

Thoracic Ultrasonography

Βασικές αρχές Knobology



Ε. Κοντακιώτη, MD, MSc, PhD

Πνευμονολόγος

Reader Αγγλόφωνου Τμήματος Ιατρικής ΑΠΘ

Πνευμονολογική Κλινική ΑΠΘ



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- **Απουσία Ιονίζουσας Ακτινοβολίας:** Ασφαλές για επαναλαμβανόμενη χρήση, παιδιά και εγκυμονούσες.
- **Εξέταση παρά την Κλίνη (POCUS):** Άμεση διενέργεια σε ΜΕΘ και ΤΕΠ χωρίς ανάγκη μεταφοράς του ασθενούς.
- **Δυναμική Απεικόνιση (Real-time):** Αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο (π.χ. υπεζωκοτική ολίσθηση, αναπνευστική κίνηση).
- **Υψηλή Διαγνωστική Ακρίβεια:** Ανώτερο της απλής ακτινογραφίας (CXR) για πνευμοθώρακα, πλευριτική συλλογή και πνευμονία.
- **Καθοδήγηση Επεμβάσεων:** Ασφάλεια σε παρακεντήσεις θώρακα, βιοψίες και τοποθέτηση παροχετεύσεων.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- **Φυσικό Εμπόδιο του Αέρα & των Οστών:** Τα υπερηχητικά κύματα δεν διαπερνούν τον αέρα ή τις νευρώσεις.
- **Περιορισμός σε Περιφερικές Βλάβες:** Ανιχνεύει μόνο αλλοιώσεις που έρχονται σε επαφή με την υπεζωκοτική γραμμή.
- **Εξάρτηση από τον Χειριστή (Operator-dependent):** Απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση και καμπύλη μάθησης για την ερμηνεία artifacts.
- **Υπερδιάγνωση (Overdiagnosis):** Κίνδυνος εντοπισμού κλινικά μη σημαντικών subpleural αλλοιώσεων.
- **Αδυναμία Αξιολόγησης Βαθούς Παρεγχύματος:** Δεν αντικαθιστά την Αξονική Τομογραφία (CT) για κεντρικούς όγκους.

