



Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München



Volumenbestimmung an Hämodialyse

Konrad Friedrich Stock und Claudius Küchle

Internistisches Ultraschall-Labor und Dialyse der Abteilung für Nephrologie



Block IV – Dialysemedizin "Hands on"

Kein Interessenkonflikt.

A g e n d a

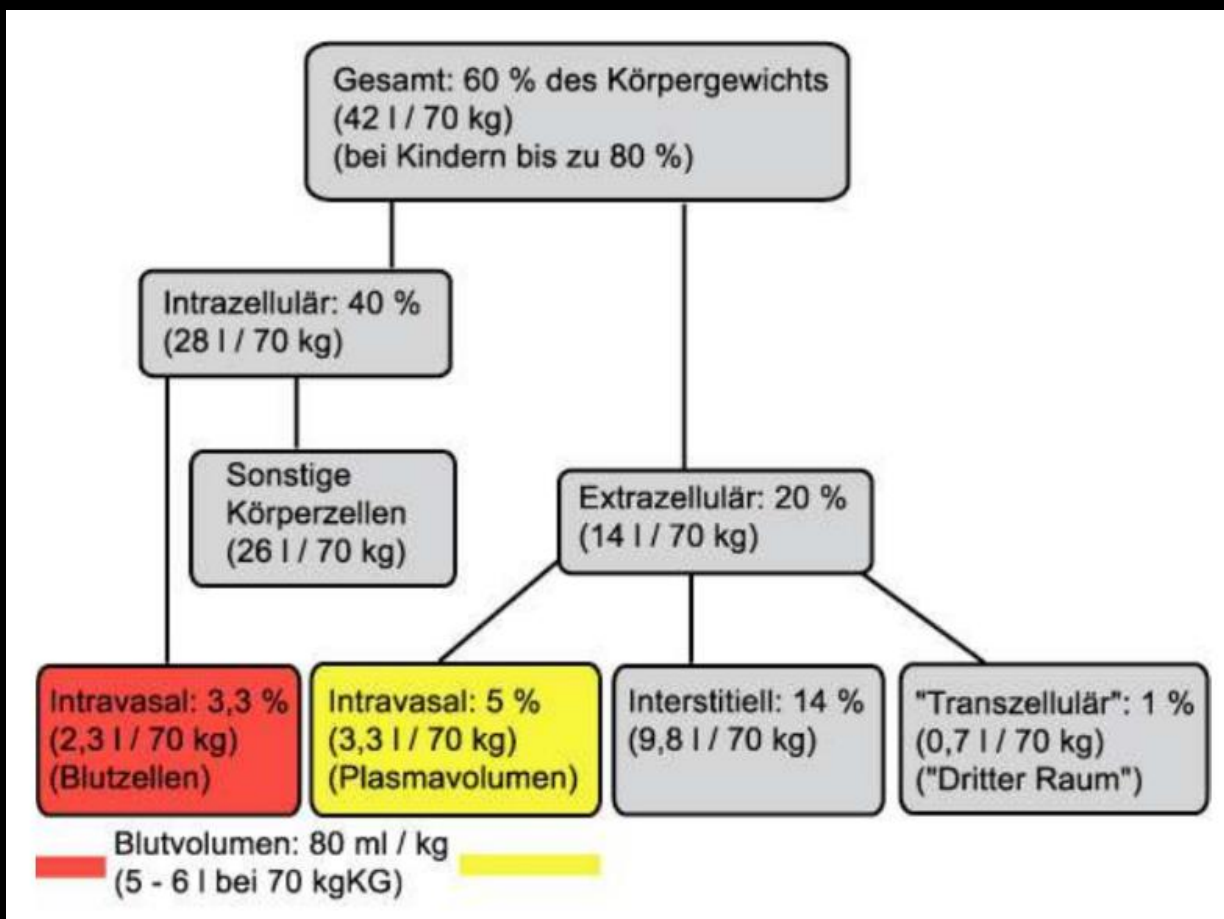
- I) Volumenmanagement an der Dialyse:
Einführende Gedanken**
- II) Möglichkeiten der Ultraschalldiagnostik
an der Dialyse**
- III) Zusammenfassung**



Volumenbestimmung an Hämodialyse

I) Volumenmanagement an der Dialyse: Einführende Gedanken

„Wasserverteilung“ im Körper



Zwei Kernfragen an das Volumenmanagement bei jeder Dialyse

- Wieviel überschüssiges Volumen ist vorhanden?
- Welchen Volumenentzug können wir dem Patienten zumuten?

Auswirkung Volumenentzug

Myokardiale Ischämie -> Herzinsuffizienz

Hirn-Ischämie -> Depression und Demenz

Darm-Ischämie -> Eintrag von Urämietoxinen

Leber-Ischämie -> verschlechterte Entgiftung



Klinische Symptome



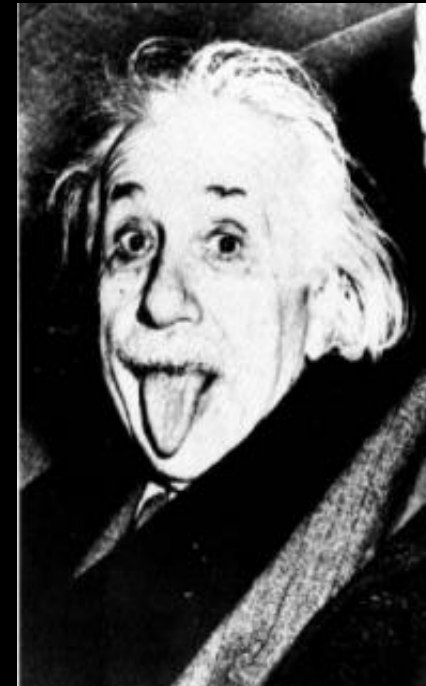
Hypervolämie

- Dyspnoe/
Rasselgeräusche/
Husten
- Pleuraergüsse
- Gefüllte/gestaute
Halsvenen
- Ödeme
- Aszites
- Gewichtszunahme
- Herzgeräusche,
3. Herzton
- Art. Hypertonie



Hypovolämie

- Verminderter
Hautturgor
- Trockene
Schleimhäute
- Durst
- orthostatische
Hypotension bzw.
Blutdruckabfall
- Anstieg der
Herzfrequenz
- Minderperfusion
peripherer Organe
(kalte Extremitäten,
oä.)
- Verwirrtheit
- Müdigkeit



Konsequenzen des Volumenentzugs

Der Volumen-Entzug muss durch die Plasmawiederauffüllung ausgeglichen werden, wenn er nicht zum zirkulatorischen Stress oder zum Druckabfall führen soll.

Ziel des dynamischen Monitorings

Minimaler diagnostischer
Aufwand für die maximale
Patientensicherheit.

**d.h. Bedarf für ein diagnostisches Verfahren, das
schnell, billig, einfach und nicht invasiv ist!**

Ist der ZVD die Lösung?

Does the Central Venous Pressure Predict Fluid Responsiveness? An Updated Meta-Analysis and a Plea for Some Common Sense*

Paul E. Marik, MD, FCCM¹; Rodrigo Cavallazzi, MD²

“There are no data to support the widespread practice of using central venous pressure to guide fluid therapy.”

Marik PE, Cavallazzi R. Does the central venous pressure predict fluid responsiveness? An updated meta-analysis and a plea for some common sense. Crit Care Med. 2013 Jul;41(7):1774-81.

Ist Bioimpedanz die Lösung?

REVIEW |  Full Access

Bioimpedance as a measure of fluid status in critically ill patients: A systematic review

Janne M. Madsen  Sine Wichmann, Morten H. Bestle, Theis S. Itenov,

First published: 26 May 2021 | <https://doi.org/10.1111/aas.13924>

[Charite SFX Link](#)

Funding information:

This study was supported by the Department of Anaesthesiology, Copenhagen University Hospital—North Zealand, Copenhagen, Denmark.

“The accuracy of bioimpedance as a measure for fluids in critically ill patients in the intensive care unit cannot be determined. Due to the lack of a gold standard, numerous studies compared bioimpedance with surrogate outcomes with great variability in both designs and results.”

Madsen JM, Wichmann S, Bestle MH, Itenov TS. Bioimpedance as a measure of fluid status in critically ill patients: A systematic review. Acta Anaesthesiol Scand. 2021 Oct;65(9):1155-1167.

Steuerung der Volumentherapie an der Dialyse – Klinischer Lösungsansatz

- Abschätzung der Ultrafiltration aus Differenz Gewicht und Trockengewicht
- Ultraschalluntersuchung (v. cava, Ergüsse/Aszites, B-Linien)
- Blutgasanalyse
- Kontinuierliches Monitoring der Vitalparameter
- Berücksichtigung der dynamischen „Plasma-Wiederauffüll-Rate“ und der Dialysezeit: ca. 10 ml/kg KG/h (beim Gesunden, niedriger bei der Sepsis)
- Berechnung der dynamischen Plasmawiederauffüllrate:
$$\text{Plasmavolumen} = \text{Blutvolumen (70 ml/kg KG)} \times 1 - \text{Hkt}$$

Bei Überschreiten der Plasmawiederauffüllrate: Zeit verlängern.
- Repetitive Blutgasanalysen (cave: Hk-Anstieg immer unter 10% während der gesamten Dialyse !), damit weniger RR-Abfälle, jedoch mehr dritte Räume; Ziel: möglichst viel intravasales Volumen zu behalten, damit die Restausscheidung erhalten bleibt.
- Kontinuierliches Monitoring der Vitalparameter
- Repetitive Ultraschalluntersuchungen



Volumenbestimmung an Hämodialyse

II) Ultraschalldiagnostik

Welche Ultraschallparameter sind hilfreich für Dialysepatienten?

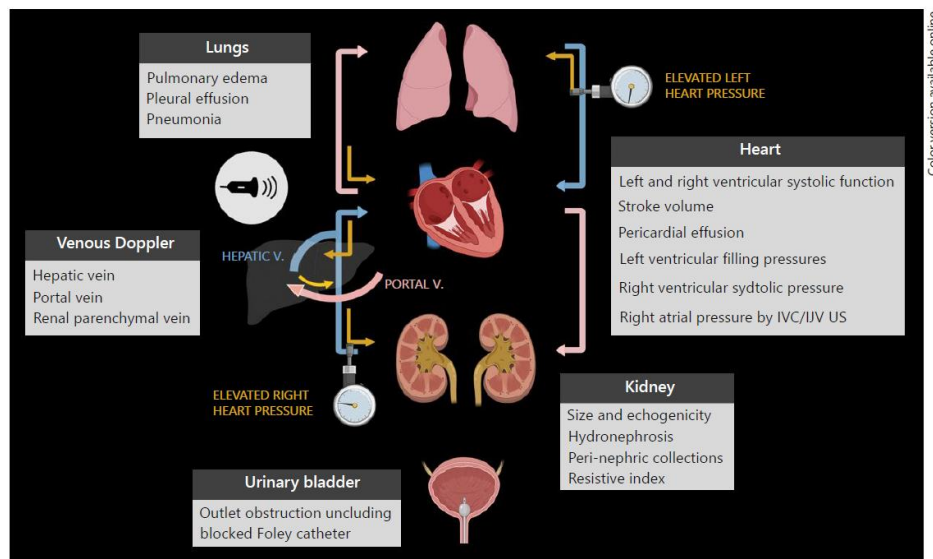


Fig. 1. Common sonographic parameters and findings assessed using POCUS in AKI. Red and blue arrows indicate blood flow; yellow arrows indicate backward transmission of cardiac pressures. Illustration made using Bio-render®. IVC, inferior vena cava; IJV, internal jugular vein; US, ultrasound.

