

Statusartikel

Ugeskr Læger 2023;185:V06220412

Point of care-ultralydskanning i intensivbehandling af nyfødte

Simon Trautner¹, Ted Carl Kejlberg Andelius², Mads Buhl³, Gitte Hahn¹, Christian Heiring¹, Mette Høj Lauridsen³ & Kasper Jacobsen Kyng³

1) Afdeling for Intensiv behandling af nyfødte og mindre børn, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet, 2) Børn og Unge, Regionshospitalet Viborg, 3) Nyfødt Intensiv Afsnit, Børn og Unge, Aarhus Universitetshospital

Ugeskr Læger 2023;185:V06220412

HOVEDBUDSKABER

- Point of care UL-skanning (POCUS) er velegnet til undersøgelse af den nyfødtes hjerne, hjerte, lunger og abdomen.
- POCUS kan besvare fokuserede kliniske spørgsmål og medvirke til hurtig vurdering af behandlingseffekt.
- POCUS muliggør et skifte fra symptombaseret behandling til behandling baseret på en UL-vejledt vurdering af fysiologien ved det enkelte barn.

Point of care-UL-skanning (POCUS) til undersøgelse af kritisk syge voksne er veletableret og har bredt sig fra anæsthesien til andre specialer, herunder akutmedicin [1]. I behandlingen af nyfødte er POCUS endnu ikke tilsvarende udbredt, hvilket bl.a. skyldes manglende guidelines og muligheder for uddannelse. Denne artikel beskriver, hvordan POCUS kan bruges i behandlingen af kritisk syge nyfødte til besvarelse af fokuserede diagnostiske spørgsmål, klinisk beslutningstagning, monitorering af behandlingstiltag og udførelse af procedurer.

De anatomiske forhold hos nyfødte betyder, at UL-skanning er meget velegnet. Nyfødte har åbentstående fontaneller, tynd thoraxvæg og minimalt lungedække. UL-skanning er noninvasiv, billig og uden bivirkninger fra stråling. Nye beslutningsalgoritmer og studier muliggør evidensbaseret beslutningsstøtte, men det største udbytte af POCUS opstår ved skiftet fra one-size-fits-all til mulighed for en mere individualiseret behandling og løbende evaluering af behandlingseffekt. Bedre kendskab til barnets aktuelle fysiologi kan ofte muliggøre en mere afventende tilgang med behov for færre røntgen- eller invasive undersøgelser. **Tabel 1** giver et overblik over neonatal POCUS, og i det følgende uddybes de mest anvendte modaliteter.

TABEL 1 Point of care-UL-skanning i intensivbehandling af nyfødte.

