

ILUS 2025 · 호흡기내과 중계학회

ILUS 2025

International Lung Ultrasound Symposium

Latest Advances in Quantitative Lung Ultrasound: From Diagnosis to Automation

Quantitative LUS · Vertical Artifacts · LUS Models · ARDS · Robotic LUS · AI Segmentation

양서희 · 중앙보훈병원 호흡기내과

ILUS 2025 학회 소개

International Lung Ultrasound Symposium

📍 Trento, Italy | 4-6 June 2025

주최: Università di Trento · ULTRa Lab

후원: ASA · WINFOCUS · EFSUMB

초음파의 물리적 원리부터 AI 자동화까지,

LUS 분야의 연간 핵심 국제 학술대회

8

세션

30+

발표

3

일간

10+

참여국

3일간 8개 세션 — 프로그램 전체 구성

Day 1 | Wed 4 June

Neonatology

신생아 폐초음파 적용

Quantitative LUS 1

B-line · RF 분석 · 표준화

LUS Models

실험 model을 통한 원리 규명

Endoscopy & Thoracic US

EBUS · 시술 가이드

Day 2 | Thu 5 June

Robotic LUS

자율 탐촉자 배치 · 원격조작

Poster Sessions

AI 분류 · 정량 LUS

LUS in Emergency & Critical Care

응급실 · 중환자실 임상 적용

Day 3 | Fri 6 June

Quantitative LUS 2

Vertical artifacts · Spectroscopy

Auto Pattern Segmentation

Pleural line · AI 세그멘테이션

Auto Video Classification

DL 기반 멀티센서 연구

Round Table

ILUS 2025 핵심 트렌드 — 5대 키워드

01 Quantification Beyond B-lines

Pleural line 분석 · RF spectroscopy

02 Physics-Based Understanding

Acoustic trap · B-line 생성 메커니즘 규명

03 AI & Automation

패턴 자동 분류 · 영상 분할 · 진단 보조

04 Robotic LUS Systems

DensePose 기반 자율 스캔 · 원격 진단

05 International Standardization

연구 및 임상적용을 위한 LUS 용어·스캔구역·기기 설정 국제 표준화의 필요성

오늘 발표에서는 이 중 **LUS Models (02)**와 **Quantitative LUS (01-05)**를 집중 소개합니다

LUS Models

단순 실험 모델로 밝히는 Vertical Artifact 생성의 물리적 원리

"Simplicity is the ultimate sophistication." — Leonardo da Vinci

Type A



단일 수직선

- Rib 사이 단일 B-line
- 좁은 점 접촉
→ 가는 vertical artifact
- 갈비뼈 사이 공간에서 발생

Type B



두꺼운 수직선

- 면상(Plane) 접촉 구조
- Polypropylene sheet 처럼 넓은 면
→ 두껍게 합쳐진 B-line

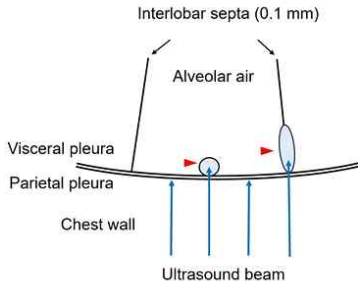
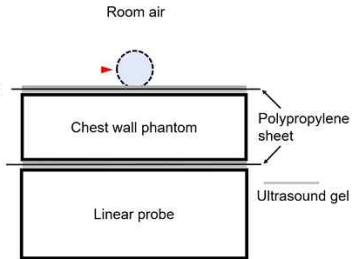
Type C



갈비뼈 아래 B-line

- Rib shadow 없는 구역
- Rib 직하방에서 발생
→ Full-length vertical artifact

Simple experimental model

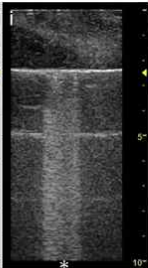
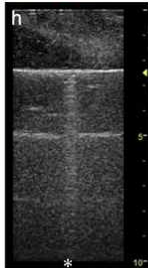
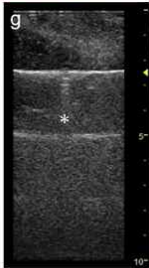
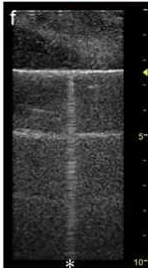
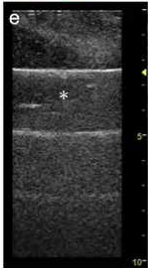


