

### 3.3 Intrakranielle Dopplersonografie

## 3.3 Intrakranielle Dopplersonografie

### *Roll*

#### *Indikationen*

- Asphyxie, Hirnödem.
- Intrakranielle Blutungen, venöse und arterielle Infarkte, Sinusvenenthrombosen.
- Hydrozephalus.
- Offener Ductus arteriosus Botalli.
- Präoperativ (vor Herzoperationen).
- ECMO-Therapie (S.264).
- V. a intrakranielle Gefäßmalformationen.
- Differenzialdiagnose zystischer Mittellinienstrukturen.

#### *Verfahren*

- **Farbdopplersonografie:** Beantwortet morphologische Fragestellungen und ermöglicht eine Darstellung des Gefäßverlaufs sowie die Differenzialdiagnose zystischer Strukturen (z. B. Liquorzyste versus Aneurysma).
- **Pulsdopplersonografie:** Beantwortet hämodynamische Fragestellungen und stellt das Flussgeschwindigkeitsspektrum des Bluts dar.
- Bei der Pulsdopplersonografie sollte der Einschallwinkel möglichst klein sein ( $< 40^\circ$ ), am besten parallel zum Gefäßverlauf. Die Bestimmung der absoluten Flussgeschwindigkeiten ist nur bei optimalem Einschallwinkel zuverlässig. Eine Winkelkorrektur liefert keine verlässlichen Ergebnisse.
  - *Indizes (weitgehend unabhängig vom Einschallwinkel):*
    - Resistance-Index:  

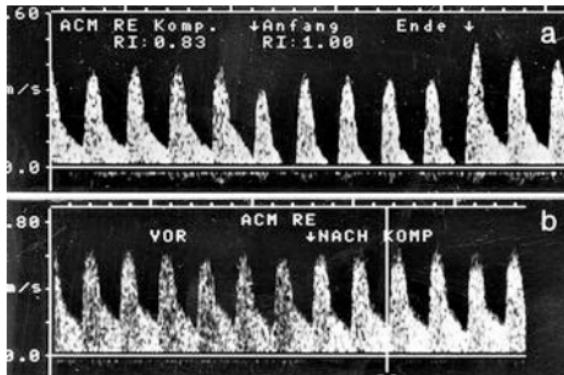
$$RI = \frac{V_s - V_{ed}}{V_s}$$
    - Pulsatilitätsindex:  

$$PI = \frac{V_s - V_{ed}}{V_m}$$
      - $V_s$  = max. syst.,  $V_{ed}$  = enddiast. und  $V_m$  = mittlere Flussgeschwindigkeit.
  - Die Flussgeschwindigkeiten (Normbereiche) sind von Gestationsalter und Körpergewicht, die Indizes vom jeweiligen Gefäß abhängig (Tab. 3.1).

**Tab. 3.1 • Intrazerebrale Gefäßdarstellung und Dopplernormwerte.**

Gefäß	Zugang	Schnittebene	Schallkopf	RI (M + SD)
A. cerebri anterior	vordere Fontanelle	sagittal/koronar	Sektor	$0,73 \pm 0,08$
A. carotis interna	vordere Fontanelle	koronar/sagittal	Sektor	$0,77 \pm 0,08$
A. cerebri media	temporal transkraniell	horizontal	Sektor	$0,82 \pm 0,03$
A. basilaris	vordere Fontanelle	sagittal/koronar	Sektor	$0,72 \pm 0,09$
Sinus sagittalis superior	vordere Fontanelle	koronar/sagittal	Linear	
V. cerebri magna	vordere Fontanelle	sagittal	Sektor	
V. cerebri interna	hintere Fontanelle	koronar	Sektor	

**Abb. 3.10** • Fontanellenkompressionstest bei einem Frühgeborenen mit progredienter posthämorrhagischer Ventrikelerweiterung; vor (a) und nach (b) Lumbalpunktion. Flussgeschwindigkeitsprofile in der A. cerebri media vor, während und nach Kompression der vorderen Fontanelle (transtemporale Sonografie). Vor der Liquordrainage kommt es durch die Kompression zu einer Änderung des RI um 0,17. Nach der Liquordrainage ist die Kompression ohne Einfluss auf das Flussgeschwindigkeitsprofil.