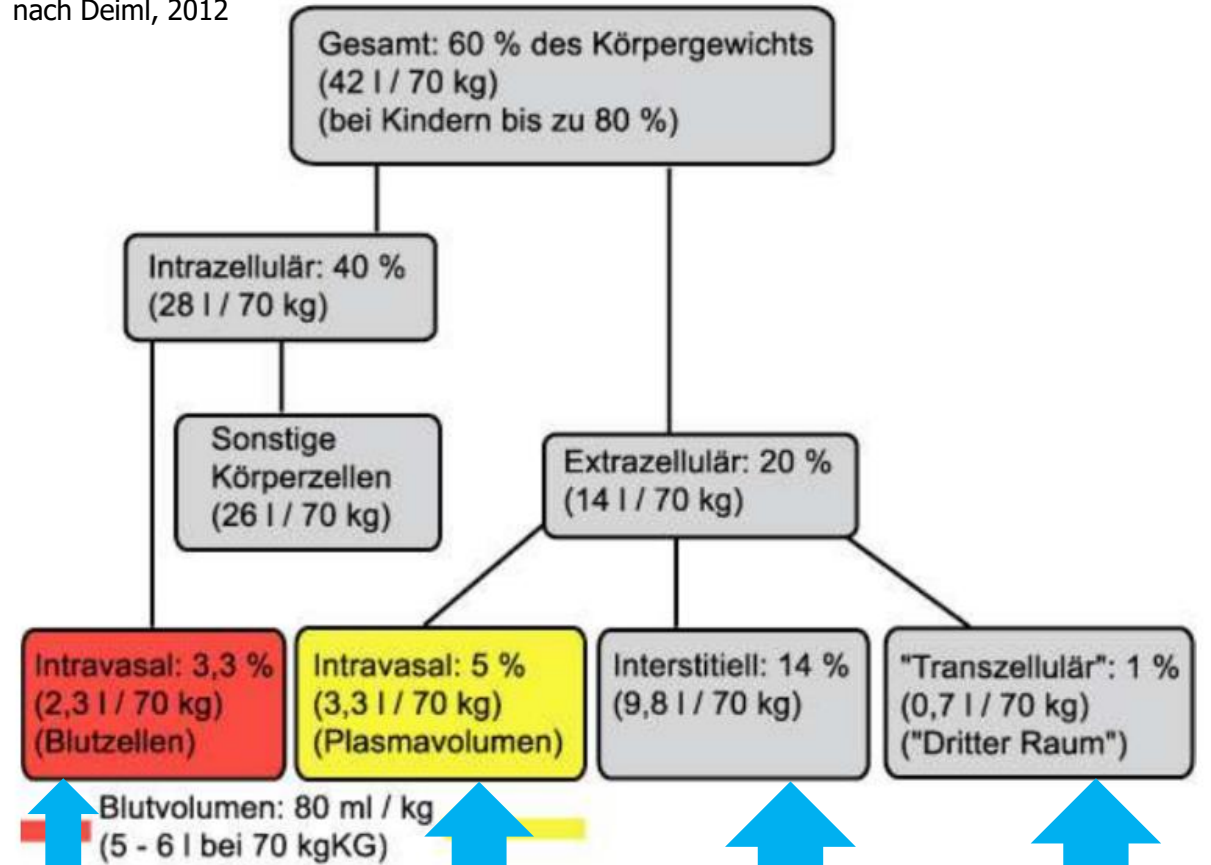
- Nieren**
- **Nierengröße**
(maximaler Pol-zu-Pol-Abstand, Norm: 9–12 cm) bzw. Nierenvolumen (in 3 Ebenen, Länge x Höhe x Breite [cm] x 0,5 = [ml]; Norm: Körpergewicht [kg] x 2 pro Niere)
cave: immer Körpergröße und Körpergewicht erfragen
 - **Echogenität des Nierenparenchyms**
Vergleich mit den Markpyramiden, ggf. Leberparenchym
 - **Durchschnittliche Nierenparenchymbreite**
(entweder von... bis... [cm], oder semiquantitativ subjektiv: schmal/normal/balloniert)
 - **Dopplerparameter (Farbdoppler/pw-Doppler):**
Visuelle, semiquantitative Beurteilung der Nierenvaskularisation mittels Farbdoppler-US (homogen/kaum/nicht vaskularisiert), bzw. Spektralanalyse mittels pw-Doppler in **3 Aa. interlobares** (Messort: Übergang echoreicher Sinusreflex des Nierenbeckens zum echoarmen Parenchymzapfen des Nierenparenchyms), **Bestimmung der 3 RI-Werte** (Oberpol, Mittelgeschoss und Unterpol jeder Niere).
 - **Harnstau** (Abgrenzung der echoarmen Flüssigkeit zum echoreichen Sinusreflex?)
 - **V.a. Nierenläsionen/Nierenraumforderungen?**
(bei geringstem Verdacht: Kontrolle mit High-end-Gerät veranlassen, ggf. KM-Sonographie!)
 - **Nierensteine?** (B-Bild: Minimal-Maximalverstärkung, ggf. Farbdoppler-US: „Twinkling-Artefakt“? Steinanamnese?)
 - **Harnwege** (Lumenweite des Ureters im Verlauf? Steine? Harnjet?)
 - **Harnblase** (Volumen vor/nach Miktion: Länge x Höhe x Breite [cm] x 0,5 = [ml]; Harnblasentumor?)
 - **Flüssigkeitshaushalt** (Atemvarianz der Vena cava: x-x cm? Pleura: Viele B-Linien?)
- Ureter und Harnblase**
- v. cava Lunge**

Koratala A, Ronco C, Kazory A. Multi-Organ Point-Of-Care Ultrasound in Acute Kidney Injury. Blood Purif. 2022 Mar 18:1-5.

Stock KF. Klinischer Ultraschall in der Nephrologie [Clinical ultrasound in nephrology]. Nephrologe. 2021;16(3):189-199.

„Wasserverteilung“ im Körper: Aussagen durch den Ultraschall

nach Deiml, 2012



v. cava

B-Linien

Aszites
Pleuraergüsse
(Perikarderguss)