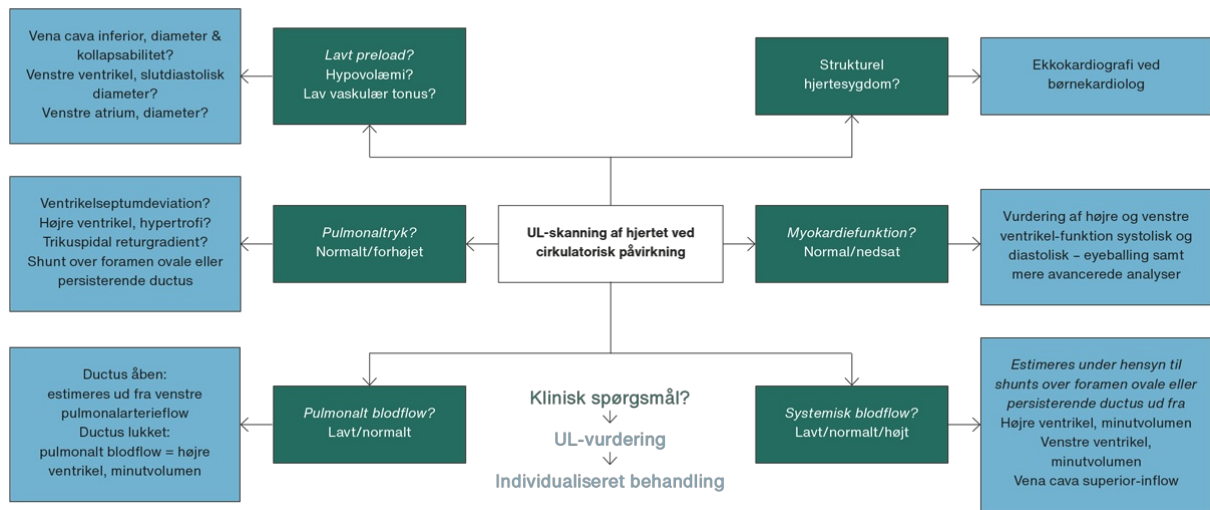
	Symptombilleder, hvor POCUS kan være relevant	Kliniske spørgsmål	Uddybende kommentarer
Neonatologist performed echo	Cirkulatorisk eller respiratorisk svigt eller klinisk forværring Immaturitet og forsinket transition Sepsis Pulmonal hypertension Højt iltkrav Hypotension Arytmi Diabetisk føtopati Persisterende ductus arteriosus Perinatal asfyksi	Hypovolæmi (preload)? Ventre ventrikel-funktion? Højre ventrikel-funktion? Systolisk vs. diastolisk (dys)funktion? Pulmonaltryk? Systemisk og pulmonalt blodflow? Effekt af behandling med væske, inotropi, vasopressor? Perikardieansamling? Dilateret eller hypertrofisk hjerte?	<i>Projektioner</i> Apikalt, parasternalt, subxiphoidt, suprasternalt <i>UL-parametre</i> 2D: funktion, dilatation, hypertrofi Dopplermåling: flows intrakardielt, systemisk blodflow, pulmonalt blodflow, estimerede tryk Udvidet træning inkluderer mere avancerede modaliteter Probe: phased array 8-12 MHz
Lungeultral lyd	Respiratorisk svigt Respiratory distress syndrome Transitorisk takypnø Pneumothorax Mekonium aspiration Infektion Hydrops Cyster	Respiratory distress syndrome eller transitorisk takypnø? Surfaktantbehov? Pneumothorax? Atelektase? Pleuraeffusion?	<i>Projektioner</i> Hver lunge skannes i tre områder: anteriort apikalt, anteriort basalt og postero-lateralt. Andre inddelinger er mulige <i>Ultralydparametre</i> Lung sliding? A-lines? B-lines? Seashore-mønster? Luftbronkogram? Hepatisering? Væske? Probe: lineær 8-20 MHz
Cerebral ultralyd	Irritabilitet Kramper Meningitis Non-accidentalt traume Bevidsthedspåvirkning Præmatur fødsel Pludselig klinisk forværring hos intensivt syg nyfødt Cirkulatorisk svigt uden anden god forklaring	Intraventrikulær blødning? Parenkymal blødning? Ventrikeldilatation? Cyster? Forkalkninger? Periventrikulær leukomalaci? Atrofi? Arteriovenøs malformation?	<i>Projektioner</i> Anteriore fontanelle: koronale og sagittale standardsnit Alternativer: occipitale fontanelle, mastoide fontanelle, temporalt <i>UL-parametre</i> 2D: økkogenicitet, blødning, ventrikeldilatation Doppler: flows, resistance index Probe: konveks 8-12 MHz
Abdominal ultralyd	Oligo/anuri Nekrotiserende enterokolitis Intestinal obstruktion Ileus Infektion obs abscess Hypertension	Blærevolumen? Renalt blodflow? Intestinalt blodflow? Ascites? Tarmødem, flow? »CPAP bely« eller nekrotiserende enterokolitis? Absces? Pneumoperitoneum? Portal gas?	<i>Projektioner</i> Lever, øvre højre kvadrant, nedre højre kvadrant, øvre venstre kvadrant, nedre venstre kvadrant, periumbilikalt <i>UL-parametre</i> 2D: vægtykkelse, luft, væske, peristaltik, normal differentiering af tarmvæggens lag? Dopplermåling: tarmvægge, abdominale kar Probe: konveks 8-12 MHz
Procedurer	Centralt venekateter Navlevenekateter Navlearterikateter PICC-line Blærekateter Lumbalpunktur [2] Endotrakealtubeplacering Arteriekanyle Blærepunktur Blærekateter Pleuradrænage Perikardiedrænage	Intravaskulær placering? Central kateterspids korrekt placeret uden for hjertet? Pleuraeffusion dræneret? Indstikssted og dybde ved invasive procedurer?	<i>Fordele</i> [3] Højere succesrate ved 1. forsøg Kortere procedurevarighed Færre akutte komplikationer Umiddelbar identifikation af komplikationer [4] Undgået røntgenbestråling for kontrol af korrekte kateterbeliggenhed [5] Anatomisk variation kan imødekommes [6]
Sammensatte UL-protokoller ved kritisk syge nyfødte	Pludselig klinisk forværring hos indlagt nyfødt: SAFE-R-protokol [7]	Udelukkelse af: hjertetamponade, pneumothorax, pleural effusion, akut kritisk aorta obstruction, akut abdominal komplikation, stor intraventrikulær blødning	<i>Projektioner</i> Hjerte, lunger, aorta, abdomen, hjerne <i>UL-parametre</i> I henhold til beslutningstræ/flowchart i protokollen

CPAP = continuous positive airway pressure; PICC-line = perifert indsat centralt venekateter; POCUS = point of care-UL-skanning; SAFE-R = Sonographic Assessment of Life-threatening Emergencies - Revised.