### Bei pathologischem Pulsdopplerbefund

- ▶ **Extrakranielle Ursachen ausschließen:** Pathologischer Befund auch in extrakraniellen Gefäßen (z. B. Ductus arteriosus Botalli, aortopulmonales Fenster, Aorteninsuffizienz, Aortenstenose, hypoplastisches Linksherz, AV-Malformationen)?
- ▶ **Blutdruck?**
- ▶ **Blutgase** kontrollieren:  $\text{pCO}_2$  (wirkt vasoregulativ).
- ▶ **Dran denken:** Kompression der Fontanelle verfälscht das Ergebnis (unbedingt vermeiden).

### Fontanellenkompressionstest

- ▶ **Hintergrund:** Absolute Messwerte der Flussgeschwindigkeiten sowie RI und PI sind zur Quantifizierung des intrakraniellen Druckes ungeeignet (erst spät Veränderungen). Eine gute Korrelation ( $r=0,8$ ) scheint zwischen dem intrakraniellen Druck und der Änderung des RI bei Fontanellenkompression zu bestehen (Complianceprüfung des Systems).
- ▶ **Möglichkeiten zur Durchführung:**
  1. Transtemporale Pulsdopplersonografie der A. cerebri media (Schallkopf komprimiert nicht die Fontanelle). Kurzzeitig (nur 1–2 s) wird die vordere Fontanelle leicht komprimiert (objektiver mit Ophthalmodynamometer).
  2. Schallkopf auf vordere Fontanelle, Aufsuchen der A. cerebri anterior, Kompression mit Schallkopf während der Messung (leichter durchzuführen). Den RI vor, während und nach der Kompression bestimmen (Abb. 3.10).

## 3.4 Echokardiografie

Dalla Pozza

- ▶ **Vorbemerkung:** Das Kapitel kann und soll keine Kurzanleitung zur selbstständigen Durchführung einer echokardiografischen Untersuchung sein, es soll lediglich die verwendeten Verfahren erläutern.

### Indikationen

- ▶ **V. a. persistierenden Ductus arteriosus (PDA):** Sättigungsschwankungen, hebende Pulse, präkordiale Pulsationen, hohe Blutdruckamplitude.
- ▶ **V. a. Vitium cordis:** Herzgeräusch, Herzinsuffizienz, Zyanose, abgeschwächte Leistepulse.

aus: Genzel-Boroviczény (Hrsg.) u.a., Checkliste Neonatologie (ISBN 9783132442252)

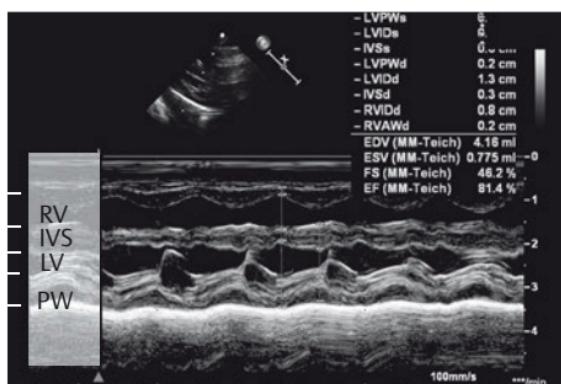
© 2022. Thieme. All rights reserved.

### 3.4 Echokardiografie

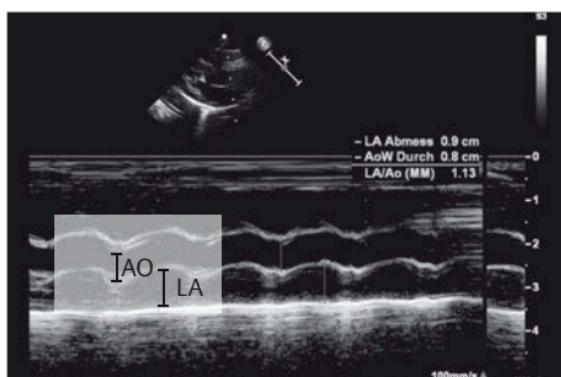
- ZVK-Lokalisierung.
- Beurteilung der **kardialen Füllung und der Myokardfunktion**.

