

## Statusartikel

Ugeskr Læger 2022;184:V08220488

# Fokuseret lungeultralydskanning

Casper Falster<sup>1, 2</sup>, Niels Jacobsen<sup>1, 2</sup>, Vasiliki Panou<sup>1, 2, 3</sup>, Søren Helbo Skaarup<sup>4</sup>, Uffe Bødtger<sup>5, 6, 7</sup> & Christian B. Laursen<sup>1, 2</sup>

1) Lungemedicinsk Afdeling, Odense Universitetshospital, 2) Lungemedicinsk Forskningsenhed (ODIN), Klinisk Institut, Syddansk Universitet, 3) Lungemedicinsk Afdeling, Aalborg Universitetshospital, 4) Afdeling for Lungesygdomme og Allergi, Aarhus Universitetshospital, 5) Lungemedicinsk Afdeling, Sjællands Universitetshospital Roskilde, 6) Lungemedicinsk Afdeling, Københavns Universitetshospital – Næstved Sygehus, 7) Lungemedicinsk Forskningsenhed (PLUZ), Institut for Regional Sundhedsforskning, Syddansk Universitet

Ugeskr Læger 2022;184:V08220488

### HOVEDBUDSKABER

- Fokuseret lungeultralydskanning (FLUS) benyttes til diagnostik af tilstande relateret til akut åndenød eller brystmerter.
- Den diagnostiske præcision af FLUS for blandt andet pneumothorax er konventionel røntgenundersøgelse af thorax overlegen.
- Undersøgelsen med FLUS kan udføres på få minutter og har ingen absolutte kontraindikationer.

Det er svært at få en hest i en CT-skanner. Faktisk så svært, at den amerikanske veterinærlæge *Norman Rantanen* blev lungeultralydskanningens (LUS) første pioner i sin søgen efter alternative tilgange til undersøgelse af det ekvine lungegebet (**Figur 1**). I 1980'erne beskrev *Rantanen*, hvordan LUS kan fremstille pneumothorax, effusion og konsolideret lunge, samt de karakteristiske genspejlingsartefakter, der fortsat er hjørnesten i tolkningen af LUS [1].

Siden er evidensen bag brugen af LUS blevet kontinuerligt stærkere, og ultralydapparater er blevet bedre, mere tilgængelige og forefindes på de fleste kliniske afdelinger, som varetager diagnostik og behandling af patienter med lungesygdomme eller respiratoriske symptomer. LUS anvendes i dag både som diagnostisk redskab i den kliniske vurdering af f.eks. den dyspnøiske patient og som led i mere specialiserede diagnostiske undersøgelser, monitorering og invasive procedurer som bioptering eller drænanlæggelse [2-6].

**FIGUR 1 A** En hest bliver CT-skannet, hvilket er en større og tidskrævende procedure, der kræver involvering af adskillige veterinære kompetencer. Billedet er anvendt efter aftale med IMV imaging. **B.** En hest bliver undersøgt med lungeultral lyd-skanning. Bemærk hestens rolige kropssprog, der afspejler den yderst beskedne gene, der opleves i forbindelse med proceduren. Billedet er anvendt efter aftale med Marion Dupont Scott Equine Medical Center.



I denne statusartikel vil vi præsentere læseren for den praktiske tilgang og nyeste evidens omhandlende den fokuserede LUS (FLUS) til systematisk undersøgelse af patienter med respiratoriske symptomer. Artiklen berører således ikke LUS som led i mere specialiserede undersøgelser eller redskab ved invasive procedurer.