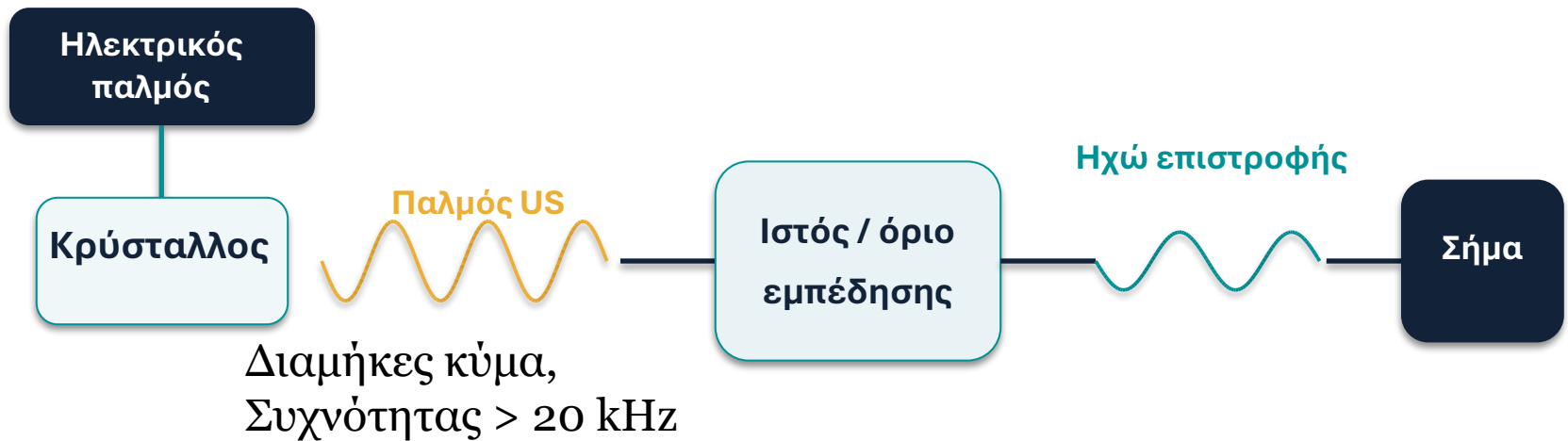
Ειδικότητα και ευαισθησία

Πάθηση	Μέθοδος	Ευαισθησία (Sensitivity)	Ειδικότητα (Specificity)
Πνευμονία (<i>Ενήλικες & Παιδιά</i>)	Υπερηχογράφημα (LUS) Ακτινογραφία (CXR)	90,0% – 95,2% 72,6% – 77,0%	83,0% – 90,8% 82,0% – 91,0%
Πνευμοθώρακας	Υπερηχογράφημα (LUS) Ακτινογραφία (CXR)	85,7% – 100% 52,7% – 71,4%	95,3% – 97,4% 99,4% – 100%
Υπεζωκοτική Συλλογή & Αιμοθώρακας	Υπερηχογράφημα (LUS) Ακτινογραφία (CXR)	79,0% – 100% 62,9% (<i>για αιμοθώρακα</i>)	97,9% – 100% ~100% (<i>όταν είναι ορατή</i>)

Ορολογία / Ονοματολογία

- Διαγνωστικός υπέρηχος (Diagnostic)
- Εστιασμένος υπέρηχος (FLUS)
- Point-of –Care (POCUS)
- Θωρακικός υπέρηχος
- **Υπέρηχος Πνεύμονα (LUS)**

Βασική αρχή πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο



- Ηλεκτρική τάση → παραμόρφωση κρυστάλλου → υπερηχητικός παλμός.
- Επιστρέφουσα πίεση → αντίστροφη παραμόρφωση → ηλεκτρικό σήμα.
- Η κεφαλή εναλλάσσει ταχύτατα εκπομπή και λήψη· η λήψη γίνεται συνήθως με πολύ χαμηλότερη ενέργεια από την εκπομπή.

Αλληλεπίδραση με τους ιστούς

- Εξασθένηση κύματος (Attenuation) λόγω ανάκλασης, σκέδασης και απορρόφησης ενέργειας. Εξαρτάται από τις ιδιότητες του ιστού και από τη συχνότητα του κύματος.
- Αύξηση της συχνότητας $\rightarrow$ αύξηση της εξασθένησης
- Ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από την πυκνότητα και την ελαστικότητα των ιστών

Ανάκλαση

- Ηχώ είναι ανάκλαση
- Ο χρόνος ηχούς εκτιμά το βάθος, η ένταση του σήματος κωδικοποιείται ως φωτεινότητα.
- Ακουστική αντίσταση των ιστών (acoustic impedance) εξαρτάται από την πυκνότητα του ιστού και την ταχύτητα του κύματος.
- Ανάκλαση λόγω της διαφοράς της ακουστικής αντίστασης των ιστών.
- Μικρή διαφορά προκαλεί μικρή ανάκλαση

Γιατί ο πνεύμονας είναι διαφορετικός;

- Η διάγνωση βασίζεται κυρίως σε artifacts και στη δυναμική τους.
- Ο φυσιολογικός πνεύμονας δεν απεικονίζεται ανατομικά σε βάθος.
- Η διεπιφάνεια μαλακών μορίων–αέρα προκαλεί έντονη ανάκλαση.
- Ορατές είναι κυρίως αλλοιώσεις που εφάπτονται στον υπεζωκότα.
- Η θέση, η αναπνοή, η κεφαλή και οι ρυθμίσεις αλλάζουν την εικόνα.

