)	Direkte FXa-Hemmung	RVV-Test (ClotPro®, Multiclot®), Anti-FXa-Test möglich	Andexanet alfa (nur Apixaban/ Rivaroxaban); alternativ PPSB 25 U/kgKG (Off-Label)	VET- und Plasmatests nach Andexanet alfa nicht zuverlässig, Wirkung klinisch beurteilen
Thrombozytenaggrega- tionshemmer (ASS, Clopidogrel, Prasugrel, Ticagrelor)	Hemmung von Thrombo- zytenaktivierung/ Aggregation	PM™ (TEG®), PCS (Quan- tra®), spez. Plättchenfunk- tionstestung	Desmopressin 0,3–0,4 µg/kgKG (vWF- und FVIII-Freisetzung, v. a. bei ASS); ggf. Thrombozytenkon- zentrate bei klinischer Blutung [68,72,120–123]	Effekt bei ADP-Hemmern nicht gesichert
Unfraktioniertes Heparin	Komplexbildung mit Antithrombin III, primäre Hemmung von FIIa, Xa	PTT, Anti-Faktor-Xa Aktivität, HEPTEM/HEP-Test	Protamin	
Niedermolekulares Heparin	Komplexbildung mit Antithrombin III, primäre Hemmung von FXa	PTT, Anti-Faktor-Xa Aktivität, HEPTEM/HEP-Test (eingeschränkt)	Protamin (partielle Antagonisie- rung)	

FII: Faktor II; **INR:** International Normalized Ratio; **PPSB:** Prothrombinkomplex-Konzentrat; **HIT:** Heparin-induzierte Thrombozytopenie; **SGT:** Standardgerinnungstests; **FXa-Hemmer:** Faktor-Xa-Inhibitoren; **VET:** Viskoelastische Testverfahren; **ASS:** Acetylsalicylsäure; **PM™:** Platelet mapping; **PCS:** Platelet Contribution to Clot Stiffness; **vWF:** Von-Willebrand-Faktor; **ADP-Hemmer:** Adenosindiphosphat-Rezeptorantagonisten; **PTT:** partielle Thromboplastinzeit; **HEPTEM/HEP-Test:** Heparinase-Tests; **RVV:** Russel's Viper Venom; **ECA:** Ecarinbasierter Test.

DOAK-spezifische viskoelastische Tests existieren für ClotPro® und sind für das System MultiClot® angekündigt. Der ECA-Test erlaubt eine sehr gute Korrelation zwischen CT und Plasmaspiegel. Ebenfalls kann hiermit auch eine Überwachung einer Argatroban-Therapie stattfinden [115]. Der RVV-Test kann über die CT klinisch relevante Plasmakonzentrationen von >50 ng/ml bzw. >100 ng/ml der FXa-Hemmer detektieren, wobei die Detektionssicherheit insbesondere für Apixaban limitiert ist [35].

Eine Übersicht zu weiteren Antikoagulanzen und Thrombozytenaggregationshemmern findet sich in Tabelle 3.

Evidenzlage viskoelastischer Testverfahren

In der bislang umfangreichsten Metaanalyse von Santos et al. (21 RCTs, n = 8.900) zeigte sich unter Anwendung

von VET eine signifikante Reduktion der EK- und FFP-Transfusionen, der Mortalität (7,3 % vs. 12,1 %; Risk Ratio (RR) 0,64; 95 %-Konfidenzintervall (CI): 0,43–0,96) sowie des Risikos für ein akutes Nierenversagen (10,5 % vs. 17,6 %; RR 0,53; 95 %-CI: 0,34–0,83) [24]. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit der Cochrane-Metaanalyse von Wikkelsø et al., die 17 Studien mit insgesamt 1.493 Patienten einschloss. Auch hier zeigte sich eine signifikante Reduktion der Mortalität (3,9 % vs. 7,4 %; RR 0,52; 95 %-CI: 0,28–0,95) sowie eine geringere Inzidenz dialysepflichtiger Niereninsuffizienz in der VET-Gruppe [25]. Im Traumakontext zeigen die verfügbaren Daten ein heterogenes Bild. Während Gonzales et al. eine Reduktion des Transfusionsbedarfs und der 28-Tage-Mortalität (19,6 % vs. 36,4 %, p = 0,049) unter VET-gestützter Therapie zeigten [17], ergab die multizentrische iTACTIC-Studie keinen signifikanten

Überlebensvorteil gegenüber einer standardisierten Gerinnungstherapie. In einer vordefinierten Subgruppenanalyse zeigte sich jedoch ein signifikanter 24-Stunden-Überlebensvorteil bei Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma (64 % vs. 46 %, Odds Ratio (OR) 2,12) [124]. Einschränkend ist zu berücksichtigen, dass nur ein Teil der eingeschlossenen Patienten tatsächlich eine relevante Koagulopathie aufwies und die Therapie durch fixe 1:1:1-Transfusionsverhältnisse limitiert war. Zusammenfassend zeigen die vorliegenden Daten konsistent eine Reduktion des Transfusionsbedarfs durch VET-gestützte Therapiealgorithmen [19, 22, 25, 125–128]. Ein gesicherter Mortalitätsvorteil lässt sich bislang nur für ausgewählte Kollektive nachweisen. Weitere PRCTs sind daher erforderlich, um diese Fragestellung nachhaltig zu klären und standardisierte Therapiealgorithmen zu ermöglichen. Der klinische Nutzen viskoelastischer Testverfahren ist maß-

geblich von der korrekten Interpretation der Befunde sowie der konsequenten Ableitung adäquater therapeutischer Maßnahmen abhängig. Entsprechend kommt der strukturierten Schulung der Anwender eine zentrale Bedeutung zu, um das Potenzial der VET-basierten Diagnostik in einen tatsächlichen klinischen Vorteil zu überführen.

