

Redaktion

B. Dirks, Ulm
R. Somasundaram, Berlin
C. Waydhas, Essen
U. Zeymer, Ludwigshafen



Punkte sammeln auf...

springermedizin.de/ eAkademie

Teilnahmemöglichkeiten

Diese Fortbildungseinheit steht Ihnen als e.CME und e.Tutorial in der Springer Medizin e.Akademie zur Verfügung.

- e.CME: kostenfreie Teilnahme im Rahmen des jeweiligen Zeitschriftenabonnements
- e.Tutorial: Teilnahme im Rahmen des e.Med-Abonnements

Zertifizierung

Diese Fortbildungseinheit ist mit 3 CME-Punkten zertifiziert von der Landesärztekammer Hessen und der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

Für Rettungsassistenten und -sanitäter ist diese Fortbildungseinheit von der Akademie für Rettungsdienst und Gefahrenabwehr der Landesfeuerwehrschule Hamburg sowie der Feuerwehr München mit 3 Stunden Fortbildung zertifiziert und damit bundesweit anerkennungsfähig.

Hinweis für Leser aus Österreich

Gemäß dem Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) der Österreichischen Ärztekammer werden die auf CME.springer.de erworbenen CME-Punkte hierfür 1:1 als fachspezifische Fortbildung anerkannt.

Kontakt und weitere Informationen

Springer-Verlag GmbH
Fachzeitschriften Medizin/Psychologie
Springer Medizin Kundenservice
Tel. 0800 77 80 777
E-Mail: kundenservice@springermedizin.de

CME Zertifizierte Fortbildung

J. Schmidt¹ · A. Maier^{1,2} · M. Christ^{1,2}

¹ Klinik für Notfall- und Internistische Intensivmedizin, Klinikum Nürnberg

² Klinik für Innere Medizin 2, Klinikum Dritter Orden, München

Echokardiographie in der Notaufnahme

Erkennen des kardialen Low-Output-Versagens

Zusammenfassung

Patienten, die sich in der Notaufnahme mit hämodynamischer Instabilität bzw. einem manifesten Schock präsentieren, stellen differenzialdiagnostisch eine große Herausforderung für den Notfallmediziner dar. Eine rasche Diagnosestellung mit Erkennen der zugrunde liegenden Pathologie, z. B. einem kardialen Low-Output-Versagen, ist für die Therapie und das Überleben des kritisch kranken Patienten entscheidend. Hierbei ist die Echokardiographie am Patientenbett als bildgebendes Verfahren unerlässlich. Nicht eine ausführliche kardiologische, sondern eine schnelle, fokussierte und die wesentliche Pathologie erfassende echokardiographische Untersuchung sollte in der Erstversorgung einer Notaufnahme gewährleistet sein. Eine primäre echokardiographische Unterscheidung in „erhaltene“ vs. „nichterhaltene“ linksventrikuläre Ejektionsfraktion mit anschließend strukturiertem Erfassen bzw. Ausschließen wichtiger Differenzialdiagnosen ist diagnostisch zielführend.

Schlüsselwörter

Low-Output-Versagen · Kardiogener Schock · Echokardiographie in der Notaufnahme · Linksventrikuläre Funktion · Rechtsventrikuläre Funktion

„Schock“ ist definiert als die Imbalance zwischen Sauerstoffangebot und -bedarf im Gewebe

Die LV-Ejektionsfraktion ist das geometrische Maß der Volumenänderung des linken Ventrikels zwischen Systole und Diastole

Lernziele

Zentrale Aufgabe eines in der Notaufnahme tätigen Arztes ist es, lebensbedrohliche Zustände wie z. B. die hämodynamische Instabilität bzw. den manifesten Schock rasch zu erkennen und eine spezifische Therapie einzuleiten. Nach Lektüre dieses Beitrages wissen Sie,

- dass mithilfe einer bettseitig durchgeführten Echokardiographie die kardiale Genese eines Schockgeschehens rasch identifiziert werden kann,
- dass das Erkennen des kardialen Pumpversagens nicht auf die Bestimmung der linksventrikulären (LV-) oder rechtsventrikulären Ejektionsfraktion (RV-EF) begrenzt ist,
- wie durch die Echokardiographie fokussiert und zeitnah verschiedene Ursachen des kardialen Versagens differenziert und bewertet werden können.

Definitionen und Klinik

„Schock“ ist definiert als die Imbalance zwischen Sauerstoffangebot und -bedarf im peripheren Gewebe. Für die Diagnose entscheidend sind nicht arbiträr gesetzte Grenzwerte eines systolischen Blutdrucks <90 mmHg oder eines erhöhten Schockindex, sondern die klinischen Zeichen der **peripheren Minderperfusion** (Laktaterhöhung, Oligurie bzw. Anurie, kalte Extremitäten, verlängerte Rekapillarierungszeit, erniedrigte zentralvenöse Sättigung, Bewusstseinsstörung als Zeichen der zerebralen Minderperfusion). Der **„kardiogene Schock“** ist eine Unterform des Schocks und ist definiert über die kardiale Dysfunktion, welche mit einem niedrigen systolischen Blutdruck assoziiert ist (systolischer Blutdruck <90 mmHg oder Abfall vom Ausgangswert um 30 mmHg für mindestens 30 min, oder Blutdruck >90 mmHg unter Katecholamintherapie, [7]). Dieser akut lebensbedrohliche Zustand ist somit Folge einer verminderten Auswurfleistung (**Low-Output**) des Herzens bei linksventrikulärer (LV-) oder auch rechtsventrikulärer (RV-)Dysfunktion und wird ebenfalls durch eine periphere Minderperfusion definiert.

Obwohl bei Patienten mit kardiogenem Schock üblicherweise eine Hypotonie vorliegt, können sich auch Patienten mit „normalen Blutdruckwerten“ im Low-Output-Versagen (entsprechend einem Herzindex $<1,8$ l/min/m²) befinden. Dieser als **„kryptischer oder normotensiver Schock“** bezeichnete Zustand geht ebenfalls mit einer hohen Letalität einher. Die LV-Ejektionsfraktion ist das geometrische Maß der Volumenänderung des linken Ventrikels zwischen Systole und Diastole.

Die akute Herzinsuffizienz ist als klinisches Syndrom definiert, welches durch die typischen Zeichen und Symptome der Herzinsuffizienz und dem Nachweis einer kardialen Dysfunktion gekennzeichnet ist.

Echocardiography in emergency admissions · Recognition of cardiac low-output failure

Abstract

Detection of acute cardiac dysfunction and differential diagnosis of low cardiac output syndrome is challenging for emergency physicians. For the critical ill patient it is essential to rapidly identify the underlying disease to initiate the correct therapy and optimize patient outcome. Echocardiography is the diagnostic tool of choice for the evaluation of low cardiac output states. In the setting of the emergency department the use of focused echocardiography instead of detailed echocardiographic studies of cardiologists is appropriate and should be provided for emergency care. The differentiation in preserved versus reduced left ventricular ejection fraction as a first assessment is helpful, particularly for physicians not well trained in echocardiography. The structured and focused approach to evaluate or exclude differential diagnoses of cardiac dysfunction is the key for optimal management of acute and critically ill patients with low cardiac output.