#### Verfahren

- **B-Mode-Echokardiografie:** 2-dimensionales Bild. Sequenzielle Analyse des viszero-atrialen Situs, der Lage des Herzens, der venoatrialen, atrioventrikulären und ventrikuloarteriellen Konnektionen sowie der Vorhof- und Ventrikelanatomie.
- **M-Mode-Echokardiografie** (Abb. 3.11 und Abb. 3.12): 1-dimensionale Messung, in der Regel unter Positionskontrolle durch das 2-D-Bild mit Darstellung gegen die Zeitachse. Messung von Wandstärke sowie Durchmesser der Ventrikel, Berechnung der Verkürzungsfaktion und LA/AO.
- **Echokardiografie-Normalwerte von Neugeborenen** am besten online vergleichen: <http://parameterz.blogspot.de/>, Apps: "Cardio Z", "Ped(z)"
- **Dopplerechokardiografie:**
  - Die ausgesandte Ultraschallfrequenz wird durch bewegte Reflektoren modifiziert (=Dopplershift).
  - Die aus dem Doppler-Phänomen errechneten Flussgeschwindigkeiten an den verschiedenen Klappen liegen bei 0,5 – 1,8 **m/s**.
- **CW(Continuous-Wave)-Doppler:**
  - Kontinuierliche Aussendung und Registrierung von Schallwellen. Richtung und Geschwindigkeit einer Strömung werden auch bei hohen Geschwindigkeiten erfasst, allerdings ist keine Aussage über die Entstehungstiefe der Signale möglich!
  - **Kodierung:**
    - Oberhalb der Nulllinie: Strömung auf den Schallkopf zu.
    - Unterhalb der Nulllinie: Strömung vom Schallkopf weg.



**Abb. 3.11** • M-Mode durch rechten und linken Ventrikel in parasternaler Längsachse: Messung von rechtem Ventrikel (RV), interventrikulärem Septum (IVS), linkem Ventrikel (LV) und Hinterwand (PW, posterior wall).



**Abb. 3.12** • M-Mode durch Aorta und linken Vorhof in parasternaler Längsachse: Messung von Aortendurchmesser (AO) und linkem Vorhof (LA). Bestimmung des LA/AO-Verhältnisses (Norm < 1,5).

► **PW(Pulsed-Wave)-Doppler:**

- Gepulste Aussendung und Registrierung von Schallwellen. Nur für geringe Flussgeschwindigkeiten geeignet. Es lässt sich aber eine Messregion (sample volume) festlegen. Bei Shifts oberhalb der Pulsrepetitionsrate werden die Signale fehlerhaft abgebildet (Nyquist-Effekt).
- **Kodierung:**
  - Oberhalb der Nulllinie: Strömung auf den Schallkopf zu.
  - Unterhalb der Nulllinie: Strömung vom Schallkopf weg.

► **Farbdoppler:**

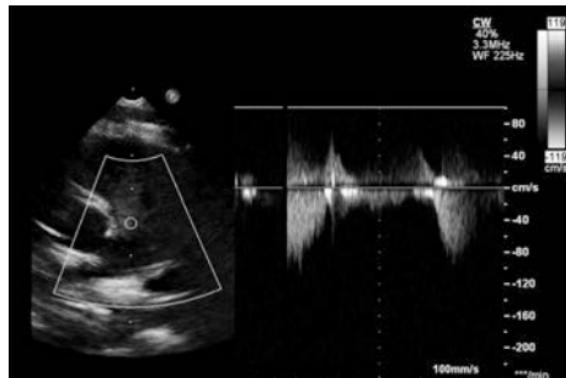
- Analyse der Dopplershifts in einem wählbaren Sektor, „flächenhafte PW-Analyse“.
- **Kodierung:**
  - Rot: Auf den Schallkopf zu.
  - Blau: Vom Schallkopf weg.
  - Gelb/grün: Höhere Geschwindigkeiten oberhalb der Nyquist-Grenze = Aliasing.

► Möglichst stets **simultane EKG-Registrierung**, um die zeitliche Zuordnung der Signale innerhalb des Herzzyklus zu ermöglichen!

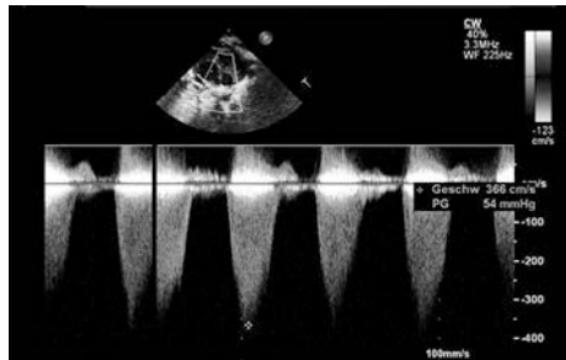
► **Druckgradient-Berechnung** (Abb. 3.13 und Abb. 3.14): Modifizierte Bernoulli-Gleichung, mit der sich im PW- und CW-Dopplerverfahren Druckgradienten über Engstellen abschätzen lassen ( $\Delta p$  = Druckgradient,  $V_{max}$  = Strömungsgeschwindigkeit in der Engstelle):

$$\Delta p = 4 \times V^2.$$

► **Transducerpositionen** s. Abb. 3.15 und Abb. 3.16.