Kosteneffizienz von VET

Neben ihrem klinischen Nutzen sind VET auch mit einer verbesserten Ressourcennutzung und Kosteneffizienz assoziiert. Im Vergleich zu konventionellen Gerinnungstests ermöglichen VET eine gezielte Hämotherapie, was sich in einer Reduktion des Blutverlusts und des Verbrauchs allogener Blutprodukte widerspiegelt [129]. Metaanalysen zeigen eine signifikante Verringerung der Transfusion von Erythrozyten- und Thrombozytenkonzentraten und FFPs unter VET-basierter Therapie, wobei diese Strategien sowohl in der Herzchirurgie als auch bei Traumapatienten kosteneffektiver waren als Standardlaborverfahren [130]. Gesundheitsökonomische Analysen belegen zudem eine relevante Reduktion der Behandlungskosten nach Implementierung ROTEM®-gestützter Transfusionsalgorithmen, unter anderem bei komplexen Gefäßeingriffen, Leberzirrhose und Lebertransplantation, bei gleichzeitig verbessertem oder gleichwertigem klinischem Outcome [129,131,132]. Auch TEC®-6s-basierte Algorithmen sind mit einer Reduktion des Blutproduktverbrauchs und einer niedrigeren Mortalität assoziiert, ohne die Gesamtkosten im Vergleich zu konventionellen Verfahren signifikant zu erhöhen [133]. Die ökonomischen Effekte sind jedoch kontextabhängig zu bewerten: Während in Zentren mit einem hohem Anteil blutender Patienten klare Kostenvorteile resultieren können, gewinnen in Einrichtungen mit niedriger Fallzahl Anschaffungs- und Betriebskosten an relativer Bedeutung. Insgesamt sprechen die verfügbaren Daten dafür, dass VET-gestützte Transfusionsstrategien nicht nur medizinisch sinnvoll, sondern auch ökonomisch vorteilhaft sind und

einen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung begrenzter Blutressourcen leisten.

Perspektiven Integration künstlicher Intelligenz in die POC-Diagnostik

Die Integration künstlicher Intelligenz (KI) in VET-Diagnostiksysteme eröffnet neue Möglichkeiten für eine schnellere, präzisere und stärker individualisierte Therapieentscheidung. Durch die automatisierte Analyse komplexer Datensätze, wie viskoelastischer Kurvenverläufe, klinischer Parameter und Verlaufsdaten, kann KI möglicherweise Muster erkennen, die der rein visuellen Interpretation entgehen. Perspektivisch könnten KI-gestützte Entscheidungsunterstützungssysteme die Befundinterpretation standardisieren, therapie-relevante Konstellationen frühzeitig identifizieren und die Adhärenz zu gerätespezifischen Behandlungsalgorithmen verbessern. Insbesondere in zeitkritischen Situationen, etwa im Blutungsnotfall, besteht das Potenzial, Entscheidungsprozesse zu beschleunigen und die Versorgungsqualität weiter zu erhöhen. Voraussetzung für den klinischen Einsatz bleiben jedoch valide Trainingsdatensätze, transparente Algorithmen sowie eine klare regulatorische Einbettung, sodass KI als unterstützendes, nicht ersetzendes Instrument der ärztlichen Entscheidungsfindung fungiert.

Die spezifische Kombination von KI mit VET stellt aktuell noch ein weitgehend unerforschtes Feld mit hohem Entwicklungspotenzial dar.

Anhang

Wichtige Hinweise für Anwender

Die dargestellten Therapieempfehlungen basieren auf dem zum Zeitpunkt der Erstellung verfügbaren wissenschaftlichen Kenntnisstand sowie auf klinischer Expertise. Da sich hämostaseologische Konzepte und therapeutische Strategien fortlaufend weiterentwickeln, können neue Kenntnisse Anpassungen bestehender Algorithmen erforderlich machen.

Der vorgestellte Algorithmus dient als strukturierte Entscheidungshilfe zur Behandlung blutungsassoziierter Gerinnungsstörungen und ersetzt nicht die individuelle ärztliche Beurteilung. Die Verantwortung für Indikationsstellung, Dosierung und Durchführung der Hämotherapie liegt uneingeschränkt beim behandelnden Team. Therapeutische Maßnahmen sollten ausschließlich bei VET-Auffälligkeiten erfolgen, die im klinischen Kontext einer aktiven Blutung oder eines ausgeprägten Blutungsrisikos stehen. VET-Abweichungen außerhalb dieses Zusammenhangs rechtfertigen für sich genommen keine Intervention. Unabhängig davon sind die geltenden Vorgaben der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen strikt einzuhalten. Hierzu zählen insbesondere regelmäßige interne Qualitätskontrollen, in der Regel unter Verwendung der vom Hersteller vorgesehenen Kontrollmaterialien.

Interessenskonflikt

PP Keine.

CFW hat Unterstützung im Rahmen von Vortragshonoraren und Workshop-Support von Apiro, CSL Behring, Werfen, Haemonetis und Stago erhalten.

MLL Keine.

MC erhielt Vortragshonorare von Dräger Medical Deutschland und von Fresenius Kabi Deutschland. Er ist Vorsitzender des Research Committee der European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC) und Vorsitzender des Forums Nachhaltigkeit der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI).

FS erhielt Honorare für Vorträge und/oder Beratertätigkeiten von CSL Behring, AstraZeneca, LFB und Roche Diagnostics.

FP hat Unterstützung für berufliche Fortbildungen von Edwards Lifesciences und Abbott sowie Vortragshonorare von CSL Behring

erhalten; FP ist Vorsitzender der Arbeitsgruppe Point-of-Care-Diagnostik und -Therapie der Interdisziplinären Arbeitsgemeinschaft für klinische Hämotherapie e. V. (IAKH).

Für diesen Beitrag wurden von den Autor:innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Funding

Für diese Arbeit wurden keine externen Mittel oder Zuschüsse erhalten.