Απεικονίζουμε κυρίως

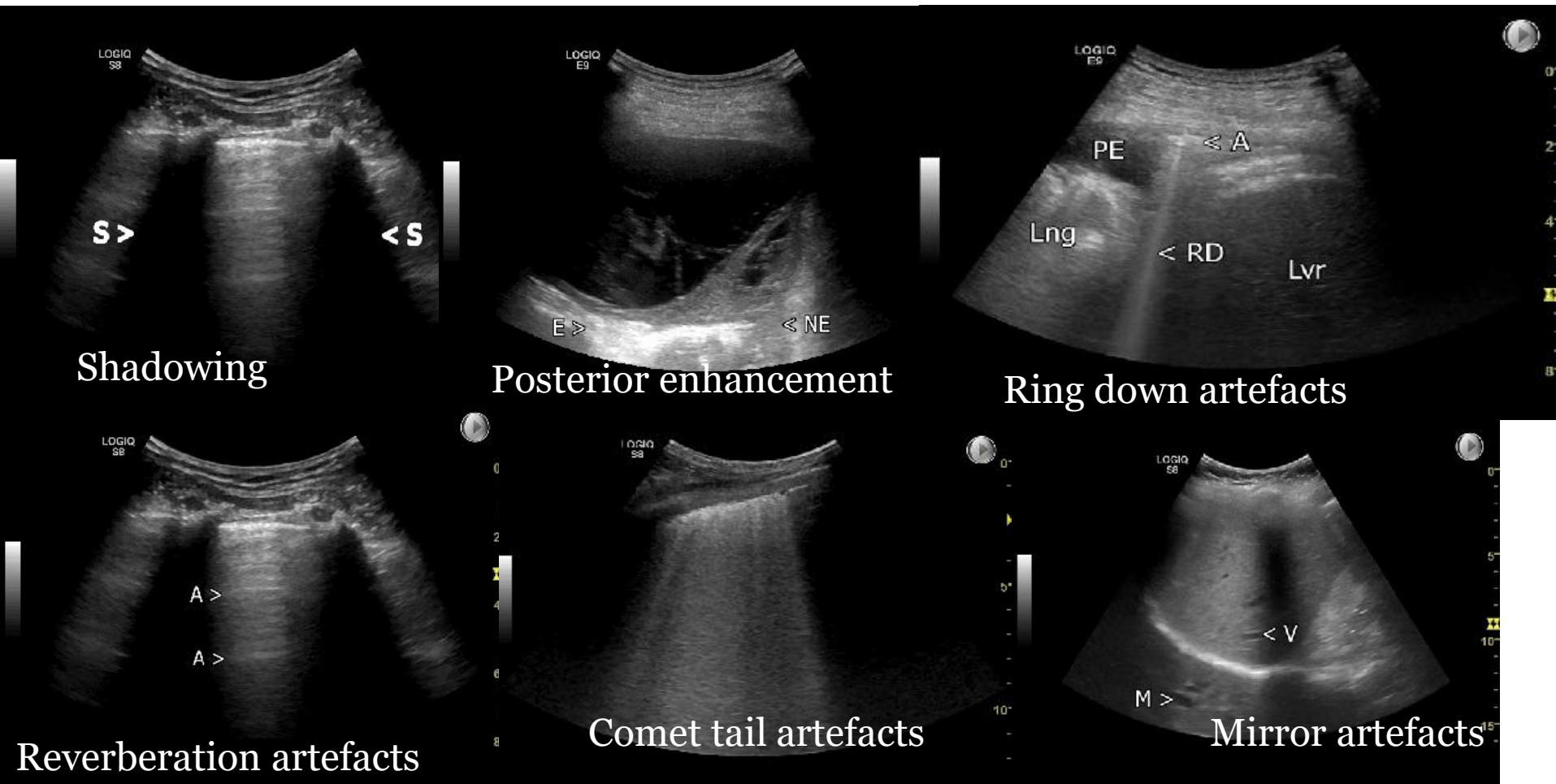
Υπεζωκότα, κίνηση, artifacts και περιφερικές αλλοιώσεις.

Δεν αποκλείουμε

Κεντρική βλάβη που δεν ακουμπά στον υπεζωκότα.

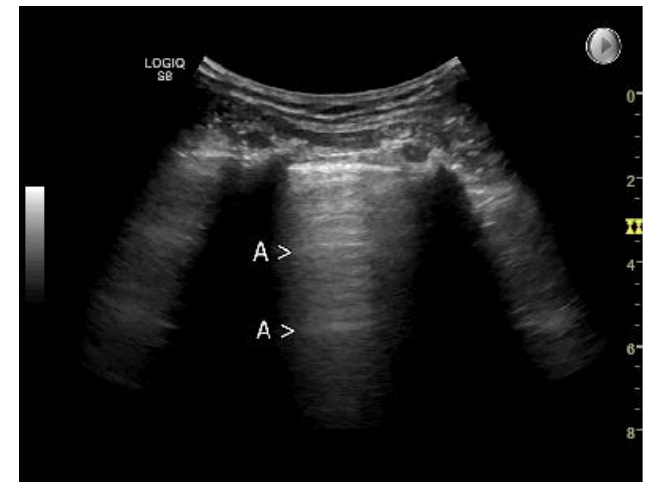
Artefacts-Τεχνουργήματα

- Shadowing
- Edge shadowing
- Posterior enhancement
- Reverberation artefacts
- Comet tail artefacts
- Ring down artefacts
- Mirror artefacts



