

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

*«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη  
Βιοϊατρική Τεχνολογία»*

## Σύγκριση φορητού υπερήχου και υπερήχου χειρός στην αξιολόγηση επιφανειακών φλεβών κάτω άκρων



Βασίλης Παπουτσής  
Αριθμός Μητρώου: 1811

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια  
Μαρία Καλλέργη, Ph.D.

Αιγάλεω, Σεπτέμβριος 2021

UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
BIOMEDICAL ENGINEERING DEPARTMENT

MS PROGRAM IN  
«Advanced Systems and Methods in Biomedical  
Engineering»



## Comparison of portable and handheld ultrasound systems for the evaluation of lower extremity venous insufficiency



Vassilis Papoutsis

Registration Number - 1811

Supervisor

Maria Kallergi, Ph.D.

**Σύγκριση φορητού υπερήχου και υπερήχου χειρός στην αξιολόγηση  
επιφανειακών φλεβών κάτω άκρων**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/A</b>	<b>ΟΝΟΜΑ/ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΜΑΡΙΑ ΚΑΛΛΕΡΓΗ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΚΑΛΥΒΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΣΚΟΥΡΟΛΙΑΚΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

## Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παπουτσής Βασίλης του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 1811, φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία» του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Παπουτσής Βασίλης



## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την κα Καλλέργη Μαρία, Καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την προθυμία, την καθοδήγηση και την αμέριστη συμβολή της για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αγγειοχειρουργό Χαράλαμπο Ηλία για τη βοήθεια στη συλλογή των εξεταστικών εικόνων και την καθοδήγηση στην ανάλυση των διαγνωστικών πληροφοριών. Τέλος, χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συνεργάτες μου, για τη στήριξη και τη βοήθεια κατά την διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b> .....	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 2: Συστήματα υπερηχογραφίας</b> .....	<b>11</b>
2.1 Βασικές αρχές παραγωγής και ανίχνευσης υπερήχων.....	11
2.2 Περιγραφή συστήματος υπερήχων .....	13
2.3 Μετατροπείς υπερήχων .....	14
2.4 Τεχνικές σάρωσης.....	20
2.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά υπερήχων .....	29
<b>Κεφάλαιο 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων υπερηχογραφίας GE Logic V2 και VINNO Q-7L</b> .....	<b>31</b>
3.1 Φορητός υπέρηχος GE Logic V2 .....	31
3.2 Υπέρηχος χειρός VINNO Q-7L.....	35
<b>Κεφάλαιο 4: Επιτολής φλεβικό δίκτυο κάτω άκρων</b> .....	<b>39</b>
4.1 Ανατομία φλεβικού δικτύου κάτω άκρων.....	39
4.2 Φλεβική ανεπάρκεια.....	43
4.3 Διάγνωση της φλεβικής νόσου .....	47
<b>Κεφάλαιο 5: Υπερηχογραφική εξέταση επιτολής φλεβικού δικτύου κάτω άκρων</b> .....	<b>49</b>
5.1 Έγχρωμο υπερηχογράφημα φλεβών κάτω άκρων (triplex φλεβών) .....	49
5.2 Πρωτόκολλο εξέτασης.....	50
<b>Κεφάλαιο 6: Πιλοτική σύγκριση φορητής συσκευής υπερήχων και συσκευής χειρός στην αξιολόγηση του επιτολής φλεβικού δικτύου</b> .....	<b>54</b>
6.1 Ανάλυση και σύγκριση των χαρακτηριστικών των συστημάτων υπερηχογραφίας.....	54
6.2 Ανάλυση και σύγκριση διαγνωστικών εξετάσεων .....	57
<b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα</b> .....	<b>68</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>70</b>

## Περίληψη

**ΣΚΟΠΟΣ:** Οι συσκευές υπερηχογραφίας αποτελούν, στις μέρες μας, αναπόσπαστο διαγνωστικό εργαλείο ευρείας αποδοχής. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη σύγκριση ενός φορητού υπέρηχου με έναν υπέρηχο χειρός, στη διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας των κάτω άκρων.

**ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:** Για την υλοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δύο συσκευές υπερηχογραφίας, μία φορητή της εταιρείας GE (Logic V2) και μία χειρός (handheld) της εταιρείας VINNO (Q-7L), με κεφαλές γραμμικής διάταξης (Linear probe). Για την συλλογή εικόνων επιλέχθηκαν έξι ασθενείς του ίδιου φύλου (άνδρες). Σε κάθε ασθενή πραγματοποιήθηκε εξέταση και με τα δύο συστήματα υπερηχογραφίας και αξιολογήθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά, η λειτουργικότητα, η φορητότητα, και το κόστος αγοράς των δύο συσκευών.

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:** Παρατηρήθηκε ότι ο υπέρηχος χειρός μπορεί να αντικαταστήσει έναν φορητό υπέρηχο και να δώσει τη δυνατότητα σε έναν ιατρό να έχει μια συσκευή με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα του πρόσφερε ένας φορητός υπέρηχος, αλλά με χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη ευκολία στη μεταφορά. Η αξιολόγηση των εικόνων των ασθενών από αγγειοχειρουργό έδειξε ότι η διαγνωστική πληροφορία των δύο συσκευών είναι ίδια και επιτρέπει διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας και την απεικόνιση τόσο των παθολογικών όσο και των φυσιολογικών φλεβών με την ίδια ακρίβεια.

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Ο υπέρηχος χειρός θα μπορούσε να αντικαταστήσει έναν φορητό υπέρηχο για εξετάσεις του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων προσφέροντας στον ιατρό όλη τη διαγνωστική πληροφορία που χρειάζεται, με πολύ χαμηλότερο κόστος αγοράς και μεγαλύτερη ευκολία ως προς τη φορητότητα της συσκευής.

## **Abstract**

**PURPOSE:** Ultrasound devices are currently an integral diagnostic tool. The technological development of these devices, have made it clear that in the coming years all doctors will have them in their professional bags.

**MATERIALS AND METHODS:** The present study deals with the comparison of a portable ultrasound with a handheld ultrasound device, in the diagnosis of venous insufficiency of the lower extremities. Two ultrasound devices were used for the implementation of the study, a portable from the company GE (Logic V2) and a handheld from the company VINNO (Q-7L), with linear probe. Six same-sex patients (men) were selected for the image collection. Each patient was examined with both ultrasound systems for a more accurate comparison of the diagnostic images. The technical characteristics, the functionality, the portability and the purchase cost of the two devices were evaluated.

**RESULTS:** It was observed that the handheld ultrasound can replace the portable ultrasound device and enables a doctor to have a device with all the technical features that a portable ultrasound would offer, but at a lower cost and greater ease of transport. Then, the diagnostic images were evaluated (by the vascular surgeon who examined the patients) from both devices. We concluded that in the diagnosis of venous insufficiency and in the imaging of both pathological and normal veins, the diagnostic information from both devices did not differ.

**CONCLUSIONS:** In conclusion, a handheld ultrasound can replace a portable ultrasound device, for examinations of the superficial veins of the lower extremities, providing the doctor with all the necessary diagnostic information, at a much lower purchase cost and greater convenience in terms of portability of the device.



## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

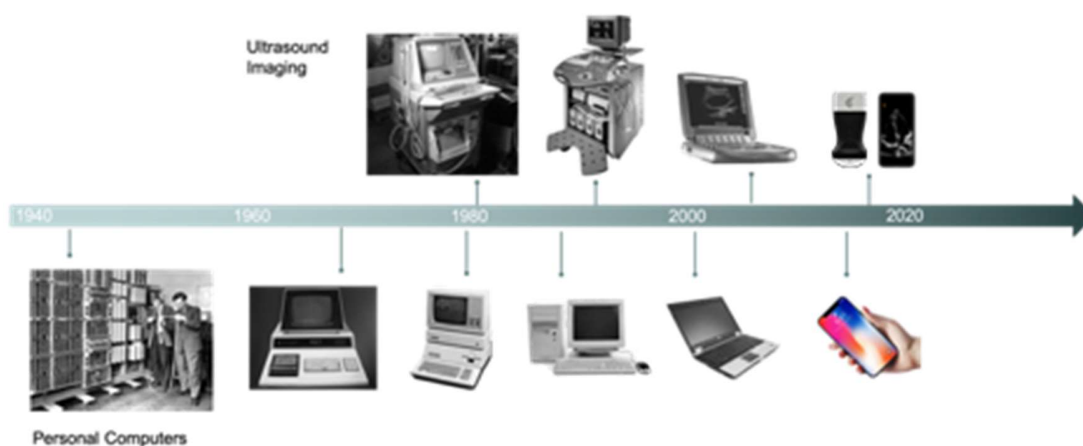
Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι εφαρμογές της στην ιατρική τα τελευταία χρόνια, έχουν εξελίξει και βελτιώσει τις μεθόδους διάγνωσης και θεραπείας. Μεταξύ αυτών, κορυφαία είναι η συμβολή των συσκευών υπερηχογραφίας, χάρη στη δυνατότητα των πολλαπλών εφαρμογών τους. Το υπερηχογράφημα είναι μια απεικονιστική μέθοδος, που στηρίζεται στην παραγωγή εικόνων των διαφόρων μερών του ανθρώπινου σώματος, από τις οποίες εξάγονται διαγνωστικά συμπεράσματα.

Ο ήχος άλλωστε, ήταν πάντοτε σημαντικός παράγοντας για τους ζώντες οργανισμούς, μιας και είναι εφοδιασμένοι με ακουστικά όργανα. Οι ιδιότητες όμως του ήχου, δεν είχαν αξιοποιηθεί παρά μόνο τα τελευταία χρόνια. Η σημερινή εποχή των συσκευών υπερηχογραφίας άρχισε κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, καθώς γινόταν προσπάθεια για βελτιωμένες υποβρύχιες ερευνητικές συσκευές. Παράλληλα, άρχισαν να εφαρμόζονται και για τον εντοπισμό επιφανειακών ανωμαλιών σε διάφορα υλικά. Η πρώτη συνάντηση των συσκευών υπερηχογραφίας με την ιατρική, έγινε τη δεκαετία του 60 και από τότε η ανάπτυξή και η εξέλιξη τους ακολουθούσε τους γνωστούς ραγδαίους ρυθμούς.

Η ανάπτυξη των συσκευών υπερηχογραφίας, τα τελευταία χρόνια, υπήρξε συνεχής και αλματώδης. Η μέθοδος αυτή αποδείχτηκε ένα αξιόπιστο διαγνωστικό εργαλείο, με ευρύτατες εφαρμογές σχεδόν σε όλες τις ιατρικές ειδικότητες και από πολλούς πλέον υποστηρίζεται ότι συμπληρώνει το στηθοσκόπιο και την κλινική εξέταση στην καθημερινή άσκηση της ιατρικής πράξης. Η τεχνολογική βελτίωση εξάλλου και η ψηφιοποίηση των ιατρικών απεικονιστικών συστημάτων, οδήγησαν στην επίλυση σημαντικών τεχνικών προβλημάτων, με αποτέλεσμα σήμερα να διαθέτουμε συσκευές υπερηχογραφίας που προσφέρουν ανατομικές πληροφορίες του ανθρώπινου σώματος με δυνατότητα διάκρισης λίγων χιλιοστών.

Εκτός από την ποιότητα της εικόνας (συστήματα με υψηλότερου βαθμού διαγνωστική αξία) η τεχνολογική εξέλιξη έφερε αλλαγές και στο μέγεθος των συστημάτων υπερηχογραφίας. Τα πρώτα χρόνια οι συσκευές αυτές ήταν ογκώδεις και δύσχρηστες ως

προς τη φορητότητα. Με την πάροδο των ετών όμως και τη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών συστημάτων, κατασκευάστηκαν φορητές συσκευές που πρόσφεραν ευκολία στη μεταφορά και τη χρήση τους. Ως εξέλιξη των φορητών αυτών συσκευών, τα τελευταία χρόνια, παρουσιάστηκαν οι συσκευές υπερηχογραφίας χειρός (Handheld Ultrasound Devices). Οι συσκευές αυτές αποτελούνται από μία μόνο κεφαλή (probe), στις οποίες είναι ενσωματωμένο όλο το hardware, ενώ το λογισμικό (software) τους γίνεται εγκατάσταση σε μια φορητή συσκευή, smartphone, tablet ή notebook.