Abkürzungsverzeichnis

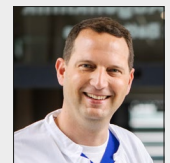
A5/A10	Clot-Amplitude 5 bzw. 10 Minuten nach Gerinnungsbeginn
ADP	Adenosindiphosphat
aPTT	aktivierte partielle Thromboplastinzeit
ASS	Acetylsalicylsäure
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
CFT	Clot Formation Time
CI	Konfidenzintervall
CLI	Clot Lysis Index
CS	Clot Stiffness
CSL	Clot Stability to Lysis
CT	Clotting Time bzw. Clot Time
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V.
DOAK	Direkte orale Antikoagulantien
EACTAIC	European Association of Cardiothoracic Anaesthesiology and Intensive Care

EACTS	European Association of Cardio-Thoracic Surgery
ECA-Test	Ecarinbasierter Test
ECT	Ecarin Clotting Time
EK	Erythrozytenkonzentrat
ESAIC	European Society of Anaesthesiology and Intensive Care
FFP	Fresh Frozen Plasma
FII	Faktor II
FIIa	Faktor IIa (aktivierter Faktor II)
HIT	Heparin-induzierte Thrombozytopenie
IAKH	Interdisziplinäre Arbeitsgemeinschaft für klinische Hämotherapie e. V.
INR	International Normalized Ratio
K	Kinetic Time
KI	künstliche Intelligenz
LT	Lysis Time
LY30	Lyse 30 Minuten nach Erreichen der MA
MA	Maximum Amplitude
MCF	Maximum Clot Firmness
OP	Operation
OR	Odds Ratio
PCS	Platelet Contribution to Clot Stiffness
PM™	Platelet Mapping
POC	Point-of-Care
PPSB	Prothrombinkomplex-Konzentrat
PTT	partielle Thromboplastinzeit
PTZ	Prothrombinzeit
R/R-Zeit	Reaction Time
RCT	Randomisierte kontrollierte Studie (Randomised Controlled Trial)
RiliBÄK	Richtlinie der Bundesärztekammer zur

RR	Risk Ratio
RVV	Russell's Viper Venom
SEER	Sonic Estimation of Elasticity via Resonance
SGT	Standardgerinnungstests
t-PA	Tissue Plasminogen Activator
VET	Viskoelastische Testverfahren
VKA	Vitamin-K-Antagonisten
vWF	Von-Willebrand-Faktor

Korrespondenz-adresse

Priv.-Doz. Dr. med. habil. Florian Piekarski



Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Bonn, Universität Bonn
Venusberg-Campus 1
53127 Bonn, Deutschland
E-Mail: Florian.Piekarski@ukbonn.de
ORCID-ID: 0000-0002-4095-3573

Literatur

- Ghadimi K, Levy JH, Welsby IJ: Perioperative management of the bleeding patient. *Br J Anaesth* 2016;117:iii18–iii30
- Wu WC, Smith TS, Henderson WG, Eaton CB, Poses RM, Uttley G, et al: Operative blood loss, blood transfusion, and 30-day mortality in older patients after major noncardiac surgery. *Ann Surg* 2010;252:11–17
- Chassot PG, Delabays A, Spahn DR: Perioperative use of anti-platelet drugs. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2007;21:241–256
- Lewis SR, Pritchard MW, Schofield-Robinson OJ, Alderson P, Smith AF: Continuation versus discontinuation of antiplatelet therapy for bleeding and ischaemic events in adults undergoing non-cardiac surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2018;7:CD012584
- Hamada SR, Garrigue D, Nougue H, Meyer A, Boutonnet M, Meaudre E, et al: Impact of platelet transfusion on outcomes in trauma patients. *Crit Care* 2022;26:49
- Olasupo OO, Haddix C, Nakar C, Maahs J, Greist A, Ghafoor A, et al: Utilization of a surgical database to provide care and assess perioperative treatment and outcomes in patients with bleeding disorders. *Eur J Haematol* 2022;108:232–243
- Cap A, Hunt BJ: The pathogenesis of traumatic coagulopathy. *Anaesthesia* 2015;70 Suppl 1:96–101
- Kietaihl S, Ahmed A, Afshari A, Albaladejo P, Aldecoa C, Barauskas G, et al: Management of severe perioperative bleeding: Guidelines from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care: Second update 2022. *Eur J Anaesthesiol* 2023;40:226–304
- Wallisch WJ, Kidd B, Shen L, Hammer R, Siscel J: Coagulopathy and Emergent Reversal of Anticoagulation. *Anesthesiol Clin* 2023;41:249–261
- Hofer H, Oberladstätter D, Schlimp CJ, Voelckel W, Zipperle J, Lockie C, et al: Role of DOAC plasma concentration on perioperative blood loss and transfusion requirements in patients with hip fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2023;49:165–172
- Bruckbauer M, Prexl O, Voelckel W, Ziegler B, Grottke O, Maegele M, et al: Impact of Direct Oral Anticoagulants in Patients With Hip Fractures. *J Orthop Trauma* 2019;33:e8–e13
