

Merke

Was für den fokussierten Herzultraschall (FoCUS) in Kap. 9 formuliert, gilt uneingeschränkt auch für die Notfallechokardiografie: Die kardiale Sonografie ersetzt nicht eine systematische Echokardiografie des Kardiologen. FoCUS und Notfallechokardiografie helfen, Fragen in der Akutmedizin sofort und „bedside“ zu beantworten. Aber immer wieder sind für Notfallmediziner, Intensivmediziner und Anästhesisten Befunde nicht schlüssig. Dies zu akzeptieren und den Rat eines Experten/Kardiologen einzuholen, ist auch die Aufgabe der kardialen Sonografie.

14.1.3 Literatur

- [178] Ayuela Azcarate JM et al. Role of echocardiography in the hemodynamic monitoring of critical patients. *Med Intensiva* 2012; 36 (3): 220–232
- [179] Fagley RE et al. Critical care basic ultrasound learning goals for American anesthesiology critical care trainees: recommendations from an expert group. *Anesth Analg* 2015; 120: 1041–1053
- [180] Hagendorff A et al. Empfehlungen zur Notfallechokardiographie. *Kardiologe* 2014; 8: 45–64
- [181] Kapos I, Tanner FC. Value of echocardiography in differentiation of acute dyspnoea. *Kardiovaskuläre Medizin* 2017; 20 (6): 146–153
- [182] Lancellotti P et al. The use of echocardiography in acute cardiovascular care: Recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the Acute Cardiovascular Care Association. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 2015; 16: 119–146
- [183] Neskovic AN et al. Emergency echocardiography: the European Association of Cardiovascular Imaging recommendations. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging* 2013; 14: 1–11
- [184] Porter TR et al. Guidelines for the use of echocardiography as a monitor for therapeutic intervention in adults: a report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2015; 28: 40–56

14.2 Doppler/Messungen – Herzphysiologie

D. von Ow

Die Echokardiografie kann nicht invasiv und direkt am Patientenbett anatomisch-funktionelle Informationen zum Herz sowie pathophysiologische Erkenntnisse der Hämodynamik liefern. Sie hat für Notfallpatienten große Bedeutung in der Diagnostik und im Monitoring. Dazu werden in der Notfallechokardiografie neben dem B-Bild verschiedene (Mess-)Techniken verwendet, die in diesem Kapitel vorgestellt werden.

14.2.1 Funktionelle Anatomie und Hämodynamik

Funktionelle Anatomie

Die Herzbasis ist am Venenkreuz, bestehend aus den 4 Pulmonalvenen (RUPV, RLPV, LUPV, LLPV), der Vena cava superior (VCS) und inferior (VCI), befestigt (► Abb. 14.1a). Das Venenkreuz seinerseits ist bindegewebig im hinteren Mediastinum, ventral des Ösophagus und der Trachea, fixiert. Die Herzklappen liegen annähernd in einer Ebene, welche sich dynamisch mit der wechselnden Füllung der Vorhöfe (RA, LA) und Kammern (RV, LV) – siehe Systole und Diastole – verschiebt. Diese sogenannte Ventilebene (► Abb. 14.1b) trennt RV und LV von RA und LA. Die Segelklappen (TV, MV) werden von einem Anulus fibrosus umgeben; die Taschenklappen (PV, AV) sind auch durch einen bindegewebigen Faserring eingfasst. Durch die zentrale und sehnige Verbindung dieser Faserringe entsteht das sogenannte Herzskelett. Das Herzskelett ist die „gemeinsame Sehne“, d. h. der Ansatz für die Herzmuskulatur der Kammern und Vorhöfe (► Abb. 14.1c). Von hier und nach hier ziehen spiralig die Herzmuskel-Faserbündel. Diese spiralige Anordnung hat zur Folge, dass sich das Myokard in 3 Richtungen kontrahiert (► Abb. 14.1d):

- longitudinal (Längsverkürzung)
- radial/konzentrisch (Einwärtsbewegung)
- tangential (Rotationsbewegung)

Diastole – Hämodynamik

Sie beginnt nach Beendigung der Kammerkontraktion (RV, LV), sobald die Taschenklappen (PV, AV) geschlossen sind. Es folgt wieder eine kurze Zeitspanne, in der alle 4 Klappen geschlossen bleiben, die sogenannte isovolumentrische Erschlaffung (IVRT). Sobald sich das Kammermyokard gedehnt/erweitert hat (Elastic Recoil), öffnen sich die Segelklappen (TV, MV) und die Ventilebene bewegt sich Richtung Venenkreuz zurück. Die Ventilebene stülpt sich sozusagen über das Blutvolumen der Vorhöfe (RA, LA). Zuletzt folgt die Vorhofskontraktion, die eine zusätzliche Ventrikelfüllung bewirkt und damit die Ventilebene noch etwas weiter von der Herzspitze entfernt.

Im EKG dauert die Diastole vom Ende der T-Welle bis zur R-Spitze (des QRS-Komplexes) (► Abb. 14.2).

Systole – Hämodynamik

Sobald die Segelklappen (TV, MV) geschlossen werden, beginnt die Kammerkontraktion. Das anteriore Mitralsegel (ALPPM) verändert den linken Ventrikel dynamisch vom Einflustrakt (LVIT) zum Ausflustrakt (LVOT), der durch das ALPPM und das anteriore Septum gebildet wird. Die Sehnenfäden und die PPM verhindern ein Durchschlagen der Klappensegel (TV, MV) in die Vorhöfe (RA, LA). Es folgt eine kurze Zeit, während der alle Klappen geschlossen bleiben, die sogenannte isovolumentri-