Ultraschall-Untersuchungsgang an der Dialyse mit dem Taschenultraschallgerät

1) v. cava

2) Perikard/EF

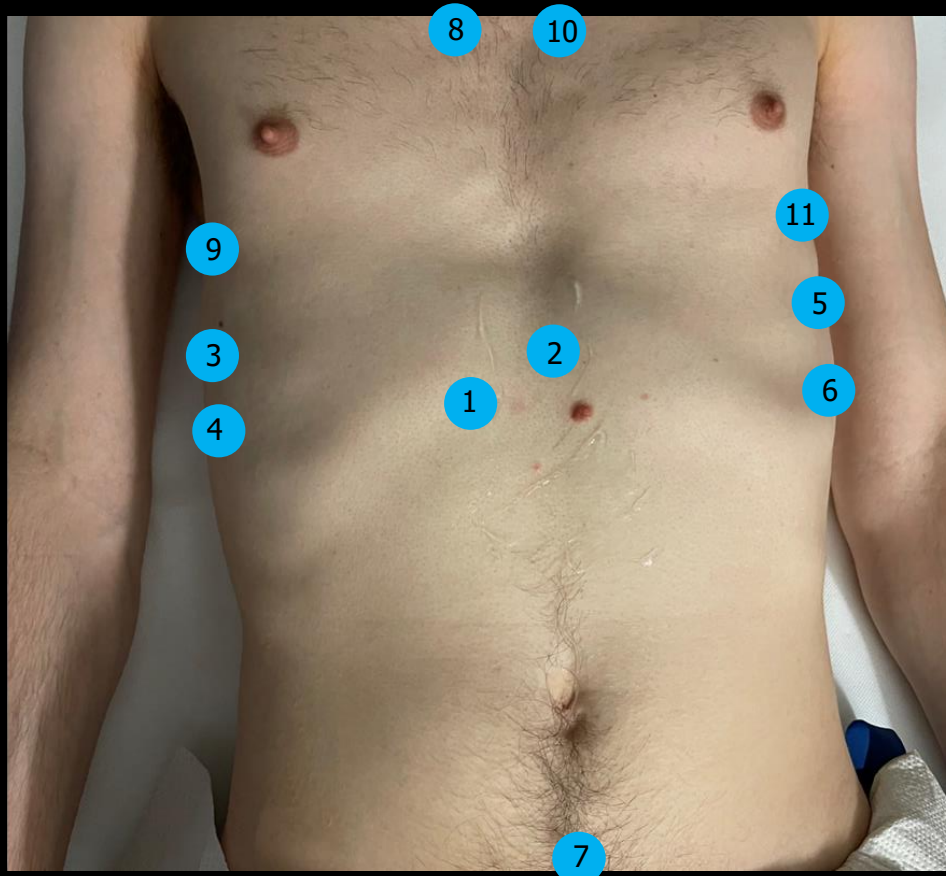
3) Pleuraerguss rechts

4) Morison-Pouch: Aszites

5) Pleuraerguss links

6) Koller-Pouch

7) Douglas-Raum



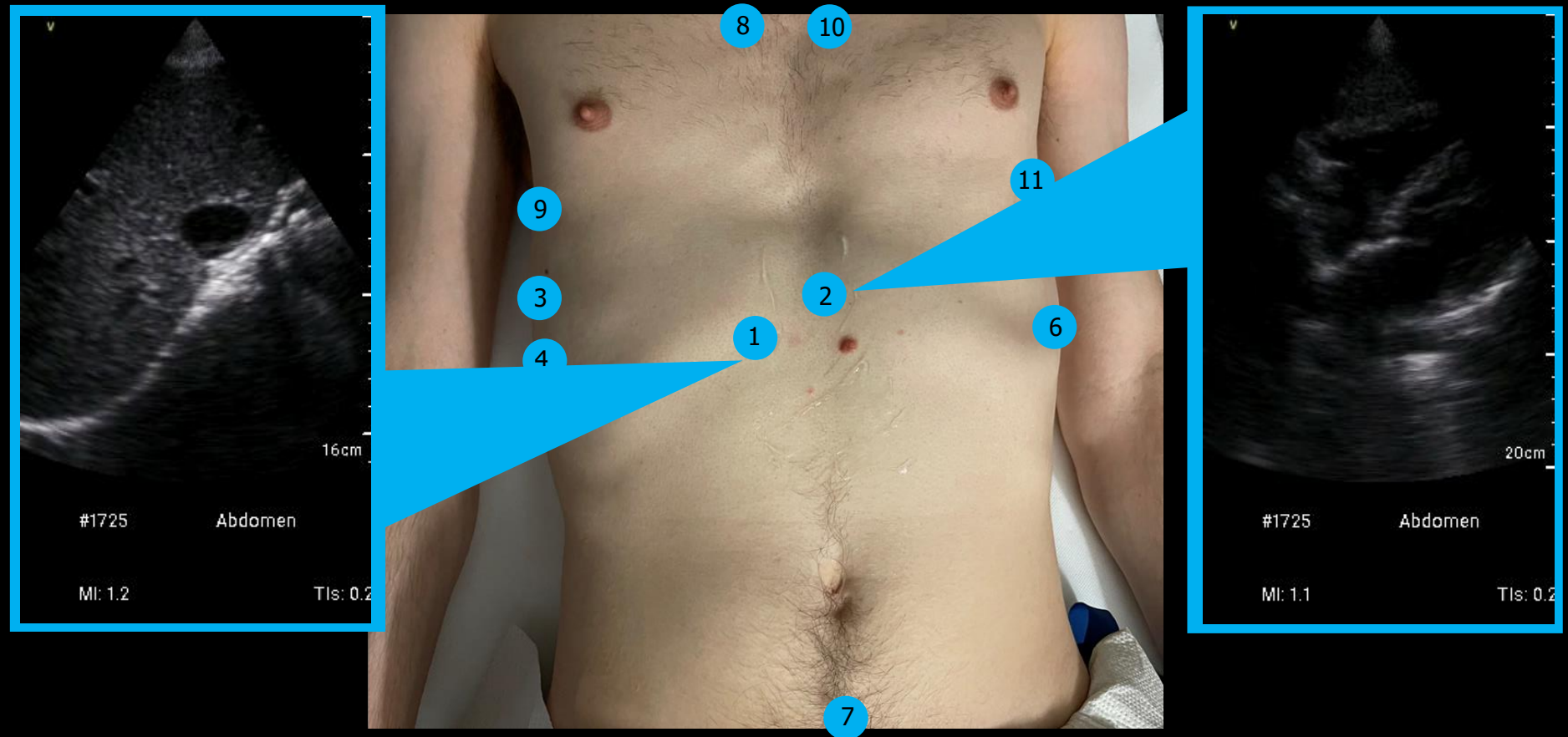
1) Lunge parasternal rechts R1

2) Lunge lateral basal rechts R6

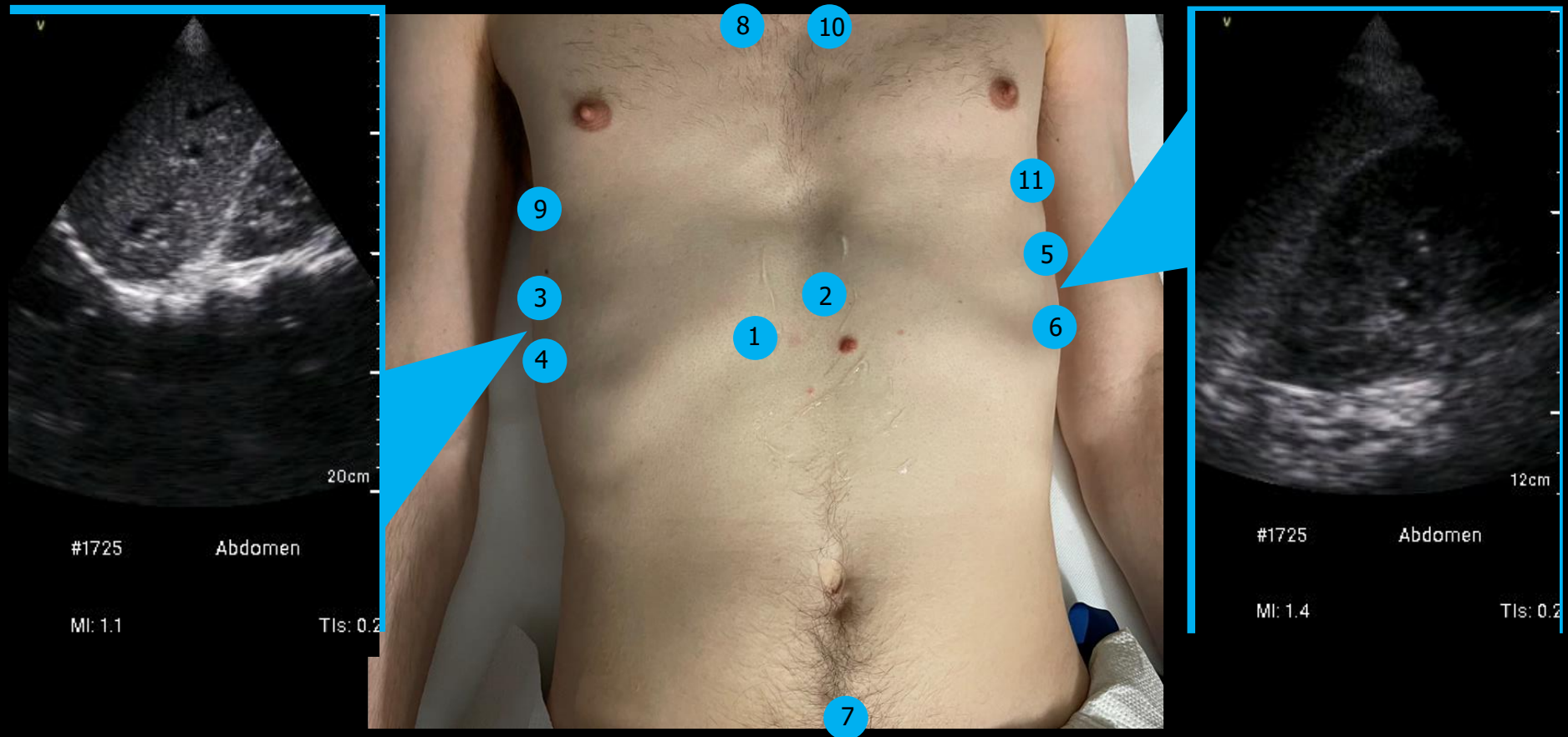
3) Lunge parasternal links L1

4) Lunge lateral basal links L6

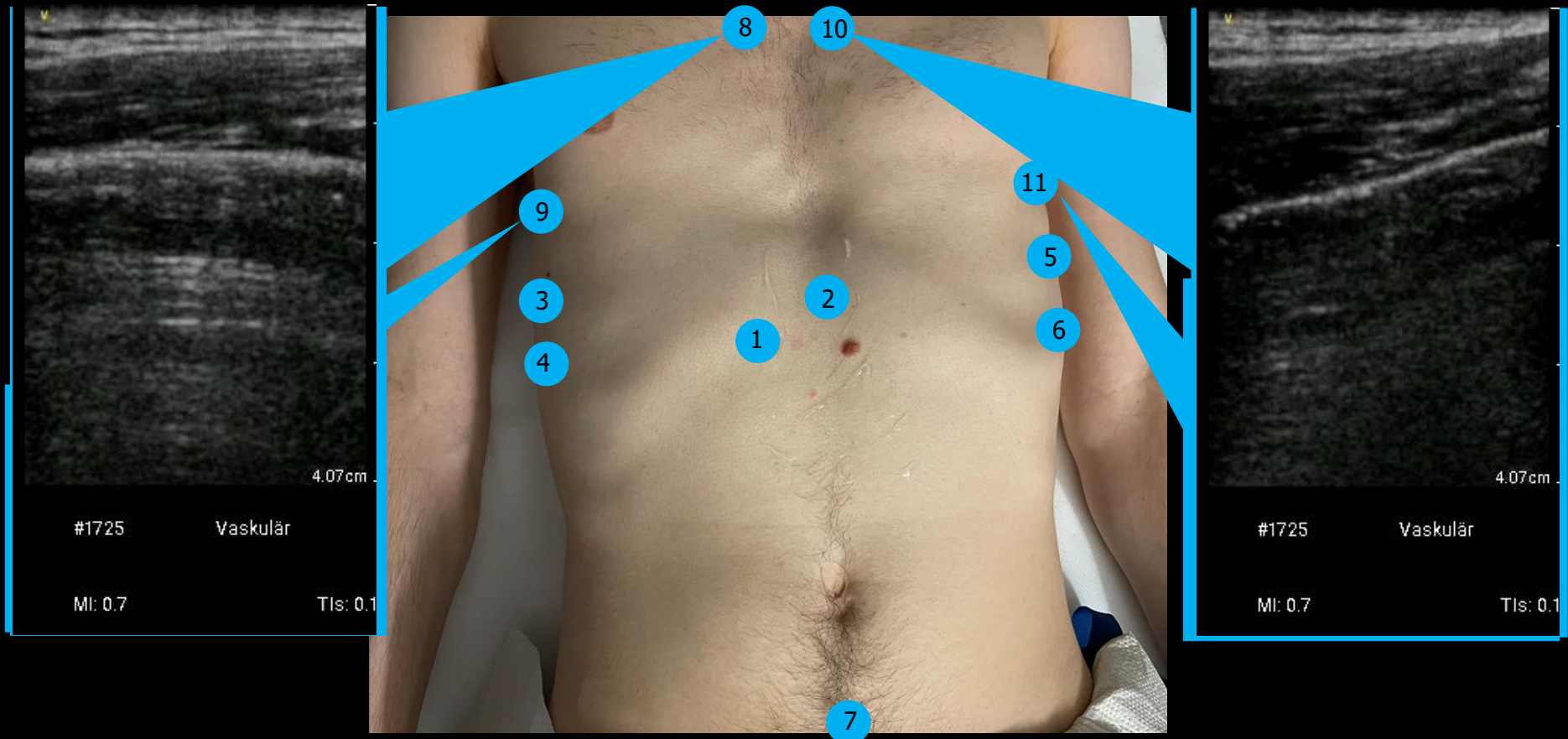
Ultraschall-Untersuchungsgang an der Dialyse mit dem Taschenultraschallgerät



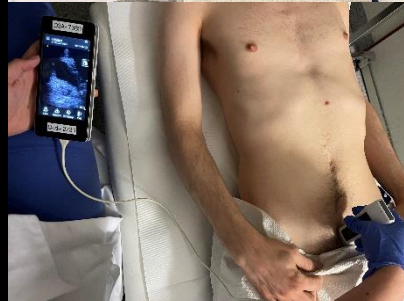
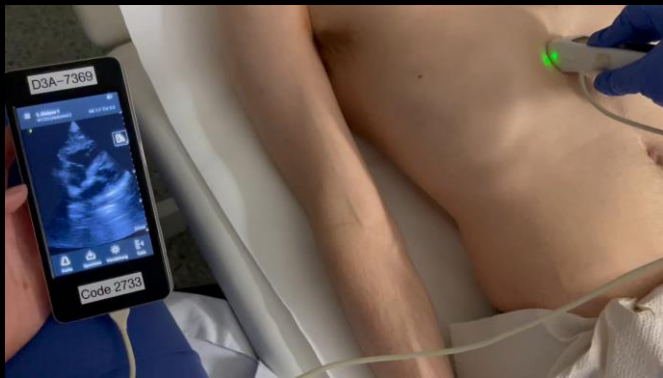
Ultraschall-Untersuchungsgang an der Dialyse mit dem Taschensono VScan



Ultraschall-Untersuchungsgang an der Dialyse mit dem Taschenultraschallgerät



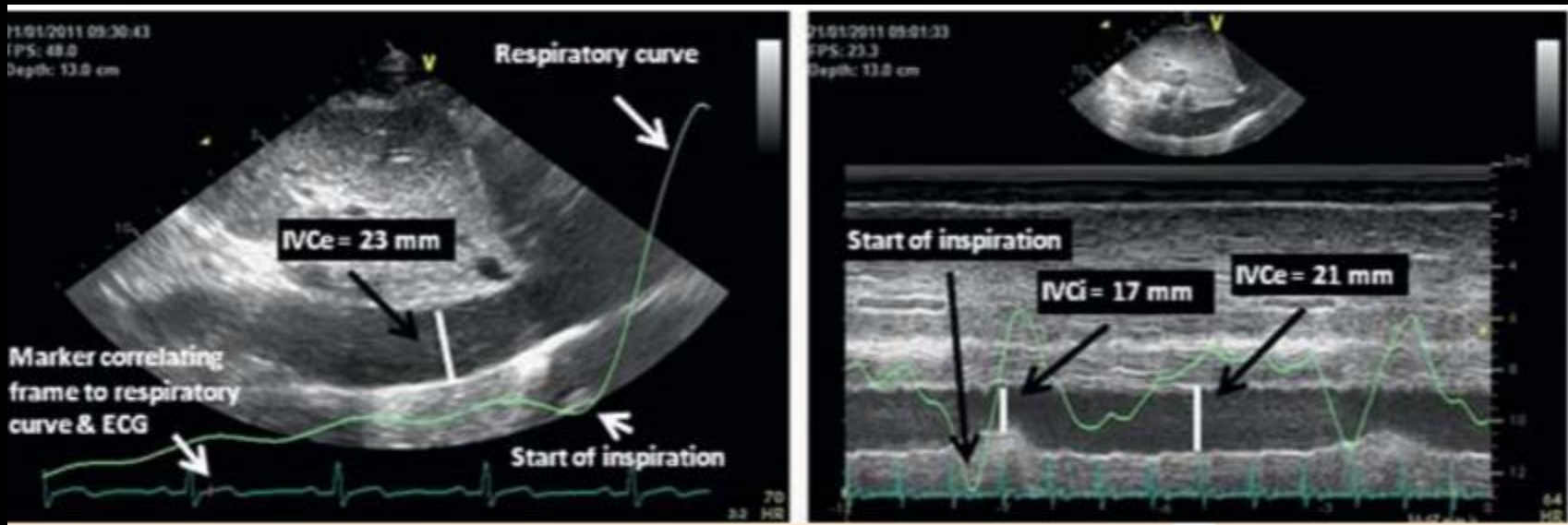
Ultraschall-Untersuchungsgang an der Dialyse mit dem Taschenultraschallgerät



Intravasale Flüssigkeit: Vena cava!

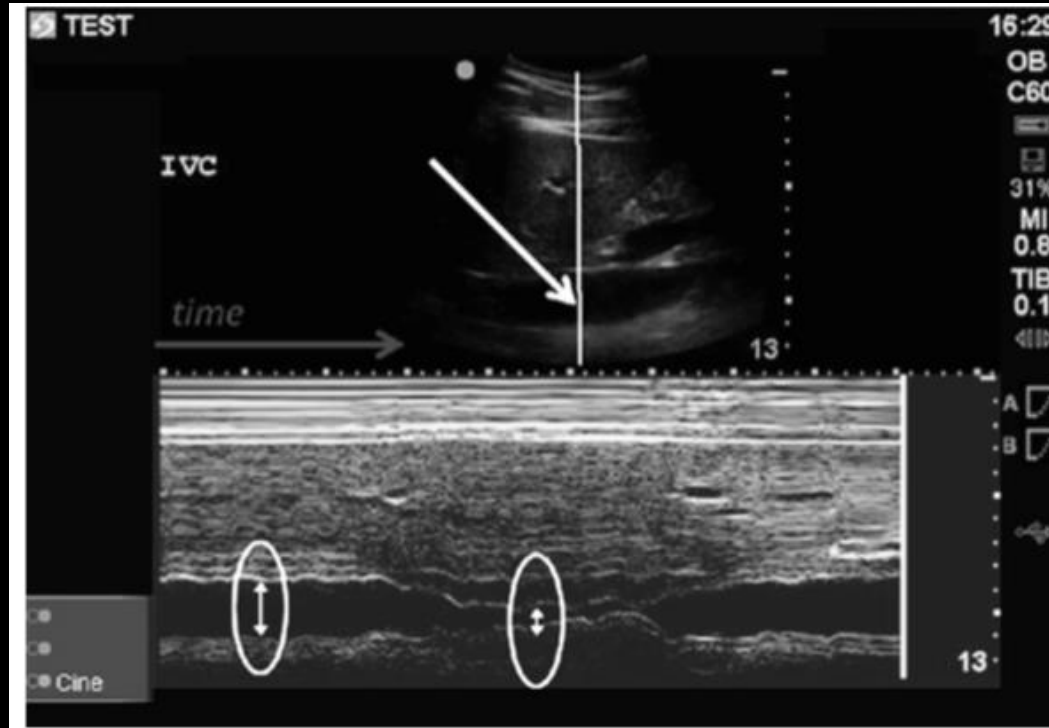
V. cava: Wo sollen wir messen?

...ein Blick in die Studien...



The IVC diameter was measured at expiration (IVCe) and at inspiration (IVCi) with tracings perpendicular to the vessel walls approximately 2cm caudal to the inflow of the hepatic veins.

...ein Blick in die Studien...



„ICV above the level of the hepatic veins, within 0,5-3 cm from the right atrium“.

Natori H, Am Rev Respir Dis. 1979 Aug;120(2):421-7.

Ultrasonographic evaluation of ventilatory effect on inferior vena caval configuration

Since the size and shape of the IVC is correlated to the central venous pressure and circulating blood volume, sonographic evaluation of the IVC is an instantaneous non-invasive measure of volume status.