- Haas T, Fries D, Tanaka KA, Asmis L, Curry NS, Schöchl H: Usefulness of standard plasma coagulation tests in the management of perioperative coagulopathic bleeding: is there any evidence? *Br J Anaesth* 2015;114:217–224
- Erdoes G, Faraoni D, Koster A, Steiner ME, Ghadimi K, Levy JH: Perioperative Considerations in Management of the Severely Bleeding Coagulopathic Patient. *Anesthesiology* 2023;138:535–560
- Thiruvankatarajan V, Pruett A, Adhikary S Das: Coagulation testing in the perioperative period. *Indian J Anaesth* 2014;58:565–572
- Gratz J, Güting H, Thorn S, Brazinova A, Görlinger K, Schäfer N, et al: Protocolised thromboelastometric-guided haemostatic management in patients with traumatic brain injury: a pilot study. *Anaesthesia* 2019;74:883–890
- Cannon JW, Dias JD, Kumar MA, Walsh M, Thomas SG, Cotton BA, et al: Use of Thromboelastography in the Evaluation and Management of Patients With Traumatic Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Explor* 2021;3:e0526
- Gonzalez E, Moore EE, Moore HB, Chapman MP, Chin TL, Ghasabyan A, et al: Goal-directed Hemostatic Resuscitation of Trauma-induced Coagulopathy: A Pragmatic Randomized Clinical Trial Comparing a Viscoelastic Assay to Conventional Coagulation Assays. *Ann Surg* 2016;263:1051–1059
- Redfern RE, Fleming K, March RL, Bobulski N, Kuehne M, Chen JT, et al: Thrombelastography-Directed Transfusion in Cardiac Surgery: Impact on Postoperative Outcomes. *Ann Thorac Surg* 2019;107:1313–1318
- Schöchl H, Nienaber U, Maegele M, Hochleitner G, Primavesi F, Steitz B, et al: Transfusion in trauma: thromboelastometry-guided coagulation factor concentrate-based therapy versus standard fresh frozen plasma-based therapy. *Crit Care* 2011;15:R83
- Lodewyckx C, Heinrichs J, Grocott HP, Karkouti K, Romund G, Arora RC, et al: Point-of-care viscoelastic hemostatic testing in cardiac surgery patients: a systematic review and meta-analysis. *Can J Anaesth* 2018;65:1333–1347
- Innerhofer P, Fries D, Mittermayr M, Innerhofer N, von Langen D, Hell T, et al: Reversal of trauma-induced coagulopathy using first-line coagulation factor concentrates or fresh frozen plasma (RETIC): a single-centre, parallel-group, open-label, randomised trial. *Lancet Haematol* 2017;4:e258–e271
- Weber CF, Görlinger K, Meininger D, Herrmann E, Bingold T, Moritz A, et al: Point-of-care testing: a prospective, randomized clinical trial of efficacy in coagulopathic cardiac surgery patients. *Anesthesiology* 2012;117:531–547
- Álvarez MG, Rojas GR, Triana Sutachan MA, Hernández Rincón EH: Use of viscoelastic testing in the transfusion management of burn patients: a scoping review. *J Thromb Thrombolysis* 2025;59:379–392
- Santos AS, Oliveira AJF, Barbosa MCL, Nogueira JLDs: Viscoelastic haemostatic assays in the perioperative period of surgical procedures: Systematic review and meta-analysis. *J Clin Anesth* 2020;64:109809
- Wikkelsø A, Wetterslev J, Møller AM, Afshari A: Thromboelastography (TEG) or thromboelastometry (ROTEM) to monitor haemostatic treatment versus usual care in adults or children with bleeding. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;2016:CD007871
- Kvisselgaard AD, Wolthers SA, Wikkelsø A, Holst LB, Drivenes B, Afshari A: Thromboelastography or rotational thromboelastometry guided algorithms in bleeding patients: An updated systematic review with meta-analysis and trial sequential analysis. *Acta Anaesthesiol Scand* 2025;69:e14558
- Rossaint R, Afshari A, Bouillon B, Cerny V, Cimpoesu D, Curry N, et al: The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition. *Crit Care* 2023;27:80
- Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. (DGU): S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. Version 4.1, Stand 2022. <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/187-023.html> (Zugriffsdatum: 20.10.2025)
- Bundesärztekammer: Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten, Gesamtnovelle 2020. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/_old-files/downloads/pdf-Ordner/MuE/Querschnitts-Leitlinien_BAEK_zur_