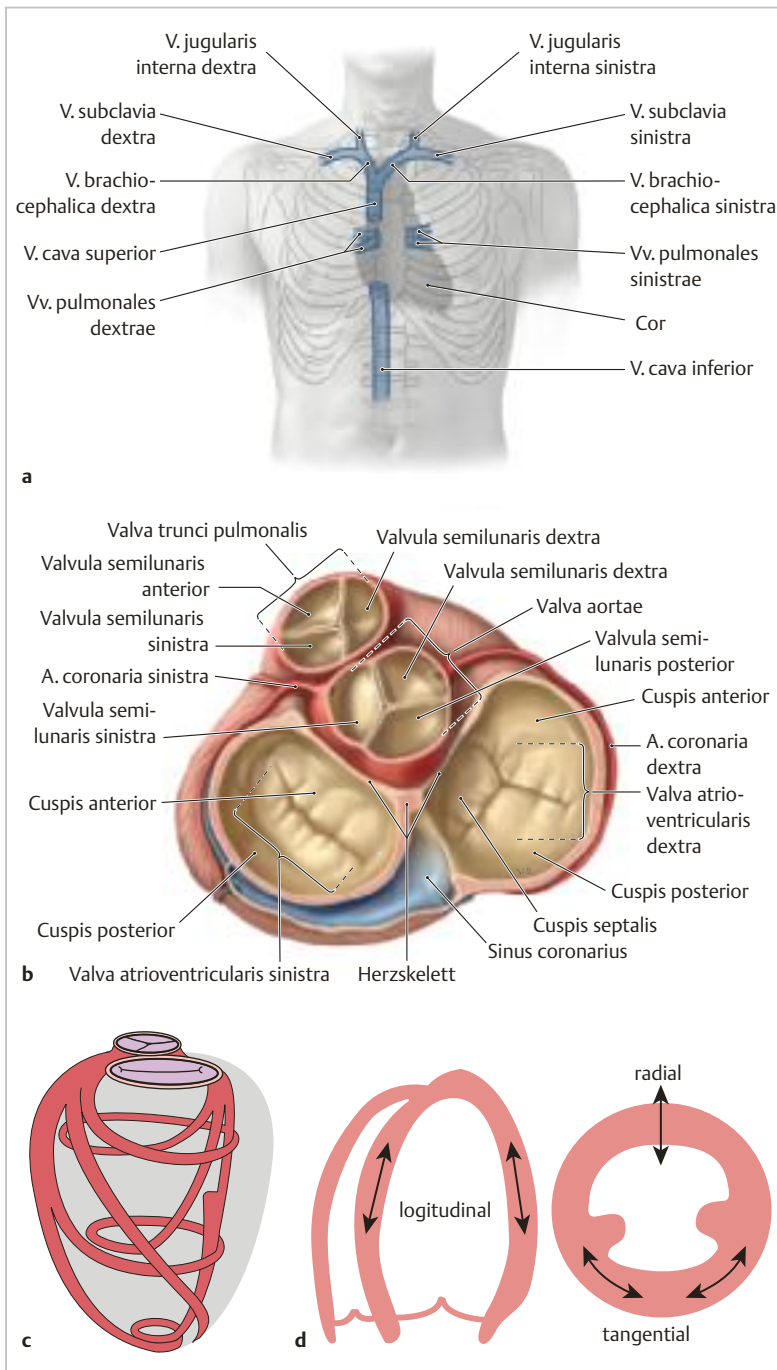


Abb. 14.1 Funktionelle Herzanatomie.

- a** Von links und rechts münden meist jeweils zwei Vv. pulmonales in den linken Herzvorhof. Zusammen mit den beiden Vv. cavae (hier zur Übersicht mit dargestellt) bilden sie das (asymmetrische) „Venenkreuz“ im Thorax. (Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernAtlas - Innere Organe. Illustrationen von M. Voll und K. Wesker. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Thieme; 2009)
- b** Herzklappen im Überblick (Ventilebene und Herzskelett. (Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Innere Organe. Illustrationen von M. Voll und K. Wesker. 4. Auflage. Thieme; 2015)
- c** Myokardskelett: Ursprung und Ansatz an der Ventilebene, dem Herzskelett.
- d** Kontraktionsrichtungen im LV-Myokard: longitudinal, radial, tangential.

sche Kontraktionszeit (IVCT). Dann verkürzt sich das kontrahierende Kammermyokard (RV, LV), die Ventilebene bewegt sich gegen den Apex. Das führt auch zur Erweiterung der am Venenkreuz aufgehängten Vorhöfe (RA, LA).

Im EKG dauert die Systole von der R-Spitze bis zum Ende der T-Welle (► Abb. 14.2).

Druck – Volumen – Häodynamik

Rechtes und linkes Herz arbeiten gleichsinnig, d.h. annähernd synchron. Der RV pumpt Blut in den Lungenkreislauf, das Niederdrucksystem; der LV pumpt Blut in den Systemkreislauf, das Hochdrucksystem. Also haben die beiden Ventrikel verschiedene Eigenschaften (► Tab. 14.2). Der dünnwandige RV kann bei geringer Stei-