Εικόνα 1.1: Η εξέλιξη των συστημάτων υπερηχογραφίας (clarius, 2021)

Ένας υπέρηχος χειρός είναι η τεχνολογική επιτομή των συστημάτων υπερηχογραφίας. Τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και η διαγνωστική πληροφορία που προσφέρουν είναι ισάξια ενός φορητού συστήματος υπερηχογραφίας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον μικρότερο όγκο και το χαμηλότερο κόστος αγοράς τους, έχουν αυξήσει κατακόρυφα τη ζήτηση και όλο και περισσότεροι ιατροί χρησιμοποιούν πλέον τέτοιες συσκευές.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι συσκευές υπερηχογραφίας χρησιμοποιούνται κατά κόρον από σχεδόν όλες τις ιατρικές ειδικότητες. Κυρίαρχη θέση έχουν στην εξέταση των αγγείων και κυρίως του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων. Η διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας και διαφόρων άλλων παθήσεων που σχετίζονται με το επιπολής φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων πραγματοποιούνται με υπερηχογραφική εξέταση. Το

πρωτόκολλο διάγνωσης των παθήσεων αυτών επιβάλλει ως κύριο διαγνωστικό μέσο μια συσκευή υπερηχογραφίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση και η σύγκριση δύο συστημάτων υπερηχογραφίας, ενός φορητού (GE Logic V2) και ενός χειρός (VINNO Q-7L), σε εξετάσεις του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων. Και στις δυο συσκευές χρησιμοποιήθηκαν κεφαλές γραμμικής διάταξης (Linear probes). Για την συλλογή εικόνων επιλέχθηκαν ασθενείς του ίδιου φύλου και σε κάθε ασθενή πραγματοποιήθηκε εξέταση και με τα δύο συστήματα υπερηχογραφίας, ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο ακριβής η σύγκριση των διαγνωστικών εικόνων.

Αρχικά, στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι αρχές υπερηχογραφίας, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων υπερηχογραφίας καθώς και οι λειτουργίες αυτών. Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων υπερηχογραφίας, ενός φορητού (GE Logic V2) και ενός χειρός (VINNO Q-7L). Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναλυθεί το επιπολής φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων, οι παθήσεις που σχετίζονται με αυτό (φλεβική ανεπάρκεια, κίρσοι, κ.ά.), καθώς και οι εξετάσεις που πραγματοποιούνται για τη διάγνωση των νόσων που σχετίζονται με αυτό. Στο πέμπτο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί ανάλυση της υπερηχογραφικής εξέτασης του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων (triplex φλεβών), του πρωτοκόλλου εξέτασης που χρησιμοποιείται για τη διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας και θα παρουσιαστούν διαγνωστικές εξετάσεις και από τα δύο συστήματα υπερηχογραφίας (GE Logic V2 και VINNO Q-7L). Στο έκτο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των χαρακτηριστικών του GE Logic V2 και του VINNO Q-7L, ώστε να διαπιστωθεί αν ο υπέρηχος χειρός, βάση τεχνολογικών και οικονομικών κριτηρίων και βάση λειτουργικότητας και φορητότητας υπερτερεί ή όχι ενός φορητού. Έπειτα θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση των εξετάσεων και από τα δύο συστήματα υπερηχογραφίας, που είχαν γίνει σε ασθενείς. Σε αυτές τις εικόνες θα γίνει αξιολόγηση και προσπάθεια σύγκρισης, ώστε να διαπιστωθεί εάν ένα εκ των δύο συστημάτων προσφέρει περισσότερες διαγνωστικές πληροφορίες. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα τόσο από την τεχνική ανάλυση και σύγκριση των συστημάτων

υπερηχογραφίας όσο και των διαγνωστικών πληροφοριών που μπορεί να προσφέρει το καθένα. Τελειώνοντας, θα γίνει προσπάθεια να απαντηθεί το ερώτημα αν ο υπέρηχος χειρός μπορεί να αντικαταστήσει τον φορητό υπέρηχο.