NEONATOLOGIST PERFORMED ECHOCARDIOGRAPHY

Neonatologist performed echocardiography (NPE) anvendes til hæmodynamisk vurdering ved f.eks. shock, hypotension, persisterende pulmonal hypertension (PPHN), sepsis og hypovolæmi. Den kliniske tilstand ved syge nyfødte ændres hurtigt, og de vitale parametre kan fremstå normale lige indtil grænsen for manifestshock, hvor specifik akut behandling er nødvendig. Her kan løbende vurdering med NPE belyse den tilgrundliggende hæmodynamik og dermed guide en fysiologisk behandling (Figur 1).

FIGUR 1 Neonatologist performed echocardiography til besvarelse af fokuserede kliniske spørgsmål.



Eksempler på tilstande, der kræver specifik behandling, er hypovolæmi efter placentablødning fra føtalside, distributivt shock ved sepsis eller kardiogen shock ved medfødt hjertesygdom. Endelig vurdering af strukturel hjertesygdom er et eksempel på behov for kardiologisk ekkokardiografi [8]. Også ved hypotension eller sepsis kan NPE afsløre hjertesvigt, hvor vanlig behandling med volumenekspansion og vasopressor kan forværre tilstanden. Efter fødslen kan inkomplet transition fra føtal til postnatal cirkulation og gasudveksling i lungerne forårsages af f.eks. mekoniumaspiration, asfyksi eller medfødt sepsis. Her kan ved NPE demonstreres nær- eller suprasystemiske tryk i det pulmonale kredsløb forenelig med PPHN. PPHN er en alvorlig tilstand, hvor behandlingen er pulmonal vasodilatation med nitrogenoxid (NO) i indåndingsluften og hæmodynamisk støtte. Med NPE kan behandlingen løbende vurderes og justeres.

En forudsætning for at kunne tolke NPE er således indgående kendskab til det nyfødte barns transitionelle fysiologi. F.eks. vil man ved normal myokardiekontraktilitet afvente effekten af NO, mens nedsat kontraktilitet fører til behandling med inotropi. Undertiden afslører NPE netop en anden diagnose end den klinisk mistænkte, f.eks. trombe, hjertesvigt på baggrund af AV-malformation, perikardietamponade eller pneumothorax (mistænkes ved dårligt indblik til hjertet og bekræftes med lunge-UL-skanning (LUS)). Klinisk integreret anvendelse af NPE indgår i de nationale guidelines for nyfødte med cirkulatorisk påvirkning og hypotension [9] og PPHN.

LUNGEULTRALYD

Nyfødte er i stor risiko for alveolært kollaps med nedsat luftfyldte af lungerne og deraf følgende nedsat oxygenering, ventilations-perfusions-mismatch og øget respirationsarbejde. Med LUS kan man dels evaluere sygdomsbilleder som pneumothorax, pneumoni, RDS og pleuraeffusion, der involverer pleuralinjen, dels semikvantitativt vurdere lungernes luftfyldte og dermed få et indblik i sygdommens sværhedsgrad samt respons på behandling.