Ultrasound gel spot

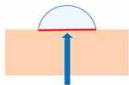
Juice sac of an orange

grain of rice

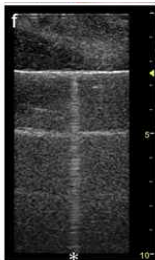
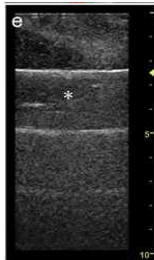
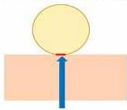
String-shaped konjac (Japanese food)



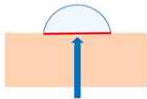
Ultrasound gel spot



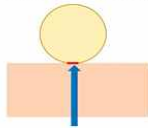
Juice sac of an orange



Ultrasound gel spot



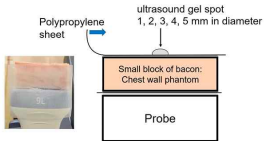
Juice sac of an orange



Hypothesis

The relative size of point or plane of contact to the volume of the source may be one of the key factors in generation, length, and echo intensity of vertical artifacts.

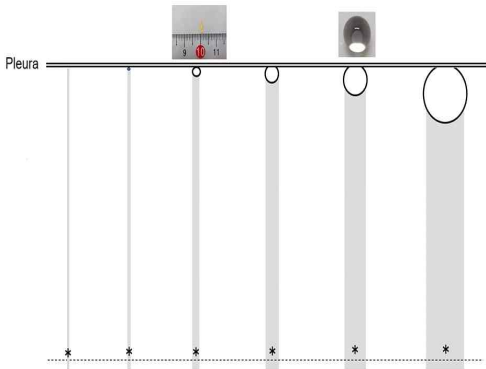
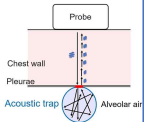
Acoustic Trap 이론 — Vertical Artifact 생성 메커니즘



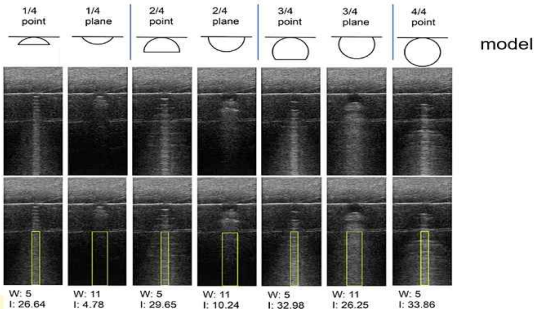
접촉점이 작고 소스 부피가 클수록
→ 더 강하고 긴 vertical artifact 생성

Acoustic trap

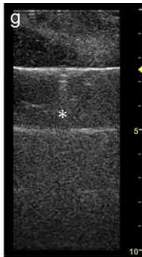
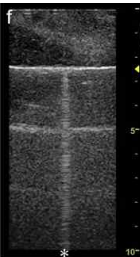
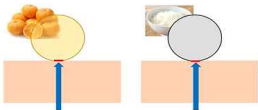
Important condition:
the relative size of
point of contact
to the volume



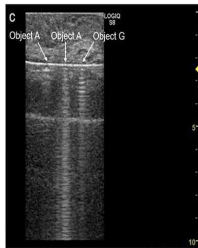
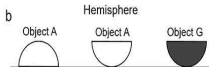
핵심 : 동일한 gel ball이라도 '**Point contact**'가 '**Plane contact**'보다 항상 높은 Echo Intensity
 → 지름(0.1 mm)이 같더라도 작은 접촉점이 강력한 B-line을 만든다(Ultrasound Med Biol 2021;2019)



Average echo intensity within the yellow rectangle



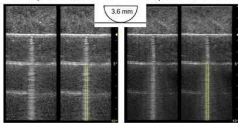
Aoustic trap 내부 감쇠가 낮을수록
→ 더 강하고 긴 vertical artifact 생성



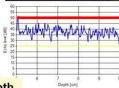
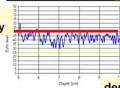
Hemisphere A