## Κεφάλαιο 2: Συστήματα υπερηχογραφίας

Οι υπέρηχοι, όπως και οι ακτίνες Χ, είναι κύματα που μεταφέρουν ενέργεια (και όχι ύλη) στο χώρο. Ένα κύμα είναι μια μεταβολή σε κάποιες ποσότητες, γνωστές σαν κυματικές μεταβλητές, που διαδίδεται στο χώρο με μια χαρακτηριστική ταχύτητα. Οι υπέρηχοι είναι εν ολίγη ακουστικά κύματα με συχνότητες μεγαλύτερες από εκείνες που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί (συχνότητες μεγαλύτερες των 20 kHz). Η διαφορά τους από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα βρίσκεται στο ότι για τη μεταφορά ενέργειας (υπερηχητικό κύμα) στο χώρο απαιτείται κάποιο μέσο διάδοσης.

### 2.1 Βασικές αρχές παραγωγής και ανίχνευσης υπερήχων

Η κίνηση των σωματιδίων με μορφή ταλάντωσης σε ένα συγκεκριμένο ελαστικό μέσο στο οποίο διαχέεται σε κυματοειδή μορφή ονομάζεται ήχος. Η ταλάντωση των σωματιδίων γύρω από αυτό το μέσο με αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών αυξανόμενων και μειωμένων πιέσεων και με εναλλαγές σε συγκεκριμένη συχνότητα δημιουργούν τα ηχητικά κύματα στα οποία εναλλάσσονται οι φάσεις συμπίκνωσης και αποφόρτισης και τα οποία διαχέονται στο περιβάλλον.

Τα ηχητικά κύματα τα οποία έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από 20kHz ονομάζονται υπερηχητικά κύματα και αποτελούν κύματα τα οποία δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τον άνθρωπο. Για την καλύτερη διάχυση της υπερηχητικής δέσμης στο μέσο, ώστε να έχουμε ποιοτικότερη και καλύτερη εικόνα, πλέον γίνεται χρήση των συχνοτήτων από 1 έως 30MHz. Η ανίχνευση και η διάδοση των υπερηχητικών κυμάτων γίνεται με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών στοιχείων.

Οι βασικές αρχές του υπερηχητικού κύματος είναι οι ακόλουθες:

- Η συχνότητα ταλάντωσης ( $F$ ) η οποία αποτυπώνεται από τις ανά δευτερόλεπτο ταλαντώσεις του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου και το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) το οποίο μας δείχνει την απόσταση διάδοσης της ακουστικής διαταραχής στο μέσο διάδοσης, ανά χρόνο περιόδου.

- Η ταχύτητα διάδοσης (C) η οποία είναι διαφορετική ανάλογα με την πυκνότητα του μέσου στο οποίο γίνεται η διάδοση, τις ελαστικές του ιδιότητες και τη θερμοκρασία του. Είναι ευθέως ανάλογη με το μήκος κύματος και τη συχνότητα ταλάντωσης.
- Η περίοδος (T) η οποία αποτυπώνει τον απαιτούμενο χρόνο για τη συμπλήρωση ενός κύκλου ταλάντωσης.
- Μήκος κύματος ( $\lambda$ ) με το οποίο αποτυπώνεται η απόσταση ανάμεσα σε γειτονικά σωματίδια του μέσου διάδοσης τα οποία έχουν αντίστοιχο πλάτος μετατόπισης σε σχέση με τη θέση ηρεμίας. Ουσιαστικά αντιστοιχεί στο μήκος που καταλαμβάνει ένας κύκλος του κύματος.
- Η ένταση (I) του υπερηχητικού κύματος σε ένα σημείο του μέσου αντιστοιχεί στην ποσότητα της ενέργειας που περνάει ανά τετραγωνικό εκατοστό, όταν είναι τοποθετημένη κάθετα στην πορεία της υπερηχητικής δέσμης.
- Η ακουστική ισχύς P είναι αποτέλεσμα του ρυθμού εκπομπής της ενέργειας του ηχοβολέα. Στη διαγνωστική υπερηχογραφία οι μέσες τιμές ακουστικής ισχύος είναι χαμηλές και για τις περισσότερες εφαρμογές κυμαίνονται μεταξύ 10 με 20 mW. (Physics of Ultrasound - NYSORA, 2021) (Ορφανουδάκης και Μαριάς, 2003)