## FORBEREDELSE

### Indikation

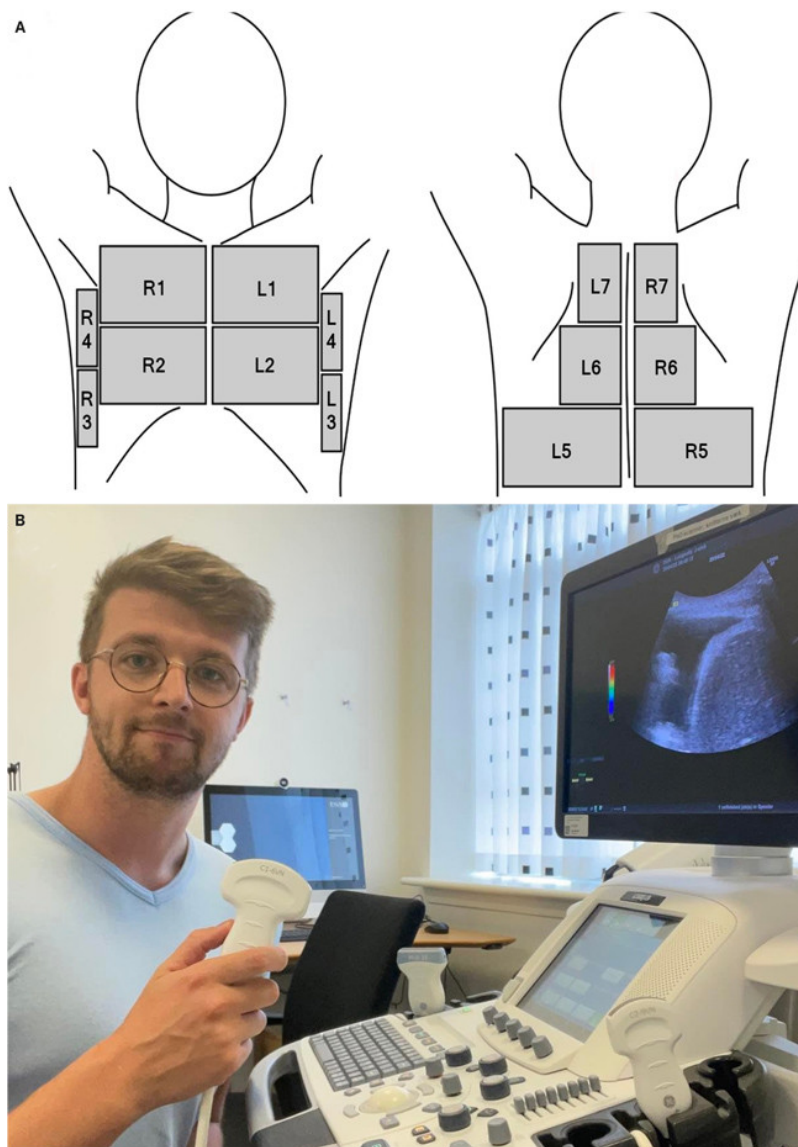
Hos patienten med respiratoriske symptomer har FLUS til formål at støtte klinikerens i diagnostik af den

underliggende tilstand. Indikationerne er mange, men omfatter typisk dyspnø, bryst smerter, traume og hoste. Da FLUS er hurtig at udføre, strålingsfri og kun til lille gene for patienten, har tilgangen for praktiske formål ingen kontraindikationer [7].

## Skanningsprotokoller

Der findes flere tilgange til systematisk undersøgelse af patientens brystkasse. Den hyppigst anvendte protokol omfatter 14 zoner, benævnt R1-R7 og L1-L7 (fire anteriore og laterale samt seks posteriore) (Figur 2). Tilgangen er valideret i flere settings og betragtes som standard af blandt andre verdens største lungemedicinske selskab, European Respiratory Society [7, 8].

**FIGUR 2** A Skanningszoner når 14-zonersprotokollen anvendes. Nummeret i zonen angiver den optimale skanningsrækkefølge. Når laterale og posteriore zoner skannes, bør undersøgelsen altså startes kaudalt (zone 3 og 5) for at sikre korrekt afgrænsning mellem thorax og øvre abdomen. B. En arbejdsom kollega i færd med tolkning af fokuseret lungeultralydskanning. Bemærk det korrekte valg af probe og preset. Flere nyere ultralydapparater har et dedikeret lungepreset, hvor skanningsdybde, gain og fokuspunkt er optimeret til lungeultralyd. Har man ikke en maskine med lungepreset, bør man vælge et abdominalt preset og selv justere de førnævnte indstillinger. Her er det vigtigt at kunne slå billedoptimeringsfunktioner fra (f.eks. CrossXBeam og Harmonics), da disse reducerer synligheden af artefakter, som er afgørende for at kunne tolke fund ved lungeultralydskanning.