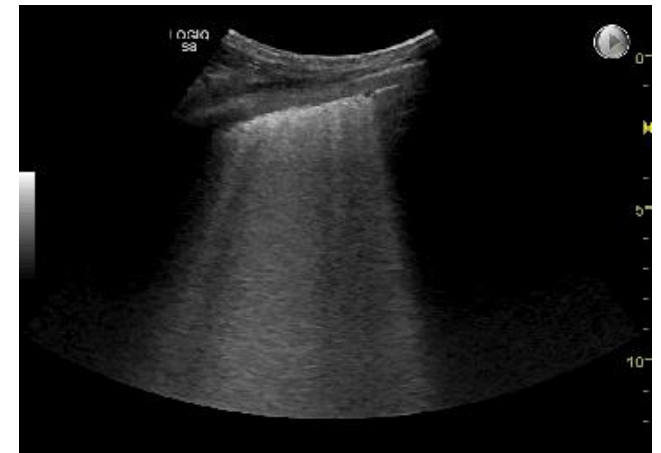
Reverberation artefacts- A Lines

- Οριζόντιες, επαναλαμβανόμενες υπερηχογενείς γραμμές σε ίσες περίπου αποστάσεις. Αντίλαλος.
- Σε συνδυασμό με lung sliding υποστηρίζουν φυσιολογικά αεριζόμενο πνεύμονα.
- A-lines χωρίς sliding χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση — δεν αρκούν για διάγνωση πνευμοθώρακα.



Comet tail artefacts- B Lines

- Κάθετες, υπερηχογενείς, laser-like γραμμές που ξεκινούν από την pleural line και φτάνουν μέχρι το κάτω άκρο της οθόνης.
- Κινούνται μαζί με την pleural line και «σβήνουν» τις A-lines.
- Λίγες B-lines μπορεί να εμφανίζονται φυσιολογικά σε συγκεκριμένες περιοχές.
- Πολλαπλές/διάχυτες B-lines αυξάνουν την πιθανότητα διάμεσου συνδρόμου, αλλά η αιτία πρέπει να ερμηνεύεται κλινικά.



Η βασική φυσική – τι βλέπει ο υπέρηχος;

- Ο ηχοβολέας εκπέμπει μηχανικά κύματα υψηλής συχνότητας και καταγράφει τις ανακλάσεις τους.
- Η εικόνα εξαρτάται από τις διαφορές ακουστικής αντίστασης μεταξύ ιστών.
- Υγρό → συνήθως καλή μετάδοση και συχνά ανηχοϊκή εικόνα.
- Αέρας → ισχυρή αντανάκλαση και δημιουργία artifacts.
- Ο υπέρηχος θώρακα βασίζεται περισσότερο στην αναγνώριση χαρακτηριστικών artifacts παρά στην άμεση απεικόνιση του αεροφόρου πνεύμονα

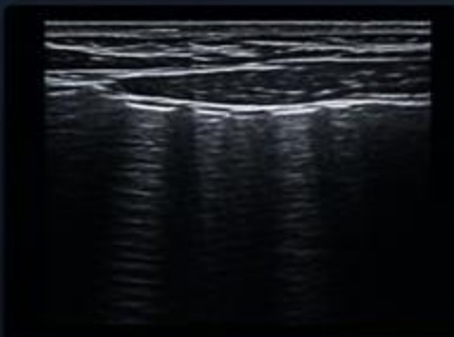
Επιλογή κεφαλής



Linear (Γραμμική)

6–15 MHz

Επιφανειακή ανάλυση,
μικρή διείσδυση



Convex (Curved)

2–5 MHz

Μεγάλη διείσδυση,
ευρύ οπτικό πεδίο



Phased Array (Cardiac)

Μικρό αποτύπωμα (footprint)
για μεσοπλεύρια διαστήματα
Καρδιά και γενική επισκόπηση πνεύμονα



Κράτημα και προσανατολισμός

Orientation Marker (Δείκτης): Σημάδι στην κεφαλή



- **Κάθετη τομή:** Marker προς το **Κεφάλι** (Cranial).