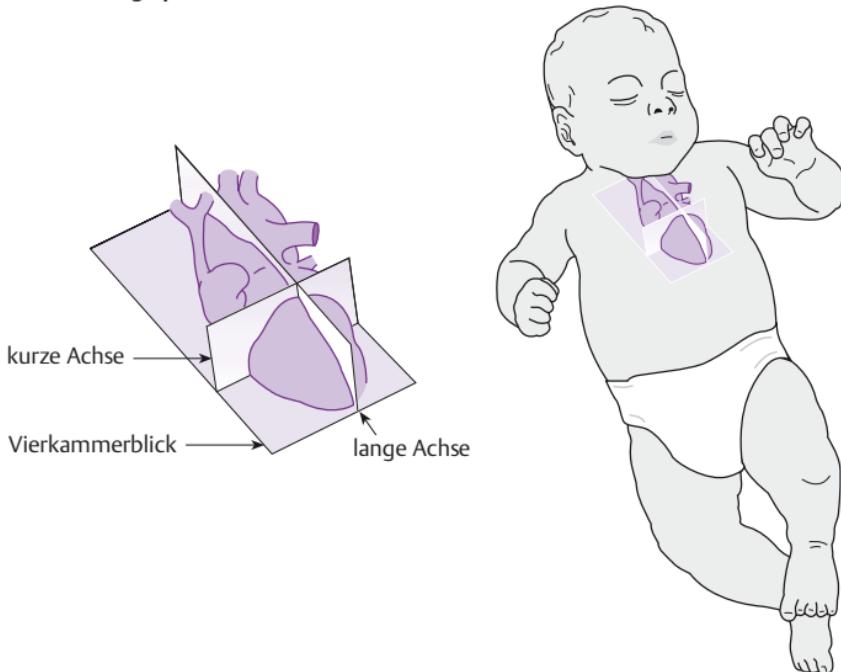
**Abb. 3.13** • CW-Dopplerkodierung des laminaren Flusses in der A. pulmonalis: Flussgeschwindigkeit 1 m/s = errechneter Gradient 4 mmHg.



**Abb. 3.14** • CW-Dopplerkodierung eines turbulenten Flusses bei Pulmonalstenose: Flussgeschwindigkeit 3,6 m/s = errechneter Gradient 54 mmHg.

aus: Genzel-Boroviczény (Hrsg.) u.a., Checkliste Neonatologie (ISBN 9783132442252)

© 2022. Thieme. All rights reserved.



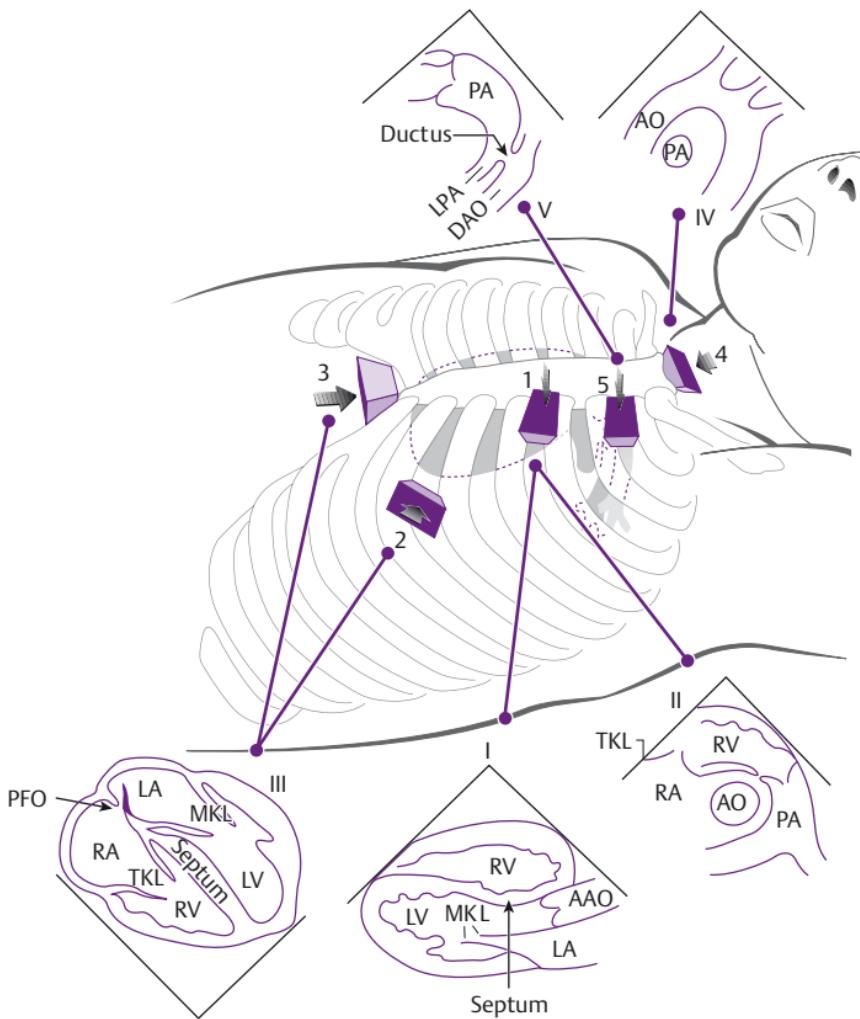
**Abb. 3.15 • Schnittebenen in der Echokardiografie: lange Achse, kurze Achse und Vierkammerblick.**