## Lejring

Før man skanner, skal man sikre sig, at patienten er ordentligt lejret. Oftest startes undersøgelsen med skanning af anteriore og laterale zoner (1-4) med patienten i rygleje, om muligt i 45°-vinkel, hvor fri luft fra en pneumothorax oftest vil displaceres til brystkassens øvre forflade. De posteriore zoner skannes med patienten siddende. Dette særligt med fokus på tilstedeværelse af pleural effusion, som vil samle sig i den posteriore kostodiafragmatiske recess. Hvis patienten ikke kan lejres, så posteriore dele af thorax kan skannes, bør undersøgeren være opmærksom på, at den diagnostiske præcision for f.eks. pneumoni eller lungeemboli må forventes at være lavere end ved komplet undersøgelse.

## Transducer

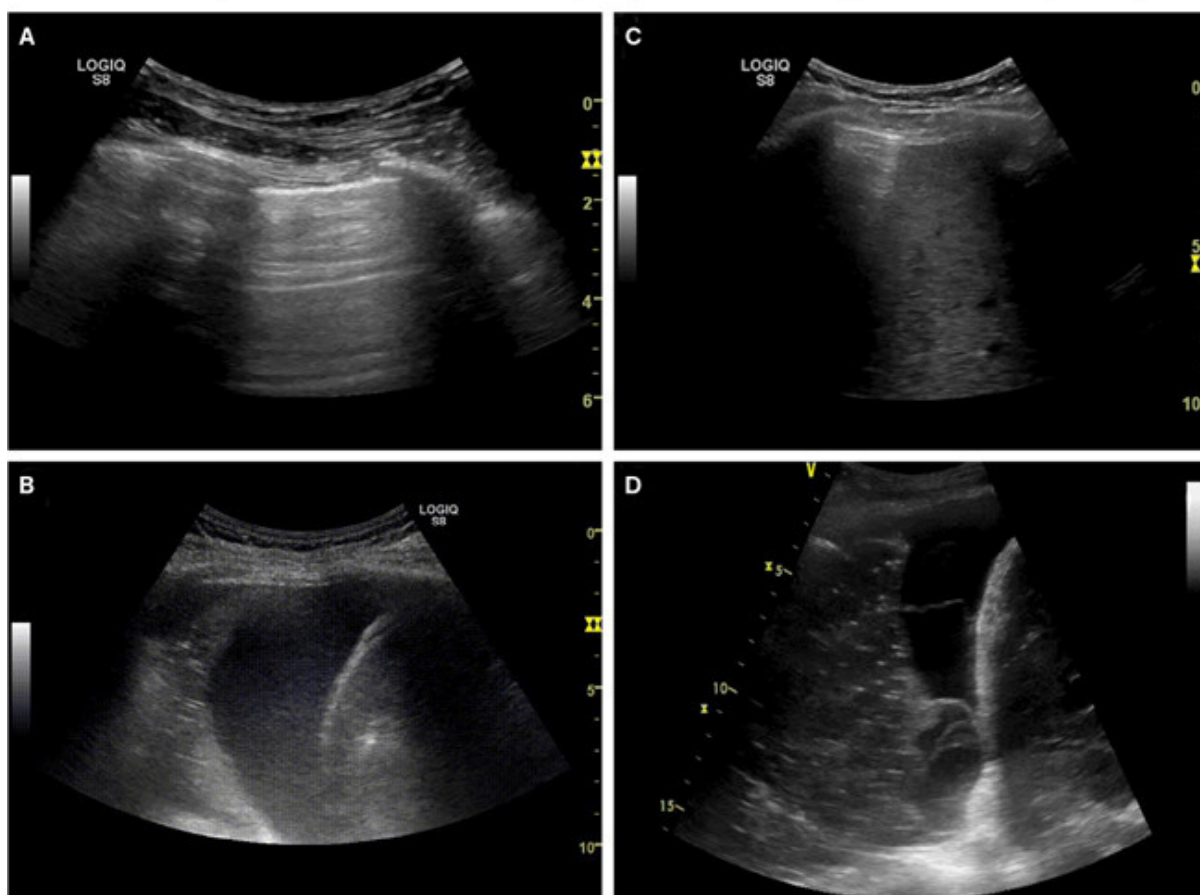
Når det kommer til ultralydproben, er den abdominale/konvekse probe generelt førstevalget. Med sin brede kontaktflade og sin lave frekvens på typisk 1-6 MHz tillader den et godt overblik med acceptabel opløsning både superficielt og profundt. Er der ikke en abdominal probe tilgængelig, eller ønskes bedre opløsning af pleuralinjen og omkringliggende strukturer, bør man vælge den lineære probe. Mens den høje frekvens på 4-15 MHz giver en fremragende superficiel opløsning, er proben dog udfordret, hvis der skal skannes i dybden.