- **Οριζόντια τομή:** Marker προς τα **Δεξιά** του ασθενούς.



- **Σταθερότητα:**
Στήριξη του χεριού στο σώμα του ασθενούς για αποφυγή κόπωσης και ολίσθησης.



Μέθοδοι απεικόνισης-Ultrasound modes

B-Mode

- Κλασική δισδιάστατη απεικόνιση
- Κάθε pixel αντιστοιχεί στο πλάτος και στον χρόνο επιστροφής των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων
- Ένταση ηχούς (echo intensity): καθορίζει τη φωτεινότητα του pixel στην οθόνη.
- Βάθος (depth): καθορίζει τη θέση του pixel στην οθόνη, ανάλογα με τον χρόνο που χρειάζεται η ηχώ για να επιστρέψει στον ηχοβολέα.

Η γλώσσα της φωτεινότητας



Η "Γλώσσα" της φωτεινότητας:



• **Hyperechoic (Υπερηχογενές):**

Πολύ φωτεινό/λευκό (π.χ. Πλευρά, Υπεζωκότας).



• **Hypoechoic (Υποηχογενές):**

Σκούρο γκρι (π.χ. Μύες).



• **Anechoic (Ανηχοϊκό):**

Μαύρο (π.χ. Υγρό/Πλευριτική συλλογή).

Κλίμακα Φωτεινότητας



Υποηχογενές
(σκούρο)

Υπερηχογενές
(φωτεινό)



Βασική Ανατομία: Το Σημείο της Νυχτερίδας (Bat Sign)

Αναγνώριση Δομών:

- 1 Ribs (Πλευρές):**
Υπερηχογενείς (λευκές) καμπύλες με **Acoustic Shadowing** (μαύρη σκιά) από κάτω.
- 2 Pleural Line (Υπεζωκοτική Γραμμή):**
Λευκή γραμμή που ενώνει τις πλευρές.
- 3 Bat Sign:**
Η εικόνα που σχηματίζουν οι δύο πλευρές (τα φτερά) και ο **υπεζωκότας** (το σώμα της νυχτερίδας).

-  **RIB** Πλευρές (Υπερηχογενείς)
-  **PLEURAL LINE** Υπεζωκοτική Γραμμή
-  **BAT SIGN** Σχήμα Νυχτερίδας



Μέθοδοι απεικόνισης-Ultrasound modes

M-Mode

- Η M-mode (Motion mode – λειτουργία κίνησης) απεικονίζει την κίνηση των ιστών κατά μήκος μίας μόνο γραμμής σάρωσης.
 - Η εικόνα που προκύπτει αναπαριστά:
 - Τον χρόνο στον οριζόντιο άξονα (x).
 - Το βάθος στον κατακόρυφο άξονα (y).
 - Χρησιμοποιείται
 - Της κίνησης του διαφράγματος.
 - Της ολίσθησης του πνεύμονα (lung sliding), δηλαδή της κίνησης των υπεζωκοτικών πετάλων μεταξύ τους κατά την αναπνοή.
- Seashore sign: φυσιολογική κίνηση μεταξύ τοιχώματος και πνεύμονα.
- Barcode/stratosphere sign: απουσία φυσιολογικής κίνησης -πνευμοθώρακα.