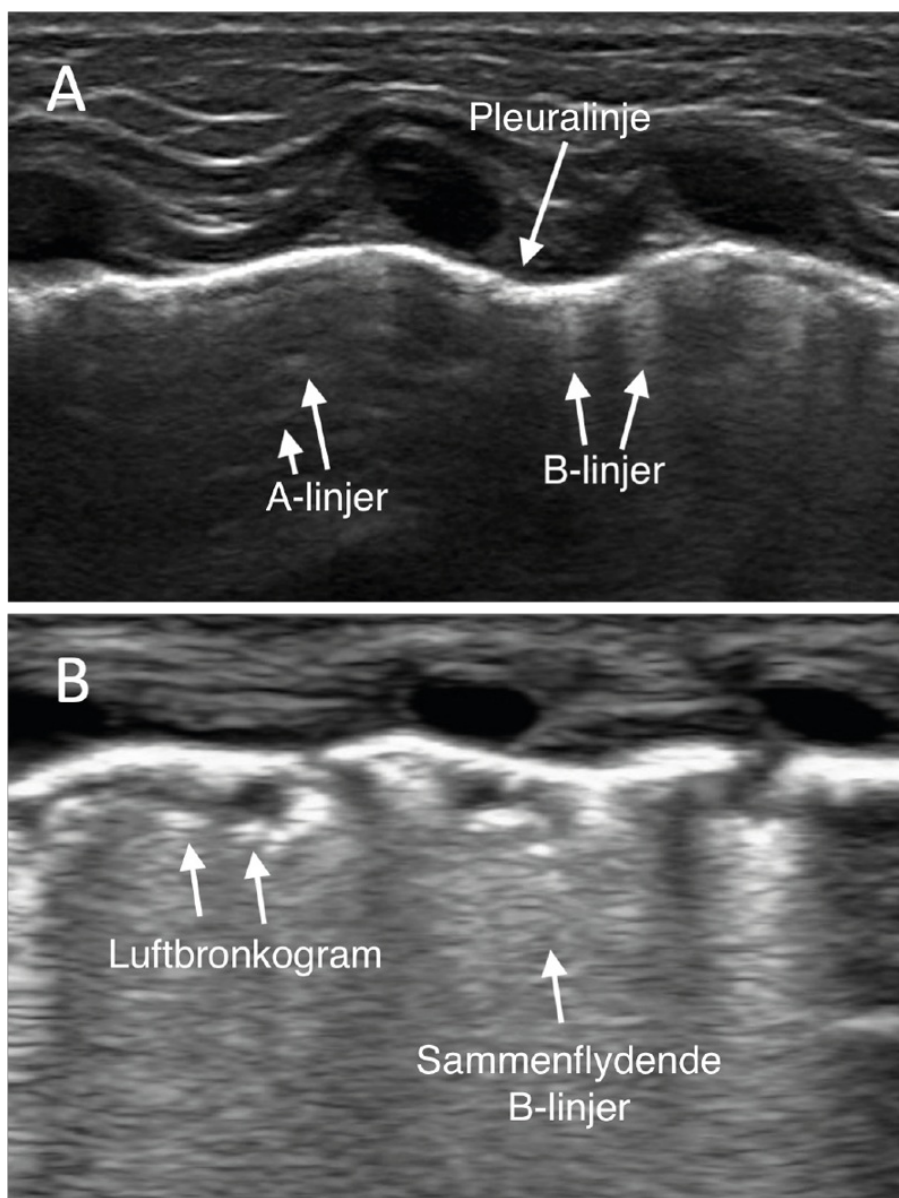
Ultralysfund i den raske lunge

Ved skanning orienteres den lineære UL-probe vinkelret på barnets ribben. Under respiration ses »lung sliding« som en højekkogen (hvid) pleuralinje eller »perler på en snor« med horisontal bevægelse, der skyldes bevægelsen af pleura parietalis mod pleura visceralis. På M-mode-billede ses et lineært mønster superficielt for pleuralinjen (»sea«) og grynet/»sandet« mønster distalt for pleuralinjen (»shore«), resulterende i det normale

såkalde »seashore«-mønster.

To typer af UL-artefakter udgår fra pleuralinjen: I den raske luftfyldte lunge ses A-linjer – horisontale højeffektive linjer med ensartet afstand distalt for pleuralinjen. B-linjer er højeffektive linjer udstrålende vertikalt fra pleuralinjen, som bevæger sig fra side til side med lung sliding. B-linjer skyldes interstitial væske i lungerne; enkelte B-linjer kan være normalt, særligt deklivt, mens flere tættere B-linjer er tegn på øget interstitielt væskeindhold (Figur 2). Lunge-UL-score er en standardiseret semikvantitativ vurdering baseret på fordelingen af A- og B-linjer samt eventuel subpleural konsolidering [10]. Eksempler på anvendelse af lunge-UL-score nedenfor.

FIGUR 2 Lunge-UL-skanning. **A.** Velventileret lunge ved nyfødt maturt barn: lung sliding, A-linjer og spredte B-linjer. **B.** Nyfødt barn født i uge 24 med svær respiratory distress syndrome: »lung sliding«, sammenflydende B-linjer og luftbronkogram.



Lungesygdom

LUS er i en metaanalyse vist at være bedre end konventionel røntgen til detektion af pneumothorax med sensitivitet på 99% og specificitet på 98% [10]. Ved pneumothorax forsvinder »lung sliding« og »seashore sign« på M-mode, idet der er luft mellem pleura parietalis og pleura visceralis. Pneumothorax kan udelukkes, hvis der i alle lungefelter ses lung sliding og A- eller B-linjer. »Lung point« er, når der i billedet ses en overgang mellem normal lunge med lung sliding og A- eller B-linjer til et lungeområde med pneumothorax. Fund af lung point har høj positiv prædiktiv værdi, idet det kun ses ved pneumothorax. Lung sliding kan forsvinde ved atelektase, uden det skyldes pneumothorax. Ofte vil man ved atelektase se hjertets bevægelse transmitteret igennem det konsoliderede lungevæv som en pulserende bevægelse, såkaldt »lung pulse«.

Atelektaser, pneumoni eller udtalt ødem med lufttomme eller væskefyldte alveoler medfører vævslignende ekkodensitet, såkaldt hepatisering af lungen. Ved pleuraeffusion fremtræder væsken anekkoisk (sort) og akkumulerer deklivt afhængigt af lejring.