Keywords

Low cardiac output · Cardiogenic shock · Echocardiography in emergency department · Right ventricular failure · Left ventricular failure

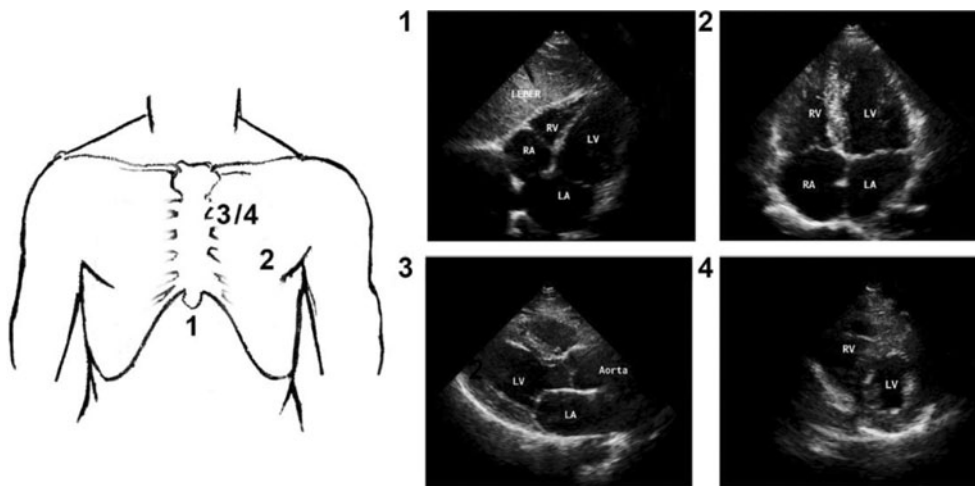


Abb. 1 ▲ Schallkopfposition und echokardiographische Darstellung der Standardschnittebenen. (1) subkostaler 4-Kammer-Blick, (2) apikaler 4-Kammer-Blick, (3), (4) parasternale Längs- und Querschnitt. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RA rechtes Atrium, RV rechter Ventrikel

Die Verwendung der korrekten Terminologie im Zusammenhang mit der unten beschriebenen echokardiographischen Diagnostik ist Grundlage für das Verständnis der erhobenen Parameter, welche dann in den korrekten klinischen Kontext gesetzt werden müssen.

Echokardiographische Diagnostik in der Notaufnahme

Die gängigen Konzepte der echokardiographischen Notfalluntersuchung (FATE, „focus assessed transthoracic echocardiography“ aus Dänemark [9], FEEL, „focused echocardiography for life support“ aus Deutschland [2] oder FOCUS, „focused cardiac ultrasound“ aus den USA; [11]) verzichten auf ausführliche, oft nur für den geübten Kardiologen durchführbare Techniken und Schnittebenen und erfassen effizient zugrunde liegende Pathologien.

Allen Konzepten gemeinsam sind die **4 Standardschnittebenen** des Herzens (■ Abb. 1):

1. subkostaler 4-Kammer-Blick,
2. apikaler 4-Kammer-Blick,
3. parasternale lange Achse,
4. parasternale kurze Achse.

Die festgelegte Reihenfolge der Schnittebenen wird bewusst gewählt: Bei kreislaufinstabilen Patienten ist der subkostale 4-Kammer-Blick am einfachsten einzustellen, da sich die Patienten meist in Rückenlage befinden. In dieser Schnittebene kann bereits ein hämodynamisch wirksamer Perikarderguss festgestellt werden und valide Aussagen über die LV- bzw. RV-Funktion getroffen werden [10]. Zur systematischen Beurteilung eines kardialen Low-Output-Versagens sollte zunächst festgestellt werden, ob eine erhaltene (LV-EF >50%) oder eine nichterhaltene LV-systolische Funktion (LV-EF <50%) vorliegt. Im ersten visuellen Eindruck lässt sich dies bereits in „normal/ausreichend“ vs. „eingeschränkt“ kategorisieren, wobei die positiv inotrope Wirkung von evtl. verabreichten Katecholaminen bedacht werden muss. Bei Patienten mit eingeschränkter LV-Ejektionsfraktion wird weiter differenziert in eine leicht (>45%), mittelgradig (45–30%) bzw. hochgradig eingeschränkte LV-EF (<30%).

Kardiales Low-Output-Versagen bei erhaltener LV-Funktion

Die vier wichtigsten Differenzialdiagnosen eines kardiogenen Schocks bei erhaltener LV-EF sind die Perikardtamponade, die rechtsventrikuläre Dysfunktion, akute Klappeninsuffizienz und die Aortendissektion.

Die Konzepte der echokardiographischen Notfalluntersuchung erfassen effizient zugrunde liegende Pathologien

Bei kreislaufinstabilen Patienten ist der subkostale 4-Kammer-Blick am einfachsten einzustellen

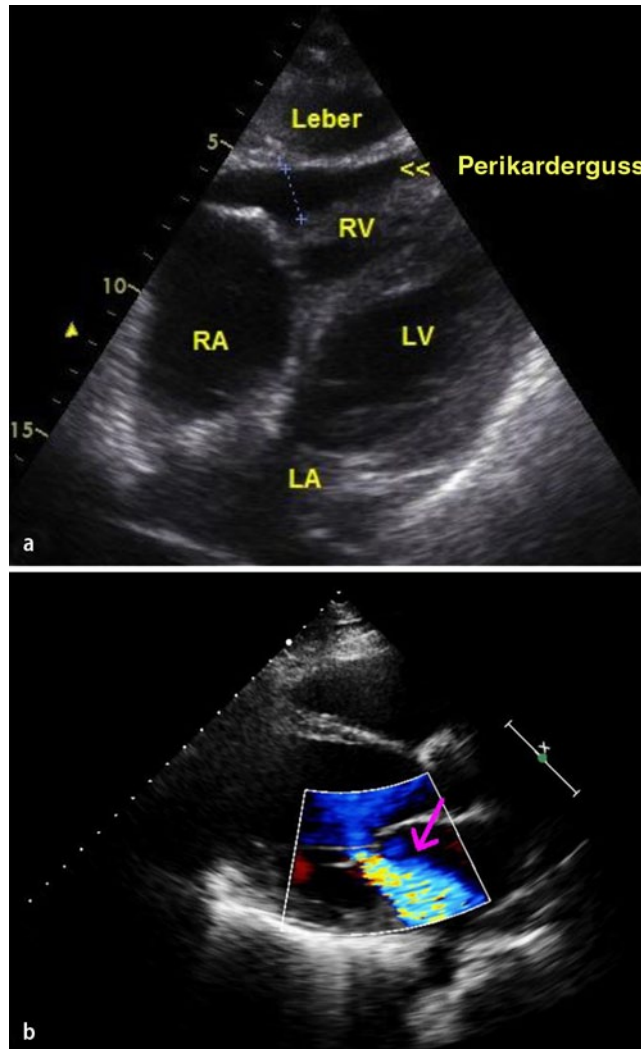


Abb. 2 ◀ **a** Kompression des rechten Ventrikels durch einen Perikarderguss, subkostaler 4-Kammer-Blick. **b** Mitralklappeninsuffizienzjet (Pfeil), parasternaler Längsschnitt. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RA rechtes Atrium, RV rechter Ventrikel