Pure Agar — 감쇠 낮음

Hemisphere A, 5 MHz Hemisphere A, 9 MHz



echo intensity



EI: 43.21, A: -0.35

EI: 37.60, A: -0.60

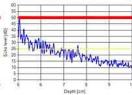
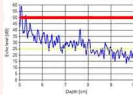
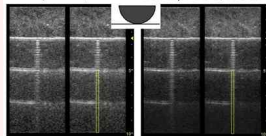
EI, average echo intensity. A, attenuation

낮은 감쇠 → 음파 deep까지 전달
→ 강하고 긴 artifact 생성

Hemisphere G

Agar + Graphite — 감쇠 높음 (0.5 dB/cm·MHz)

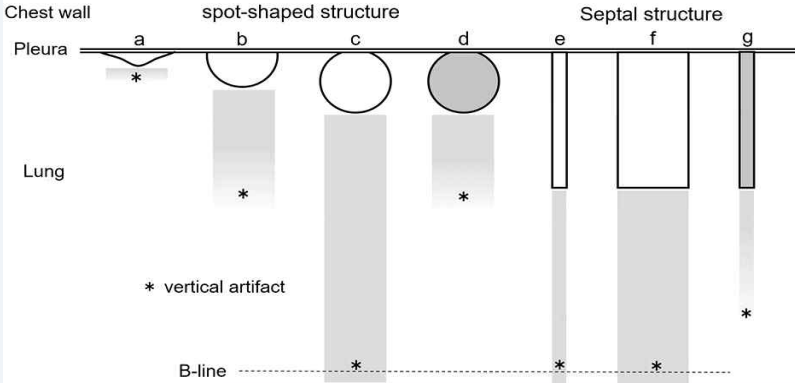
Hemisphere G, 5 MHz Hemisphere G, 9 MHz



EI: 28.70, A: -4.54

EI: 20.92, A: -4.84

높은 감쇠 → 음파 급속 흡수
→ 약하고 짧은 artifact 생성



LUS Models — 핵심 결론

01

접촉면적/소스 부피 비율 = Artifact 강도 결정 인자

Point contact가 Plane contact보다 항상 강한 vertical artifact 생성. 인터로바 충격(0.1 mm)이 실제 B-line의 소스.

02

Acoustic Trap 메커니즘 — 폐포 공기의 다중 내부 반사

강쇠 낮을수록 음파가 폐포 내에서 오래 공진 → 길고 강한 artifact. Hemisphere A vs G 실험으로 정량 증명.

03

단순 모델의 승리 — 'Simplicity is the ultimate sophistication'

오렌지, 쌀알, 근막으로 B-line 완벽 재현. 식품 재료가 복잡한 폐 생리를 설명하는 최고의 모델.

04

임상 의의 — LUS 세팅 표준화 프로토콜 필요

다기관 연구 정량화를 위해 주파수, THI, Compound, Focal zone 4가지 항목을 공통 프로토콜로 명시해야 함.

ESICM-ESPNIC Consensus 2025 — ICU 대상 정량적 LUS 국제 표준화 합의문

Quantitative LUS

B-line의 한계와 Pleural Interface 분석으로의 전환:
Quantitative LUS — ILUS 2025 핵심 세션 리뷰

*"Counting B-lines is not enough.
What matters is how and where the pleural interface changes."*

다양한 acquisition protocol

Single frame vs multi-frame → Over/Underestimation

Multiple scoring systems

B-line을 이용한 다양한 방법 → 과대/과소평가

낮은 재현성

Inter/intra-observer 변동성 — FP/FN

Ventilator settings

High PEEP → B-line 소실 ≠ 호전 — FN

Lung hyperinflation

평가·정량화 불가 — FN

만성 폐질환 (COPD)

Bullae, auto-PEEP → FN

Interstitial pulmonary fibrosis

폐수분 vs 조직 증가 감별 불가 — FP

Consolidation in deep parenchyma

정상 초음파와 동일 — FN

Chronic heart failure

역치 상승으로 FP/FN 혼재

Different types of pulmonary edema

Etiology 구별 불가 — FP/FN

Quantitative LUS — 국제 전문가 컨센서스

Mongodi S et al. · Intensive Care Med 51, 1022–1049 (2025) · doi:10.1007/s00134-025-07932-y

20

국제 전문가 패널
(성인·소아·신생아 ICU)

14

영상 핵심 질문
(우선순위 투표 선정)

46

합의 성명서
(2-round Delphi 투표)

3

대상 연령군
(성인·소아·신생아)