- Therapie_mit_Blutkomponenten_und_Plasma-derivaten-Gesamtnovelle_2020.pdf (Zugriffsdatum: 20.10.2025)
30. Vlaar APJ, Dionne JC, de Bruin S, Wijnberge M, Raasveld SJ, van Baarle FEHP, et al: Transfusion strategies in bleeding critically ill adults: a clinical practice guideline from the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 2021;47:1368–1392
 31. Casselman FPA, Lance MD, Ahmed A, Ascari A, Blanco-Morillo J, Bolliger D, et al: 2024 EACTS/EACTAIC Guidelines on patient blood management in adult cardiac surgery in collaboration with EBCP. *Eur J Cardiothorac Surg* 2025;67:ezae352
 32. Annecke T, Lier H, Girard T, Korte W, Pfanner G, Schlembach D, et al: [Peripartum hemorrhage, diagnostics and treatment: Update of the S2k guidelines AWMF 015/063 from August 2022. *Anaesthesiologie* 2022;71:952–958
 33. Stanworth SJ, Dowling K, Curry N, Doughty H, Hunt BJ, Fraser L, et al: Haematological management of major haemorrhage: a British Society for Haematology Guideline. *Br J Haematol* 2022;198:654–667
 34. Whiting D, DiNardo JA: TEG and ROTEM: technology and clinical applications. *Am J Hematol* 2014;89:228–232
 35. Oberladstätter D, Voelckel W, Schlimp C, Zipperle J, Ziegler B, Grottko O, et al: A prospective observational study of the rapid detection of clinically-relevant plasma direct oral anticoagulant levels following acute traumatic injury. *Anaesthesia* 2021;76:373–380
 36. Zlotnik D, Abdallah GA, Lang E, Boucebcij KJ, Gautier CH, François A, et al: Assessment of a Quantra-Guided Hemostatic Algorithm in High-Bleeding-Risk Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2023;37:724–731
 37. Ziegler B, Voelckel W, Zipperle J, Grottko O, Schöchl H: Comparison between the new fully automated viscoelastic coagulation analysers TEG 6s and ROTEM Sigma in trauma patients: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2019;36:834–842
 38. Katz D, Farber M, Getrajdman C, Hamburger J, Reale S, Butwick A: The role of viscoelastic hemostatic assays for postpartum hemorrhage management and bedside intra-partum care. *Am J Obstet Gynecol* 2024;230:S1089–S1106
 39. Gratz J, Güting H, Thorn S, Brazinova A, Görlinger K, Schäfer N, et al: Protocolised thromboelastometric-guided haemostatic management in patients with traumatic brain injury: a pilot study. *Anaesthesia* 2019;74:883–890
 40. Schöchl H, Voelckel W, Grassetto A, Schlimp CJ: Practical application of point-of-care coagulation testing to guide treatment decisions in trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2013;74:1587–1598
 41. Baksaas-Aasen K, Van Dieren S, Balvers K, Juffermans NP, Næss PA, Rourke C, et al: Data-driven Development of ROTEM and TEG Algorithms for the Management of Trauma Hemorrhage: A Prospective Observational Multicenter Study. *Ann Surg* 2019;270:1178–1185
 42. Rizoli S, Min A, Sanchez AP, Shek P, Grodecki R, Veigas P, et al: In Trauma, Conventional ROTEM and TEG Results Are Not Interchangeable But Are Similar in Clinical Applicability. *Mil Med* 2016;181:117–126
 43. Maegele M, Inaba K, Rizoli S, Veigas P, Callum J, Davenport R, et al: Early viscoelasticity-based coagulation therapy for severely injured bleeding patients: Report of the consensus group on the consensus conference 2014 for formulation of S2k guidelines. *Anaesthesist* 2015;64:778–794
 44. Neal MD, Moore EE, Walsh M, Thomas S, Callcut RA, Kornblith LZ, et al: A comparison between the TEG 6s and TEG 5000 analyzers to assess coagulation in trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg* 2020;88:279–285
 45. Drotarova M, Zolkova J, Belakova KM, Brunclikova M, Skornova I, Stasko J, et al: Basic Principles of Rotational Thromboelastometry (ROTEM®) and the Role of ROTEM-Guided Fibrinogen Replacement Therapy in the Management of Coagulopathies. *Diagnostics (Basel)* 2023;13:3219
 46. Schenk B, Görlinger K, Trembl B, Tauber H, Fries D, Niederwanger C, et al: A comparison of the new ROTEM® sigma with its predecessor, the ROTEMdelta. *Anaesthesia* 2019;74:348–356
 47. Laukova K, Petrikova V, Poloniova L, Babulicova L, Wsolova L, Haas T: Determination of reference ranges for the ClotPro® thromboelastometry device in paediatric patients. *Br J Anaesth* 2023;130:183–190
 48. Yoshii R, Sawa T, Kawajiri H, Amaya F, Tanaka KA, Ogawa S: A comparison of the ClotPro system with rotational thromboelastometry in cardiac surgery: a prospective observational study. *Sci Rep* 2022;12:17269
 49. Hartmann J, Dias J, Shilo A, Bynagari Y, Garrett B, Jeske W, et al: TEG® 6s coagulation testing with a novel heparin neutralization cartridge: Technical validation and determination of normal reference ranges. *Am J Clin Pathol* 2025;163:12–19
 50. Adelman D, Hartmann J, Moore HB, Yockelson SR, Dageforde LA, Chitilian H, et al: c. Anesthesiology 2026;144:103–115
 51. Dias JD, Haney EI, Mathew BA, Lopez-Espina CG, Orr AW, Popovsky MA: New-Generation Thromboelastography: Comprehensive Evaluation of Citrated and Heparinized Blood Sample Storage Effect on Clot-Forming Variables. *Arch Pathol Lab Med* 2017;141:569–577
 52. Volod O, Viola F: The Quantra System: System Description and Protocols for Measurements. *Methods Mol Biol* 2023;2663:743–761
 53. Moore EE, Michelson EA, Gabriel-Ramos K, Cripps MW, Flores A, Vandyck K, et al: Multicenter evaluation of the Quantra with the QStat Cartridge in adult trauma patients. *Trauma Surg Acute Care Open* 2025;10:e001672
 54. Winearls J, Reade M, Miles H, Bulmer A, Campbell D, Görlinger K, et al: Targeted Coagulation Management in Severe Trauma: The Controversies and the Evidence. *Anesth Analg* 2016;123:910–924
 55. Coupland LA, Rabbolini DJ, Schoenecker JG, Crispin PJ, Miller JJ, Ghent T, et al: Point-of-care diagnosis and monitoring of fibrinolysis resistance in the critically ill: results from a feasibility study. *Crit Care* 2023;27:55
 56. Moore HB: Fibrinolysis Shutdown and Hypofibrinolysis Are Not Synonymous Terms: The Clinical Significance of Differentiating Low Fibrinolytic States. *Semin Thromb Hemost* 2023;49:433–443
 57. Demailly Z, Wurtz V, Barbay V, Surlemont E, Scherrer V, Compère V, et al: Point-of-Care Viscoelastic Hemostatic Assays in Cardiac Surgery Patients: Comparison of Thromboelastography 6S, Thromboelastometry Sigma, and Quantra. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2023;37:948–955
 58. Infanger L, Dibiasi C, Schaden E, Ulbing S, Wiegele M, Lacom C, et al: Comparison of the New Viscoelastic