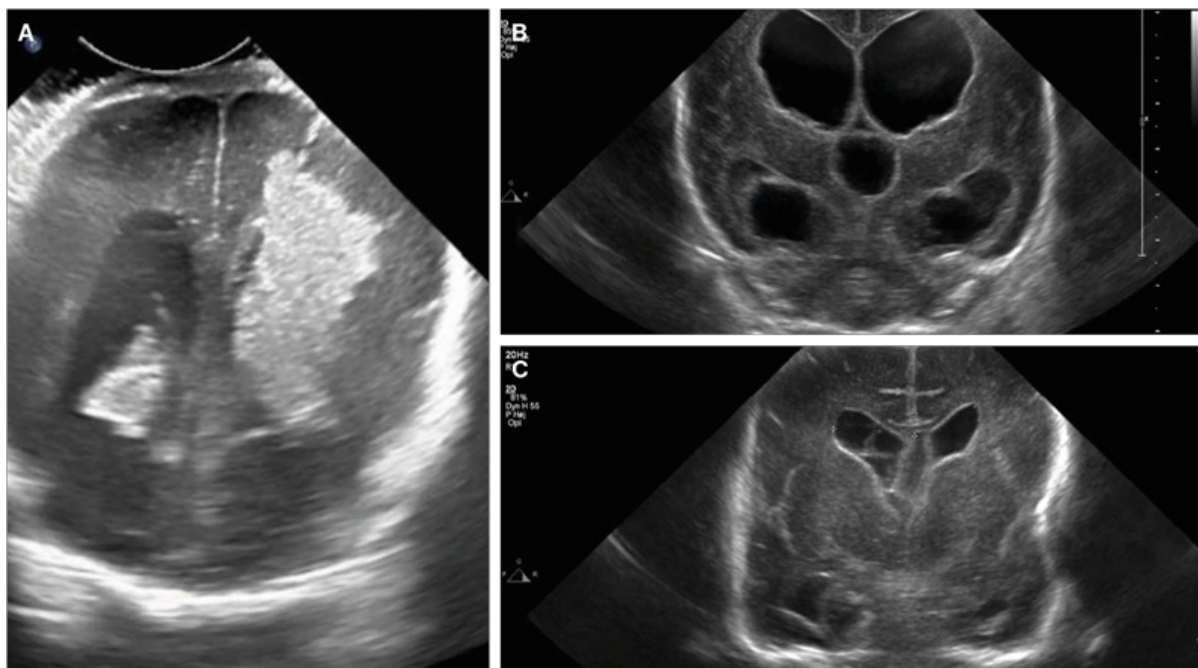
Ved transient takypnø ved nyfødte (TTN), respiratory distress syndrome (RDS), pneumoni eller lungeødem er øget tæthed af B-linjer et karakteristisk fund. TTN skyldes forsinket clearance af den føtale lungevæske. TTN er kendetegnet ved skillelinje (»double lung point«) mellem apikalt relativt velventileret lunge med A-linjer og basalt interstitielt ødem med B-linjer evt. sammenflydende til hvid lunge.

Ved RDS, der skyldes surfaktantmangel hos præmature, er LUS-billedet mere homogent end ved TTN. Ved svær RDS ses bilateral homogen højekkoisk (hvid) lunge med luftbronkogram (korte højekkoiske streger under pleuralinjen). LUS-score kan forudsige behov for surfaktant med 82-90% sensitivitet og 80-92% specificitet [11, 12] og måske fremskynde behandling [13, 14]. LUS-score er endvidere vist at kunne anvendes til prædiktation af ekstubationssucces samt udvikling af bronkopulmonal dysplasi [15].

CEREBRAL ULTRALYD

Cerebral UL-skanning (CUS) udføres ved f.eks. perinatal asfyksi, kramper, mistanke om blødning eller hydrocefalus og som rutineundersøgelse for periventrikulære blødninger og periventrikulær leukomalaci samt til kontrol af hjernens modning hos børn født før uge 32. **Figur 3** viser eksempler på intra- og periventrikulærblødning og posthæmoragisk ventrikeldilatation. Forreste fontanelle er det primære akustiske vindue, hvorigennem supratentorielle strukturer visualiseres i koronale og sagittale standardoptagelser [16]. I koronalplanet vurderes symmetri og eventuel midtlinjeforskydning samt atrofi. I begge planer vurderes tilstedeværelse af a) normal forskel mellem grå og hvid substans, b) øget ekkogenicitet i såvel parenkym som peri- og intraventrikulært som udtryk for blødning, c) cyster og d) ventrikeldilatation. For visualisering af infratentorielle strukturer er det muligt at skanne via den occipitale fontanelle, mastoide fontanelle eller temporalt [17]. Gennem det frontale og temporale vindue kan arterierne afgående fra circulus arteriosus cerebri visualiseres, og flowprofilen karakteriseres med »resistive index« (RI) eller »pulsatility index« (PI) [18]. Dette kan være nyttigt ved mistanke om ophørt cerebral autoregulation med hypo- eller hyperperfusion til følge [19] samt ved cerebrale infarkter [20].

FIGUR 3 Cerebral UL-skanning. **A.** Koronalsnit på barn født i uge 25, som fire dage gammel udviklede svære intraventrikulære blødninger. Blødningerne ses som intra- og periventrikulære områder med øget ekkogenicitet. **B.** Koronalsnit på to uger gammelt barn født i uge 30. Ventrikelsystemet er tydeligt dilateret som udtryk for posthæmoragisk ventrikeldilatation. **C.** Samme barn to uger senere. Nu med aftagende hydrocefalus efter aflastende behandling. Der er dog tilkommet ventrikulitis (ses som ekkorige strøg i ventrikelsystemet).