Perikardtamponade

In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass die Echokardiographie mit hoher Sensitivität und Spezifität die Diagnose eines Perikardergusses ermöglicht [3]. Ein Perikarderguss imponiert als echofreier/-armer Raum zwischen Epikard und Perikard. Die hämodynamische Relevanz des Perikardergusses ergibt sich primär aus der typischen Klinik wie obere Einflusstauung, Hypotonie, Tachykardie, Pulsus paradoxus und nur sekundär aus der Bildgebung. Die Pathogenese der klinisch erhobenen Befunde spiegelt sich funktionell-morphologisch im echokardiographischen Bild wider. Aufgrund der eingeschränkten Elastizität des Perikards kommt es zu einem **erhöhten intraperikardialen Druck** mit diastolischer Füllungsstörung des rechten Herzens („Niederdrucksystem“). Die intraperikardiale Druckerhöhung lässt sich als „hämodynamisch relevant“ in Form eines (Vorhof-) systolischen Kollaps des rechten Vorhofs und eines diastolischen Kollaps des rechten Ventrikels darstellen (▣ **Abb. 2a**).

Zu betonen ist, dass nicht alleine das Volumen eines Perikardergusses, sondern die Dynamik des Entstehens über die hämodynamische Relevanz entscheiden. Bei akut aufgetretenen Perikardergüssen genügen bereits 50 ml, um eine hämodynamische Instabilität zu bewirken, während bei chronischen Perikardergüssen bis zu 2 l toleriert werden [17]. Eine Messung der Ausdehnung im subkostalen oder apikalen Schnitt ist von therapeutischer Konsequenz. So stellen erst Ergüsse mit einem Ausmaß >2 cm diastolisch eine Klasse-I-Indikation zur Perikardiozentese dar [13]. Typisches morphologisches Korrelat eines großen Perikardergusses ist das „swinging heart“: ein im Erguss „schaukelndes“ Herz.

Die hämodynamische Relevanz des Perikardergusses ergibt sich primär aus der typischen Klinik

Die Dynamik des Entstehens ist entscheidend

Typisches morphologisches Korrelat eines großen Perikardergusses ist das „swinging heart“

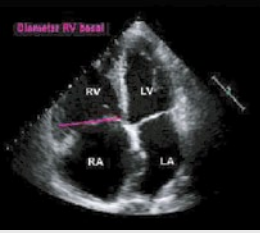
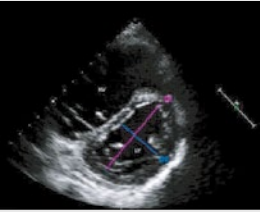
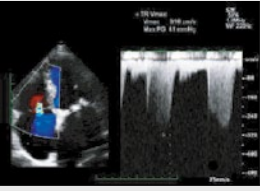
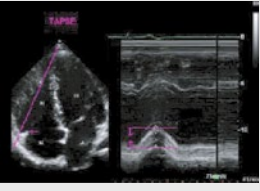
Zeichen	Merkmale	Echokardiografische Darstellung
RV-Dilatation	Basaler rechtsventrikulärer Durchmesser > 4,2 cm	
RV-Druckerhöhung	Inverse Septumbewegung	
	D-Shape Exzentrizitätsindex (D1:D2) > 1	
	Mäßig erhöhter pulmonalarterieller Druck	
Eingeschränkte RV-Funktion	TAPSE < 16 mm	
	McConnell Zeichen	Normo- bis Hyperkinesie des RV-Apex bei Hypokinesie der freien Wand

Abb. 3 ▲ Echokardiographische Zeichen einer Rechtsherzbelastung bzw. rechtsventrikulären (RV-)Dysfunktion. TAPSE „tricuspid anulular plane systolic excursion“

Rechtsventrikuläre Dysfunktion

Eine akut aufgetretene Rechtsherzbelastung kann u. a. durch einen **rechtsventrikulären Infarkt** oder eine **massive Lungenarterienembolie** verursacht werden. Typische Zeichen einer Rechtsherzbelastung/-dysfunktion sind (■ **Abb. 3**):

RV-Dilatation. Die RV-Dilatation lässt sich pathophysiologisch durch eine akute Zunahme des pulmonalen Gefäßwiderstandes mit konsekutiver Druckbelastung des rechten Ventrikels bei einer Lungenarterienembolie erklären. Ein nicht vorerkrankter rechter Ventrikel kann hierbei maximal einen mittleren pulmonalarteriellen Druck von 40 mmHg kompensieren [14]. Eine weitere Druckbelastung und eine, durch die Verlegung der pulmonalen Gefäßstrombahn bedingte, **mangelnde Oxygenierung des Blutes** mit Myokardischämie können ebenfalls zur RV-Dilatation führen.

Zur **Bestimmung der RV-Dimensionen** werden empfohlen [16]:

- Der basale RV-Durchmesser wird auf Höhe der Trikuspidalklappenebene im subkostalen oder apikalen 4-Kammer-Blick bestimmt.

Die RV-Dilatation lässt sich pathophysiologisch durch eine akute Zunahme des pulmonalen Gefäßwiderstandes erklären

Tab. 1 Abschätzung des rechtsatrialen Druckes anhand der Atemvariabilität und Weite der Vena cava inferior. (Adaptiert nach [16])

Rechtsatrialer Druck	Vena cava inferior
+3 (0–5) mmHg	Kollaps >50% + Weite ≤2,1 cm
+8 (5–10) mmHg	Kollaps <50% + Weite ≤2,1 cm oder Kollaps >50% + Weite >2,1 cm
+15	Kollaps <50% + Weite >2,1 cm

— Ein Wert >4,2 cm enddiastolisch ist als pathologisch zu werten [16].

Oft gelingt im Notfallsetting keine valide Darstellung des RV und damit auch keine Messung des basalen RV-Diameters. Ein visueller Größenvergleich des rechten mit dem linken Ventrikel kann hilfreich sein. Ein Größenverhältnis der Ventrikel >1:1 RV:LV ist als sicher pathologisch zu werten und mit einer erhöhten Mortalität bei Lungenarterienembolie assoziiert [6].