- Coagulation Analyzer ClotPro® With ROTEM® Delta and Conventional Coagulation Tests in Critically Ill Patients With COVID-19. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:777145
59. Baulig W, Akbas S, Schütt PK, Keul W, Jovic M, Berdat P, et al: Comparison of the resonance sonar rheometry based Quantra® system with rotational thromboelastometry ROTEM® sigma in cardiac surgery – a prospective observational study. *BMC Anesthesiol* 2021;21:260
 60. Mansour A, Godier A, Lecompte T, Rouillet S: Ten considerations about viscoelastometric tests. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2024;43:101366
 61. Hartmann J, Hermelin D, Levy JH: Viscoelastic testing: an illustrated review of technology and clinical applications. *Res Pract Thromb Haemost* 2022;7:100031
 62. Skaugen JT, Yazer MH, Sprogø U: Impact of systematic variations in hematocrit and platelet count on thromboelastometry tissue factor activated assay parameters. *Transfusion (Paris)* 2024;64:S185–S190
 63. Weber CF, Sanders JO, Friedrich K, Gerlach R, Platz J, Miesbach W, et al: [Role of thromboelastometry for the monitoring of factor XIII. A prospective observational study in neurosurgical patients]. *Hamostaseologie* 2011;31:111–117
 64. Raspé C, Besch M, Charitos EI, Flöther L, Bucher M, Rückert F, et al: Rotational Thromboelastometry for Assessing Bleeding Complications and Factor XIII Deficiency in Cardiac Surgery Patients. *Clin Appl Thromb Hemost* 2018;24:136S–144S
 65. Regling K, Kakulavarapu S, Thomas R, Hollon W, Chitlur MB: Utility of thromboelastography for the diagnosis of von Willebrand disease. *Blood* 2016;128:3788
 66. Schultinge L, Hulshof AM, van Neerven D, Mulder MMG, Sels JWEM, Hulsewe HPMG, et al: Applications of rotational thromboelastometry in heparin monitoring in critical COVID-19 disease: Observations in the Maastricht Intensive Care COVID cohort. *Thrombosis Update* 2023;12:100140
 67. Moilanen J, Pada M, Ohtonen P, Kaakinen T, Taskinen P, Savolainen ER, et al: Thromboelastometry and two activated clotting tests in detecting residual heparin after protamine in cardiac surgical patients: A prospective cohort study. *Eur J Anaesthesiol* 2025;42:398–406
 68. Kvint S, Gutierrez A, Venezia A, Maloney E, Schuster J, Kumar MA: Application of a TEG-Platelet Mapping Algorithm to Guide Reversal of Antiplatelet Agents in Adults with Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury: An Observational Pilot Study. *Neurocrit Care* 2022;37:638–648
 69. George MJ, Burchfield J, MacFarlane B, Wang YWW, Cardenas JC, White NJ, et al: Multiplate and TEG platelet mapping in a population of severely injured trauma patients. *Transfus Med* 2018;28:224–230
 70. DeAnda A, Levy G, Kinsky M, Sanjoto P, Garcia M, Avandsalehi KR, et al: Comparison of the Quantra QPlus System With Thromboelastography in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2021;35:1030–1036
 71. Frédéric S, Istaces N, Lovqvist L, Aunac S: Comparison of the Quantra® QPlus sonar rheometry with conventional hemostasis laboratory and TEG-5000® parameters. *Perfusion* 2025;2676591251412308
 72. Suzuki H, Ogawa H, Endo S, Arai T: Efficacy of Quantra-Qplus System for Rapid Diagnosis and Treatment of Hypofibrinogenemia and Thrombocytopenia After Cardiopulmonary Bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2025;39:594–600
 73. Yu ES, Jeon MJ, Kang KW, Lee BH, Kang EJ, Park Y, et al: The role of platelet function analyzer-200 in predicting perioperative bleeding risk. *Korean J Intern Med* 2020;35:1199–1209
 74. Schriner JB, George MJ, Cardenas JC, Olson SD, Mankiewicz KA, Cox CS, et al: PLATELET FUNCTION IN TRAUMA: IS CURRENT TECHNOLOGY IN FUNCTION TESTING MISSING THE MARK IN INJURED PATIENTS? *Shock* 2022;58:1–13
 75. Lang T, Bauters A, Braun SL, Pöizsch B, von Pape KW, Kolde HJ, et al: Multi-centre investigation on reference ranges for ROTEM thromboelastometry. *Blood Coagul Fibrinolysis* 2005;16:301–310
 76. Amgalan A, Allen T, Othman M, Ahmadzia HK: Systematic review of viscoelastic testing (TEG/ROTEM) in obstetrics and recommendations from the women's SSC of the ISTH. *J Thromb Haemost* 2020;18:1813–1838
 77. Bundesärztekammer: Aktualisierung der Richtlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen – Rili-BÄK. *Deutsches Ärzteblatt Online* 2023; <https://www.aerzteblatt.de/archiv/aktualisierung-der-richtlinie-der-bundesaerztekammer-zur-qualitaetsicherung-laboratoriumsmedizinischer-untersuchungen-rili-baek-b0201a29-c388-41c7-8d36-2f61dcbd-5f1c> (Zugriffsdatum: 18.12.2025)
 78. Schöchl H, Frietsch T, Pavelka M, Jámbor C: Hyperfibrinolysis after major trauma: differential diagnosis of lysis patterns and prognostic value of thromboelastometry. *J Trauma* 2009;67:125–131
 79. Wang IJ, Park SW, Bae BK, Lee SH, Choi HJ, Park SJ, et al: FIBTEM Improves the Sensitivity of Hyperfibrinolysis Detection in Severe Trauma Patients: A Retrospective Study Using Thromboelastometry. *Sci Rep* 2020;10:6980
 80. Raza I, Davenport R, Rourke C, Platten S, Manson J, Spoors C, et al: The incidence and magnitude of fibrinolytic activation in trauma patients. *J Thromb Haemost* 2013;11:307–314
 81. Meyer ASP, Meyer MAS, Sørensen AM, Rasmussen LS, Hansen MB, Holcomb JB, et al: Thromboelastography and rotational thromboelastometry early amplitudes in 182 trauma patients with clinical suspicion of severe injury. *J Trauma Acute Care Surg* 2014;76:682–690
 82. Kelly JM, Rizoli S, Veigas P, Hollands S, Min A: 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. *Anaesthesia* 2018;73:1103–1109
 83. Hofmann N, Schöchl H, Oberladstätter D, Zipperle J, Schmitt F, von der Forst M, et al: Viscoelastic coagulation testing in bleeding trauma patients: a retrospective analysis and development of a treatment algorithm. *Br J Anaesth* 2026;136:117–125
 84. Schöchl H, Cotton B, Inaba K, Nienaber U, Fischer H, Voelckel W, et al: FIBTEM provides early prediction of massive transfusion in trauma. *Crit Care* 2011;15:R265
 85. Ranucci M, Di Dedda U, Baryshnikova E: Trials and Tribulations of Viscoelastic-Based Determination of Fibrinogen Concentration. *Anesth Analg* 2020;130:644–653
 86. Solomon C, Ranucci M, Hochleitner G, Schöchl H, Schlomp CJ: Assessing the Methodology for Calculating Platelet