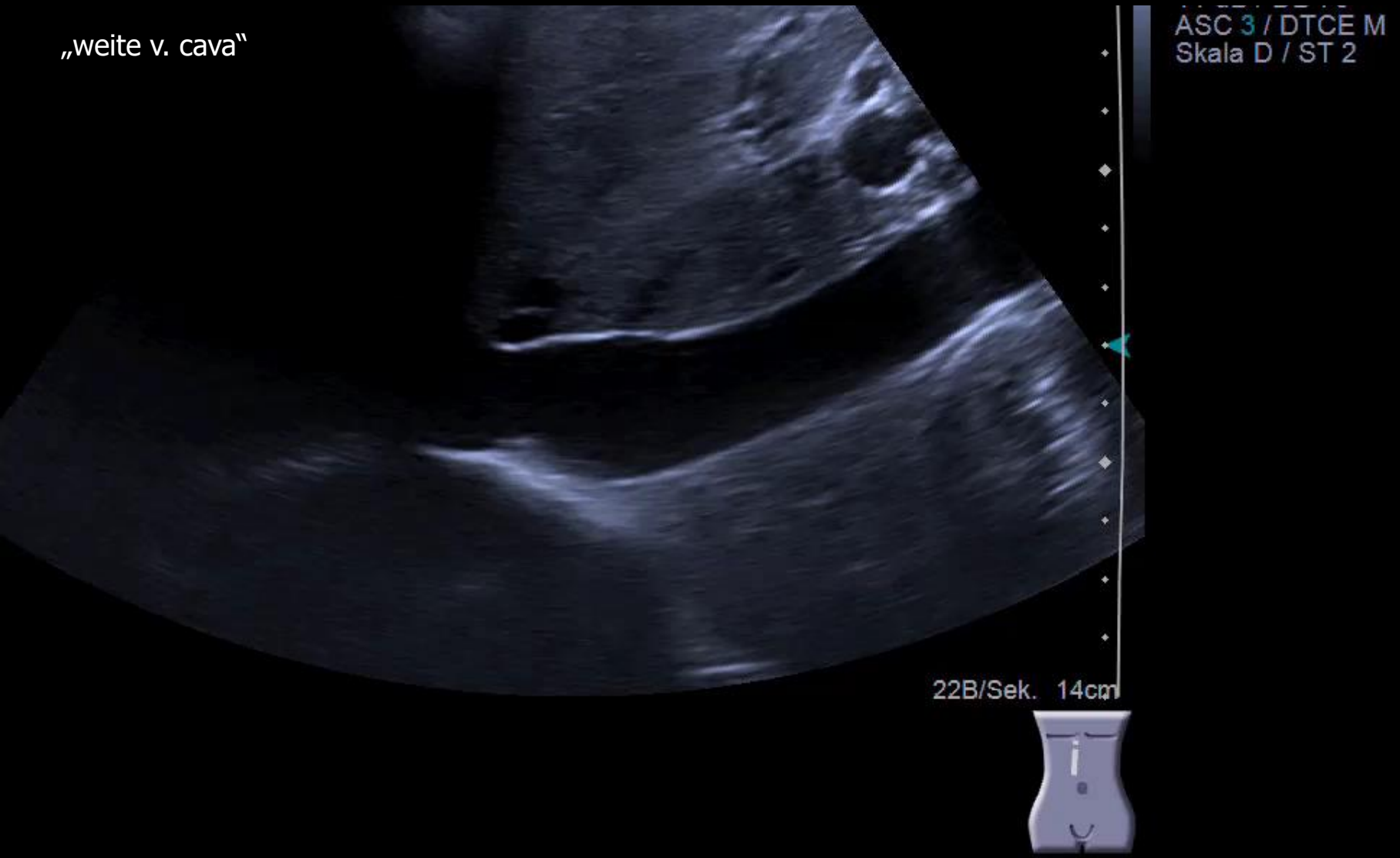
The IVC is a very compliant vessel whose size varies with changes with intravascular pressure. Consequently, the IVC collapses with inspiration as the blood is pumped out of the IVC due to the negative pressure created by chest expansion. In **healthy subjects breathing spontaneously**, cyclic changes in thoracic pressure, result in **collapse of the IVC diameter of approximately 50%** [4].

Although there is a lack of universally accepted cutoffs, in healthy individuals, IVC diameter at inspiration ranges from 0 to 14mm at rest, and expiratory diameter of 15 to 20mm at rest. An IVC collapsible index is defined as $(IVCd_{exp} - IVCd_{insp}) / IVCd_{exp}$.

The closer the collapsibility index is to 0% or 100% the higher the likelihood that patient is volume overloaded or depleted, respectively.

Kollapsibilität der V. cava

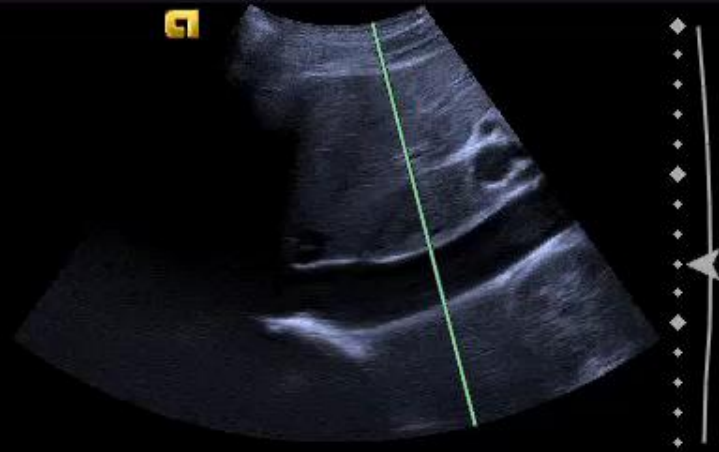
„weite v. cava“



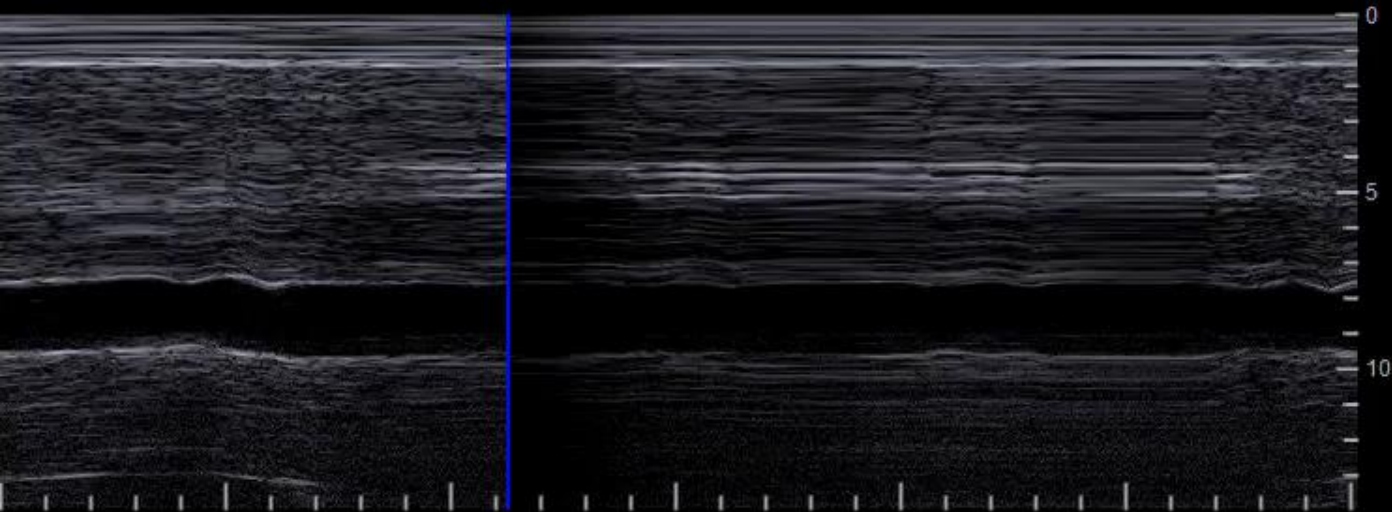
TIS: 0,5
 TIB: 1,1
 MI: 1,3



„weite v. cava“



6C2 / * 2Abdomen 6C2
 Allgemein
 2D _____ 100%
 THI / H5,00 MHz
 11 dB / DB 70
 SC 2 / DTCE M
 Skala D / ST 2
 M _____ 100%
 THI / H5,00 MHz
 13 dB / DB 55
 Skala D / E 1



9B/Sek. 14cm

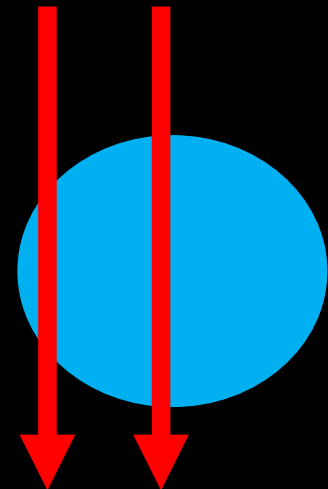


Kollapsibilität der V. cava



Fallgruben bei der Messung der v. cava

1. Messung der v. cava an der Dialyse möglichst von ventral, da es von lateral/intercostal bei falschem Anschallwinkel möglicherweise zu Fehlmessungen kommen kann.
2. Keine Messung in tiefer Inspiration!

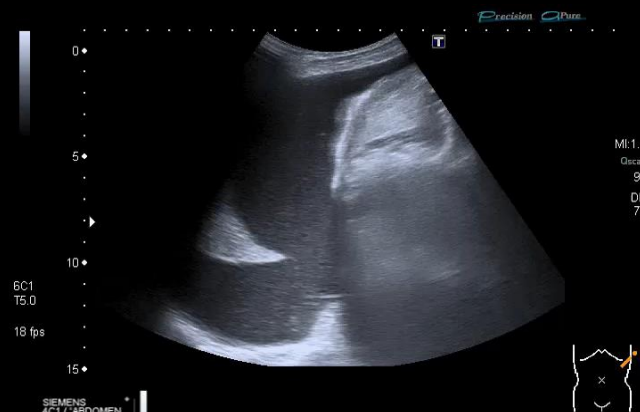


„V. cava-Wahrheiten“ aus der Intensivmedizin

1. Bei spontan atmenden Patienten ist der beste Grenzwert für einen rechtsatrialen Druck um die 10 mm Quecksilber ca. 2 cm, der Durchmesser der v. cava korreliert mit dem rechtsatrialen Druck.
2. Eine kleine (<10 mm) inferiore vena cava legt nahe, dass Flüssigkeit toleriert wird.
3. Invasiv beatmete Patienten haben oft eine erweiterte vena cava inferior wegen eines erhöhten intrathorakalen Drucks, die hier nicht den intravaskulären Volumenstatus widerspiegelt.

Dritte Räume: Wo sollen wir schauen?

„Dritte“ Räume



Pleuraergüsse



Aszites

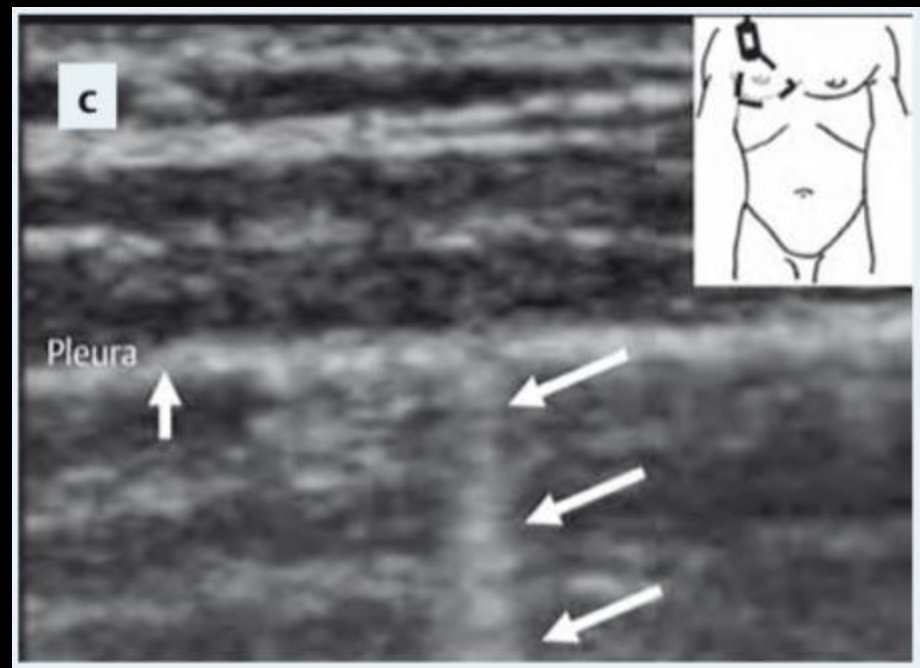


Perikarderguss

Interstitielle Flüssigkeit: Lungenultraschall!