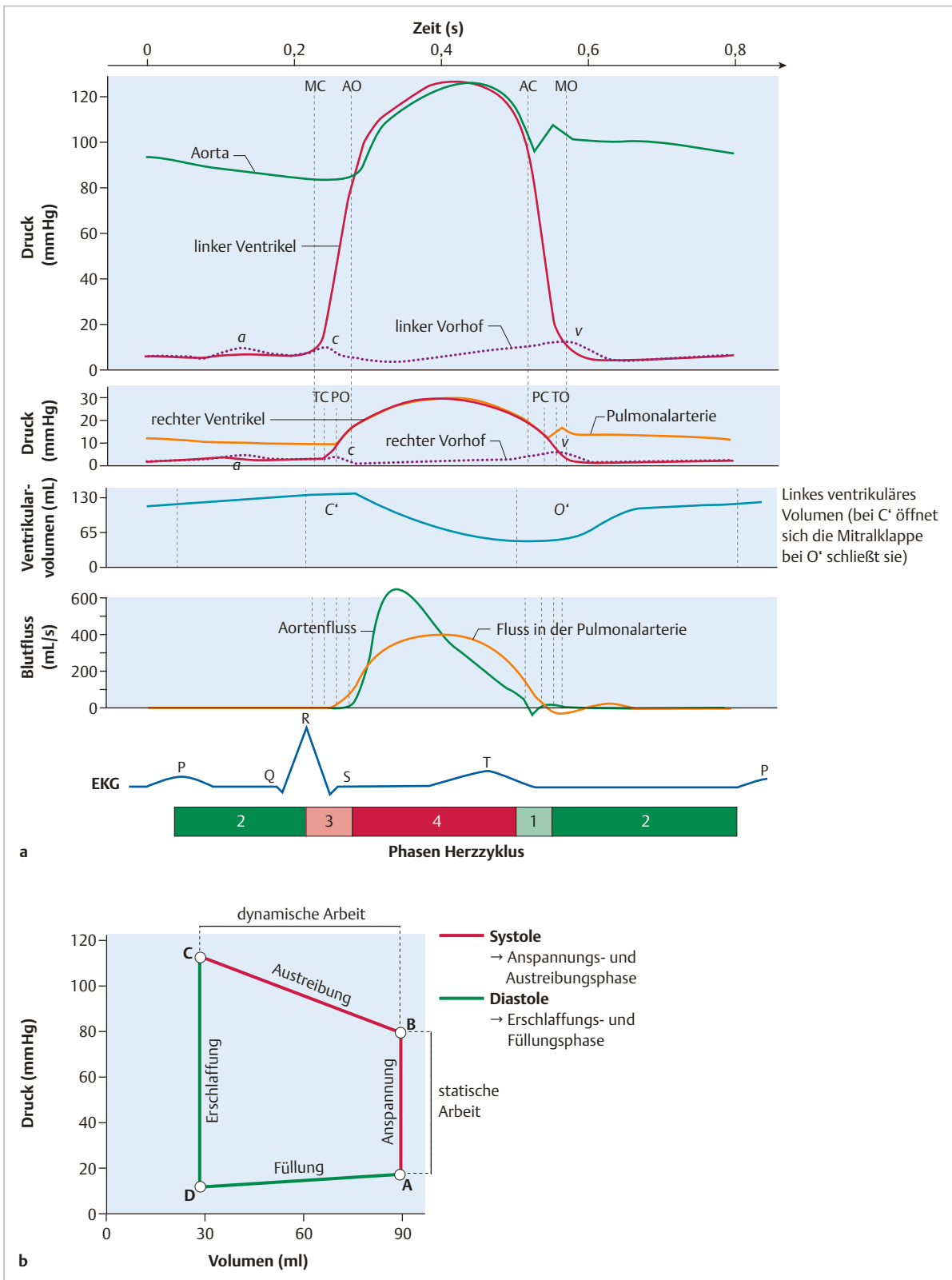


Abb. 14.2 Druck – Volumen – Hämodynamik.

a Druckkurven von RA, RV, LA und LV in Bezug zum EKG (= Zeitachse).

b Druck-Volumen-Kurve des LV. Erschlaffung: Der LV-Druck fällt unter den Ao-Druck → MVC, AVC; IVRT. Füllung: Der LV-Druck fällt durch seine Erschlaffung unter den LA-Druck → MV wird geöffnet: frühe und passive (E) LV-Füllung, späte und aktive (A, Vorhofkontraktion) LV-Füllung. Anspannung: Sobald der LV-Füllungsdruck (LVEDP, Preload) größer wird als der LA-Druck → MVC, AVC; IVCT. Austreibung: Sobald der LV-Druck den diastolischen Ao-Druck (Afterload) überschritten hat → AVO. Während dieser Phase steigt initial der LV-Druck weiter und fällt dann wieder ab → neuer Zyklus: siehe Erschlaffung.

Tab. 14.2 Funktionelle Eigenschaften RV – LV im Vergleich.

Parameter	RV – Niederdrucksystem	LV – Hochdrucksystem
Myokarddicke	RVFW < 5 mm	LVPW < 10–12 mm
Compliance	hoch	niedrig
Afterload	PAP 25 mmHg	AoP 120 mmHg

AoP: Aortendruck, LVPW: LV-posteriore Wand, PAP: pulmonalerterieller Druck, RVFW: RV-freie Wand

gerung des pulmonalarteriellen Druckes (PAP, Afterload) das Schlagvolumen (SV) nicht aufrechterhalten; der LV, mit seinem kräftigen Myokard, kann sich auch an hohe Systemdrücke (Afterload) adaptieren.

Trotz unterschiedlicher Spezifikationen arbeiten beide Ventrikel nach dem gleichen Prinzip: Diastole mit Erschlaffung und Füllung, Systole mit Anspannung und Austreibung. Diese 2 bzw. 4 Phasen charakterisieren auch die Druck-Volumen-Kurve des Herzens (► Abb. 14.2).

Die Beurteilung der Herzfunktion und der Hämodynamik kann mithilfe folgender Messmethoden unterstützt oder verbessert werden:

- Längen und Flächen (D, A)
- M-Mode (MM)
- Gewebedoppler (TDI)
- PW-Doppler (PW)
- CW-Doppler (CW)
- Farbdoppler (CFD)

Für die korrekte Messung von Längen oder Flächen, des M-Mode und aller Doppler-Kurven ist die exakte Abgrenzung von Systole und Diastole wichtig. Deshalb soll in der Notfallechokardiografie eine EKG-Ableitung mitregistriert werden. Bei normalem QRS-Komplex endet die Diastole mit der R-Zacke (enddiastolisch) und die Systole mit dem Ende der T-Welle (endsystolisch) (► Abb. 14.2a). Wichtig sind auch exakt auf die erwähnten Messungen ausgerichtete Presets. So kann z. B. durch Verkleinern des B-Bild-Sektors die Auflösung und Wiederholungsrate (Frame Rate, FR) verbessert werden.

14.2.2 Längen-, Flächenmessungen und M-Mode

RAD, RAA, LAD, LAA, RVIDd, LVIDd

Volumenmessungen, bezogen auf die Körperoberfläche, sind der Goldstandard zur Einschätzung der Vorhofs- und Kammerdimensionen. In der Akutsituation sind die Bedingungen (Zeit, Lagerung etc.) oft eingeschränkt; die Messung von Längen oder Flächen muss schnell erfolgen und ergibt beim Notfallpatienten ausreichend gute Resultate.

Indikation und Fragestellung

In der Notfallechokardiografie kann die visuelle Beurteilung der Dimensionen von RA, RV, LA und LV mithilfe von Längen- bzw. Flächenmessungen quantifiziert werden (► Abb. 14.3). Fragestellungen: RA, LA und/oder RV, LV normal groß, vergrößert oder verkleinert?

Sonografische Untersuchung und Befunde

Diese Messungen können prinzipiell in verschiedenen Schnittebenen, d. h. in der PLAX, der PSAX oder im A4C, durchgeführt werden. In der Notfallechokardiografie wird der A4C bevorzugt; in dieser Schnittebene können alle Messungen durchgeführt werden. Normalwerte sind:

- RA-Länge, endsystolisch (RADd) < 40 mm
- RA-Fläche, endsystolisch (RAAs) < 18 cm²
- RV-Durchmesser, enddiastolisch (RVIDd) < 40 mm
- LA-Länge, endsystolisch (LADs) < 50 mm
- LA-Fläche, endsystolisch (LAAs) < 20 cm²
- LV-Durchmesser, enddiastolisch (LVIDd) < 55 mm

Probleme, Fallstricke und Tipps

Die korrekte Schnittebene (Kap. 9.2) und damit zuverlässige Längen-/Flächenmessungen sind u. a. gewährleistet, wenn RA, LA und RV, LV während des ganzen Herzzyklus in maximaler Größe abgebildet bleiben.

Bei pathologisch verbreitertem QRS-Komplex (RSB, LSB usw.) empfiehlt es sich, die Phase des Herzzyklus mithilfe der MV-Stellung zu bestimmen: enddiastolisch direkt nach MV-Schluss (MVC), endsystolisch direkt vor MV-Öffnung (MVO).