- Contribution to Clot Strength (Platelet Component) in Thromboelastometry and Thrombelastography. *Anesth Analg* 2015;121:868–878
87. Hunt BJ: Bleeding and Coagulopathies in Critical Care. *N Eng J Med* 2014;370:847–859
 88. Fries D, Martini WZ: Role of fibrinogen in trauma-induced coagulopathy. *Br J Anaesth* 2010;105:116–121
 89. Curry N, Rourke C, Davenport R, Beer S, Pankhurst L, Deary A, et al: Early cryoprecipitate for major haemorrhage in trauma: a randomised controlled feasibility trial. *Br J Anaesth* 2015;115:76–83
 90. McQuilten ZK, Wood EM, Bailey M, Cameron PA, Cooper DJ: Fibrinogen is an independent predictor of mortality in major trauma patients: A five-year statewide cohort study. *Injury* 2017;48:1074–1081
 91. Collins PW, Lilley G, Bruynseels D, Laurent DB, Cannings-John R, Precious E, et al: Fibrin-based clot formation as an early and rapid biomarker for progression of postpartum hemorrhage: a prospective study. *Blood* 2014;124:1727–1736
 92. Hagemo JS, Stanworth S, Juffermans NP, Brohi K, Cohen MJ, Johansson PI, et al: Prevalence, predictors and outcome of hypofibrinogenaemia in trauma: a multicentre observational study. *Crit Care* 2014;18:R52
 93. de Vries JJ, Veen CSB, Snoek CJM, Kruip MJHA, de Maat MPM: FIBTEM clot firmness parameters correlate well with the fibrinogen concentration measured by the Clauss assay in patients and healthy subjects. *Scand J Clin Lab Invest* 2020;80:600–605
 94. Peng HT, Nascimento B, Tien H, Callum J, Rizoli S, Rhind SG, et al: A comparative study of viscoelastic hemostatic assays and conventional coagulation tests in trauma patients receiving fibrinogen concentrate. *Clin Chim Acta* 2019;495:253–262
 95. Winearls J, Wullschlegel M, Wake E, Hurn C, Furyk J, Ryan G, et al: Fibrinogen Early In Severe Trauma study (FEISTY): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials* 2017;18:241
 96. Akbari E, Safari S, Hatamabadi H: The effect of fibrinogen concentrate and fresh frozen plasma on the outcome of patients with acute traumatic coagulopathy: A quasi-experimental study. *Am J Emerg Med* 2018;36:1947–1950
 97. Gratz J, Schlimp CJ, Honickel M, Hochhausen N, Schöchl H, Grottko O: Sufficient Thrombin Generation Despite 95 % Hemodilution: An In Vitro Experimental Study. *J Clin Med* 2020;9:3805
 98. Brill JB, Brenner M, Duchesne J, Roberts D, Ferrada P, Horer T, et al: The Role of TEG and ROTEM in Damage Control Resuscitation. *Shock* 2021;56:52–61
 99. Chowdary P, Tang A, Watson D, Besser M, Collins P, Creagh MD, et al: Retrospective Review of a Prothrombin Complex Concentrate (Beriplex P/N) for the Management of Perioperative Bleeding Unrelated to Oral Anticoagulation. *Clin Appl Thromb Hemost* 2018;24:1159–1169
 100. Hayes K, Fernando MC, Jordan V: Prothrombin complex concentrate in cardiac surgery for the treatment of coagulopathic bleeding. *Cochrane Database Syst Rev* 2022;11:CD013551
 101. Sahli SD, Castellucci C, Roche TR, Rössler J, Spahn DR, Kaserer A: The impact of direct oral anticoagulants on viscoelastic testing - A systematic review. *Front Cardiovasc Med* 2022;9:991675
 102. Boer C, Meesters MI, Veerhoek D, Vonk ABA: Anticoagulant and side-effects of protamine in cardiac surgery: a narrative review. *Br J Anaesth* 2018;120:914–927
 103. Groene P, Wagner D, Kammerer T, Kellert L, Giehl A, Massberg S, et al: Viscoelastometry for detecting oral anticoagulants. *Thromb J* 2021;19:18
 104. Shaw JR, Castellucci LA, Siegal D, Carrier M: DOAC-associated bleeding, hemostatic strategies, and thrombin generation assays - a review of the literature. *J Thromb Haemost* 2023;21:433–452
 105. Aigner R, Buecking B, Hack J, Schwenzfur R, Eschbach D, Einheuser J, et al: Effect of Direct Oral Anticoagulants on Treatment of Geriatric Hip Fracture Patients: An Analysis of 15,099 Patients of the AltersTraumaRegister DGU®. *Medicina (Kaunas)* 2022;58:379
 106. Wood B, Nascimento B, Rizoli S, Sholzberg M, McFarlan A, Phillips A, et al: The Anticoagulated trauma patient in the age of the direct oral anticoagulants: a Canadian perspective. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2017;25:76
 107. Deitelzweig S, Keshishian AV, Zhang Y, Kang A, Dhamane AD, Luo X, et al: Effectiveness and Safety of Oral Anticoagulants Among Nonvalvular Atrial Fibrillation Patients With Active Cancer. *JACC CardioOncol* 2021;3:411–424
 108. Bezabhe WM, Bereznicki LR, Radford J, Wimmer BC, Curtain C, Salahudeen MS, et al: Ten-Year Trends in the Use of Oral Anticoagulants in Australian General Practice Patients With Atrial Fibrillation. *Front Pharmacol* 2021;12:586370
 109. Douxfils J, Adcock DM, Bates SM, Favaloro EJ, Gouin-Thibault I, Guillermo C, et al: 2021 Update of the International Council for Standardization in Haematology Recommendations for Laboratory Measurement of Direct Oral Anticoagulants. *Thromb Haemost* 2021;121:1008–1020.
 110. Ruoff C, Schöchl H, Fritsch G, Voelckel W, Zipperle J, Gratz J, et al: DOAC plasma concentration upon hospital admission in a cohort of trauma patients. An observational real-life study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2023 ;49:2543–2551
 111. Raymond J, Imbert L, Cousin T, Duflot T, Varin R, Wils J, et al: Pharmacogenetics of Direct Oral Anticoagulants: A Systematic Review. *J Pers Med* 2021;11:1–11
 112. Poulsen BK, Grove EL, Husted SE: New oral anticoagulants: a review of the literature with particular emphasis on patients with impaired renal function. *Drugs* 2012;72:1739–1753
 113. Samuelson BT, Cuker A: Measurement and reversal of the direct oral anticoagulants. *Blood Rev* 2017;31:77–84
 114. Douxfils J, Ageno W, Samama CM, Lessire S, Ten Cate H, Verhamme P, et al: Laboratory testing in patients treated with direct oral anticoagulants: a practical guide for clinicians. *J Thromb Haemost* 2018;16:209–219
 115. Heubner L, Oertel R, Tiebel O, Mehlig-Warnecke N, Beyer-Westendorf J, Mirus M, et al: Monitoring of Argatroban in Critically Ill Patients: A Prospective Study Comparing Activated Partial Thromboplastin Time, Point-of-Care Viscoelastic Testing with Ecarin Clotting Time and Diluted Thrombin Time to Mass Spectrometry. *Anesthesiology* 2024;140:261–271
 116. Sahai T, Tavares MF, Sweeney JD: Rapid response to intravenous vitamin K may obviate the need to transfuse prothrombin complex concentrates. *Transfusion* 2017;57:1885–1890