Hvis det er muligt, bør den kardielle/phased array-probe undgås. Dens smalle kontaktflade er designet til at skanne imellem ribben, hvis visualisering er en forudsætning for at kunne tolke på FLUS. Som konsekvens heraf får man kun begrænset visualisering af pleuralinjen og øvrige superficielle strukturer, hvor tolkningen i forvejen kompliceres af probens lave frekvens på 1,5-4 MHz.

## UDFØRELSE OG TOLKNING

Ultralydproben placeres på tværs af et interkostalrum med indikatoren (kaldet orientation marker) pegende kranialt, så venstre side af UL-billedet på skærmen svarer til kranial retning. Nu bør man kunne se to ribbensskygger med en hyperekkisk pleuralinje imellem (**Figur 3**). Før tolkning af billedet er det vigtigt, at man med sikkerhed identificerer de to ribben og den underliggende pleuralinje, da både ribbenenes overflade og pleuralinjen vil ses som en hyperekkisk (hvid), horisontal linje og dermed vil kunne forveksles. I de basale zoner (2, 3 og 5), bør man begynde med at sikre sig identifikation af det tilstødende organ (lever, milt eller hjerte) for at afgrænse lunge- og pleurahule fra kardielle og abdominale strukturer, da man ellers vil kunne forveksle normale fund med patologiske tilstande (f.eks. væske i mavesækken, der tolkes som pleuraeffusion) eller omvendt (f.eks. stor lungekonsolidering, der tolkes som lever).

**FIGUR 3** **A** Standardprojektion ved fokuseret lungeultralydskanning (FLUS). Det såkaldte bat sign skal fremstilles, før der kan tolkes på FLUS, og udgøres af pleuralinjen, den hvide vandrette linje i midten af billedet samt to ribben: de sorte lodrette søjler, der skygger for pleuralinjen. I den raske, luftfyldte lunge vil det ikke være muligt at visualisere væv profunt for pleuralinjen. De hvide vandrette linjer i dette område benævnes A-linjer og er genspejlingsartefakter fra pleuralinjen. **B**. I de basale skanningszoner skal det tilstødende organ visualiseres for at afgrænse lungen. På dette billede ses afgrænsningen til leveren. Mellem de to ribben ses overgangen fra luftfyldt lunge til leverparenkym. **C**. En simpel pleuraeffusion. Væsken er homogen, hypoekisk og uden septa. Til højre i billedet ses diafragmakuplen. Til venstre i billedet ses atelektatisk lunge. **D**. En kompliceret parapneumonisk effusion med septadannelse strækkende sig fra pneumonisk lungevæv til diafragmakuplen.



Når proben er placeret korrekt, skal man ved FLUS forholde sig dikotomt til følgende fire fokuserede spørgsmål i hver skanningszone:

**Er der tegn til pneumothorax?**

I den udfoldede lunge, hvor der er kontakt mellem den viscerale og parietale pleurahinde, vil man med ultralydskanning kunne se gnidningen mellem de to pleurahinder i forbindelse med vejrtrækningen. Dette fund benævnes lung sliding og udelukker tilstedeværelsen af pneumothorax i det skannede område. Hos patienter med hyperinflaterede lunger (f.eks. svært emfysem), pleurale adhærencer eller apnø kan lung sliding være svært at erkende. I stedet kigges efter lung pulse, som er små ryk i pleuralinjen, der repræsenterer forplantning af hjertets kontraktion i lungevævet og også udelukker pneumothorax. Slutteligt kan man se efter B-linjer: et artefakt, der opstår ved øget densitet af det subpleurale lungevæv og ses som vertikale hyperekkoiske linjer, der

udgår fra pleuralinjen og fortsætter ubrudt til bunden af skærmen uanset dybdeindstilling.