M-Mode: TAPSE, EPSS

Die LVEF zwischen 30 % und 50 % ist visuell schwierig zu quantifizieren (Kap. 9.6) und für Notfallpatienten nicht prädiktiv. Die Simpson-Methode (LVEF) einerseits sowie die FAC (RVEF) auf der anderen Seite sind bei unregelmäßiger und akuter Anwendung unzuverlässig.

Deshalb kommen einfache, schnelle und reproduzierbare Surrogat-Parameter zur Anwendung.

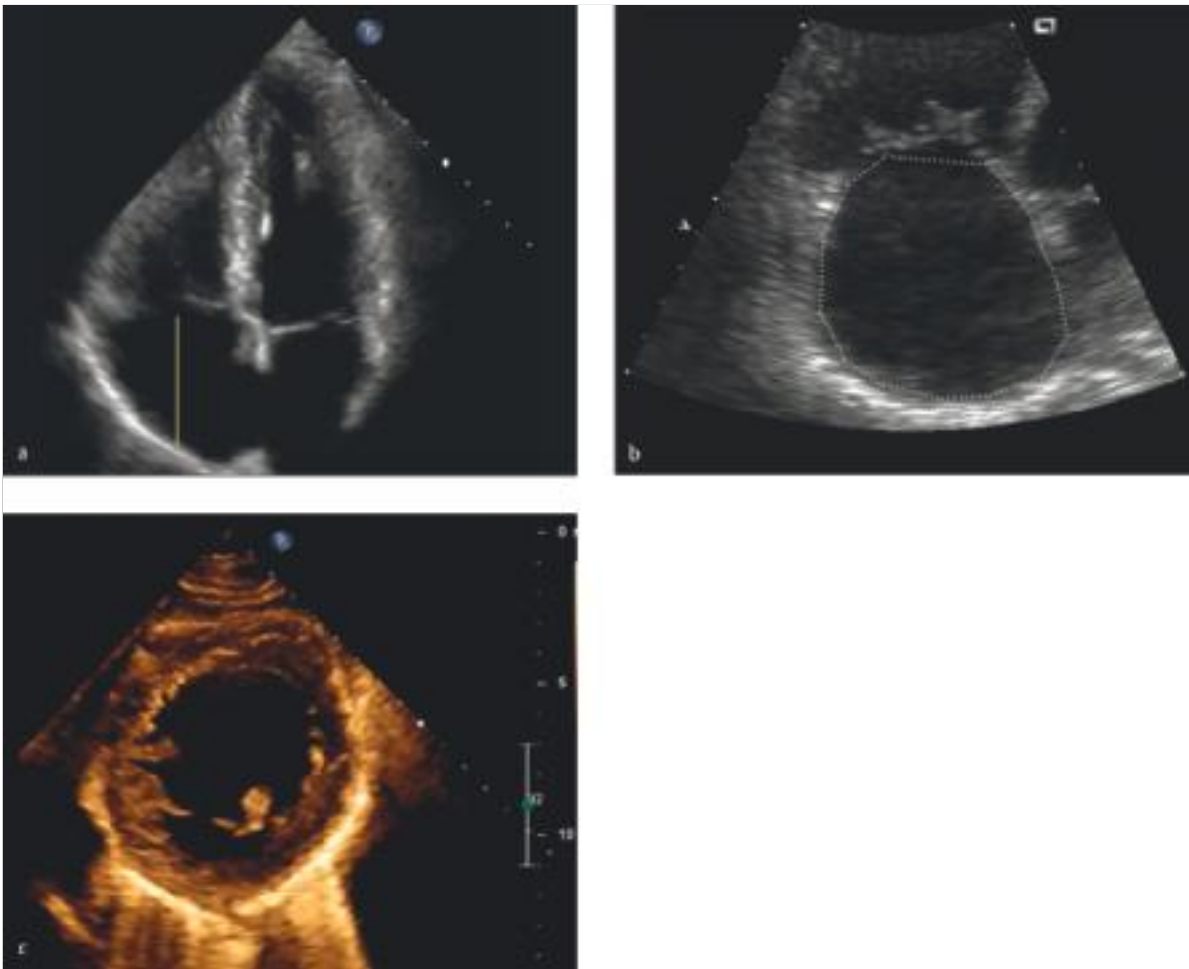


Abb. 14.3 Längen- und Flächenmessungen.

- a RAD: Normalwert.
- b RA-Dilatation: RAA > 18 cm².
- c LV-Dilatation: LVIDd > 55 mm.

Indikation und Fragestellung

In der Notfallechokardiografie kann die visuelle Beurteilung der RVEF mit der Messung der TAPSE im M-Mode ergänzt werden (► Abb. 14.4). Eine zu kleine TAPSE ist ein frühes und gutes Zeichen für eine RV-Dysfunktion. Fragestellung: normale oder verminderte TAPSE?

Sonografische Untersuchung und Befunde

Die Messung wird im A4C durchgeführt. Die Sonde muss evtl. leicht nach lateral verschoben und nach ventral anguliert werden, sodass der TV-Anulus und der basale Abschnitt der freien RV-Wand (RVFW) gut eingesehen werden können. Der M-Mode-Messstrahl wird lateral durch den TV-Anulus gelegt; der Messstrahl soll senkrecht zur TV-Anulus-Ebene sein. Der Abstand vom enddiasto-

lichen bis zum endsystolischen Punkt entspricht der TAPSE:

- TAPSE > 19 mm: normal
- TAPSE < 16 mm: RV-Dysfunktion

Probleme, Fallstricke und Tipps

Wenn der Messstrahl nicht senkrecht zur TV-Ebene steht, resultiert eine zu kleine TAPSE.

Im M-Mode der TAPSE sind oft mehrere Kurvenverläufe auszumachen. Die Messpunkte (enddiastolisch und endsystolisch) müssen aber exakt auf einer durchgehenden Reflexlinie liegen.

Eine weitere Anwendung des M-Mode in der Notfallechokardiografie ist die EPSS. Die atemabhängige Lumenschwankung der VCI im M-Mode wird in Kap. 9.4 diskutiert.