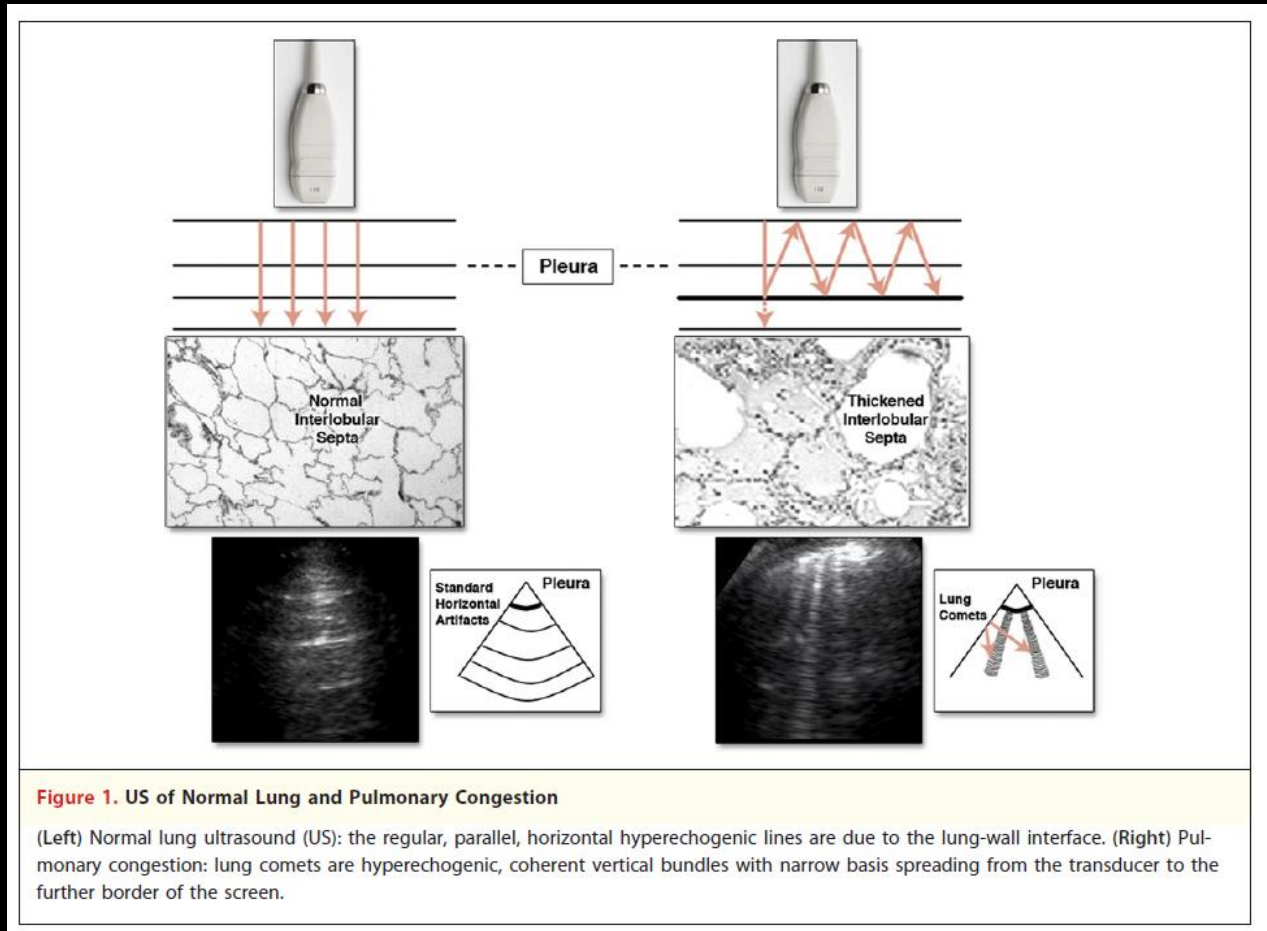
B-Linien

syn. „wandernde Kometenschweifartefakte“, „Taschenlampenphänomen“, bei In- und Expiration, vertikal ausgehend von der intakten Pleura bis zum Sektor-bzw. Bildschirmrand. B-Linien entsprechen den interlobulären Septen -> normalerweise in ca. 7mm Abstand, d.h. ca. 1-4 pro Bild beim Gesunden.



Quelle: Röhrig S, in AINS, 2011

B-Linien im Lungensultraschall



B-Linien: Achtung Geräteeinstellung!

The results of our study show that determining the exact number of B-lines is difficult and strongly dependent on the transducer used and interpretation of the rater. This seems to be intuitive, as among other technical factors, frequency, and thus image quality, but also transducer width and therefore area of lung tissue visualized, differs.

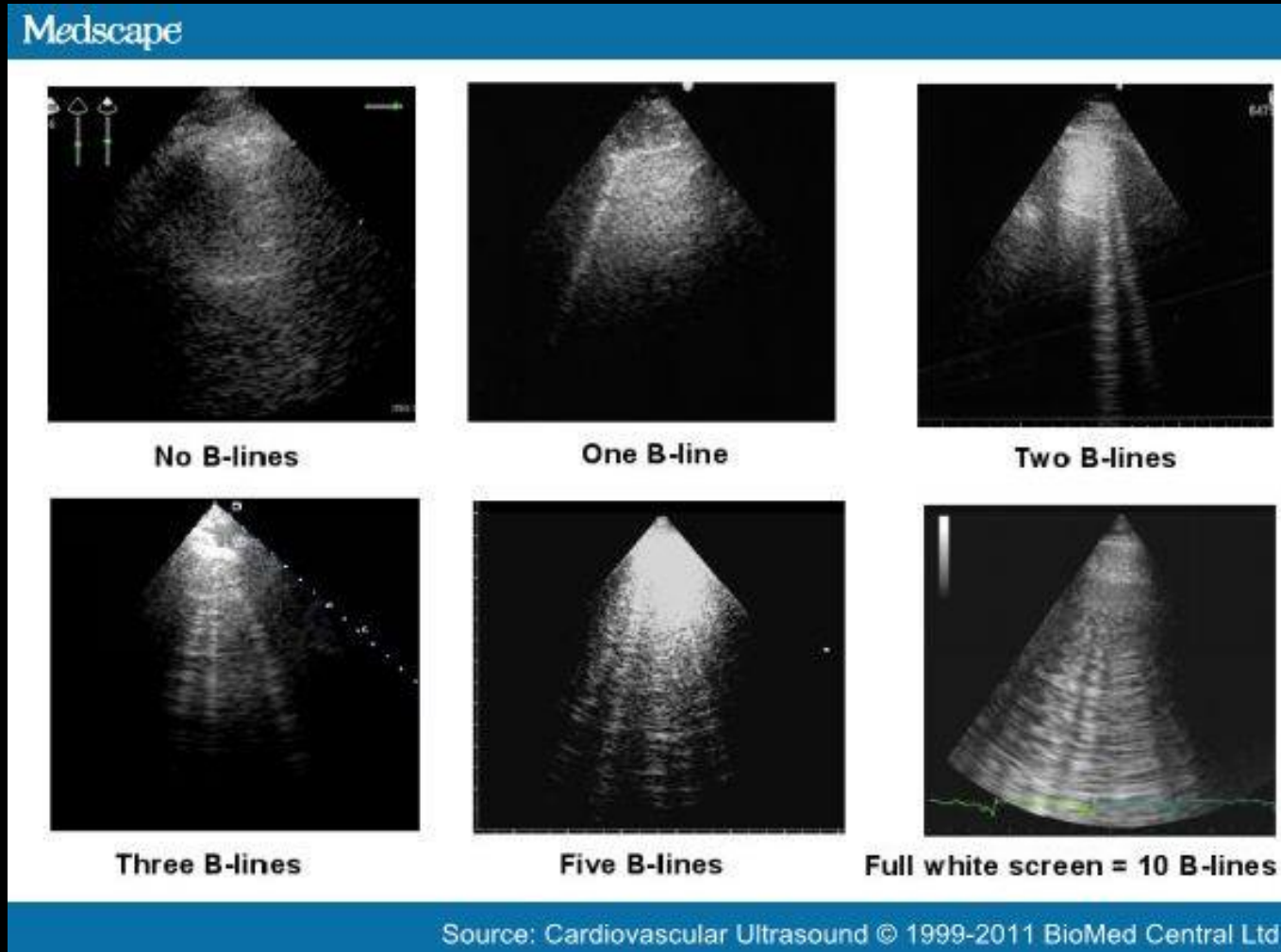
Table 1 Results of reproducibility analysis

Transducer [Images]	Total number of B-lines		<3 or ≥ 3, well-spaced or coalescent		<3 vs. ≥ 3 B-lines		3 mm vs. 7 mm spacing	
	ICC	95% CI	Kappa	95% CI	Kappa	95% CI	Kappa	95% CI
Agreement raters								
L, C, A	0.62	(0.45–0.77)	0.60	(0.47–0.74)	0.74	(0.57–0.91)	0.16	(0.06–0.25)
L	0.62	(0.35–0.86)	0.40	(0.13–0.67)	0.60	(0.18–1.00)	0.21	(0.00–0.44)
C	0.67	(0.39–0.89)	0.74	(0.45–1.00)	0.76	(0.47–1.00)	0.01	(–0.16–0.19)
A	0.60	(0.33–0.85)	0.67	(0.45–0.88)	0.83	(0.56–1.00)	0.09	(–0.07–0.24)
Agreement transducers								
L, C, A	0.63	(0.55–0.69)	0.45	(0.37–0.54)	0.51	(0.42–0.61)	×	×

L linear, C cardiac, A abdominal, ICC interclass coefficient, CI confidence interval, Kappa Fleiss Kappa

Haaksma ME, Smit JM, Heldeweg MLA, Pisani L, Elbers P, Tuinman PR. Lung ultrasound and B-lines: B careful! Intensive Care Med. 2020 Mar;46(3):544-545.

B-Linien – interstitielles Lungenödem*



Sehen ist besser als Hören!

“In conclusion, two classic physical signs, like lung crackles and peripheral edema, have a very low sensitivity for detecting interstitial lung edema in patients with ESRD. These findings reinforce the rationale underlying the LUST Trial, a trial testing US-B lines as an instrument to guide interventions aimed at mitigating lung congestion in high-risk patients on hemodialysis.”

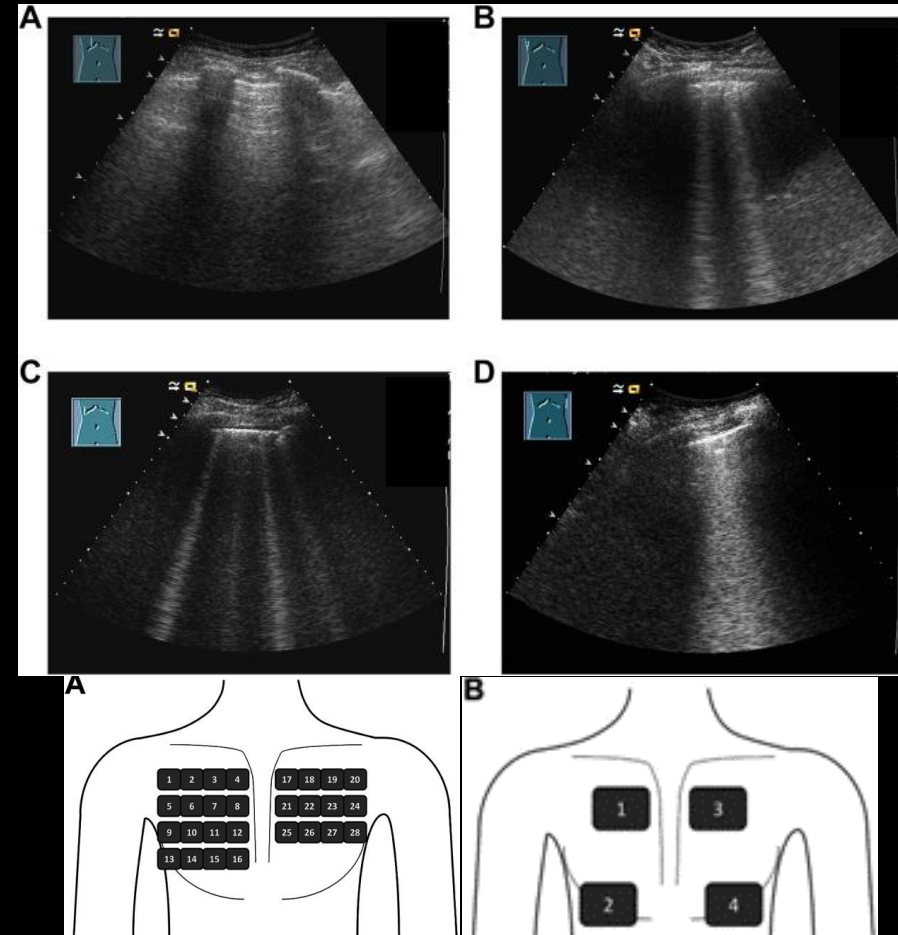
"Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water

“The presence and the number of comet-tail images provide reliable information on interstitial pulmonary edema. Therefore, ultrasonography represent an attractive, easy-to-use, bedside diagnostic tool for assessing cardiac function and pulmonary congestion.”

Agricola E et al. , "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. Chest. 2005 May;127(5):1690-5.