Ein Größenverhältnis der Ventrikel >1:1 RV:LV ist pathologisch

RV-Druckerhöhung. Die RV-Druckerhöhung, die indirekt dargestellt werden kann, erlaubt ebenfalls die Abschätzung der RV-Belastung (■ **Abb. 3**): Sie und die RV-Dilatation resultieren in einer Verlagerung des interventrikulären Septums nach links im Sinne einer **inversen Septumbewegung**. Dies lässt sich am besten im parasternalen Kurzachsenschnitt als „D-Shape“ („D“-Form) des LV visualisieren (■ **Abb. 3**; [14]). Quantifizieren lässt sich die Septumverlagerung über den „linksventrikulären Exzentrizitätsindex“ (■ **Abb. 1**), der bei einem Wert >1 als pathologisch zu deuten ist.

Ein linksventrikulärer Exzentrizitätsindex >1 ist pathologisch

Der RV-systolische Druck bzw. der **systolische Pulmonalarteriendruck** („systolic pulmonary arterial pressure“, SPAP) kann über die mit dem cw-Doppler gemessene maximale Regurgitationsgeschwindigkeit eines Trikuspidalklappeninsuffizienz-Jets (TRvelocity, „tricuspid regurgitation velocity“) abgeschätzt werden. Mithilfe der modifizierten Bernoulli-Gleichung (Druckgradient = $4 \times v^2$) und unter Abschätzung des rechtsatrialen Drucks (RAP, „right atrial pressure“, ■ **Tab. 1**) ergibt sich folgende Formel:

$$SPAP = 4 \times (TRvelocity)^2 + RAP$$

Ein SPAP >36 mmHg bei einem geschätzten rechtsatrialen Druck von 3–5 mmHg spricht für einen erhöhten RV-systolischen Druck

Ein SPAP >36 mmHg bei einem geschätzten rechtsatrialen Druck von 3–5 mmHg spricht für einen erhöhten RV-systolischen Druck [16]. Methodische Fehlerquellen sind neben einer inkorrekten Anlotung der Trikuspidalklappeninsuffizienz, eine fehlerhafte Abschätzung des RAP, die über die Beurteilung der Weite und Atemvariabilität der Vena cava inferior erfolgt ([16]; ■ **Tab. 1**)

Chronische und akute Rechtsherzbelastung lassen sich morphologisch kaum differenzieren. Die Bestimmung des SPAP kann helfen, eine Unterscheidung zu treffen. Eine nur mäßige systolische pulmonale Hypertonie (<60 mmHg) spricht für eine akute Rechtsherzbelastung, da ein akut belasteter rechter Ventrikel keine hohen Drücke generieren kann.

TAPSE wird als einfache Routinemessung zur Abschätzung der RV-Funktion empfohlen (Normalwert >16 mm)

Eingeschränkte RV-Funktion. Als drittes lässt sich eine RV-Dysfunktion über echokardiographische Zeichen einer eingeschränkten RV-Ejektionsfraktion darstellen (■ **Abb. 3**): Ein einfach zu bestimmender Parameter zur Einschätzung der rechtsventrikulären Funktion ist die „tricuspid anular plane systolic excursion“ (TAPSE). TAPSE repräsentiert die longitudinale Kontraktionsfunktion des RV, welche an der diastolisch-systolischen „Auslenkungsstrecke“ des lateralen Trikuspidalklappenannulus gemessen wird (M-Mode im 4-Kammer-Blick). Eine niedrige Interobserver-Variabilität und enge Korrelation mit der ermittelten Ejektionsfraktion konnten gezeigt werden [16]. Die amerikanischen Leitlinien empfehlen TAPSE als einfache Routinemessung zur Abschätzung der RV-Funktion mit einem Normalwert >16 mm [16].

Eine echokardiographische Besonderheit der RV-Dysfunktion bei Lungenarterienembolie stellt das **McConnell-Zeichen** dar: Normo- bis Hyperkinesie des RV-Apex bei Hypokinesie der freien Wand [18]. Zu beachten ist jedoch, dass auch ein rechtsventrikulärer Infarkt zur beschriebenen Wandbewegungsstörung führen kann.

Das Vorliegen der erläuterten echokardiographischen Kriterien des RV-Versagens haben bei einem hohen Risiko für das Vorliegen einer Lungenarterienembolie eine Sensitivität und Spezifität von nahezu 90% [14]. Somit kann eine Lungenarterienembolie als Genese eines kardiogenen Schockzustands bei echokardiographisch normaler RV-Funktion klinisch ausgeschlossen werden.

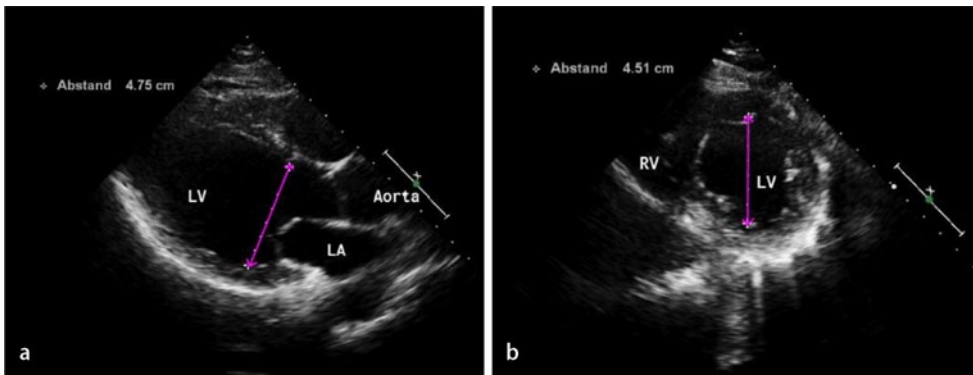


Abb. 4 ▲ Normale Diameter des linken Ventrikels im parasternalen **a** Längs- und **b** Querschnitt. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RV rechter Ventrikel

Akute Klappeninsuffizienz

Durch die Akuität der aufgetretenen Insuffizienz ist die LV-Funktion aufgrund der zeitlich fehlenden Akkomodationsmöglichkeit zunächst noch erhalten. Die Anwendung der Farbdopplerechokardiographie ist für die schnelle Diagnose unerlässlich. Für die Graduierung von Insuffizienzviten stehen wenig valide Methoden zur Verfügung, vor allem die Abschätzung der Regurgitationsfläche (z. B. bezogen auf die Vorhofgröße) hängt von der Einstellung vieler Geräteparameter (z. B. Farb-Gain), guter Visualisierung und auch vom aktuellen hämodynamischen Status des Patienten ab [20]. Auch die in der Praxis am häufigsten durchgeführte Messung der proximalen Jetbreite („Vena contracta“) ist wegen der hämodynamischen Abhängigkeit in ihrer Aussagekraft limitiert. Erschwerend kommt bei einer akut aufgetretenen Klappeninsuffizienz paradoxerweise im Farbdoppler oft nur ein geringgradig imponierender Jet zur Darstellung. Die, bei noch nicht dilatierendem kleinem linkem Ventrikel unterschätzte Jetfläche, die tachykardiebedingte kurze Regurgitationszeit sowie eine schlechte zeitliche Auflösung des Farbdopplers führen meist zur Unterschätzung des Schweregrades der Klappeninsuffizienz. Gerade in diesem Setting ist die **Messung der Vena contracta** im 4-Kammer-Blick ein verlässlicherer Parameter als die rein visuelle Abschätzung [20].