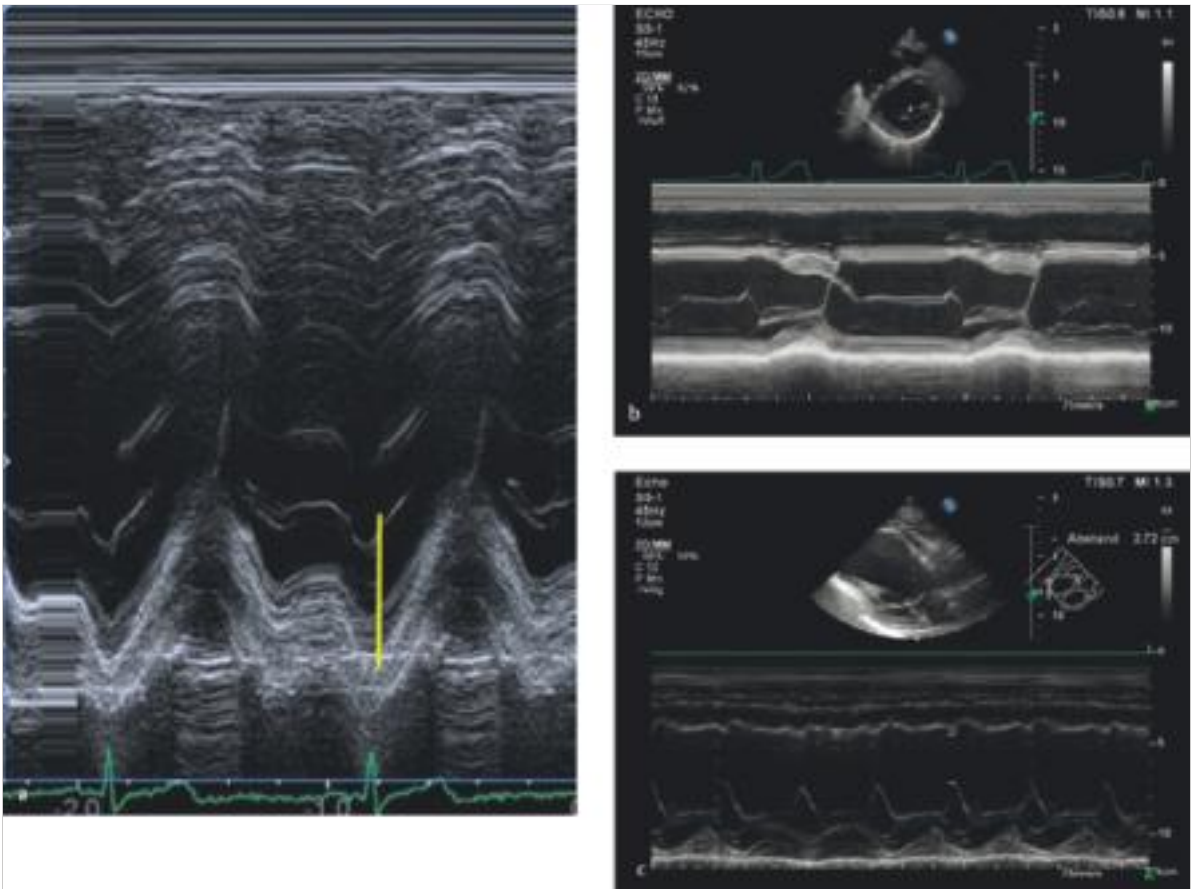


Abb. 14.4 M-Mode.

- a TAPSE: Normalwerte.
- b EPSS, MM-Messstrahl und Kurve mit EKG: Normalwerte.
- c LV-Dilatation: EPSS > 20 mm.

14.2.3 Gewebe- und PW-Doppler

TDI: MV s, MV e

Myokard(faser)bewegungen werden mit Speckle Tracking (ST) oder Tissue Doppler Imaging (TDI) analysiert. TDI ist in der aktuellen Gerätegeneration verfügbar. TDI e' ist ein Maß für die frühe Relaxation, d. h. die Rückstellung (Elastic Recoil) des Myokards. TDI s' ist ein Maß für die Myokardkontraktion.

Indikation und Fragestellung

(► Abb. 14.5a). Für die Akutmedizin ist MV e' zusammen mit MV E, ein Parameter zur Abschätzung des linksventrikulären Füllungsdruckes. Fragestellungen: MV e' normal oder vermindert? MV E/e' normal oder erhöht? (siehe unten: Füllungsdruck)

TV s' und MV s' korrelieren gut mit der TAPSE (siehe M-Mode) oder der LVEF und ergänzen damit die visuelle Beurteilung der RV- oder LV-Funktion. Fragestellungen: TV s'/MS s' normal oder vermindert?

Sonografische Untersuchung und Befunde

Die Messung wird im A4C durchgeführt. Die Sonde muss evtl. leicht nach lateral verschoben und nach ventral anguliert werden, sodass die basalen Anteile der lateralen LV-Wand parallel zum Messstrahl stehen. Die Messzelle des PW-Dopplers wird in den basalen Abschnitt der lateralen LV-Wand positioniert. Dann werden TDI und PW aktiviert, registriert und in eine durchgehende Kurve ausgemessen. Die PW-Messzelle kann auch in den basalen Abschnitt des Septums positioniert werden.

Für den RV muss die Sonde evtl. leicht nach medial verschoben und nach dorsal anguliert werden, sodass die basalen Anteile der freien RV-Wand (RVFW) parallel zum Messstrahl stehen. Das weitere Prozedere ist identisch.

Pathologische Werte:

- MV e' < 8 cm/s (lateral)
- MV e' < 6 cm/s (septal)
- MV s' < 10 cm/s (lateral)
- MV s' < 8 cm/s (septal)
- TV s' < 9 cm/s (RVFW)

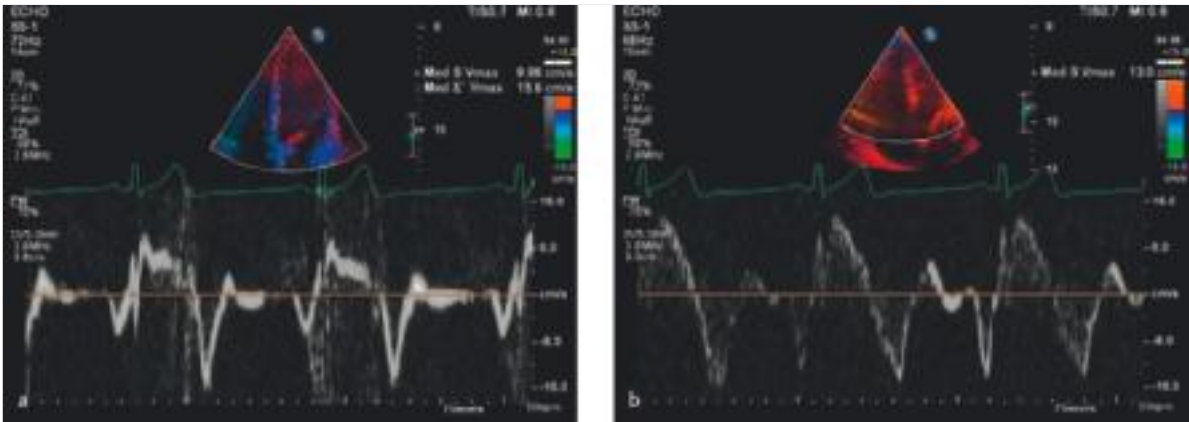


Abb. 14.5 Gewebedoppler (TDI).