Da B-linjer udgår fra lungeparenkymet, udelukker deres tilstedeværelse også pneumothorax. lung sliding, lung pulse eller B-linjer, må man have mistanke om pneumothorax. Ultralydproben roteres nu 90° mod uret, parallelt med et interkostalrum, så klinikerens venstre side svarer til skærmens venstre side. Med patienten i rygleje glides proben nu dorsalt. Når man til et område, hvor der på den ventrale side af skærmen ses en statisk pleuralinje – men lung sliding på den dorsale side – har man fundet et lung point. Dette tegn repræsenterer området, hvor pleura viscerale og pleura parietale skiftevis får kontakt og slipper hinanden i forbindelse med vejrtrækningen og er diagnostisk for pneumothorax. I den totalt kollapsede lunge uden kontakt mellem pleurahinderne vil man dog ikke kunne påvise et lung point.

Den diagnostiske præcision af FLUS for pneumothorax er undersøgt i flere metaanalyser med en rapporteret sensitivitet og specificitet på hhv. 79-87% på 98-99%, hvilket er røntgenundersøgelse af thorax overlegent [9-11].

### Er der tegn til pleuraeffusion?

Erkendelsen af en pleuraeffusion kan have både diagnostiske og terapeutiske implikationer. LUS tillader klinikerens at påvise selv små effusioner og giver information om både mængde, septadannelse og eventuel påvirkning af diafragma [12].

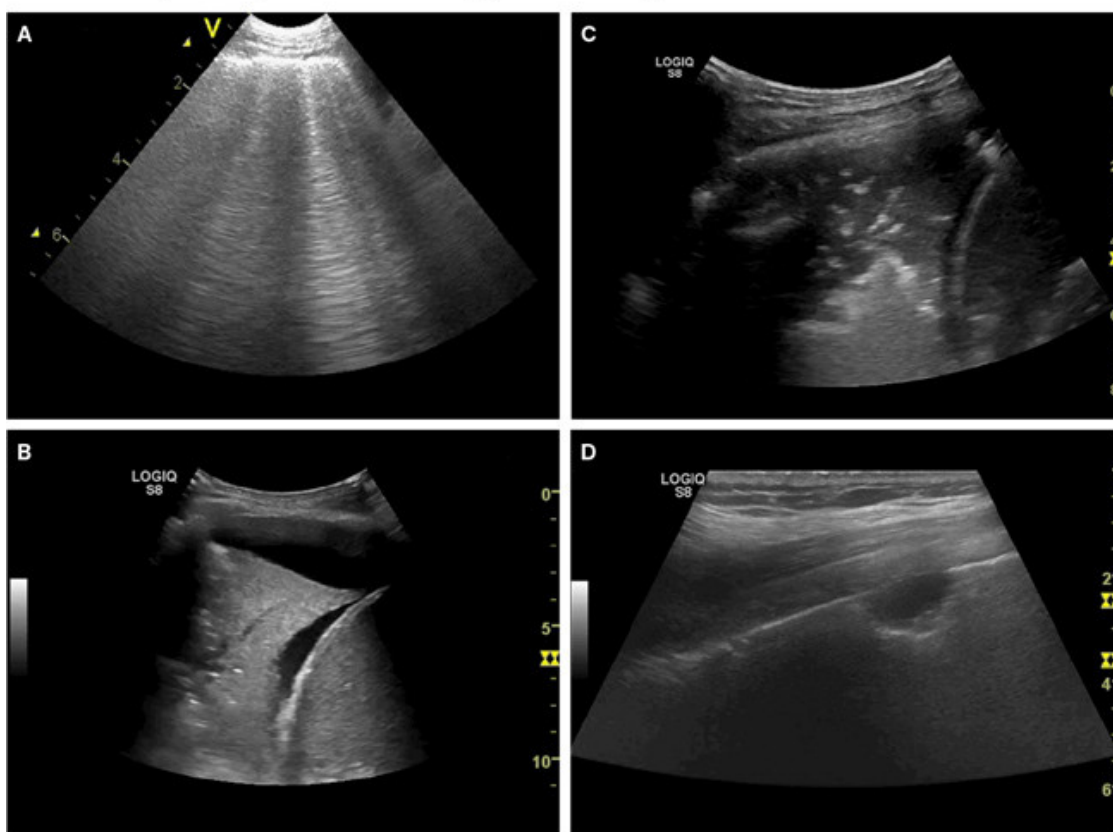
Med patienten siddende vil en frit flydende effusion kunne påvises i de basale zoner. Hos patienten i rygleje vil en stor effusion kunne ses i de laterale zoner, mens de mindre vil begrænse sig udelukkende til de posteriore zoner, hvilke er svære at tilgå. Her kan spine sign være en hjælp: Transducere placeres i zone L3 eller R3, dybden øges, til der skannes igennem lever eller milt, og transducere vinkles, indtil columna vertebralis kan erkendes i dybden. I luftfyldt lunge vil man ikke kunne se columna kranialt for diafragma, men selv en lille mængde posterior effusion vil tillade ultralydbølger at nå columna, så denne kan visualiseres. I forbindelse med undersøgelsen skal der være særlig opmærksomhed på væske i ventriklen, abdomen og perikardiet, der kan forveksles med pleural effusion.