Nach Ausschluss anderer Ursachen bei bisher nicht bekanntem Vitium und typischer Klinik kann, trotz der Limitationen bezüglich Schweregradbeurteilung, bei Darstellung eines Regurgitationsjets (■ **Abb. 2b**) bei erhaltener LV-EF von einer akut aufgetretenen, relevanten Klappeninsuffizienz als Ursache für die hämodynamische Instabilität ausgegangen werden.

Aortendissektion

Eine Aortendissektion kann einhergehen mit

- einer akuten Aortenklappeninsuffizienz,
- einer Perikardtamponade und
- einem myokardialen Infarkt mit eingeschränkter Ejektionsfraktion.

Die Aorta ascendens lässt sich am besten im **parasternalen Längsschnitt** darstellen. Hierbei sollte auf ihre Weite (Normwert <40 mm), eine eventuell sichtbare Dissektionsmembran und eine Aortenklappeninsuffizienz geachtet werden. Die Sensitivität der Echokardiographie ist für die Diagnosestellung mit 78% [15] nicht ausreichend, allerdings kann bei typischer Klinik und Nachweis einer Klappeninsuffizienz und eines Perikardergusses bereits in der Notfalldiagnostik der hochgradige Verdacht geäußert werden.

Kardiales Low-Output-Versagen bei reduzierter LV-Funktion

Das Erkennen einer eingeschränkten LV-Funktion bei Patienten im kardialen Low-Output-Versagen ist vor allem bei einem akut-ischämischen Geschehen für das weitere therapeutische Prozedere und damit die Prognose entscheidend.

Die Anwendung der Farbdopplerechokardiographie ist für die schnelle Diagnose unerlässlich

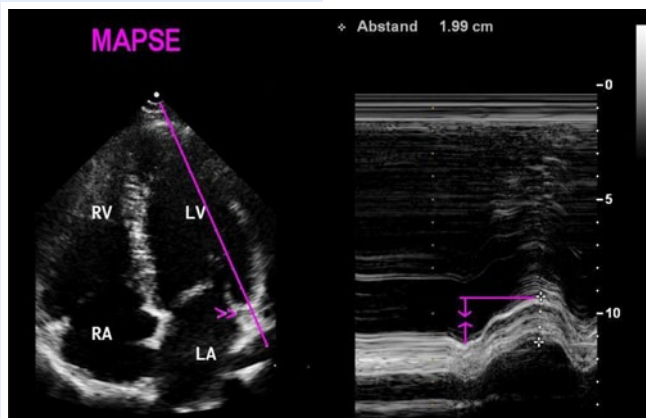


Abb. 5 ▲ Darstellung der longitudinalen „Kontraktilität“ durch Bestimmung der „mitral anular plane systolic excursion“ (MAPSE): M-Mode durch den lateralen Mitralklappenring im 4-Kammer-Blick. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RA rechtes Atrium, RV rechter Ventrikel

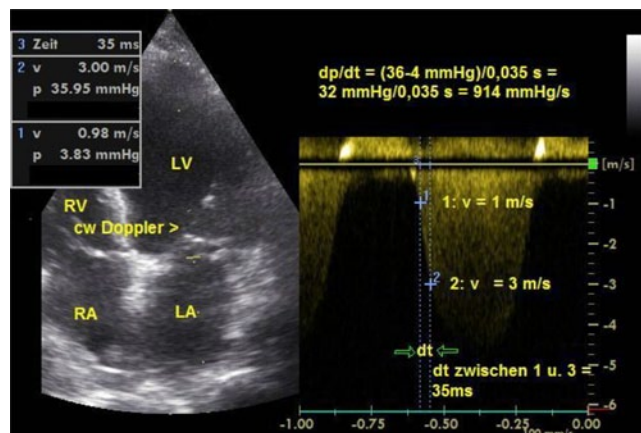


Abb. 6 ▲ Abschätzung der LV-Druckanstiegsgeschwindigkeit durch Quantifizierung von dp/dt : Mittels cw-Doppler wird „dt“ anhand des Mitralklappeninsuffizienz-Jets bestimmt: Zeit zwischen 1 mit einer Geschwindigkeit (v) von 1 m/s und 2 mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s, im Beispiel (3): 0,035 s. Der Druckgradient dp ergibt stets 32 mmHg. Somit errechnet sich im Beispiel $dp/dt = 32 \text{ mmHg}/0,035 \text{ s} = 914 \text{ mmHg/s}$. Eine automatisierte Berechnung ist in modernen Ultraschallgeräten möglich. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RA rechtes Atrium, RV rechter Ventrikel

Folgende drei echokardiographischen Parameter als Determinanten der LV-Funktion sollten in der Notfallsituation bei der Beurteilung des linken Ventrikels beachtet werden:

Dimension

Obwohl die LV-Größe häufig visuell abgeschätzt wird, ist es gerade für den unerfahrenen Untersucher aufgrund der Subjektivität und der hohen Interobserver-Variabilität hilfreich, eine quantitative Messmethode anzuwenden. Von den Leitlinien wird die Bestimmung des enddiastolischen LV-Innendurchmessers im parasternalen Längs- oder Querschnitt unmittelbar unterhalb des Mitralklappenannulus (Ansatz der Chordae tendineae) empfohlen (■ **Abb. 4**; [12]). Eine Alternative, die allerdings eine Visualisierung des Endokards voraussetzt, stellt die diastolische Flächenbestimmung des linken Ventrikels dar. „Hochgradig dilatiert“ entsprechen Werte >61 mm bzw. 130 ml bei Frauen und >68 mm bzw. 201 ml bei Männern [12].