Ved kølebehandlet hypoksisk iskæmisk encefalopati er abnormt RI korreleret med patologisk diffusionsvægtet MR-skanning [21], mens abnormt RI før eller efter kølebehandling også korrelerer med dårligt neurologisk outcome [19]. Ventrikeldilatation beskrives ud fra standardmål med tilgængelige referenceværdier. Hyppigst anvendes ventrikelindekset (VI), og måling af lateralventriklens forhornsbredde (anterior horn width, AHW): Målinger udføres i koronalsnit bilateralt som hhv. afstanden fra midtlinjen til lateralventriklens laterale begrænsning og som bredden af forhornet [22, 23].

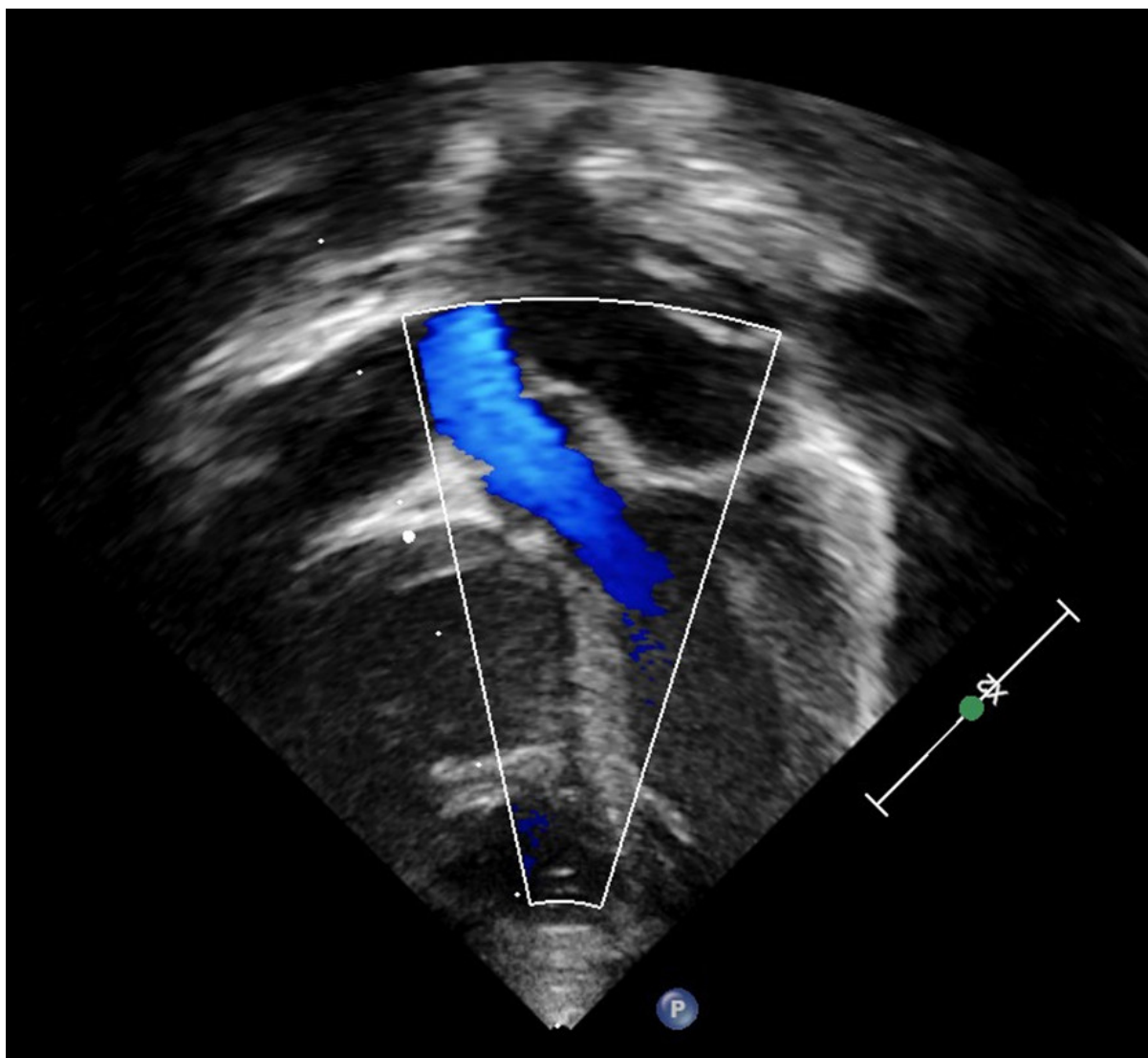
Ved posthæmoragisk hydrocefalus kan graden af ventrikeldilatation monitoreres via seriel CUS med udmåling af VI og AHW inden og efter eventuel aflastning [24]. CUS kan endvidere vise hjerneskade med periventrikulær leukomalaci, som hyppigst ses ved meget præmature børn. Initielt ses karakteristisk højekogene områder i den periventrikulære hvide substans, som enten kan regrediere i de første leveuger eller progrediere til cystedannelse med substanstab, hvilket er associeret med stor risiko for senere udvikling af cerebral parese [23].