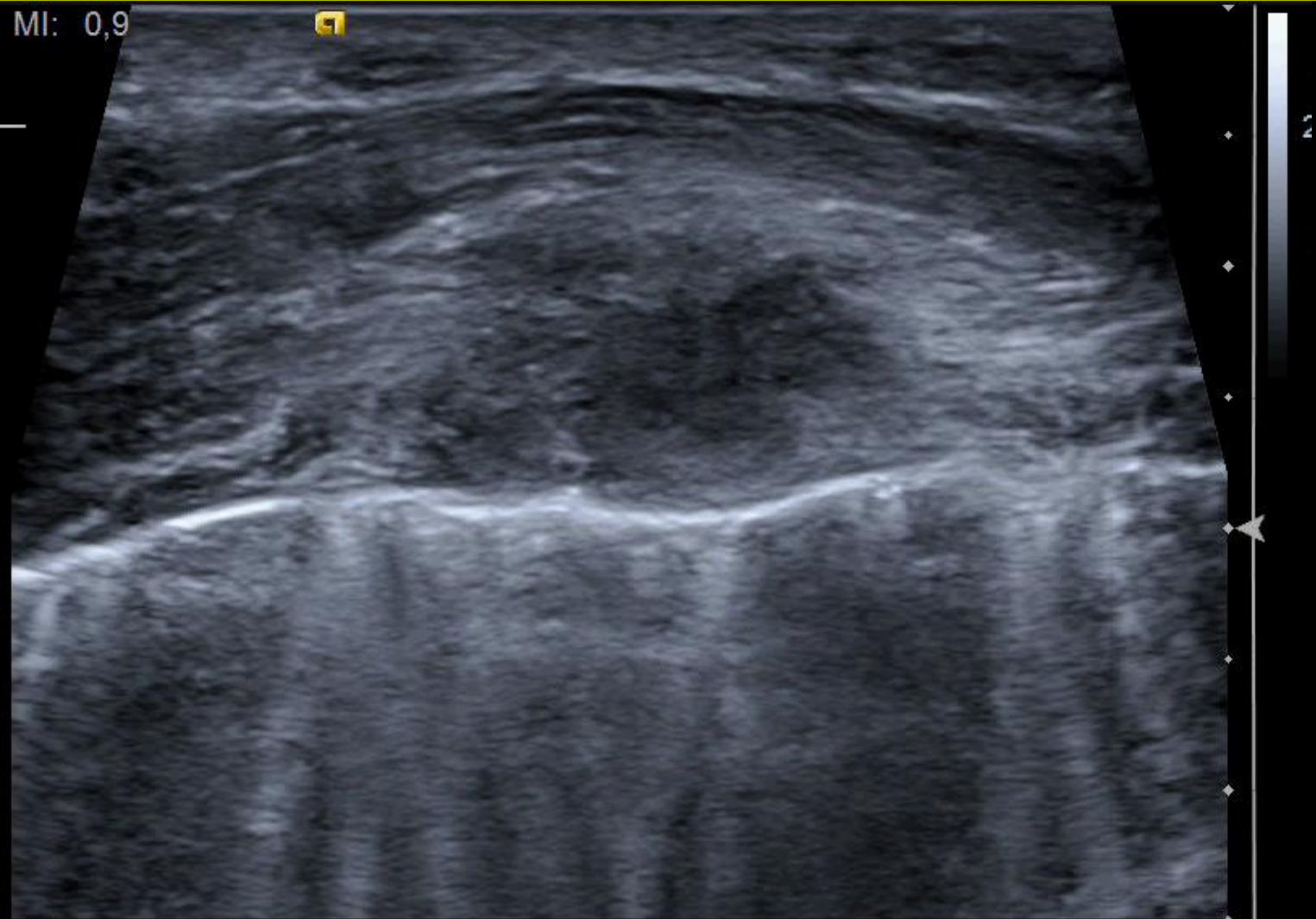
B-Linien und extravaskulärer Lungenwasserindex

“Both B-line protocols provide accurate non-invasive evaluation of lung water in critically ill patients. The 28-sector scan offers a marginal advantage in prediction of pulmonary edema, but needs substantially more time than 4-sector scan.”

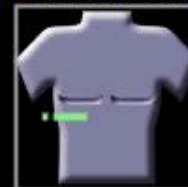


Lungenultraschall zur Steuerung des Ultrafiltrationsvolumens bei Dialysepatienten

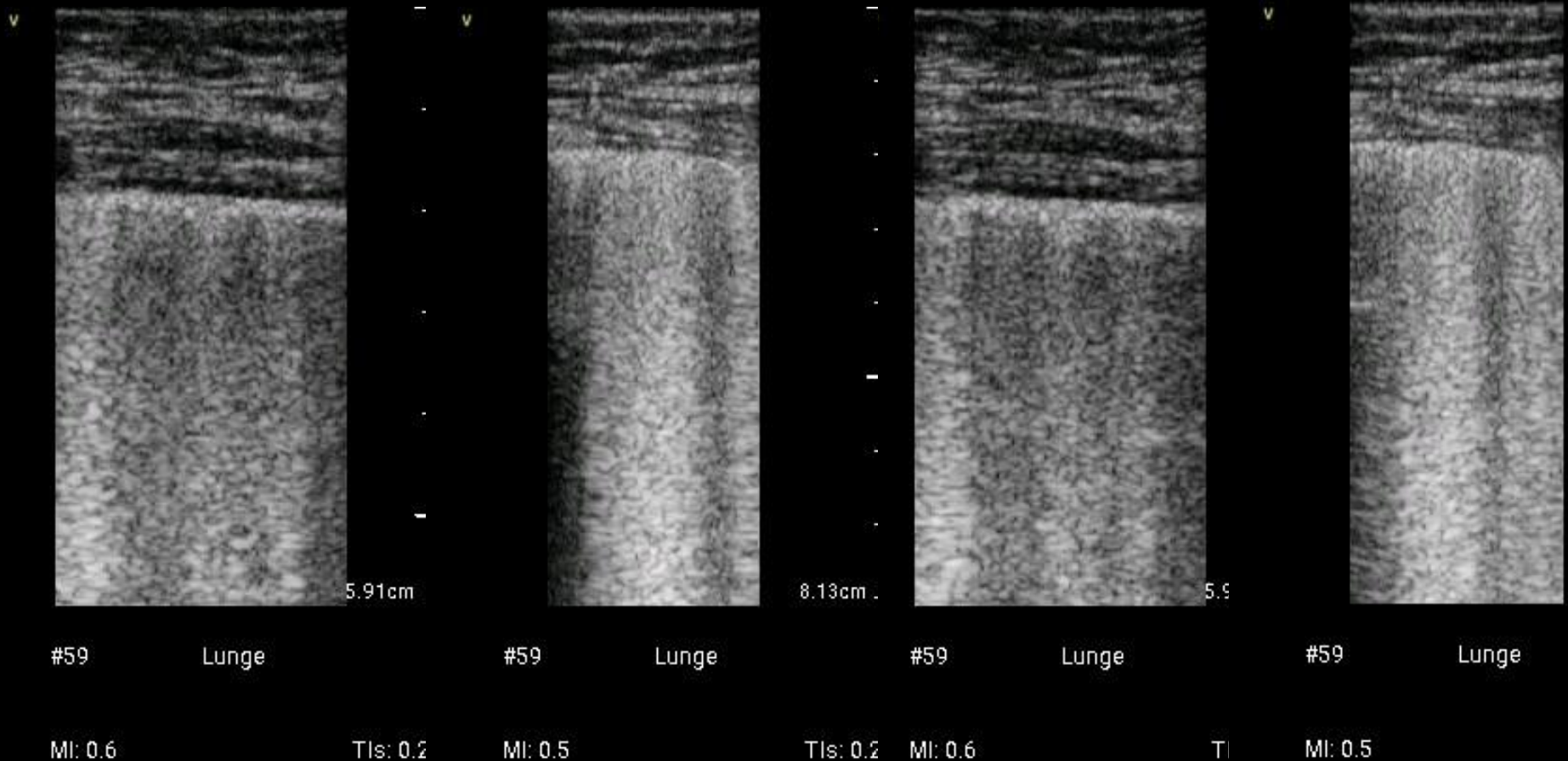
- N= 35.
- ultrasound of the chest, pre-tibial skin tissue thickness (TT), heart and inferior vena cava (IVC) before and after dialysis
- B-line scores of lungs, IVC diameters and cardiac functions in pre-dialysis and post-dialysis groups.
- median numbers of B-line scores (10 [0-42] vs. 4 [0-30]; $p < 0.001$); mitral valve blood flow velocities E, A and E/e'; IVC diameters at end-expiration and right pre-tibial TT decreased during dialysis.
- Ultrafiltration volume was most associated with B-line score (adjusting for age and sex) ($\beta = -3.340$; $p = 0.003$). In addition, the B-line score after dialysis was significantly associated with left ventricular ejection fraction.
- Ultrafiltration volume was most associated with lung water, reflected by variation in B-line score. It was not associated with cardiac function, IVC diameter, IVC collapse rate or TT.



42B/Sek. 3,5cm



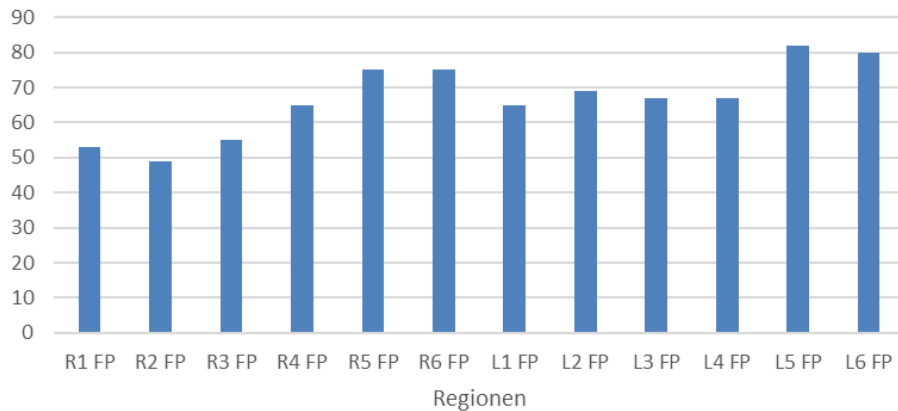
**Fallgrube: B-Linien bei
Lungenkontusion nach Autounfall**



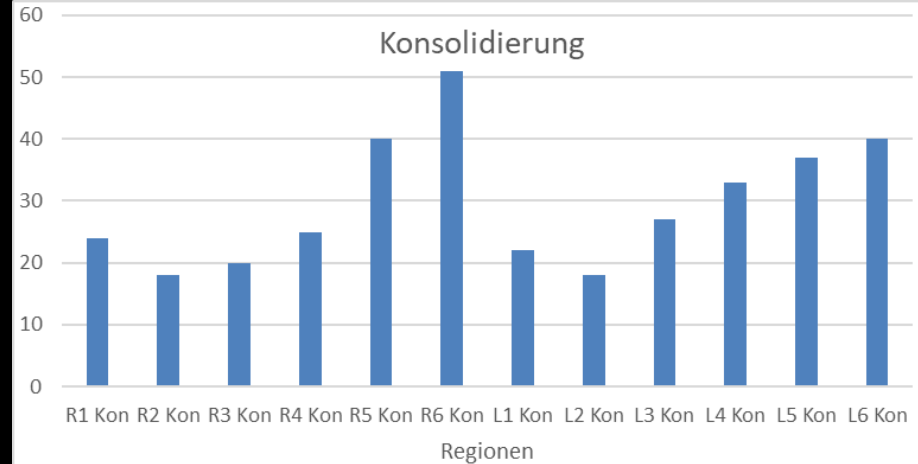
Fallgrube: B-Linien bei COVID-19 Infektion