Q1 · 용어 표준화

Lung Ultrasound → Thoracic US 대신 사용 (폐 실질 특이적)

Quantitative LUS → 시각적·자동화 정량 접근 모두 포괄

LUS Aeration Score → 폐 통기 정량화 공식 명칭으로 통일

Q2 · 스캔 구역

성인·1세⁺ 소아: 전·중·후 × 상/하 = 반 흉곽 6구역 → 총 12구역

신생아 생후 24~48h: Simplified — 반흉곽 3구역

신생아 이후: Extended — 반흉곽 5구역 (후방 포함)

구역 명칭: RUA / LLP 등 (Side-Upper/Lower-Ant/Lat/Post)

Q3 · 기기 설정

성인 전방: 선형 탐촉자 → 후방은 저주파 탐촉자로 전환

소아·신생아: 고주파 선형 탐촉자 선호

Tissue Harmonics: OFF / 자동 최적화 기능: OFF

깊이(depth): 흉막까지 거리의 최소 2배 설정

기기 설정 4가지 변수 — 표준화 없이 정량적 LUS 비교는 불가

▲ 같은 환자라도 아래 4가지 설정이 다르면 B-line 개수가 달라진다 — 병원 간 비교 시 반드시 확인 필요

01 THI (Tissue Harmonic Imaging) → OFF 권장

배음(harmonic) 신호만 수신해 노이즈를 줄이는 기능

THI ON → B-line 적게 보임

THI OFF → B-line 많이 보임

03 탐촉자 주파수 (MHz)

탐촉자의 주파수가 B-line 표현에 직접 영향

고주파 → B-line 더 선명하고 많이 보임

저주파 → B-line 약하게 나타남

→ **전방: 선형, 후방: 저주파 탐촉자 전환 권장**

02 Compound Imaging → 자동최적화 OFF 권장

여러 각도에서 초음파를 쏘 평균 내는 기능

ON → B-line 강도 약해짐 (화질↑ 대신 artifact↓)

OFF → vertical artifact 더 선명하게 표현

04 Focal Zone 위치

초음파 빔이 가장 좁게 집중되는 지점

흉막 바로 아래 → B-line 강하게 나타남

깊게 설정 → B-line 약하게 나타남

→ **흉막까지 거리의 최소 2배 깊이 설정 권장**

핵심: 같은 환자라도 설정이 다르면 B-line 수가 달라진다 — 병원 간 비교 전 4가지 설정 반드시 통일할 것

LUS Aeration Score 체계 (Q4) + 핵심 임상 적용 (Q9·Q10)

ESICM-ESPNIC Consensus 2025 · Intensive Care Med 51:1022-1049

LUS Aeration Score — 0~3점 4단계

0

정상 통기

A-line + sliding 존재
B-line ≤ 2개

1

경도 통기 소실

B-line > 3개
Subpleural consolidation < 흉막 50%

2

중등도 통기 소실

Confluent B-line
Subpleural consolidation ≥ 흉막 50%

3

중중 통기 소실

대형 Consolidation
성인 >2cm / 소아 >1cm / 신생아 >0.5cm/kg

총점 0 ~ 36점 (12구역 × 최대 3점)

CT 및 EVLW와 상관관계 검증 완료

핵심 임상 적용 — 확립된 권고사항

- | | | |
|---|--------------------------|--|
| ✓ | PEEP-induced Recruitment | PEEP 증가에 따른 폐 재통기 평가에 신뢰할 수 있음 |
| ✓ | Prone Positioning | 복외위 효과 모니터링 — 모든 연령에서 적합 |
| ✓ | EVLW 평가 / 수액 치료 | 수액 내성 평가 및 이뇨제-투석 효과 모니터링 |
| ✓ | Surfactant 투여 (신생아) | RDS 투여 결정 cut-off: Score ≥ 8 / 효과 모니터링 |
| ✓ | 발관 실패 예측 | LUS Score > 17 → 고위험 / 전망만: >5 → 고위험 |
| ✓ | VAP 진단 및 치료 반응 | 항생제 성공/실패에 따른 폐 재통기 변화 추적 |
| ✗ | 기관지확장제 효과 | 근거 없음 — 사용 권고 불가 |
| ✗ | Lung Hyperinflation | 근거 불충분 — 전방 sliding 감소가 단서일 뿐 |

ARDS 진단 및 표현형 분류 (Q8)