Funktion

Die Abschätzung der Kontraktilität des Myokards erfolgt echokardiographisch über die **Einwärtsbewegung des Endokards** und die **myokardiale Verdickung**. Der Schwerpunkt einer Notfalluntersuchung liegt primär in der Erfassung der globalen LV-Ejektionsfraktion und hierbei in einer schnellen Differenzierung „normal“ vs. „eingeschränkt“ [11]. Eine weitere Differenzierung erfolgt in eine leichtgradige (>45%), mäßiggradig (30–44%) und schwer eingeschränkte LV-EF (<30%). Die schnellste in der Notaufnahme einsetzbare Methode ist eine rein visuelle Einschätzung der LV-Ejektionsfraktion in allen Schnittebenen: die **„Eyeball-Methode“** mit nachfolgend semiquantitativer Graduierung (leichte [>45%], mittelgradig [30–44%], hochgradig [<30%] Einschränkung). Trotz der offensichtlichen Nachteile wie fehlendes visuelles Training des Untersuchers konnte in Studien zumindest eine zufriedenstellende und damit für das akute Setting ausreichende Intra- und Interobserver-Reproduzierbarkeit gezeigt werden [19].

Das von den Leitlinien als Methode der Wahl empfohlene Verfahren zur Berechnung der EF ist die **Bestimmung nach Simpson**, bei der sich die LV-EF aus den enddiastolischen und endsystolischen LV-Volumina ergibt [12]. Voraussetzung ist eine gute Visualisierung des Endokards sowohl im 4-Kammer- als auch im 2-Kammer-Blick, welche beim kritisch Kranken häufig eingeschränkt sind.

Die EF ist bezüglich ihrer Aussagekraft in Hinsicht auf kardialen Output und Kontraktilität durch ihre Abhängigkeit von Vor- und Nachlast nur eingeschränkt präzise [4]. Zwei einfach zu bestimmende Parameter können hier angewandt werden: Eine Einschätzung der globalen LV-Funktion kann

Der enddiastolische LV-Innendurchmesser ist unmittelbar unterhalb des Mitralklappenannulus zu bestimmen

Der Untersuchungsschwerpunkt liegt in der Differenzierung der globalen LV-Ejektionsfraktion „normal“ vs. „eingeschränkt“

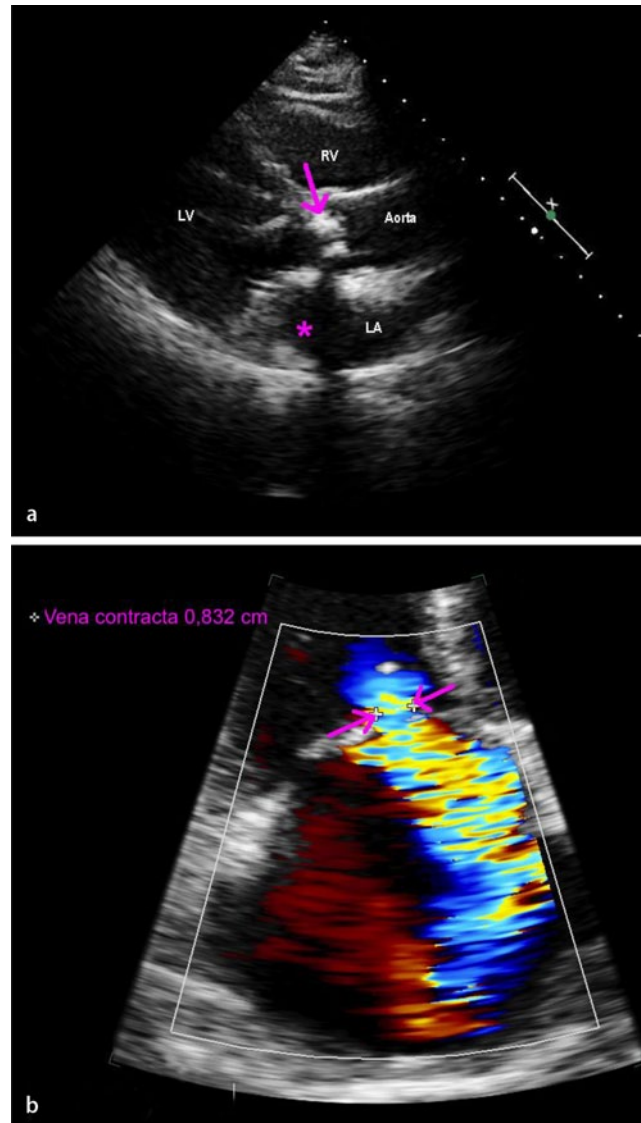


Abb. 7 ▶ **a** Stark sklerosierte Aortenklappe (Pfeil) mit dorsaler Schallauslöschung (*) im parasternalen Längsschnitt. **b** Abmessung der Vena contracta bei Trikuspidalklappeninsuffizienz. LA linkes Atrium, LV linker Ventrikel, RV rechter Ventrikel

ähnlich wie bei der RV-Funktion (s. oben) über die systolisch-diastolische Auslenkung des lateralen Mitralklappenannulus erhoben werden („mitral anular plane systolic excursion“, **MAPSE**; ■ **Abb. 5**). Bei einem Wert <12 mm ist mit einer 90%igen Sensitivität und 88%igen Spezifität von einer LV-EF $<50\%$ auszugehen [5].

Die LV-Kontraktilität kann auch durch den Quotienten dp/dt (delta pressure/delta time) abgeschätzt werden. Dieser spiegelt vereinfacht die Fähigkeit des LV wider, Druck über die Zeit während der isovolumetrischen Kontraktion (frühe Systole) aufzubauen. Da dp/dt zeitlich gesehen vor dem Öffnen der Aortenklappe ermittelt wird, ist er, im Gegensatz zur EF, unabhängig von der Nachlast. Die Druckänderung im LV wird indirekt über die Geschwindigkeit eines Mitralklappeninsuffizienz-Jets errechnet. Das Zeitintervall (dt) in Millisekunden entspricht der Zeit, die vergeht zwischen einer Jetgeschwindigkeit von 1 m/s und 3 m/s. Delta pressure ergibt über die modifizierte Bernoulli-Gleichung stets einen Wert von 32 mmHg (36 mmHg (dp bei $v=3$ m/s) – 4 mmHg (dp bei $v=1$ m/s); ■ **Abb. 6**). Ein Quotient <1000 mmHg/s weist mit einer 84%igen Genauigkeit auf eine LV-Dysfunktion hin [1].

Klappen

Chronisch vorhandene Klappenvitien können ebenso wie akut ischämische Ereignisse zu einer eingeschränkten LV-Funktion führen. Ausführliche **Doppleruntersuchungen** mit Schweregradbeurtei-

Der dp/dt -Quotient ist unabhängig von der Nachlast

Ein $dp/dt <1000$ mmHg/s weist mit einer 84%igen Genauigkeit auf eine LV-Dysfunktion hin

Hinweisend auf höhergradige Stenosen sind visuell eingeschränkte Klappenseparation und verstärkte Sklerosierung

lung sind beim instabilen Patienten nicht zielführend. Dennoch kann auch der weniger erfahrene Untersucher durch Darstellung von Morphologie und Beweglichkeit einer Klappe eine Verdachtsdiagnose äußern. Hinweisend auf höhergradige Stenosen sind, neben dem typischen Auskultationsbefund, visuell eingeschränkte Klappenseparation und verstärkte Sklerosierung (■ **Abb. 7a**). Außerdem sollte auf sekundäre Folgen wie LV-Hypertrophie bei der Aortenklappenstenose und linksatriale Dilatation bei der Mitralklappenstenose geachtet werden.