117. Grottke O, Rossaint R, Henskens Y, van Oerle R, Ten Cate H, Spronk HMH: Thrombin generation capacity of prothrombin complex concentrate in an in vitro dilutional model. *PLoS One* 2013;8:e64100
118. Goldstein JN, Refaai MA, Milling TJ Jr, Lewis B, Goldberg-Alberts R, Hug BA, et al: Four-factor prothrombin complex concentrate versus plasma for rapid vitamin K antagonist reversal in patients needing urgent surgical or invasive interventions: a phase 3b, open-label, non-inferiority, randomised trial. *Lancet* 2015;385:2077–2087
119. Faulkner H, Chakankar S, Mammi M, Lo JYT, Doucette J, Al-Otaibi N, et al: Safety and efficacy of prothrombin complex concentrate (PCC) for anticoagulation reversal in patients undergoing urgent neurosurgical procedures: a systematic review and metaanalysis. *Neurosurg Rev* 2021;44:1921–1931
120. Mannucci PM, Levi M: Prevention and Treatment of Major Blood Loss. *N Engl J Med* 2007;356:2301–2311
121. Barletta JF, Abdul-Rahman D, Hall ST, Mangram AJ, Dzandu JK, Frontera JA, et al: The Role of Desmopressin on Hematoma Expansion in Patients with Mild Traumatic Brain Injury Prescribed Pre-injury Antiplatelet Medications. *Neurocrit Care* 2020;33:405–413
122. Wang Q, Alshayyah R, Yang B: The efficacy and safety of desmopressin acetate applied for nocturia in benign prostatic hyperplasia patients: A systematic review and meta-analysis. *Low Urin Tract Symptoms* 2022;14:155–162
123. Pommer P, Oberladstätter D, Schlimp CJ, Zipperle J, Voelckel W, Lockie C, et al: Multiplate Platelet Function Testing upon Emergency Room Admission Fails to Provide Useful Information in Major Trauma Patients Not on Platelet Inhibitors. *J Clin Med* 2022;11:2578
124. Baksaas-Aasen K, Gall L, Eaglestone S, Rourke C, Juffermans NP, Goslings JC, et al: iTACTIC – implementing Treatment Algorithms for the Correction of Trauma-Induced Coagulopathy: study protocol for a multicentre, randomised controlled trial. *Trials* 2017;18:486
125. Wikkelsøe AJ, Afshari A, Wetterslev J, Brok J, Moeller AM: Monitoring patients at risk of massive transfusion with Thrombelastography or Thromboelastometry: a systematic review. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55:1174–1189
126. Afshari A, Wikkelsøe AJ, Brok J, Møller AM, Wetterslev J: Thrombelastography (TEG) or thromboelastometry (ROTEM) to monitor haemotherapy versus usual care in patients with massive transfusion. *Cochrane Database Syst Rev* 2011;16:CD007871
127. Lawson PJ, Moore HB, Moore EE, Stettler GR, Pshak TJ, Kam I, et al: Preoperative thrombelastography maximum amplitude predicts massive transfusion in liver transplantation. *J Surg Res* 2017;220:171–175
128. Collins P: Point-of-care coagulation testing for postpartum haemorrhage. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2022;36:383–398
129. Xu ZL, Cao H, Sun DW, Xiao J, Yao YY, Luo G, et al: Critical trigger thresholds for hemostatic management: a narrative review of viscoelastic hemostatic assay applications. *Front Med (Lausanne)* 2025;12:1658845
130. Whiting P, Al M, Westwood M, Ramos IC, Ryder S, Armstrong N, et al: Viscoelastic point-of-care testing to assist with the diagnosis, management and monitoring of haemostasis: a systematic review and cost-effectiveness analysis. *Health Technol Assess* 2015;19:1–228
131. Monaco F, Barucco G, Nardelli P, Licheri M, Notte C, De Luca M, et al: Editor's Choice - A Rotational Thromboelastometry Driven Transfusion Strategy Reduces Allogenic Blood Transfusion During Open Thoraco-abdominal Aortic Aneurysm Repair: A Propensity Score Matched Study. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019;58:13–22
132. Smart L, Mumtaz K, Scharpf D, Gray NO, Traetow D, Black S, et al: Rotational Thromboelastometry or Conventional Coagulation Tests in Liver Transplantation: Comparing Blood Loss, Transfusions, and Cost. *Ann Hepatol* 2017;16:916–923
133. Cochrane C, Chinna S, Um JY, Dias JD, Hartmann J, Bradley J, et al: Site-Of-Care Viscoelastic Assay in Major Trauma Improves Outcomes and Is Cost Neutral Compared with Standard Coagulation Tests. *Diagnostics (Basel)* 2020;10:486.