LUS Aeration Score + 흉막 이상 소견 동시 고려 시

- 성인·소아·신생아 ARDS 진단 기준에 신뢰할 수 있는 영상 도구
- Focal / Non-focal 폐 형태학적 표현형 분류에 적합 (성인)

2024 ARDS 신경의에 LUS 영상 기준 포함 (흉부 X선 대안)
→ LUS Aeration Score 활용 시 ARDS 진단을 증가 보고

특수 상황 적용 (Q14)

COVID-19

Triage 및 중증도 평가에 신뢰할 수 있음 (성인)
LUS Score ↑ → ICU 사망률 상관 보고

임산부

심인성 폐부종·전자간증·COVID 폐렴 등
폐 합병증 평가에 적합

저중소득국 (LMIC)

제한된 자원 환경에서도 LUS Aeration Score
활용하여 폐 통기·병변 평가 가능

예후 예측 및 조기 감시 (Q10-Q13)

발관 실패

Score > 17 → 고위험 / 호흡근 부전 시 횡격막 US 병행

BPD 조기 예측

미숙아에서 BPD(기관지폐이형성) 조기 예측 가능

비침습 치료 실패

소아·신생아 HFNC·CPAP·NIV 실패 예측 적합

수술 후 합병증

성인·소아 수술 후 폐 합병증 예측에 신뢰

미래 과제 & 근거가 필요한 영역

AI 자동화 계산 (Q5)

관찰자 변동성 ↓ + 통일 정량화 → 개발 잠재력, 현재 보조적

신생아 검증 (Q11)

선천 기형 진단 LUS 역할 미확립 → 추가 연구 필요

호흡 물리치료 (Q9.4)

LUS Score 기반 처방·모니터링 가능성, 근거 보강 필요

Hyperinflation (Q9.7)

정량적 LUS의 발전 과정

Multi-frame 발견

- Single frame 판단은 신뢰 불가
- EVLW 상관성 확인
- B-line ↔ EVLW 강상관
- but 물리적 밀도와는 약상관

2013

Texture 분석 (폐렴)

- CXR보다 높은 진단 정확도
- 흉막하 미달 consolidation도 탐지
- 영역·크기 독립적

2015

QLUSS 알고리즘

- Pleural line 점유 % 자동 측정
- ICC 0.998 (최고 재현성)
- B-line 카운팅 무의미함 증명

2019

GLCM Texture (Gray-level co-occurrence matrix)

- 정상 vs CPE vs ARDS 감별
- COVID-19 vs ARDS 구별
- 흉막 기반 2차 통계 분석

2020

★ 핵심 전환점

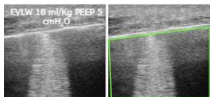
- **B-line 카운팅** → 임상적 의미가 제한적임 (Extravascular lung water; EVLW 와 무상관)
- **Pleural line + subpleural space** 분석 → 질환 감별 (edema vs ARDS vs Interstitial pn.) 의 가능성

Volume vs Weight — PEEP의 함정

PEEP 5 cmH₂O

B-line 풍부하게 보임

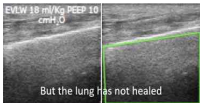
Mean intensity: 77



PEEP 10 cmH₂O PEEP ↑

B-line 소실 → '호전?' X

Mean intensity: 79
(동일)



임상적 함의

X B-line 소실 ≠ 폐자유
PEEP 증가로 lung volume 변화 → artifact 소실

Gray-scale texture 분석은
vertical artifact 유무와 무관하게
EVLW 증가 감지 가능

△ Scattering 현상: 유체 밀도가 밀계값 미달 시
vertical artifact 생성 안 됨
→ B-line 없어도 부종 진행 중!

● B-line이 아닌 Pleural line 보존 여부
기계환기 모니터링의 핵심

스코어링 방식	ICC	EVLW 상관성	비고
cLUSS (B-line 개수)	0.703	약함	
%LUSS (점유율 시각)	0.745	약함	
qLUSS (50% 기준)	0.825	보통	
nLUSS (coalescent)	0.895	보통	
QLUSS (CAD 알고리즘)	0.998 ★	강함	최고