### Echokardiografie bei persistierendem Ductus arteriosus (PDA)

- Häufigste Fragestellung in der Neonatologie.
- **Praktisches Vorgehen:**
  - **Merkel:** Beste Darstellung des PDA mit Transducerposition im 2. ICR links parasternal, parallel zum Sternum (senkrecht), sog. Duktusschnitt, s. Abb. 3.16 (Pos. 5), Abb. 3.19.
  - *Subkostal* (Vierkammerblick).
  - *Parasternal lange Achse*: Schnittebene linke Hüfte/rechte Schulter, Ankoppelungspunkt 2., 3., 4. ICR links.
  - *Parasternal kurze Achse*: Schnittebene rechte Hüfte/linker Schulter, Ankoppelungspunkt 2., 3., 4. ICR links.
  - *Apikale und suprasternale* Schnittebenen, jeweils als lange und kurze Achse, sind sehr hilfreich.
- **Sonografie des PDA:**
  - *Direkte Darstellung des PDA* im Bereich des Aortenbogens am Übergang zur Aorta descendens.
  - *Zusätzlicher Ast* („3. Hosenbein“) aus dem Pulmonalis-Hauptstamm abgehend in der parasternalen kurzen Achse, s. Abb. 3.17.
  - *Flussrichtung und Profil darstellen* (Doppler in die vermutete Struktur legen). Die Dopplerflusskurve zeigt typischerweise einen Rückfluss von der Aorta in die A. pulmonalis (Flussrichtung auf den Schallkopf zu, d. h. nach oben am Bildschirm, s. Abb. 3.18).
- **Sonografische Kriterien für hämodynamisch wirksamen PDA:**
  - *Verhältnis linker Vorhof/Aorta (LA/Ao) > 1,5* in der parasternalen langen Achse.
  - *Diastolischer Flussabbruch oder retrograder diastolischer Fluss* in:
    - abdominalen Gefäßen (Truncus coeliacus, A. mesenterica sup., Nierenarterien).
    - intrakraniellen Gefäßen (sehr spät).

aus: Genzel-Boroviczény (Hrsg.) u.a., Checkliste Neonatologie (ISBN 9783132442252)

© 2022. Thieme. All rights reserved.