Die Darstellung von Insuffizienzvitiolen erfolgt, wie bereits geschildert, mittels Farbdopplerechokardiographie durch Bestimmung der proximalen Jetbreite (Vena contracta, ■ **Abb. 7b**). Die ergänzende Durchführung einer transösophagealen Echokardiographie kann z. B. bei akuter Mitralklappeninsuffizienz im Rahmen eines Sehnenfadenabrisses für die ätiologische Abklärung und auch für die weiteren therapeutischen Schritte richtungswisend sein.

Fazit für die Praxis

- Die Echokardiographie ist bei Notfallpatienten mit hämodynamischer Instabilität oder Schock die zentrale Methode zur raschen Diagnosestellung eines kardialen Low-Output-Versagens. Die vorgesehenen Standardschnitte müssen von einem in der Notaufnahme tätigen Erstversorger beherrscht werden.
- Ein systematisches Vorgehen mit einer primären Unterscheidung in erhaltene vs. nichterhaltene linksventrikuläre Ejektionsfraktion ist essenziell.
- Wichtigste Differenzialdiagnosen bei erhaltener linksventrikulärer Ejektionsfraktion sind die Perikardtamponade und die Rechtsherzdysfunktion bei akuter Lungenarterienembolie.
- Das Kontraktionsvermögen des Myokards definiert sich echokardiographisch über eine Einwärtsbewegung des Endokards und eine Verdickung des Myokards.
- Einfache zu bestimmende Parameter (MAPSE, dp/dt) erleichtern neben der „Eyeball-Methode“ die Abschätzung der linksventrikulären Ejektionsfraktion bzw. Kontraktilität.
- Klappen sollten morphologisch und mittels Farbdopplerechokardiographie kurz beurteilt werden.

Korrespondenzadresse



Dr. J. Schmidt

Klinik für Notfall- und Internistische Intensivmedizin,
Klinikum Nürnberg
Prof.-Ernst-Nathan-Str. 1, 90419 Nürnberg
julia.schmidt@klinikum-nuernberg.de

Interessenkonflikt. Die korrespondierende Autorin gibt für sich und ihre Koautoren an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Alvarez López M, Alcalá López JE, Bañ Mellado O et al (1997) Usefulness of the Doppler index delta P/delta t in the evaluation of left ventricular systolic dysfunction. *Rev Esp Cardiol* 50:105–110
2. Breikreutz R, Walcher F, Seeger FH (2007) Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit Care Med* 35(5 Suppl):150–161
3. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP et al (2003) ACC/AHA/AASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/AASE Committee to Update the 1997 Guid. *J Am Soc Echocardiogr* 16:1091–1110
4. Dittoe N, Stultz D, Schwartz BP, Hahn HS (2007) Quantitative left ventricular systolic function: from chamber to myocardium. *Crit Care Med* 35(8 Suppl):330–339
5. Elnamany MF, Abdelhameed AK (2006) Mitral annular motion as a surrogate for left ventricular function: correlation with brain natriuretic peptide levels. *Eur J Echocardiogr* 7:187–198
6. Frémont B, Pacouret G, Jacobi D et al (2008) Prognostic value of echocardiographic right/left ventricular end-diastolic diameter ratio in patients with acute pulmonary embolism: results from a monocenter registry of 1,416 patients. *Chest* 133:358–362
7. Graf AGJ, Janssens GHU, Prondzinsky BMPR et al (2011) Deutsch-österreichische S3-Leitlinie „Infarktbedingter kardiogener Schock – Diagnose, Monitoring und Therapie“. *Intensivmed Notfmed* 48:291–344

8. Hochman JS, Boland J, Sleeper LA et al (1995) Current spectrum of cardiogenic shock and effect of early revascularization on mortality. Results of an International Registry. SHOCK Registry Investigators
9. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB (2004) Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 21:700–707
10. Joseph MX, Disney PJS, Da Costa R, Hutchison SJ (2004) Transthoracic echocardiography to identify or exclude cardiac cause of shock. *Chest* 126:1592–1597
11. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M et al (2010) Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr* 23:1225–1230
12. Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al (2005) Recommendations for chamber quantification: a report from the American society of echocardiography's guidelines and standards committee and the chamber quantification writing group, developed in conjunction with the European association of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 18:1440–1463
13. Maisch B, Seferović PM, Ristić AD et al (2004) Guidelines on the diagnosis and management of pericardial diseases executive summary; the task force on the diagnosis and management of pericardial diseases of the European society of cardiology. *Eur Heart J* 25:587–610
14. Matthews JC, McLaughlin V (2008) Acute right ventricular failure in the setting of acute pulmonary embolism or chronic pulmonary hypertension: a detailed review of the pathophysiology, diagnosis, and management. *current cardiology reviews*. 4:49–59
15. Nienaber CA, Von Kodolitsch Y, Nicolas V et al (1993) The diagnosis of thoracic aortic dissection by noninvasive imaging procedures. *N Engl J Med* 328:1–9
16. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J et al (2010) Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 23:685–713
17. Spodick DH (2003) Acute cardiac tamponade. *N Engl J Med* 349:684–690
18. Torbicki A, Perrier A, Konstantinides S et al (2008) Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism: the task force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 29:2276–2315
19. Van Royen N, Jaffe CC, Krumholz HM et al (1996) Comparison and reproducibility of visual echocardiographic and quantitative radionuclide left ventricular ejection fractions. *Am J Cardiol* 77:843–850
20. Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E et al (2003) Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 16:777–802



CME.springer.de wird zur e.Akademie

Die e.Akademie von Springer Medizin ist die Weiterentwicklung von CME.springer.de und bietet Ihnen ein noch umfassenderes und moderneres Fortbildungsangebot: Mehr als 1500 Fortbildungsmodule, neue e.Learningformate und multimediale Elemente machen Ihre Fortbildung und das Sammeln von CME-Punkten noch flexibler und komfortabler.

e.CME: Als Zeitschriftenabonnent stehen Ihnen in der e.Akademie nach wie vor alle zertifizierten Fortbildungsbeiträge Ihrer Zeitschrift als e.CME zur Verfügung. Darüber hinaus haben Sie künftig die Möglichkeit, Beiträge Ihrer Zeitschrift, deren Zertifizierungszeitraum abgelaufen ist, weiterhin für Ihre Fortbildung und persönlichen Wissenscheck zu nutzen.