⚠ **핵심 발견:** B-line 개수 카운팅(cLUSS)은 EVLW와 **무관 ($r^2=0.00$)**

수치로 표현된다고 객관적인 것이 아님 — '50% 기준'도 관찰자간 판단 차이 극심

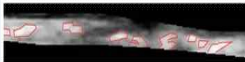
CAD의 장점: 255 단계의 gray-scale 인식 → 인간 눈의 한계 극복 |
Scattering 현상 감지 가능 (vertical artifact 없어도 EVLW 증가 탐지)

분석 방법: GLCM + 2차 통계

- Gray-Level Co-occurrence Matrix
- Pleural line + subpleural space 집중 분석
- 기계 설정과 독립적인 2차 통계
- Corradi F et al. personal data

정상 대조군

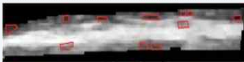
Smooth, regular pleural line



Panel a: Healthy Control Group

심인성 폐부종

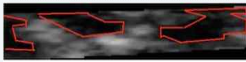
Irregular, thickened pleural line



Panel b: Cardiogenic Pulmonary Edema

ARDS

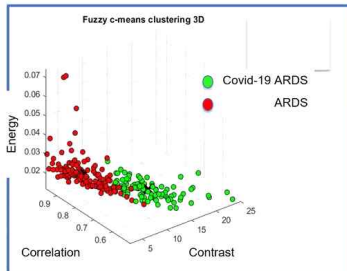
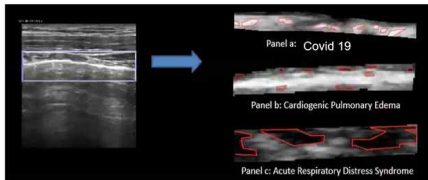
Disrupted subpleural space



Panel c: Acute Respiratory Distress Syndrome

LUS as an imaging Biomarker

Corradi F et al personal data



Lung Sliding — 패러다임의 전환

✕ 현재 접근법의 한계

- '있다/없다' 이분법적 판단만 가능
- 정량화 불가 — 'reduced'의 정의 없음
- **Speckle tracking 시도 → 실패**
(Rubin J. *Ultrasound Med Biol.* 2016)
- PV loop과의 연관성 측정 불가



💡 Corradi의 새로운 가설

"Lung sliding은 사실 존재하지 않는다"

- 폐는 흉곽 내에서 수평 이동하지 않음
 - 우리가 보는 것 = 폐포 내 공기의 수직 이동
 - 알고리즘이 잘못된 방향을 탐색해왔을 가능성
- 수직 방향 신호 분석으로 전환 필요

🔬 연구 성과 & 향후 과제

✓ GLCM texture 혼합 분석 성공
(Corradi — unpublished)

- Pleural line dynamics와 PV loop 상관관계 도출
- 기계환기 중 과팽창 감지 가능성 확인

⚠️ 임상적 중요성

- Lung sliding 보존 = PV loop 안전 구간
- Sliding 소실 = 과팽창 위험 → 이환율·사망률 ↑
- B-line이 아닌 Sliding을 보존해야



Quantitative LUS 1 — 결론

01

B-line 카운팅은 종료

EVLW와 무관 ($r^2=0.00$). Pleural line이 점유된 % 자동 측정이 유일하게 신뢰 가능한 정량화.

02

Multi-frame 필수

Single frame 판단은 호흡 주기 내 변동을 반영하지 못함 — 2013년부터 확립된 원칙.

03

Pleural line이 핵심

GLCM texture 분석으로 정상-CPE-ARDS-COVID 감별 가능. Vertical artifact보다 pleural interface가 중요.

04

PEEP ≠ 치료 반응

B-line 소실은 volume 변화 반영. Spectral intensity는 동일 → B-line이 아닌 Pleural sliding 보존이 목표.

05

자동화가 필수

Inter/intra-observer 변동성 제거를 위해 CAD-AI 기반 정량화로의 전환이 불가피.

Reference

- *Jpn J Med Ultrasonics*. 2024; 51: 239-251
- *Ultrasound Med Biol*. 2021;47: 3543-55
- *Ultrasound Med Biol*. 2019
- *Jpn J Med Ultrasonics* 2024:51
- *J Med Ultrason*. 2022;49:545-53

- *Corradi F et al. Minerva Anest* 2022
- *Mongodi S et al. · Intensive Care Med* 51, 1022–1049 (2025) · doi:10.1007/s00134-025-07932-y
- *Corradi F et al. Critical Care* 2015
- *Brusasco et al. Crit Care* 2019
- *Corradi F et al. J Clin Monit Comput* 2020