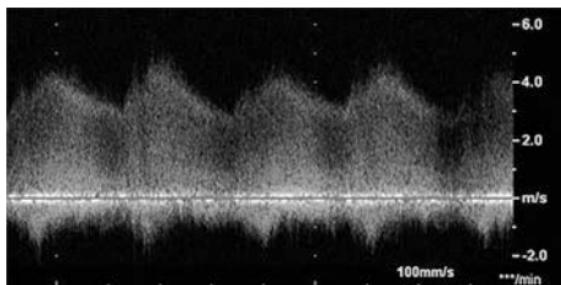


**Abb. 3.16 •** Verschiedene Transducerpositionen und zugehörige Schnittbilder:

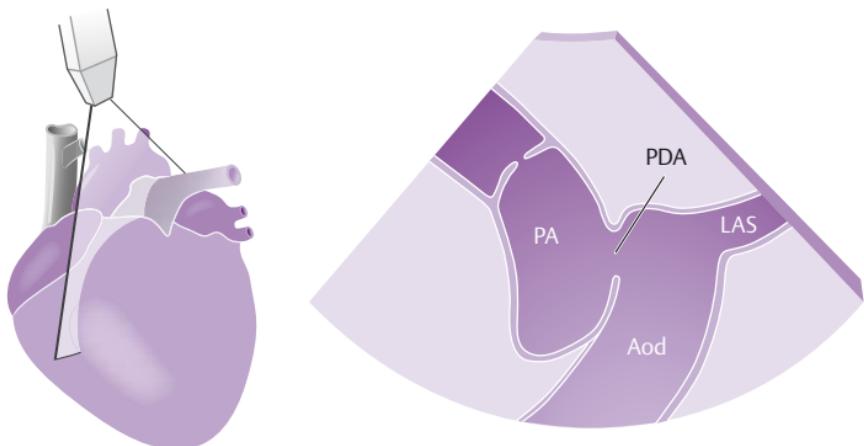
- Pos. 1: Parasternal, 2. – 4. ICR links: Längs: „lange Achse“ (I), quer: „kurze Achse“ (II).  
 Pos. 2: Apikal, 5. ICR links, „Vierkammerblick“ (III).  
 Pos. 3: Subkostal unterhalb des Xiphoids quer, „Vierkammerblick“ (III).  
 Pos. 4: Suprasternal im Jugulum (IV).  
 Pos. 5 (Duktusschnitt): Hochparasternal links (2. ICR links) längs (V).  
 AAO = Aorta ascendens, AO = Aorta, DAO = Aorta descendens,  
 LA = linker Vorhof, LPA = linke Pulmonalarterie, LV = linker Ventrikel,  
 MKL = Mitralklappe, PA = Pulmonalarterie, PFO = persistierendes Foramen ovale,  
 RA = rechter Vorhof, RV = rechter Ventrikel,  
 TKL = Trikuspidalklappe.



**Abb. 3.17** • Parasternale kurze Achse; der Blutfluss in der PA (\*) ist am Monitor blau kodiert. Der helle ("rote") Bereich (→, am Monitor rot) entspricht dem Blutfluss durch den PDA.



**Abb. 3.18** • Typisches Flussprofil eines PDA mit kontinuierlichem Links-Rechts-Shunt. (aus Kleideiter U, Dalla Pozza R, Haas N. Pädiatrische Echokardiografie. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2019)



**Abb. 3.19** • „Duktus-Blick“: Aod = Aorta descendens, LAS = linke A. subclavia, PA = Pulmonalarterie, PDA = persistierender Ductus arteriosus. (nach Kleideiter U, Dalla Pozza R, Haas N. Pädiatrische Echokardiografie. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2019)

## 3.5 Sonografie der Lunge

Klemme, Nußbaum

### Grundlagen

- Der neonatale Lungenultrtraschall (LUS) hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Point-of-care Ultraschallgeräte (POCUS) stehen für gewöhnlich auf neonatologischen Intensivstationen schneller zur Verfügung als Röntgenbilder und sind frei von ionisierender Strahlung. Außerdem ist der LUS rasch und unabhängig von Vorerfahrung erlernbar. Man macht sich hierbei die direkte Darstellung der Lunge im B-Mode und technische Artefakte im B- und M-Mode zu Nutze. Hieraus lassen sich Aussagen zu unterschiedlichen pulmonalen Erkrankungen der Neonatalperiode treffen.

### Indikation

- Beurteilung der Belüftung/Entfaltung der Lungen.
- Nachweis/Ausschluss von Pneumothorax und Pleuraerguss.
- Diagnostik von Atemnotsyndrom, Ateletkase, Pneumonie, BPD.

### Technische Voraussetzungen

- Hochauflösende Linearschallköpfe mit mind. 7,5 MHz.
- Von vielen Herstellern gibt es mittlerweile spezielle LUS-Presets.
- Möglichst keine Presets, die Bewegungsartefakte eliminieren oder den Bildaufbau verlangsamen.