ABDOMINAL ULTRALYD

UL-skanning kan visualisere tarmvæggens tykkelse, peristaltik, mesenterialt blodflow samt peritonealvæske. Mange nyfødte behandles med continuous positive airway pressure (CPAP), hvilket kan give luft i tarmene. Sammen med umodne tarme hos for tidligt fødte børn betyder det, at abdominale gener er et hyppigt problem. Samtidigt er der en række meget alvorlige tilstande, herunder nekrotiserende enterokolitis (NEC), ileus, spontan intestinal perforation og anden enteritis, som ikke let visualiseres med røntgen. NEC starter med spredt inflammation og ændret blodflow, ledende til dilatation, nedsat peristaltik, fortykkelse af tarmvæggen samt

eventuel serøs peritonealvæske, som kan identificeres med UL-skanning. Med Dopplermåling af blodflow i arteria mesenterica superior vurderes intestinal perfusion, og i de enkelte tarmsegmenter kan man følge progressionen fra normal perfusion til hyperæmi og slutteligt svær iskæmi i ikkevitale tarmsegmenter [25, 26]. Ved progression af NEC kan UL-skanning identificere intramural luft i tarmvæggen, luft i vena portae hepatis eller pneumoperitoneum, hvoraf de to første er særligt karakteristiske for NEC [26].

Malrotation og pylorusstenose kan ofte ses, men ikke udelukkes alene ved UL-skanning. Abdominal UL-skanning bruges endvidere til at vurdere placering af invasive katetre. I neonatologien anvendes ofte navlevene- og navlearteriekatetre. Lokalisering af spidsen med røntgen er upræcis, og op til 50% af katetre migrerer i løbet af den første uge. Gentagen evaluering med UL-skanning kan derfor potentielt nedsætte komplikationer fra fejlplacerede katetre [27]. For evaluering af navlekatetre er det vist, at der kan opnås høj sensitivitet og specificitet efter kort fokuseret oplæring [28, 29].



Neonatologist performed echocardiography af nyfødt barn. Farve-Doppler-flowundersøgelse af venstre ventrikels udløbsdel som led i vurdering af hjertets pumpefunktion.

KONKLUSION OG PERSPEKTIVER

POCUS kan bidrage til en mere individualiseret behandling og fysiologisk baserede kliniske beslutninger. Men UL-skanning kræver erfaring i fortolkning af fundene og skal vurderes i forhold til det nyfødte barns fysiologi på

tidspunktet for skanningen. Videre udbredelse af neonatal POCUS kræver etablering af mere organiseret teoretisk og praktisk undervisning samt standardiserede protokoller for udførelsen. Målet i Danmark er en regional og national organisering med systematiseret uddannelse og integration af POCUS samt akkreditering, f.eks. opdelt i basale, intermediære og avancerede færdigheder tilpasset lokale behov og patientvolumen.

Korrespondance *Kasper Jacobsen Kyng*. E-mail: kasper.kyng@clin.au.dk, kasper@kyng.dk

Antaget 22. november 2022

Publiceret på ugeskriftet.dk 9. januar 2023

Interessekonflikter Der er anført potentielle interessekonflikter. Forfatternes ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2023;185:V06220412

SUMMARY

Point-of-care ultrasound in neonatal intensive care

Simon Trautner, Ted Carl Kejlberg Andelius, Mads Buhl, Gitte Hahn, Christian Heiring, Mette Høj Lauridsen & Kasper Jacobsen Kyng

Ugeskr Læger 2023;185:V06220412

This review investigates how point-of-care ultrasound (POCUS) allows individualised treatment based on the patient's clinical and physiological state. Serial examinations enable timely adjustments of interventions, potentially fewer side effects, and less need for x-ray examinations. One of the main barriers to POCUS is the lack of systematic training and quality control. The next step toward more widespread use of neonatal POCUS is systematic theoretical and practical training and implementing standardized examination protocols.