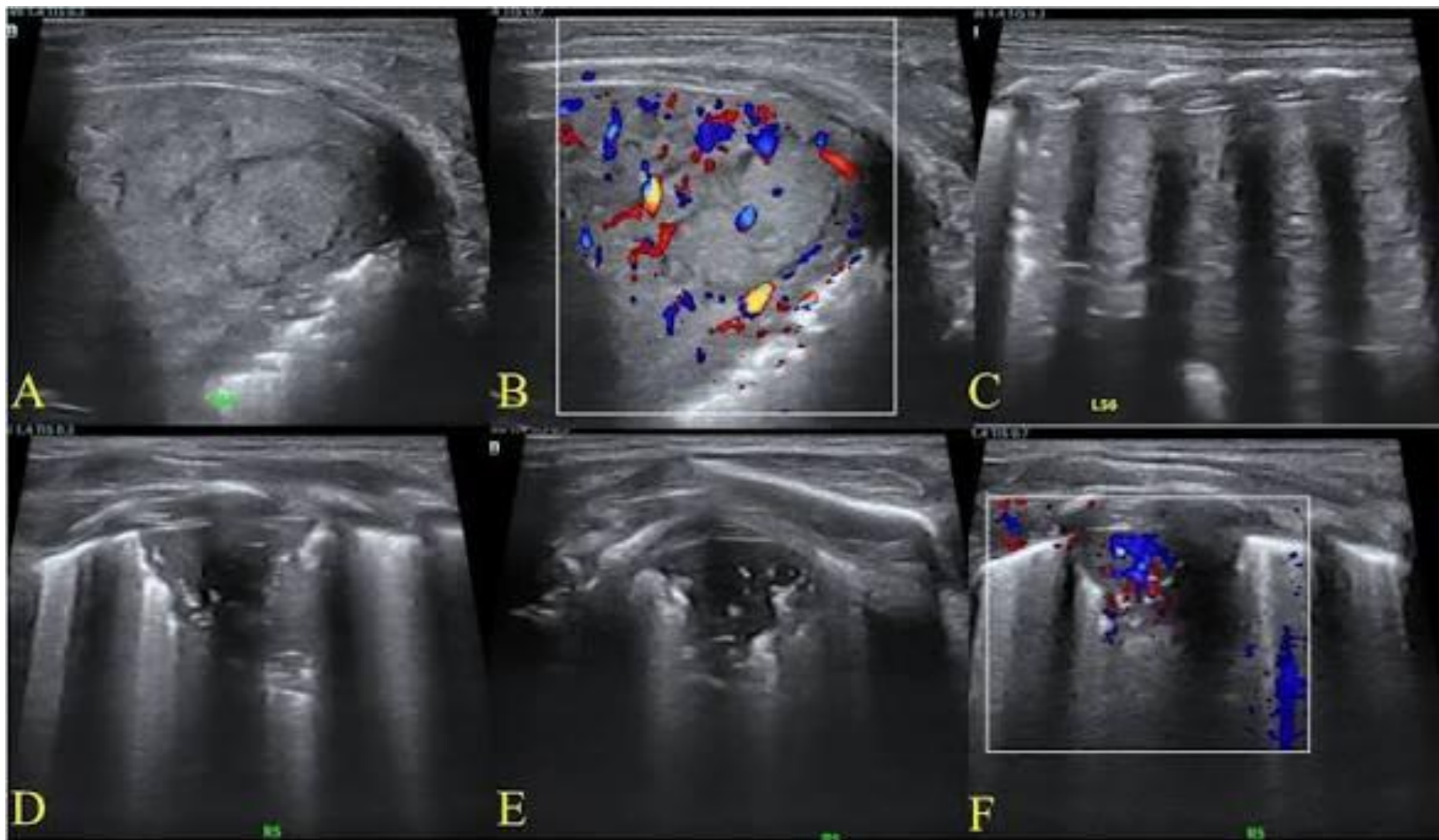


Μέθοδοι απεικόνισης-Ultrasound modes

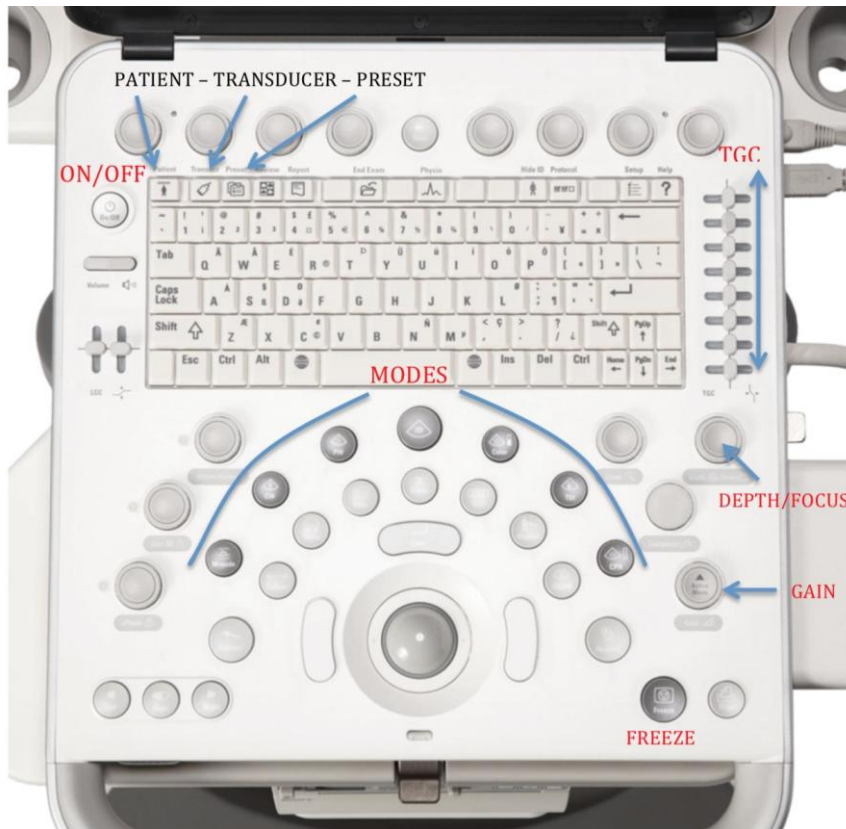
Doppler-Mode

Colour Doppler - Colour Power Doppler

- Ανιχνεύει και ποσοτικοποιεί την κίνηση προς ή μακριά από τον ηχοβολέα, με βάση τις μεταβολές της συχνότητας των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων
- Διευκολύνει τον εντοπισμό των αιμοφόρων αγγείων, ενισχύεται η ασφάλεια κατά τη διενέργεια ιατρικών επεμβατικών πράξεων, καθώς μειώνεται ο κίνδυνος αγγειακού τραυματισμού.



Knobology



Knobology

Καταγραφή

- On/Off
- Στοιχεία ασθενή
- Traducer select
- Freeze
- Trackball
- Measure/Caliper
- Text
- Body
- Save/Store/Print
- End Exam/Exit

Modes

- B-Mode
- M-Mode
- Doppler

Knobology

Βελτιστοποίηση της εικόνας

- Preset – Προεπιλογή
- Depth- Βάθος
- Focus- Εστίαση
- Gain- Φωτεινότητα