Har man fundet en effusion, skal den klassificeres som simpel eller kompleks. En simpel effusion er homogen, hypoekkoisk (mørk) og uden synlige strukturer i væsken. Den komplekse effusion har typisk øget ekkogenicitet og indeholder synlige partikler eller septa/lokulering. Selvom FLUS hjælper med at afgrænse differentialdiagnoser, erstatter det ikke diagnostisk ultralydvejledt torakocentese med relevante undersøgelser af pleuravæsken [13, 14]. Metaanalytiske data på FLUS' diagnostiske præcision for tilstedeværende pleuraeffusion beskriver en sensitivitet på 94% og en specificitet på 98% [15].

### Er der interstitielt syndrom?

Adskillige sygdomme involverer lungeinterstitiet. Selvom ultralydskanning ikke kan visualisere en luftfyldt lunge, kan man alligevel erkende luftfyldt lungevæv, hvor densiteten er øget, ved at lede efter det førnævnte artefakt: B-linjer [7] (Figur 4). Har man mindst tre B-linjer i et skannet interkostalrum i mindst to anteriore eller laterale zoner bilateralt, er de diagnostiske kriterier for interstitielt syndrom opfyldt. Fundet indikerer tilstand eller sygdom med diffus og generaliseret øget densitet af lungevævet og kan konstateres selv hos en patient, der er begrænset til rygleje. Årsagerne til interstitielt syndrom er mange og omfatter blandt andet virusinfektioner med lungeinvolvering (f.eks. COVID-19), acute respiratory distress syndrome (ARDS) og nogle typer af interstitiel lungesygdom [7, 16]. Hos den dyspnøiske patient i en akutmedicinsk setting vil hyppigste årsag til interstitielt syndrom dog være kardiogent lungeødem. I denne kontekst er FLUS nyttig; flere artikler rapporterer både sensitivitet og specificitet på 97-98% [17, 18]. Ved den kliniske differentiering imellem dyspnø udløst af kardiogent lungeødem eller KOL-eksacerbation er FLUS særligt anvendeligt, da KOL-eksacerbation ikke giver ophav til B-linjer.

**FIGUR 4 A.** Multiple B-linjer. De ses som hyperekkoiske hvide linjer, der udgår fra pleuralinjen og fortsætter ubrudt til bunden af skærmen samt følger pleura visceralis' bevægelser. Mens generaliserede B-linjer er et patologisk tegn, kan få fokale eller enkelte B-linjer ses som et uspecifikt og ikke nødvendigvis patologisk fund. **B.** En lobær pneumoni. Det pneumoniske væv ses hypoekkoisk sammenlignet med omkringliggende strukturer og indeholder luftbronkogrammer, som er små hyperekkoiske områder, der repræsenterer luft i bronkierne. Bemærk desuden en lille parapneumonisk effusion. **C.** En atelektatisk lungespids. Den ses ikke sjældent som kompressionsatelektase i forbindelse med effusioner. Atelektasen er mere hyperekkois sammenlignet med pneumonien og indeholder ikke luftbronkogrammer. **D.** En subpleural konsolidering. Den er en hypoekkoisk og velafgrænset fortætning i relation til pleurahinderne. Denne struktur viste sig at være et infarkt relateret til en perifer lungeemboli, men kunne også have været en tumor. For bedre at visualisere den pleuranære struktur er anvendt en lineær probe, hvilket afspejles i den vandrette superficielle afgrænsning af ultralydbilledet. Bemærk, at fokuspunktet (den gule mærkat på dybdeangivelsen) er placeret, så det svarer til dybden af strukturen, der ønskes undersøgt. Der kan vælges op til flere fokuspunkter, men dette er dog på bekostning af frame rate.



Er der anden oplagt patologi?