### Durchführung der Untersuchung

- Aufsetzen des Schallkopfes im rechten Winkel zur Pleura.
- Einteilung jeder Lungenhälfte mit Hilfe der anterioren und posterioren Axillarlinie in drei Areale:
  - Vorderer Abschnitt (Parasternal- bis vordere Axillarlinie).
  - Mittlerer Abschnitt (vordere bis hintere Axillarlinie).
  - Hinterer Abschnitt (hintere Axillarlinie bis paravertebral).
- Darstellung der insgesamt 6 Areale in der sagittalen und transversalen Schnittebenen.

### Wichtige Lungenultrtraschall-Phänomene

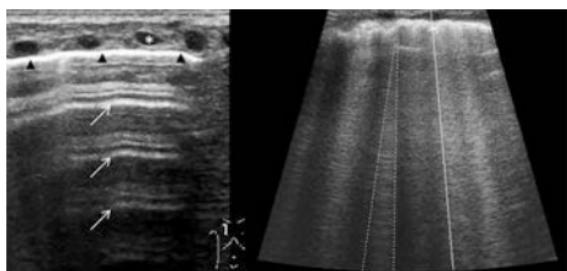
- Im B-Mode:
  - Pleuralinie: sichtbar als zarte, echorische Linie unterhalb der Rippen (Abb. 3.20), die durch Reflexion der Ultraschallwellen an der Grenzfläche zwischen Pleura und Lungenoberfläche entsteht.
  - Lung-Sliding: atemsynchrone Verschiebung der Pleuralinie bei Bewegung der Pleurablätter gegeneinander. Lung-Sliding tritt nur auf, wenn die Pleura visceralis der Pleura parietalis anliegt.
  - A-Linien: Reverberationsartefakte der Pleura, welche als äquidistante horizontale Linien auftreten (Abb. 3.20 links). **Cave:** Auch bei fehlender Entfaltung der Lunge darstellbar.
  - B-Linien: entstehen als Ringdown-Artefakte an der Pleura bei erhöhtem Flüssigkeitsgehalt der Lunge. Es handelt sich um vertikale, echorische Linien, die durch das gesamte Bild ziehen und sich atemsynchron bewegen (Abb. 3.20 rechts). **Merkel:** B-Linien gibt es nur bei entfalteter Lunge, d.h. sie schließen einen Pneumothorax aus.
  - Lung-Point (Lungenpunkt): Stelle, an der sich die Pleura visceralis von der Pleura parietalis beim Pneumothorax abhebt. Dieser bewegt sich atemsynchron und kann entsprechend seiner Lokalisation einen Hinweis auf das Ausmaß des Pneumothorax geben (Abb. 3.21).

aus: Genzel-Boroviczény (Hrsg.) u.a., Checkliste Neonatologie (ISBN 9783132442252)

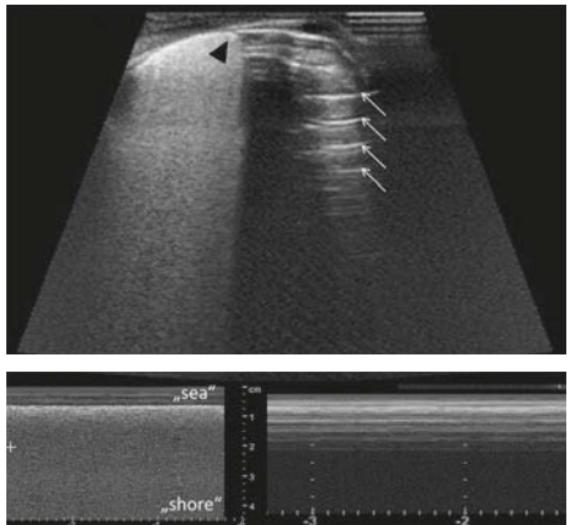
© 2022. Thieme. All rights reserved.

### 3.5 Sonografie der Lunge

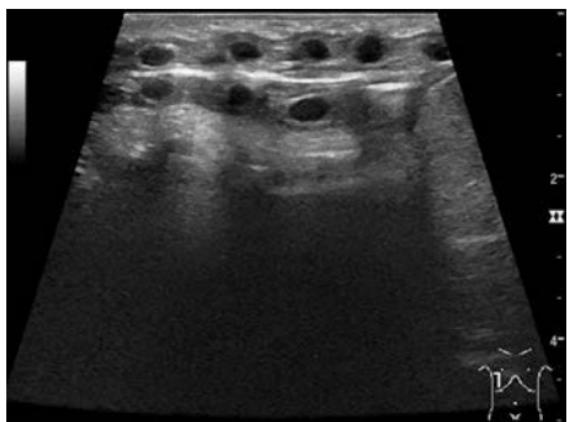
- Mirrored-Ribs: Reverberationsartefakt („Spiegelung“) der noch knorpeligen Rippen Früh- und Neugeborener. Gilt mittlerweile als pathognomonisches Phänomen beim Pneumothorax (Abb. 3.22).