- Time Gain Compensation (TGC)- Φωτεινότητα σε διαφορετικό βάθος
- Frequency- Συχνότητα
- Zoom- Μεγένθυση

Knobology

- Depth: Δομή στη μέση της εικόνας (10-12 εκ)
- Focus: Γενικά στον υπεζωκότα
- Gain : Διαχωρίζονται καλά οι δομές
- TGC αντισταθμίζει την εξασθένηση, επιτρέποντας στις βαθύτερες δομές να εμφανίζονται με κατάλληλη φωτεινότητα, χωρίς οι επιφανειακές δομές να γίνονται υπερβολικά φωτεινές.
- Frequency: Ανάλυση έναντι διεύθυνσης
- Zoom: Έμφαση στο σημείο –στόχο

Knobology: βήμα προς βήμα

1. Βρες τον υπεζωκότα

Επίλεξε κεφαλή και προσανατολισμό· κράτησε δύο πλευρές στο κάδρο.

2. Ρύθμισε βάθος

Μείωσε το βάθος μέχρι να φαίνονται ο υπεζωκότας και ≥ 2 A-lines, χωρίς να κόβεται το χρήσιμο πεδίο.

3. Ρύθμισε εστίαση

Τοποθέτησε μία εστία στο ύψος του υπεζωκότα

4. Ρύθμισε gain

Αύξησε/μείωσε συνολικά και με TGC ώστε κοντινό και μακρινό πεδίο να είναι ισορροπημένα.