- a MV s', e' sept, PW-Messzelle und Kurve mit EKG: Normalwert.
 b TV s' lat, PW-Messzelle und Kurve mit EKG: Normalwerte.

Probleme, Fallstricke und Tipps

Mit TDI kann am ausgewählten Messort ein ganzer Herzzyklus aufgezeichnet werden: Diastole mit Erschlaffung (IVRT) und Füllung (e', a'), Systole mit Anspannung (IVCT) und Auswurf (s'). Alle diese Werte können in einem einzigen Untersuchungsgang erhoben werden.

Damit falsche Werte vermieden werden, ist auf eine parallel Ausrichtung des Messstrahls zur Kontraktions-/Relaxations-Richtung zu achten. Ebenfalls ist die Messung in hypo-/akinetischen Myokardabschnitten (ACS) für die hier beschriebene Anwendung nicht aussagekräftig.

PW: E, A, E/A

Der PW-Doppler ist ein Standard für die Messung von Blutströmungsgeschwindigkeiten in Gefäßen und im Herzen, insbesondere über den Klappen oder im Ausflusstrakt (LVOT etc.) (► Abb. 14.6).

Die Strömungsgeschwindigkeit steigt z. B. an, wenn die Druckdifferenz zwischen 2 Punkten vor und nach der Messstelle zunimmt. Das führt auch dazu, dass ein gegebenes Blutvolumen diese Messstelle in weniger Zeit durchfließt.

Indikation und Fragestellung

In der Notfallechokardiografie sind die Vorhofsdrücke als Marker für die Füllungsdrücke wichtig. Bei vergrößertem Vorhof und bei konstant bleibender Vorwölbung des IAS zur Gegenseite kann von einem erhöhten RAP oder LAP ausgegangen werden. Dies wird mit der Messung von E und A (PW) bestätigt: Ist E (gegenüber A) zu hoch und wird die Dezelerationszeit von E (DTE) zu kurz, ist der LAP erhöht. Fragestellungen: E/A normal oder erhöht? DTE normal oder verkürzt? E/e' normal oder erhöht? (siehe Füllungsdruck unten).

Sonografische Untersuchung und Befunde

Die Messung für E und A wird im A4C durchgeführt. Die bewegten MV-Segel müssen sichtbar sein! Die PW-Messzelle wird auf einer gedachten Linie zwischen die Enden der geöffneten MV-Segel positioniert. Dann werden der PW aktiviert, registriert und die Maximalwerte für E und A sowie die DTE ermittelt.

Pathologische Werte (► Abb. 14.6b):

- E/A > 2
- DTE < 150 ms

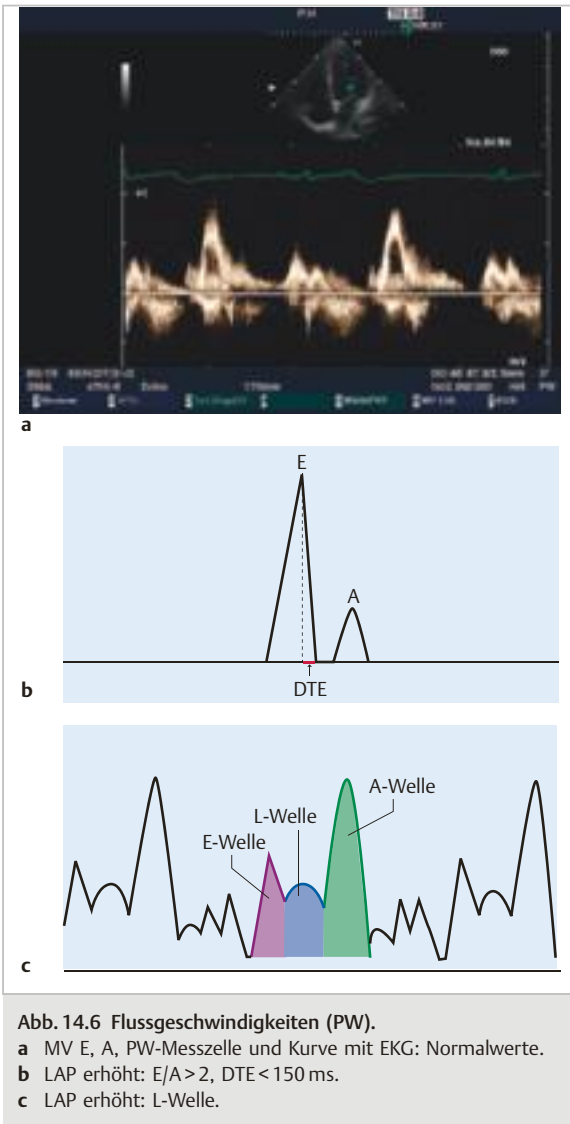
Probleme, Fallstricke und Tipps

Der PW-Messstrahl muss parallel zum gedachten Blutfluss liegen, auch wenn nur eine kleine Messzelle positioniert wird.

Auch bei verminderter LVEF deutet eine MV DTE < 150 ms auf eine LAP-Erhöhung; eine L-Welle zwischen E- und A-Welle (► Abb. 14.6c) ist immer Ausdruck eines erhöhten LAP.

Der Messwert von E findet auch für den Quotienten E/e' Verwendung (siehe Füllungsdruck unten).

Eine weitere Anwendung des PW ist die Messung der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten über einen ganzen Atemzyklus. Schwanken diese Maximalwerte über der TV oder der MV mehr als 25%, liegt entweder eine Hypovolämie oder eine Einflussbehinderung vor (Tamponadezeichen, Lungenembolie, Kap. 14.3, Kap. 14.5.1).



Füllungsdruck (MV E/e') und Schlagvolumen (LVOT VTI)

Der Füllungsdruck (LAP) beeinflusst das Schlagvolumen (SV) nach dem Frank-Starling-Prinzip. Bei Hypovolämie und normaler LV-Funktion führt die LAP-Erhöhung zur Zunahme des SV. Bei Normovolämie und diastolischer LV-Dysfunktion ist der LAP evtl. bereits erhöht, eine weitere LAP-Steigerung führt zur SV-Abnahme (cave – erst im Endstadium, zuvor kleinerer SV-Anstieg). LAP und SV tragen zum Verständnis der Hämodynamik eines Patienten und zur Steuerung seiner aktuellen Therapie bei.