Det sidste fokuserede spørgsmål beskæftiger sig hovedsageligt med tilstande, der medfører konsolideret lungevæv eller tumorer – helt eller delvist lufttomme strukturer, som derfor kan visualiseres med ultralydskanning. Her er det vigtigt at huske, at strukturen ikke vil kunne ses, hvis der er luft mellem denne og pleuralinjen, da ultralydbølgerne enten vil absorberes eller reflekteres, inden strukturen nås.

Hvis en pneumoni involverer det subpleurale væv, vil den pneumoniske konsolidering kunne visualiseres. Typisk udseende er et gråligt isoekkoisk uskarpt afgrænset område indeholdende luftbronkogrammer. Disse ses som små, hyperekkioiske områder i det konsoliderede væv, der repræsenterer luft i bronkierne. Flere

metaanalyser har undersøgt den diagnostiske træfsikkerhed og rapporterer sensitivitet på 85-97% og specificitet på 80-96%, hvilket er den konventionelle røntgenundersøgelse af thorax overlegent [19-21]. Atelektatisk lungevæv, som f.eks. ses ved kompressionsatelektase som følge af en pleuraeffusion, adskiller sig ved ikke at have luftbronkogrammer og have et mere homogent isoekkoisk udseende.

Hvor FLUS tillader diagnose af både pneumoni og atelektase, er sagen en anden, når det kommer til pleurale tumorer og infarkter, der begge ses som subpleurale hypoekkoiske strukturer. Et infarkt som følge af en perifer lungeemboli vil afspejle pulmonalkredsløbets forgreninger og ofte fremstå velafgrænset og kileformet. Metaanalyser antyder en høj diagnostisk præcision af infarktlignende konsolideringer, hvis der foreligger mistanke om lungeemboli, inden prøben sættes på patienten [22, 23]. Det bør dog huskes, at den diagnostiske præcision ikke er undersøgt i patienter med udifferentieret dyspnø.

Morfologien af en tumor vil ofte også være velafgrænset, men polygonal og til tider adhærere til thoraxvæggen pga. invasiv vækst [7]. Derfor er det sjældent ligetil at differentiere mellem infarkt og tumor i virkelighedens verden, hvorfor man bør være varsom med tolkning af diagnose ud fra morfologi alene. Således bør eventuelle fund nøje integreres med klinisk kontekst og øvrig billeddiagnostik. Oftest må man henvise til CT af thorax med en passende kontrastfase alt efter klinisk mistanke.

## UDDANNELSE

Inden FLUS anvendes og tolkes på egen hånd, bør man sikre sig et tilfredsstillende teoretisk grundlag, klinisk supervision og evidensbaseret kompetencebedømmelse [24]. Er de fornødne ultralydkompetencer ikke til stede på afdelingen, tilbyder flere af landets simulationscentre teoretiske kurser inklusive træning på dedikerede ultralydfantomer [25].

**Korrespondance** Casper Falster. E-mail: [casper.falster@rsyd.dk](mailto:casper.falster@rsyd.dk)

**Antaget** 2. november 2022

**Publiceret på [ugeskriftet.dk](https://ugeskriftet.dk)** 5. december 2022

**Interessekonflikter** Der er anført potentielle interessekonflikter. Forfatternes ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på [ugeskriftet.dk](https://ugeskriftet.dk)

**Referencer** findes i artiklen publiceret på [ugeskriftet.dk](https://ugeskriftet.dk)

**Artikelreference** Ugeskr Læger 2022;184:V08220488

## SUMMARY

### Focused lung ultrasound

Casper Falster, Niels Jacobsen, Vasiliki Panou, Søren Helbo Skaarup, Uffe Bødtger & Christian B. Laursen

Ugeskr Læger 2022;184:V08220488

Focused lung ultrasound is increasingly utilized in the emergency setting. The modality allows the physician to dichotomously assess the presence of conditions often related to acute symptoms, such as dyspnoea, chest pain or cough. Further, as patients are not exposed to radiation and a complete examination may be conducted in less than five minutes in experienced hands, there are no absolute contraindications. In this review, we summarize the clinical indications, necessary preparations, and the interpretation of the most common findings related to focused lung ultrasound of the patient with respiratory symptoms.