5. Βελτιστοποίησε γωνία

Μικρή κλίση/heel-toe μέχρι η δέσμη να είναι κάθετη στην pleura.

6. Απενεργοποίησε φίλτρα

Harmonics και spatial compounding OFF όταν αξιολογείς artifacts, εφόσον διατίθενται.

Αρχή: άλλαζε μία παράμετρο κάθε φορά και επανέλεγχε την εικόνα.



Συχνά λάθη

Υπερβολικό gain

Ψευδώς «γεμάτο» πεδίο, δυσκολία στην εκτίμηση της έντασης των artifacts.

Λάθος γωνία

Η pleura εξασθενεί και οι A-lines μπορεί να χαθούν όταν η δέσμη δεν είναι κάθετη.

Υπερβολικό βάθος

Μικραίνει ο στόχος στην οθόνη και χάνεται η λεπτομέρεια της pleura.

Εστία σε λάθος επίπεδο

Μειωμένη ανάλυση στην pleural line ή στην επιφανειακή πύκνωση.

Αυτόματη επεξεργασία

Harmonics, compound και φίλτρα μπορούν να μεταβάλουν την εμφάνιση artifacts.

Υπερερμηνεία

B-lines ή απουσία sliding δεν είναι μεμονωμένα διαγνωστικά για μία νόσο.

Γρήγορος οδηγός επίλυσης προβλημάτων

Δεν βλέπω καθαρή pleura

Μικρή αλλαγή γωνίας • έλεγξε gain • βάλε εστία στην pleura

Οι B-lines φαίνονται αδύναμες

Έλεγξε κάθετη πρόσπτωση, gain στο far-field, harmonics/compound OFF

Η εικόνα είναι υπερβολικά φωτεινή

Μείωσε συνολικό gain ή προσαρμόσε TGC

Δεν φαίνονται A-lines

Κάθετη δέσμη • έλεγξε βάθος και γωνία • μην αυξάνεις απλώς το gain

Δεν χωρά η περιοχή

Αύξησε βάθος, μείωσε συχνότητα/άλλη κεφαλή

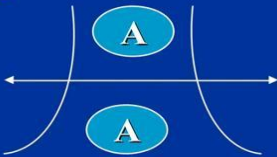
Κανόνας ασφαλείας: πρώτα βελτίωσε την τεχνική λήψης, μετά άλλαξε πολλαπλές παραμέτρους.

Αξονική και πλευρική διακριτική ικανότητα

Resolution

Axial Resolution

The ability to display two reflectors along the path of the beam .



Συχνότητα

Lateral Resolution

The ability to display two reflectors perpendicular to the beam

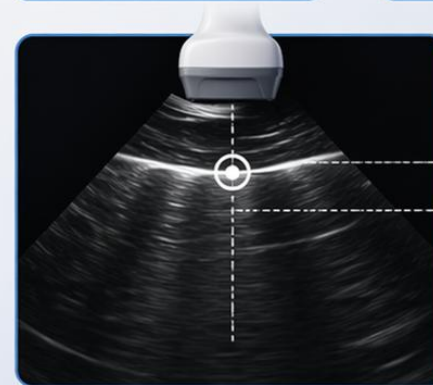


Εστίαση (Focus)

Εκτός Εστίασης



Στο Focal Zone (Εστίαση)



Pleural Line
(Υπεζωκοτική γραμμή)

Focus

Βιβλιογραφία

- Thoracic Ultrasound certified Training Programm, ERS, Part 1
- Laursen CB, Rahman NM, George V, editors. *Thoracic Ultrasound*. Sheffield: European Respiratory Society; 2026
- Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38(4):577-91
- Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care*. 2014;4:1. doi:10.1186/2110-5820-4-1.
- Jarman RD, Colclough A, McDermott C, Bøtker M, Knudsen L, Harris T, et al. EFSUMB Clinical Practice Guidelines for Point-of-Care Ultrasound: Part One (Common Heart and Pulmonary Applications). Short version. *Ultraschall Med*. 2023;44(1):36-49
- Volpicelli G, Gargani L, Zieleskiewicz L, Tuinman PR, Kimura BJ, Zisis G, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound: 2025 focused update of the 2012 recommendations. *Intensive Care Med*. 2026;52(7):1415-46



CS312356