Füllungsdruck

In der Notfallechokardiografie ist die Höhe der Füllungsdrücke eine wichtige Entscheidungshilfe für die Therapie. Wie bereits erwähnt, sind LA-Dilatation, die IAS-Stellung, die L-Welle und das Verhältnis von E/A wichtige Hinweise für eine LAP-Erhöhung. Die Korrelationen $PCWP = 1,24 \times (E/e') + 1,9$ und $PCWP = LAP$ sind noch konkreter; d. h., der LAP kann mittels MV E/e' numerisch und nicht invasiv bestimmt werden. Ein hoher E/e'-Wert/LAP kann verschiedene Gründe haben: Der E-Wert ist erhöht wegen eines hohen LAP und konsekutiv hohem Druckgradienten zum LV; der e'-Wert ist erniedrigt aufgrund einer ungenügenden LV-Myokardrelaxation (► Abb. 14.5 und ► Abb. 14.6).

Indikation und Fragestellung

Die Indikation zur Bestimmung des LAP ist bei Dyspnoe, beim Nachweis eines interstitiellen Syndroms oder anderem Nachweis eines Lungenödems immer gegeben; eine LA-Vergrößerung ist ebenfalls eine Indikation. Fragestellungen: E/e' normal oder erhöht?

Sonografische Untersuchung und Befunde

Vergleiche die Ausführungen zu TDI und PW (oben):

- MV E/e' > 15 (lat)
- MV E/e' > 10 (sept)
- MV E/e' > 13 (e' Mittelwert = e'[lateral + septal]/2)

Schlagvolumen

Das Zeitintegral einer PW-Doppler-Kurve im LVOT (LVOT VTI) ist die Variable des in dieser Zeitspanne (Auswurfzeit) und durch den Querschnitt (AV-Durchmesser) geflossenen Volumens:

$$SV = VT \text{ times } \frac{\pi}{4} D^2$$

(Die VTI entspricht der Länge des gedachten Schlagvolumen-Zylinders).

Indikation und Fragestellung

Das SV ist bei normaler LV-Größe und -Funktion konkordant zur LVEF. Im Gegensatz dazu kann ein nicht dilatiertes, aber hypertrophiertes Herz mit guter EF ein vermindertes SV haben und ein dilatiertes Herz mit eingeschränkter EF ein normales SV. Das VTI, als Variable des SV, relativiert also die EF und erlaubt eine hämodynamisch angepasste Therapie (Volumen, Inotropika etc.) und Überprüfung im Verlauf. Fragestellungen: LVOT VTI erniedrigt? Veränderung im Verlauf?

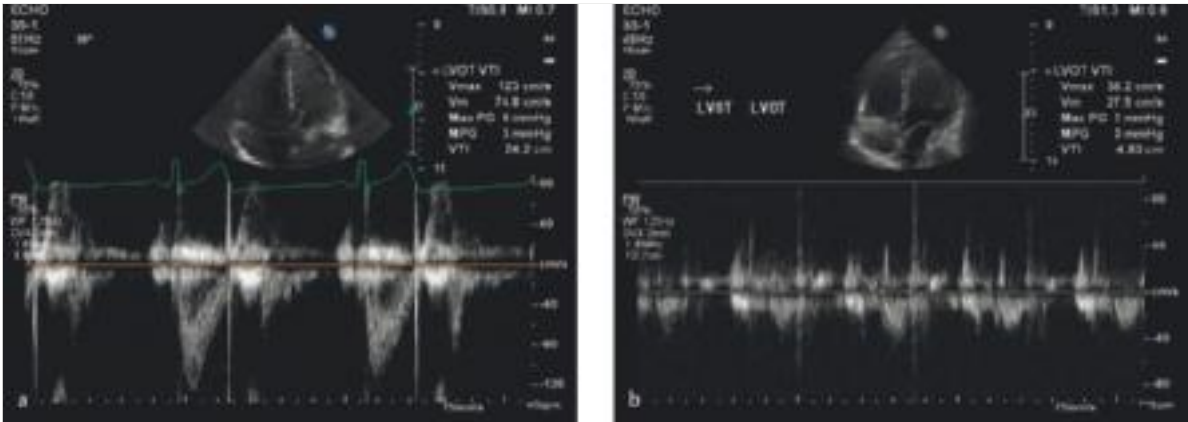


Abb. 14.7 Schlagvolumen-Variable (LVOT VTI).

- a LVOT VTI, PW-Messzelle und Kurve: Normalwert (24 cm), normales SV wahrscheinlich.
 b SV wahrscheinlich vermindert: LVOT VTI 5 cm.

Sonografische Untersuchung und Befunde

Für das LVOT VTI ist ein A5C oder ein A3C erforderlich. Die bewegten AV-Segel müssen sichtbar sein! Die PW-Messzelle wird in Flussrichtung vor die AV positioniert; die Dopplerkurve wird aufgezeichnet und umfahren, die VTI vom Gerät berechnet.

Richtwert:

- LVOT VTI > 18–22 cm

Probleme, Fallstricke und Tipps

Tachyarrhythmien, z. B. tachykardes VHF, erschweren die Notfallechokardiografie. Deshalb sollen > 10 Herzzyklen registriert und die Messwerte gemittelt werden. Auch Vasoaktiva und Überdruckbeatmung, inklusive NIV, PEEP etc., beeinflussen LAP und LVEF.

14.2.4 CW- und Farbdoppler

Der Unterschied zwischen PW- und CW-Doppler besteht darin, dass der CW entlang des ganzen Messstrahles misst und nicht nur an einem Punkt (Messzelle). Der CW misst zuverlässig auch Strömungsgeschwindigkeiten > 4 m/s, der PW-Doppler nur im Bereich bis maximal 4 m/s.

CW-Doppler-: TR - RVP

Indikation und Fragestellung

Die Regurgitationsgeschwindigkeit ist ein Maß für die Druckdifferenz über der TV (Bernoulli-Gleichung); d. h. je höher die Geschwindigkeit, desto höher der RVP (► Abb. 14.8). Der muskulär dünnwandige RV kann eine akute Druckzunahme nicht beliebig steigern, ein chronisch hypertrophierter RV hingegen erreicht Druckwerte des Systemkreislaufs. Fragestellung: RVP-Erhöhung?

Sonografische Untersuchung und Befunde

Die Messungen werden im A4C durchgeführt. Die TV-Segel müssen sichtbar sein. Der Messstrahl wird im maximalen Regurgitationsjet positioniert; der Strahl sollte so parallel wie möglich zum Verlauf des Jets sein. Der Farbdoppler (CFD) ist evtl. hilfreich zur Positionierung des Messstrahles (► Video 14.1).

Pathologische Werte:

- TR V_{\max} > 2,8 m/s (bei normalem RV)
- TR V_{\max} > 3,5 m/s (bei RV-Hypertrophie)

Probleme, Fallstricke und Tipps

Die Schätzung des ZVD anhand der Weite und der respiratorischen Variabilität der VCI ist nicht zuverlässig, der Anteil des so geschätzten ZVD an der Berechnung des RVP zu groß. Deshalb wird in den aktuellen Empfehlungen der Schweregrad des RVP nur noch anhand der TR V_{\max} beurteilt.