## REFERENCER

1. Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1986;2(1):49-66.
2. Arvig MD, Laursen CB, Weile JB et al. Point of of care-UL-skanning i danske akutafdelinger. *Ugeskr Læger.* 2021;183(16):12200906.
3. Neskovic AN, Skinner H, Price S et al. Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Hear J Cardiovasc Imaging.* 2018;19(5):475-481.
4. Laursen CB, Clive A, Halifax R et al. European Respiratory Society statement on thoracic ultrasound. *Eur Respir J.* 2021;57(3):2001519.
5. Jacobsen N, Pietersen PI, Nolsoe C et al. Clinical applications of contrast-enhanced thoracic ultrasound (CETUS) compared to standard reference tests: a systematic review. *Ultraschall Med.* 2022;43:72-81.
6. Pietersen PI, Davidsen JR, Helbo SS et al. Fokuseret lungeultral lydskanning. Dansk Lungemedicinsk Selskab, 2020. <https://lungemedicin.dk/fokuseret-lungeultral lydskanning/> (8. jul 2022).
7. Laursen CB, Rahman NM, Volpicelli G. Thoracic ultrasound. Thorac Ultrasound European Respiratory Society, 2018.
8. Laursen CB, Sloth E, Lassen AT et al. Point-of-care ultrasonography in patients admitted with respiratory symptoms: a single-blind, randomised controlled trial. *Lancet Respir Med.* 2014;2(8):638-46.
9. Ebrahimi A, Yousefifard M, Kazemi HM et al. Diagnostic accuracy of chest ultrasonography versus chest radiography for identification of pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Tanaffos.* 2014;13(4):29-40.
10. Dahmarde H, Parooie F, Salarzaei M. Accuracy of ultrasound in diagnosis of pneumothorax: a comparison between neonates and adults - a systematic review and meta-analysis. *Can Respir J.* 2019;2019:5271982.
11. Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI et al. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Crit Care.* 2013;17(5):R208.
12. Soni NJ, Franco R, Velez MI et al. Ultrasound in the diagnosis and management of pleural effusions. *J Hosp Med.* 2015;10(12):811-6.
13. Roberts ME, Neville E, Berrisford RG et al. Management of a malignant pleural effusion: British Thoracic Society Pleural Disease Guideline 2010. *Thorax.* 2010;65(suppl 2):ii32-40.
14. Armbruster K, Naqibullah M, Clementsen PF. Pleuracentese. *Ugeskr Læger.* 2014;176(13):V60468.
15. Yousefifard M, Baikpour M, Ghelichkhani P et al. Screening performance characteristic of ultrasonography and radiography in detection of pleural effusion; a meta-analysis. *Emerg (Tehran).* 2016;4(1):1-10.
16. Falster C, Jacobsen N, Madsen LW et al. Lung ultrasound may be a valuable aid in decision making for patients admitted with COVID-19 disease. *Eur Clin Respir J.* 2021;8(1):1909521.
17. Pivetta E, Goffi A, Lupia E et al. Lung ultrasound-implemented diagnosis of acute decompensated heart failure in the ED: a SIMEU multicenter study. *Chest.* 2015;148(1):202-210.
18. Wang Y, Shen Z, Lu X et al. Sensitivity and specificity of ultrasound for the diagnosis of acute pulmonary edema: a systematic review and meta-analysis. *Med Ultrason.* 2018;1(1):32-36.
19. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Accuracy of lung ultrasonography in the diagnosis of pneumonia in adults: systematic review and meta-analysis. *Chest.* 2017;151(2):374-382.
20. Long L, Zhao HT, Zhang ZY et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(3):e5713
21. Alzahrani SA, Al-Salamah MA, Al-Madani WH et al. Systematic review and meta-analysis for the use of ultrasound versus radiology in diagnosing of pneumonia. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):6.
22. Squizzato A, Rancan E, Dentali F et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost.* 2013;11(7):1269-78.
23. Falster C, Jacobsen N, Coman KE et al. Diagnostic accuracy of focused deep venous, lung, cardiac and multiorgan ultrasound in suspected pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Thorax.* 2021;77(7):679-689.
24. Pietersen PI, Madsen KR, Graumann O et al. Lung ultrasound training: a systematic review of published literature in clinical lung ultrasound training. *Crit Ultrasound J.* 2018;10(1):23.
25. Pietersen PI, Jørgensen R, Graumann O et al. Training thoracic ultrasound skills: a randomized controlled trial of simulation-

based training versus training on healthy volunteers. Respiration. 2021;100(1):34-43.