**Abb. 3.20** • Linke Seite: Sagittalschnitt vorderer Lungenabschnitt: \* = Rippe, Pfeilspitzen = Pleuralinie, Pfeile = A-Linen. Rechte Seite: Transversalschnitt vorderer Lungenabschnitt: verdickte Pleuralinie, Lunge mit erhöhtem Flüssigkeitsgehalt und Darstellung von multiplen zum Teil konfluierenden B-Linien (gestrichelte Linie umrandet exemplarisch eine B-Linie).



**Abb. 3.21** • Transversalschnitt mittlerer/vorderer Lungenabschnitt im 4. ICR. Oben: B-Mode mit Darstellung des Lungenpunktes (Pfeilspitze) auf Höhe der Axillarlinie bei Pneumothorax. Weiße Pfeile = A-Linen. Unten: M-mode mit Seashore-Sign (linke Seite) und Barcode-Sign (rechte Seite).



**Abb. 3.22** • Sagittalschnitt auf Höhe rechte MCL. Mirrored ribs bei Pneumothorax.

- **Consolidations:** Echoreicher Bereich unterhalb der Pleuralinie, der auf eine Minderbelüftung der Lunge schließen lässt, nicht aber auf dessen Genese (DD Ateletase, Pneumonie, Atemnotsyndrom).

► **Im M-Mode:**

- **Seashore-Sign:** Artefakt durch kontinuierliches Gleiten der Lunge. Hierbei bilden die statischen Strukturen der Brustwand das „Meer“, welches scheinbar an den „Strand“ (bewegte Lunge) brandet (Abb. 3.21).
- **Barcode-(Stratosphere-)Sign:** Artefakt bei fehlender Bewegung der Lunge. Dieses erinnert aufgrund der parallel verlaufenden Linien an einen Barcode bzw. an die Schichten der Stratosphäre (Abb. 3.21).

### Krankheitsbilder

► Mit Hilfe der beschriebenen Ultraschallphänomene können unterschiedliche Krankheitsbilder, welche mit einer fehlenden Entfaltung, einer Minderbelüftung und/oder einem erhöhten Flüssigkeitsgehalt der Lungen einhergehen, diagnostiziert und ggf. bezüglich ihres Schweregrades eingeteilt werden. **Cave:** Eine Überblähung kann mittels LUS nicht zuverlässig beurteilt werden!

► **Pneumothorax:** Ein Pneumothorax kann durch den LUS mit einer sehr hohen Sensitivität (~97 %) und Spezifität (100 %) ausgeschlossen bzw. erkannt werden und schneller als mit einer Röntgenaufnahme (Tab. 3.2).

► **Atemnotsyndrom:**

- Der sog. Lungenscore (Tab. 3.3) nach Brat (nach Brat et al. JAMA Pediatr 2015; 169(8)) kann ein Atemnotsyndrom zuverlässig diagnostizieren und die Erkrankungsschwere einschätzen.
- Mit dem Score werden für die drei Lungenabschnitte beidseits je 0–3 Punkte vergeben (max. Score 18).
- Der Score korreliert gut mit dem Oxygenierungsindex und identifiziert Patienten, die Surfactant benötigen werden.
- Patienten mit einem Wert von  $\geq 12$  zeigten unter CPAP-Beatmung einen signifikant häufigeren Surfactantbedarf.

**Tab. 3.2 • Sonografische Zeichen für das Vorliegen bzw. den Ausschluss eines Pneumothorax.**

Pneumothorax	Kein Pneumothorax
Aufgehobenes Lungsliding, mirrored ribs	Lung-Sliding
Keine B-Linien	B-Linien
Stratosphere-/Barcode-Sign	Seashore-Sign
Lung-Point	

**Tab. 3.3 • Lungenscore.**

Score	Ultraschallphänomen
0	„A-Pattern“: belüftete Lunge erscheint schwarz, ausschließlich A-Linien
1	„B-Pattern“: $\geq 3$ B-Linien pro Lungenareal
2	„Severe-B-Pattern“: konfluierende, verdickte B-Linien mit oder ohne auf subpleural begrenzte Consolidations
3	Extended Consolidations