Sowohl die Regurgitations- als auch die „Vorwärts“-Geschwindigkeit über einer Klappe werden pseudonormal, sobald der Druck(-gradient) über einer Klappe nicht mehr aufrechterhalten werden kann, z. B. bei Hypovolämie, Pumpversagen etc.

CW-Doppler-: MS, AS (siehe oben)

Wichtigster Hinweis auf eine Stenose ist die Verdickung und die verminderte Beweglichkeit der Klappensegel oder -taschen im B-Bild (► Video 14.2). Zudem steigt über einer stenotischen Klappe die Strömungsgeschwindigkeit; je höher diese ist, desto enger ist die Stenose.

Fragestellung: normal, erhöht und Quantifizierung? Die Messungen werden im A4C durchgeführt, für die Aor-

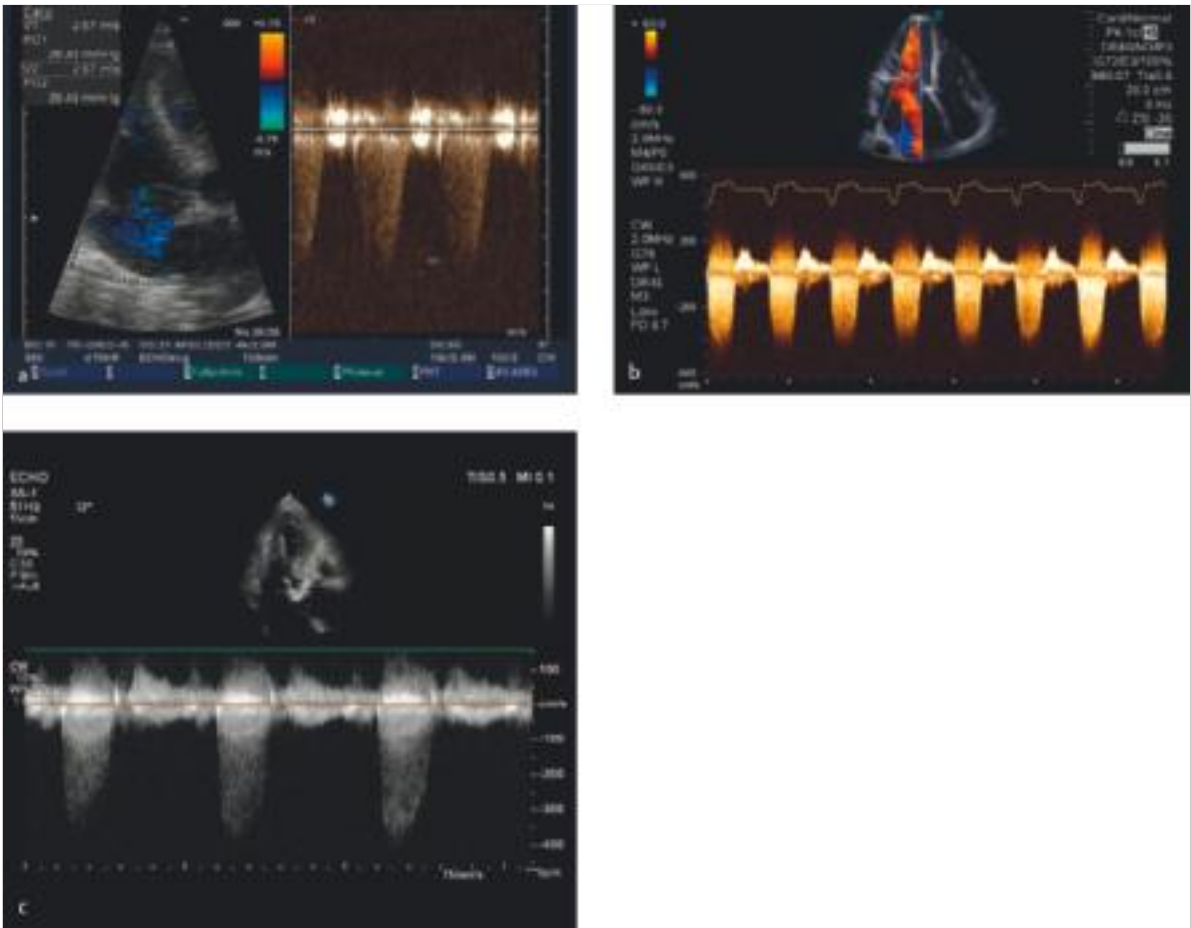
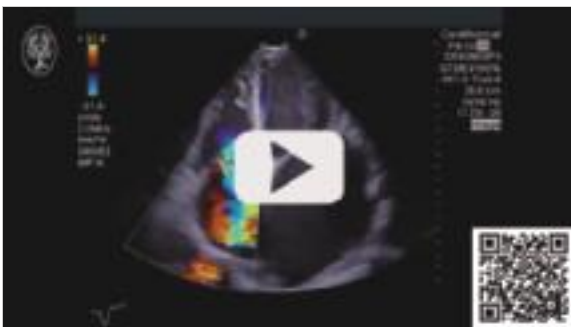


Abb. 14.8 Flussgeschwindigkeiten (CW).

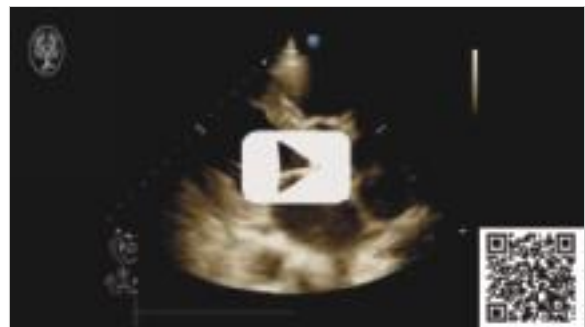
a TI, CW-Messtrahl und Kurve: Normalwerte.

b Akute pulmonale Hypertonie (bei vorbestehend normalem RV): TI V_{\max} 5 m/s. (Quelle: Trainingszentrum Ultraschall-Diagnostik LS GmbH, Ludwig Steffgen, Mainleus)

c AS: AV V_{\max} knapp 4 m/s.



Video 14.1 TI, CFD zur Positionierung des CW-Messtrahls. (Quelle: Trainingszentrum Ultraschall-Diagnostik LS GmbH, Ludwig Steffgen, Mainleus)



Video 14.2 AS, B-Bild: AV stark verkalkt und unbeweglich.