► Der direkte Weg zur e.Akademie unter springermedizin.de/eAkademie

Nutzer von e.Med, dem Springer Medizin Online-Paket, profitieren vom vollen Leistungsumfang der e.Akademie: Mehr als 1500 e.CMEs aus den wichtigsten medizinischen Fachgebieten werden ergänzt durch die neuen e.Learningformate e.Tutorial und e.Tutorial plus.

Das e.Tutorial ist speziell für die Online-Fortbildung konzipiert und didaktisch optimiert. Klar gegliederte Lernabschnitte, besondere Hervorhebung von Merksätzen, zoomfähige Abbildungen und Tabellen sowie verlinkte Literatur erleichtern das Lernen und den Erwerb von CME-Punkten.

Das e.Tutorial.plus bietet multimedialen Zusatznutzen in Form von Audio- und Videobeiträgen, 3D-Animationen, Experteninterviews und weiterführende Informationen. CME-Fragen und Multiple-Choice-Fragen innerhalb der einzelnen Lernabschnitte ermöglichen die Lernerfolgskontrolle.

► Weitere Informationen zum e.Med-Komplettpaket und Gratis-Testangebot unter springermedizin.de/eMed

Bitte beachten Sie:

- Teilnahme nur online unter:
springermedizin.de/eAkademie
- Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online individuell zusammengestellt.
- Es ist immer nur eine Antwort möglich.

CME-Fragebogen

kostenfreie Teilnahme am e.CME
für Zeitschriftenabonnenten

? Welches klinische Zeichen spricht für ein hämodynamisch wirksames kardiales Low-Output-Versagen?

- Pulmonale Rasselgeräusche
- Hypotonie
- Tachykardie
- Verlängerte Rekapillarierungszeit
- Gestaute Halsvenen

? Welcher kardiologische Standardschnitt ist kein Bestandteil einer Notfallechokardiographie?

- 5-Kammer-Blick
- Parasternaler Querschnitt
- 4-Kammer-Blick
- Parasternaler Längsschnitt
- Subkostaler Schnitt

? Welcher Parameter wird laut den amerikanischen Leitlinien zur Abschätzung der rechtsventrikulären Funktion empfohlen?

- Exzentrizitätsindex
- D-Shape
- Basaler rechtsventrikulärer Durchmesser
- McConnell-Zeichen
- Tricuspid anular plane systolic excursion (TAPSE)

? Welche Aussage zum Perikarderguss trifft zu?

- Die hämodynamische Relevanz lässt sich aus der Echokardiographie schließen.
- Das „swinging heart“ ist typisch für einen großen Erguss.
- Ein akut entstandener kleiner Erguss ist weniger schnell hämodynamisch wirksam als ein großer, chronischer Erguss.
- Jeder hämodynamisch wirksame Erguss sollte, unabhängig von der Größe, sonographisch gesteuert punktiert werden, um den Patienten rasch zu stabilisieren.
- Durch die Kompression von außen kommt es primär zu einem systolischen Versagen des rechten Ventrikels

? Welche Aussage zur akuten Klappeninsuffizienz trifft *nicht* zu?

- Die Ursache kann eine akute Aortendissektion sein.
- Die linksventrikuläre Funktion ist meist erhalten.
- Für die Graduierung stehen wenig valide Methoden zu Verfügung.
- Eine weiterführende Diagnostik (z. B. transösophageale Echokardiographie) sollte bei Verdacht auf akute Klappeninsuffizienz durchgeführt werden.
- Die Darstellung im Farbdoppler gelingt meistens wegen des breiten Regurgitationsjets gut.

? Was trifft für die akute Aortendissektion zu?

- Die transthorakale Echokardiographie ist, da schnell durchführbar, das Diagnostikum der Wahl.
- Die Darstellung eines Perikardergusses kann auf eine akute Aortendissektion hinweisen.
- Die linksventrikuläre Funktion bleibt erhalten, da der Pathomechanismus die Aorta betrifft.
- Eine Aortenklappeninsuffizienz ohne thorakale Beschwerden spricht gegen eine Aortendissektion.
- Mittels transthorakaler Echokardiographie kann der Aortenbogen gut dargestellt werden.

? Welcher Parameter unterstützt *nicht* die Beurteilung der linksventrikulären Funktion?

- Simpson
- Mitral anular plane systolic excursion (MAPSE)
- dp/dt
- Eyeball-Methode
- Tricuspid anular plane systolic excursion (TAPSE)

? Welche Aussage trifft zur Beurteilung des rechtsventrikulären Drucks mittels Echokardiographie zu?

- Intrakavitäre Drücke lassen sich direkt mittels cw-Doppler ableiten.
- Der mittlere pulmonalarterielle Druck kann über die Bestimmung der Geschwindigkeit eines Trikuspidalklappen-Regurgitationsjets abgeschätzt werden.
- Zur Abschätzung des rechtsatrialen Drucks für die Berechnung des systolischen pulmonalarteriellen Drucks ist die Darstellung der Vena cava inferior sinnvoll.
- Eine akute Lungenarterienembolie bei vorher kardial gesunden Patienten erzeugt typischerweise einen sehr hohen, systolischen Druck im rechten Ventrikel.
- Die Abschätzung des rechtsatrialen Drucks erfolgt über die Größenbestimmung des rechten Vorhofes.

? Welche echokardiographisch erhobenen Befunde sprechen für eine rechtsventrikuläre Druckbelastung?

- TAPSE >16 mm
- D-Shape
- Basaler rechtsventrikulärer Parameter <4,2 cm
- Inverse Septumbewegung mit Abflachung des Septums vor allem diastolisch
- Linksventrikulärer Exzentrizitätsindex <1

? Welche Aussage zur echokardiographischen Beurteilung der linksventrikulären Funktion trifft zu?

- Die Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion nach Simpson ist wegen der im Notfallsetting schwierigen Visualisierung der Endokardgrenze oft nicht durchführbar.
- Methode der Wahl zur Bestimmung der linksventrikulären Funktion ist „MAPSE“.
- Mittels der notfallmäßig durchgeführten Echokardiographie werden alle Wandabschnitte des linken Ventrikels erfasst. Somit kann eine valide Aussage bezüglich regionaler Wandbewegungsstörungen getroffen werden.
- Eine echokardiographische Untersuchung sollte mit dem apikalen 4-Kammer-Blick begonnen werden, da dieser Schnitt im Notfallsetting am einfachsten einzustellen ist.
- Die Abschätzung der Kontraktilität definiert sich in der transthorakalen Echokardiographie durch die erhaltene Ejektionsfraktion des linken Ventrikels.

Diese zertifizierte Fortbildung ist 12 Monate auf springermedizin.de/eAkademie verfügbar. Dort erfahren Sie auch den genauen Teilnahmechluss. Nach Ablauf des Zertifizierungszeitraums können Sie diese Fortbildung und den Fragebogen weitere 24 Monate nutzen