REFERENCER

1. Arvig MD et al. Point of care-UL-skanning i danske akutafdelinger. *Ugeskr Læger*. 2021;183:V12200906.
2. Stoller JZ, Fraga MV. Real-time ultrasound-guided lumbar puncture in the neonatal intensive care unit. *J Perinatol*. 2021;41(10):2495-2498.
3. Brass P, Hellmich M, Kolodziej L et al. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for internal jugular vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;1(1):CD006962.
4. Singh Y, Tissot C, Fraga MV et al. International evidence-based guidelines on point of care ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care*. 2020;24(1):65.
5. Katheria AC, Fleming SE, Kim JH. A randomized controlled trial of ultrasound-guided peripherally inserted central catheters compared with standard radiograph in neonates. *J Perinatol*. 2013;33(10):791-4.
6. Neto EPS, Grousson S, Duflo F et al. Ultrasonographic anatomic variations of the major veins in paediatric patients. *Br J Anaesth*. 2014;112(5):879-84.
7. Yousef N, Singh Y, De Luca D. "Playing it SAFE in the NICU" SAFE-R: a targeted diagnostic ultrasound protocol for the suddenly decompensating infant in the NICU. *Eur J Pediatr*. 2022;181(1):393-398.
8. Mertens L, Seri I, Marek J et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;12(10):715-36.
9. Dansk Pædiatrisk Selskab. National Guideline for cirkulatorisk påvirkning og hypotension hos nyfødte, 2021. http://paediatri.dk/images/dokumenter/Retningslinjer_2021/Hypotension_retningslinie.2021.pdf (11. dec 2022).

10. Fei Q, Lin Y, Yuan TM. Lung ultrasound, a better choice for neonatal pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Ultrasound Med Biol*. 2021;47(3):359-369.
11. De Martino L, Yousef N, Ben.Ammar R et al. Lung ultrasound score predicts surfactant need in extremely preterm neonates. *Pediatrics*. 2018;142(3):e20180463.
12. Perri A, Riccardi R, Iannotta R et al. Lung ultrasonography score versus chest X-ray score to predict surfactant administration in newborns with respiratory distress syndrome. *Pediatr Pulmonol*. 2018;53(9):1231-1236.
13. Rodriguez-Fanjul J, Jordan I, Balaguer M et al. Early surfactant replacement guided by lung ultrasound in preterm newborns with RDS: the ULTRASURF randomised controlled trial. *Eur J Pediatr*. 2020;179(12):1913-1920.
14. Aldecoa-Bilbao V, Balcells-Esponera C, Barbero AH et al. Lung ultrasound for early surfactant treatment: development and validation of a predictive model. *Pediatr Pulmonol*. 2021;56(2):433-441.
15. Zong H, Huang Z, Zhao J et al. The value of lung ultrasound score in neonatology. *Front Pediatr*. 2022;10:791664.
16. Dudink J, Steggarda SJ, Horsch S, eurUS.brain group. State-of-the-art neonatal cerebral ultrasound: technique and reporting. *Pediatr Res*. 2020;87(Suppl 1):3-12.
17. Fumagalli M, Parodi A, Ramenghi L et al. Ultrasound of acquired posterior fossa abnormalities in the newborn. *Pediatr Res*. 2020;87(Suppl 1):25-36.
18. Forster DE, Koumoundouros E, Saxton V et al. Cerebral blood flow velocities and cerebrovascular resistance in normal-term neonates in the first 72 hours. *J Paediatr Child Health*. 2018;54(1):61-68.
19. Gerner GJ, Burton VJ, Poretti A et al. Transfontanellar duplex brain ultrasonography resistive indices as a prognostic tool in neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy before and after treatment with therapeutic hypothermia. *J Perinatol*. 2016;36(3):202-6.
20. Deeg KH. Sonographic and Doppler sonographic diagnosis of neonatal ischemic stroke. *Ultraschall Med*. 2017;38(4):360-376.
21. Snyder EJ, Perin J, Chavez-Valdez R et al. Head ultrasound resistive indices are associated with brain injury on diffusion tensor imaging magnetic resonance imaging in neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy. *J Comput Assist Tomogr*. 2020;44(5):687-691.
22. Brouwer MJ, de Vries LS, Groenendaal F, Koopman C et al. New reference values for the neonatal cerebral ventricles. *Radiology*. 2012;262(1):224-33.
23. Agut T, Alarcon A, Cabañas F et al. Preterm white matter injury: ultrasound diagnosis and classification. *Pediatr Res*. 2020;87(Suppl 1):37-49.
24. Parodi A, Govaert P, Horsch S et al. Cranial ultrasound findings in preterm germinal matrix haemorrhage, sequelae and outcome. *Pediatr Res*. 2020;87(Suppl 1):13-24.
25. Chavhan GB, Parra DA, Mann A, Navarro OM. Normal Doppler spectral waveforms of major pediatric vessels: specific patterns. *Radiographics*. 2008;28(3):691-706.
26. Kim JH. Role of abdominal US in diagnosis of NEC. *Clin Perinatol*. 2019;46(1):119-127.
27. Franta JA, Harabor A, Soraisham AS. Ultrasound assessment of umbilical venous catheter migration in preterm infants: a prospective study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2017;102(3):F251-F255.
28. Kaae R, Kyng KJ, Frederiksen CA et al. Learning curves for training in ultrasonography-based examination of umbilical catheter placement: a piglet study. *Neonatology*. 2020;117(2):144-150.
29. Rubortone SA, Costa S, Perri A et al. Real-time ultrasound for tip location of umbilical venous catheter in neonates: a pre/post intervention study. *Ital J Pediatr*. 2021;47(1):68.