Lungenultraschall bei COVID-19: n = 46 Patienten 5/20-5/21

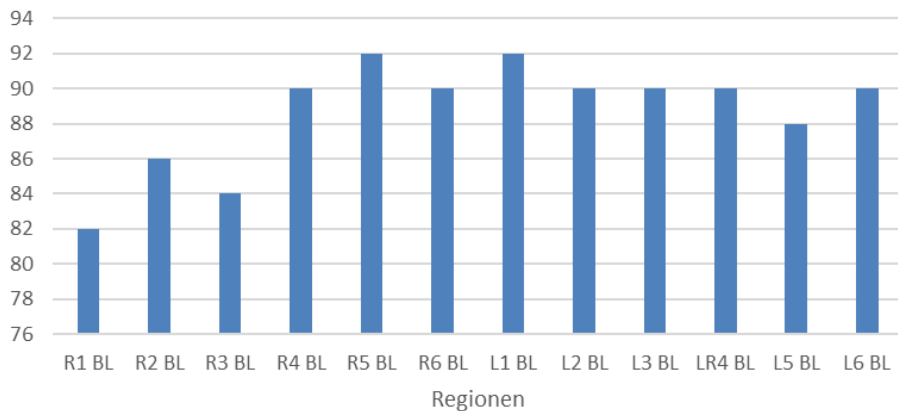
Fragmentierte Pleura



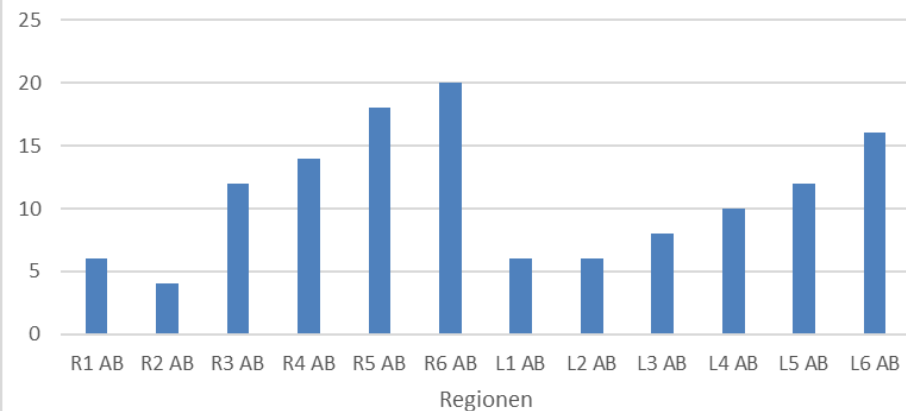
Konsolidierung



B-Linien



Aerobronchogramm



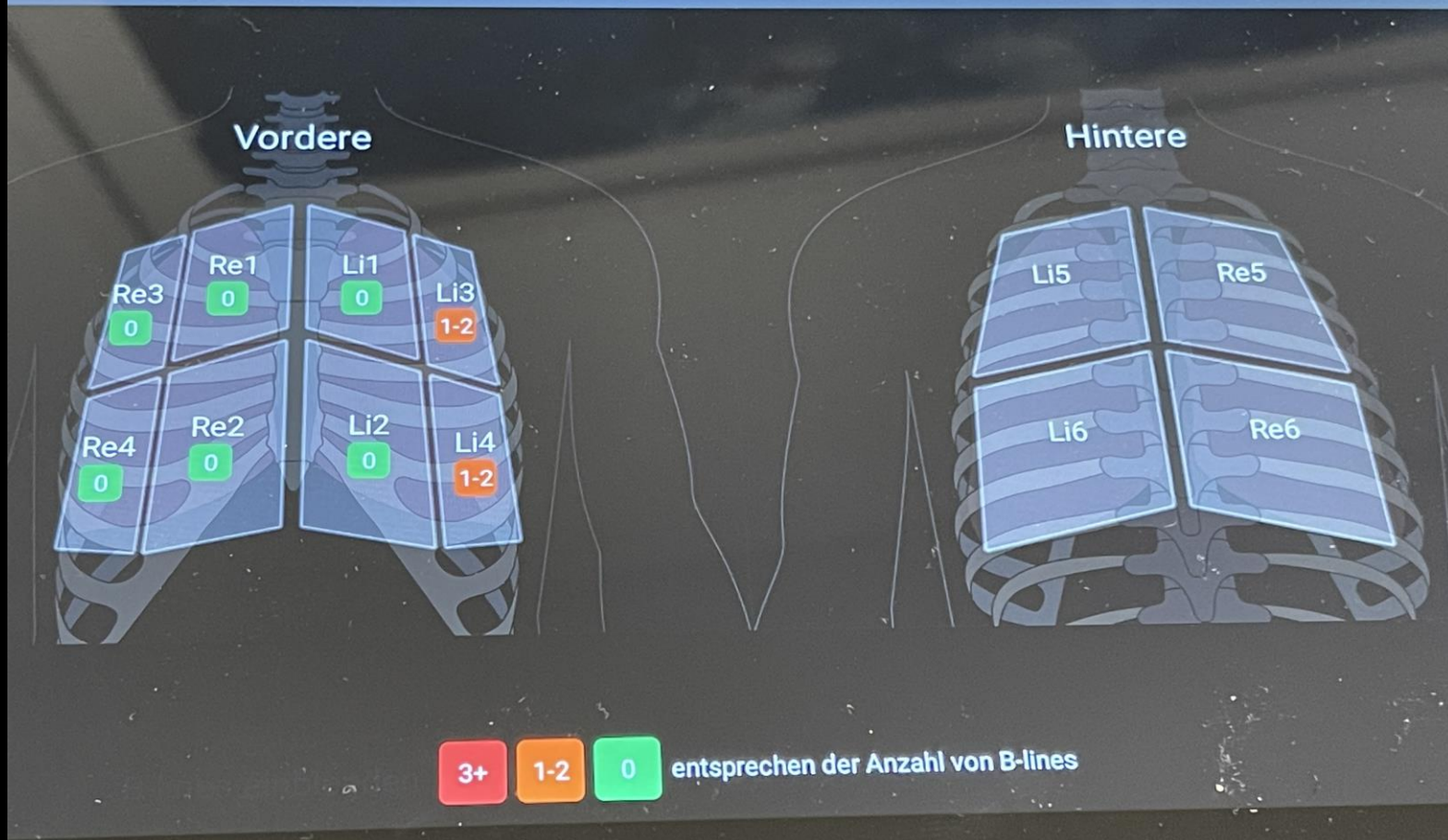
Lungenultraschall: Untersuchungstechnik...



Lungenultraschall:
„team style“

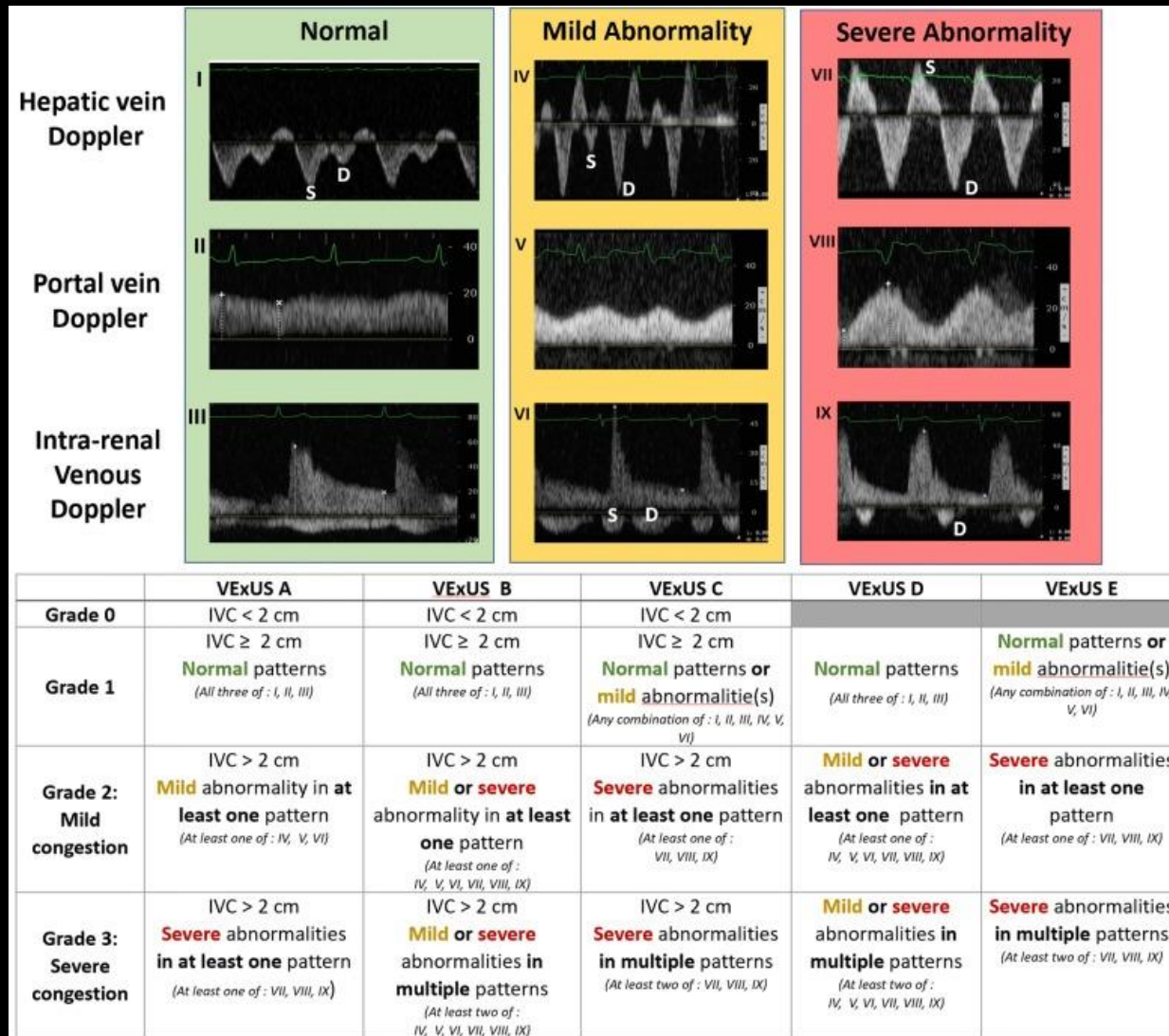
Automatische B-Linienerkennung und B-Linien-Registrierung aus einer Videoschleife....

eine Region, um eine Schleife zu erfassen, oder tippen Sie auf eine Region mit einer Schleife, um ggf. die Ergebnisse



**Wie könnte man diese
Ultraschalluntersuchungen bei
entsprechender ärztlicher Expertise und
Geräteausstattung noch erweitern?**

Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound (VExUS) grading system



“The presence of severe flow abnormalities in multiple Doppler patterns with a dilated IVC (≥ 2 cm) showed the strongest association with the development of subsequent AKI compared with other combinations (HR: 3.69 CI 1.65–8.24 $p = 0.001$).”

Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K, Bouchard J, Lamarche Y, Spiegel R, Denault AY. Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system. Ultrasound J. 2020 Apr 9;12(1):16.

VExUS grading



Grade 0

No congestion; IVC < 2 cm

Grade 1

Mild congestion

IVC $\geq$ 2 cm + any combination of normal or mildly abnormal waveforms

Grade 2

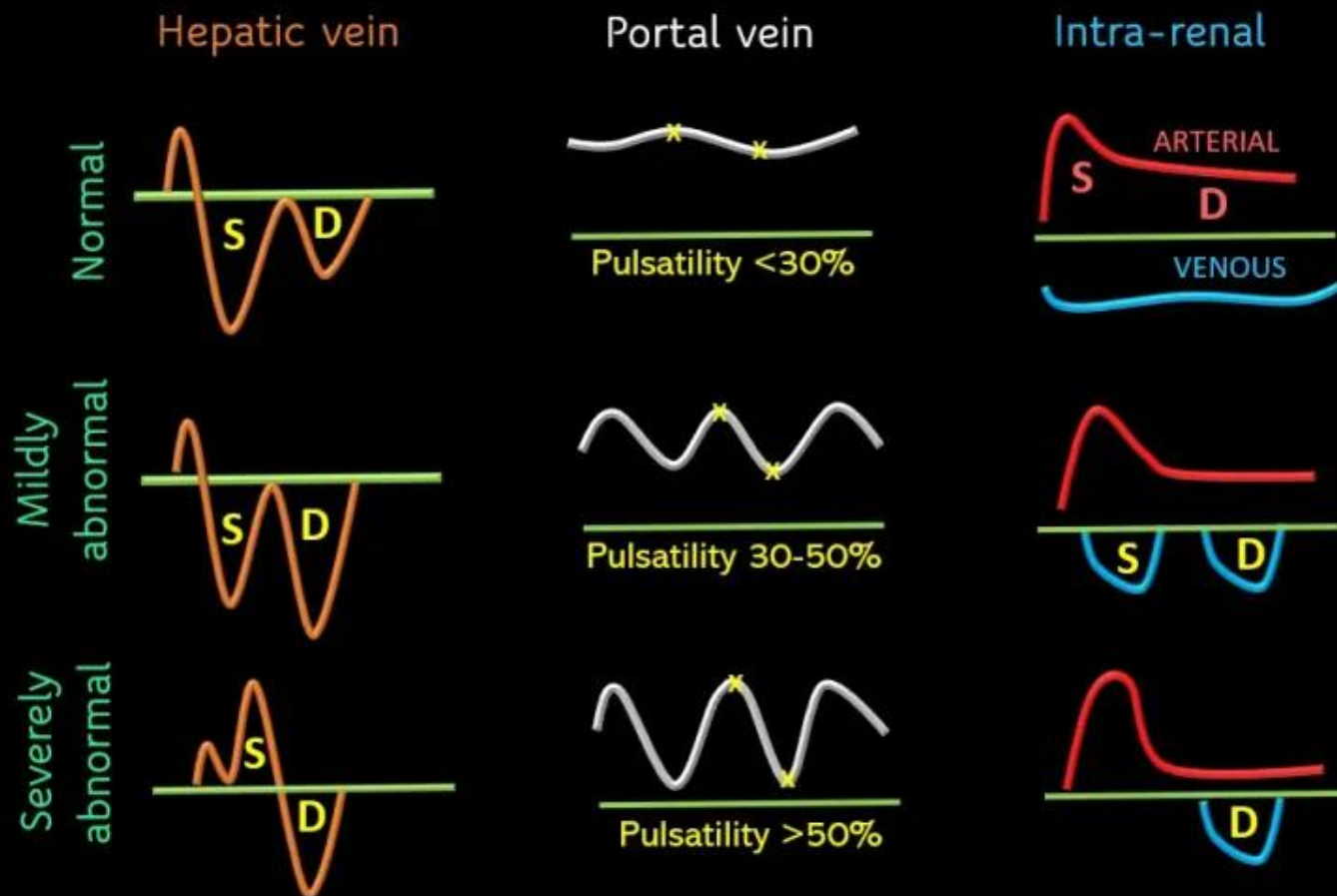
Moderate congestion

IVC $\geq$ 2 cm + at least one severely abnormal pattern

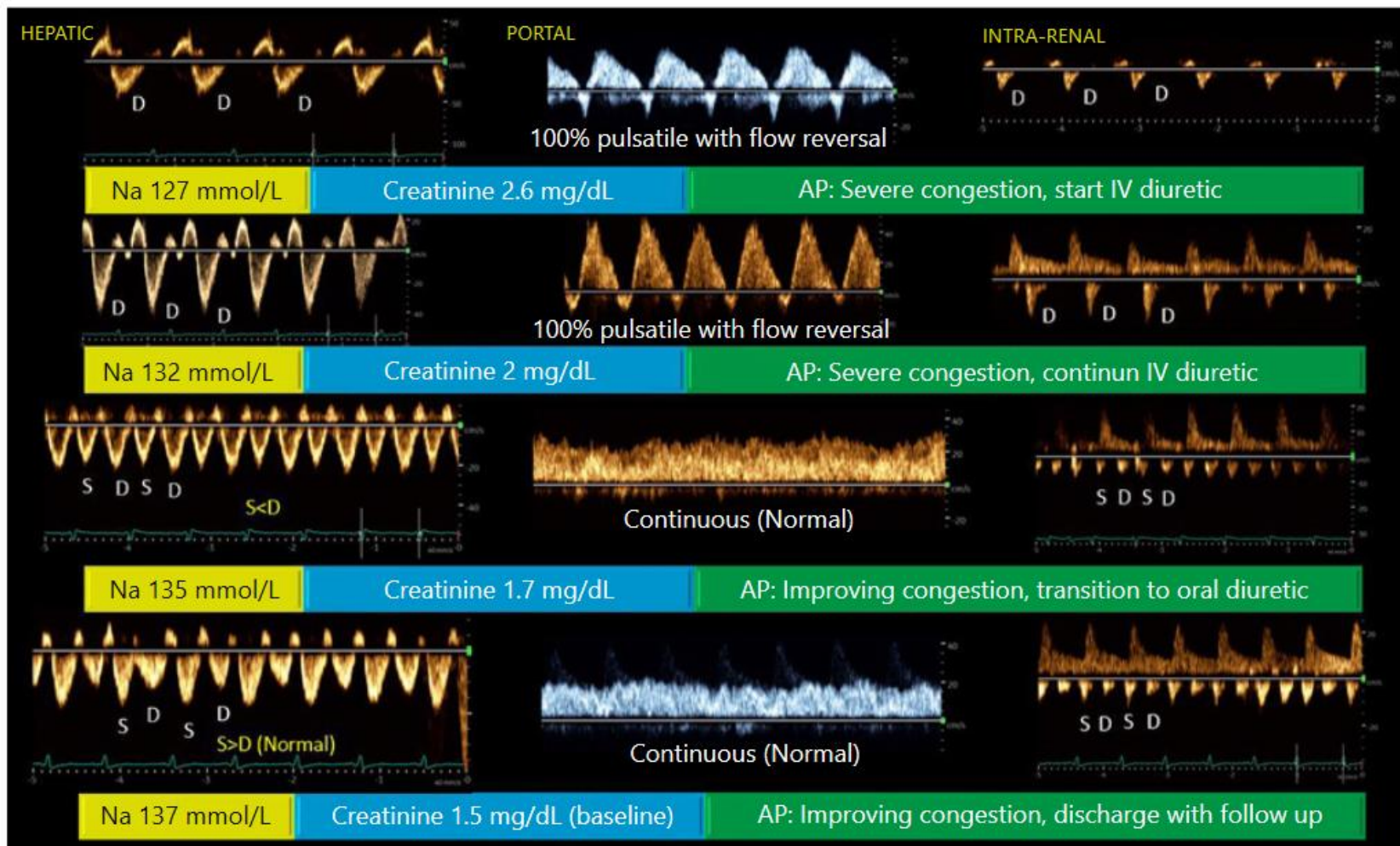
Grade 3

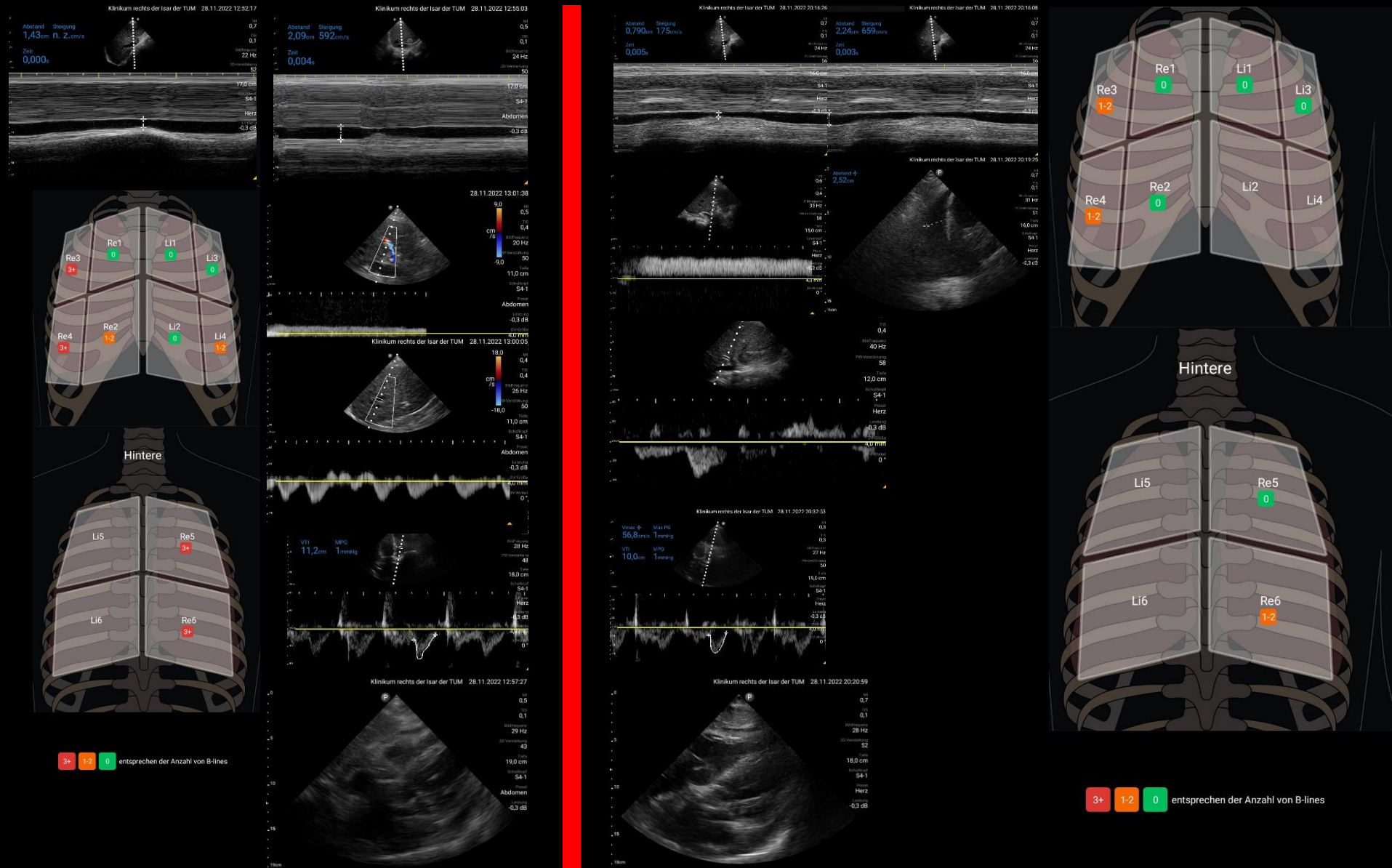
Severe congestion

IVC $\geq$ 2 cm + two or more severely abnormal waveforms



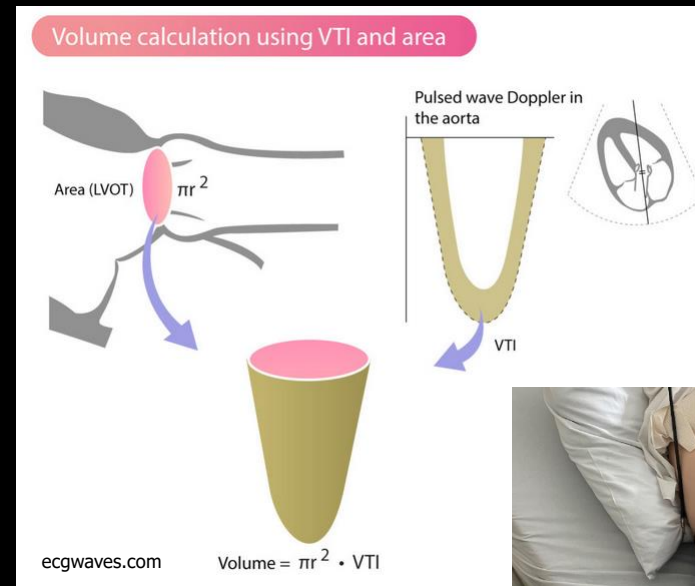
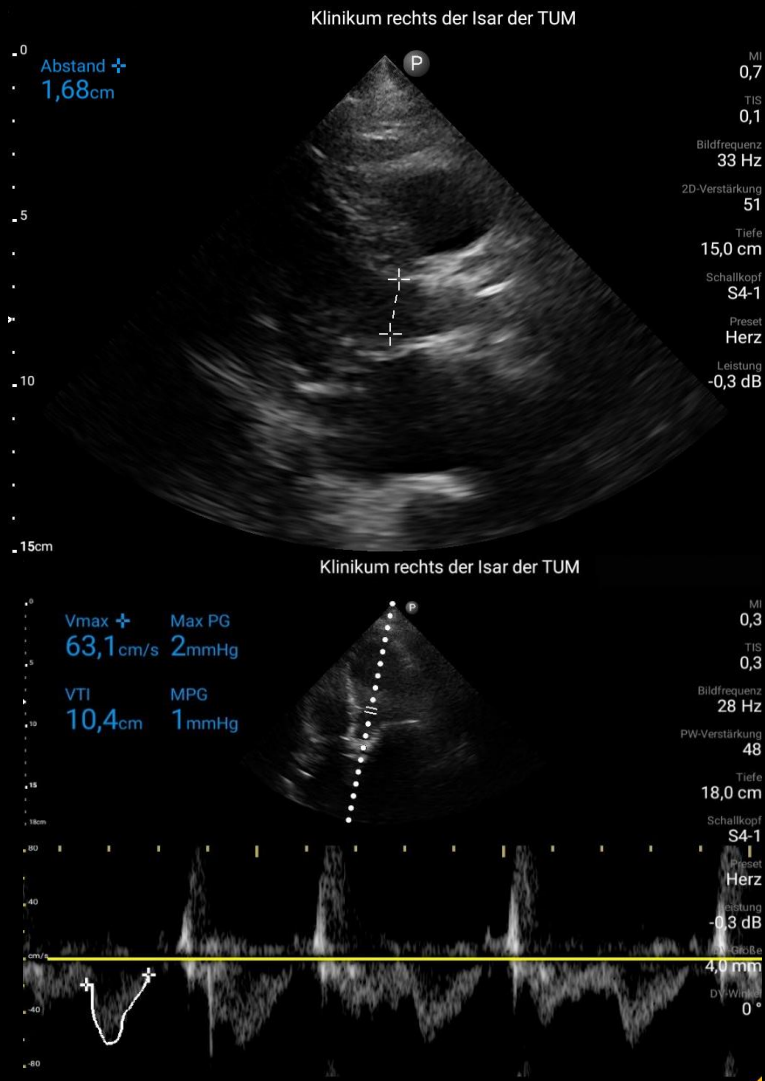
Fallbeispiel: Koratala A.





Warum dann nicht gleich eine Echokardiographie?

Neue Mini-Ultraschall-Geräte ermöglichen sogar eine rasche Herzschlagvolumen-Bestimmung bettseitig



$$\begin{aligned} \text{Schlagvolumen SV} &= \text{VTI} \times \text{AÖF} = \\ &= 0,785 \times (1,68 \text{ cm})^2 \times 10,4 \text{ cm} \\ &= 23 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



Volumenbestimmung an Hämodialyse

III) Zusammenfassung

Volumenbestimmung an Hämodialyse

- Der repetitive Einsatz eines standardisierten Ultraschallverfahrens mit Erfassung von V. cava, B-Linien und „dritten Räumen“ (Pleuraergüssen/Aszites/Perikarderguss) ermöglicht eine dynamische, schnelle und zuverlässige bildgebende Begleitung der Dialyse bettseitig und in Echtzeit.
- Wenn verfügbar und durch das Personal beherrscht kann ansonsten die Echokardiographie rasch wichtige Zusatzinformationen liefern.
- Durch die Berücksichtigung der Plasmawiederauffüllrate können Nebenwirkungen der Dialyse zusätzlich reduziert werden.
- Portable Ultraschallgeräte machen die Ultraschalldiagnostik an der Dialyse noch niederschwelliger verfügbar, allerdings müssen Ärzte in der standardisierten Ultraschalldiagnostik trainiert werden.



14. Symposium

Nephrologisch-Urologischer Ultraschall

**10. Dezember 2022,
9.00 Uhr - 17.00 Uhr**

**Klinikum rechts der Isar der TU München,
Abteilung für Nephrologie und
Klinik für Urologie**

Informationen: Konrad.Stock@mri.tum.de