Η δέσμη των υπερηχητικών κυμάτων κατά την μετάβαση της στο εσωτερικό των ανθρώπινων ιστών, υφίσταται μεταβολές λόγω της φυσικής αλληλεπίδρασης με τα μόρια του εκάστοτε ιστού και συγκεκριμένα υφίσταται (Angelsen, 2000a):

1. Μερική ανάκλαση,
2. Μεταβολή της τροχιάς της λόγω διάθλασης,
3. Σκέδαση λόγω των μικρών δομικών στοιχείων του ιστού,
4. Απώλεια μέρους της ενέργειας της λόγω απορρόφησης και εξασθένησης.

Όταν ένα υπερηχητικό κύμα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο ιστών, ένα ποσοστό του περνά την επιφάνεια του δεύτερου ιστού και το υπόλοιπο ανακλάται. Το φαινόμενο της ανάκλασης αποτελεί τη βασική αρχή λειτουργίας των συστημάτων υπερηχογραφίας.

Η παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Πρόκειται για έναν μηχανισμό μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντιστρόφως. Η εκπομπή των υπερηχογραφικών κυμάτων μέσω των πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων γίνεται με τη χρήση μετατροπέων (transducer) οι οποίοι περιέχουν πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους και αποτελούν το σημαντικότερο μέρος ενός συστήματος υπερήχων. Οι πιο γνωστοί πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι που συναντώνται στη φύση είναι ο χαλαζίας και το άλας Rochelle. Στα σύγχρονα συστήματα υπερηχοτομογραφίας χρησιμοποιείται ένα τεχνητό κεραμικό υλικό - ο τιτανιούχος ζirkονιούχος μόλυβδος – PZT, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση και ευαισθησία ως προς την παραγωγή και ανίχνευση υπερήχων. (Kossoff, 2004)

## **2.2 Περιγραφή συστήματος υπερήχων**

Ένα σύστημα υπερήχων αποτελείται από διάφορα τμήματα όπως τους ηχοβολείς, την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), την οθόνη, την κονσόλα ελέγχου και προαιρετικά ένα σύστημα εκτύπωσης.

Οι μετατροπείς υπερήχων αποτελούν το σημαντικότερο μέρος του συστήματος, καθώς είναι υπεύθυνοι για την αποστολή και λήψη των ηχητικών κυμάτων που δημιουργούν την εικόνα. Μέσω της χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος και του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου παράγουν και στέλνουν τα ηχητικά κύματα. Αυτά ανακλώνται στις εκάστοτε ανατομικές δομές και επιστρέφουν στον ανιχνευτή ο οποίος τα ενισχύει και τα αποστέλλει στη κεντρική μονάδα του συστήματος (CPU) για την παραγωγή της εικόνας. Η δομή και η λειτουργία των μετατροπέων υπερήχων θα αναπτυχθεί αναλυτικά και στην επόμενη ενότητα.

Η κεντρική πλακέτα ελέγχου του συστήματος αποτελεί τον εγκέφαλο αυτού, καθώς καθορίζει τις ενέργειες λειτουργίας των μετατροπέων υπερήχων και είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία και 'ερμηνεία' των σημάτων που λαμβάνει από αυτούς και την μετατροπή τους σε εικόνα, ανάλογα με το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας όπως αυτή λαμβάνεται από το δέκτη και την αποτύπωσή της στην οθόνη στην κλίμακα του γκρι. Στην συνέχεια στέλνει την εικόνα στην οθόνη του συστήματος για προεπισκόπηση από τον

χειριστή, όπου ανάλογα με το ποσό της ενέργειας μπορεί να είναι άσπρο (ηχογενής), μαύρο (υποηχογενής), γκρι (μέτριας ηχογένειας).

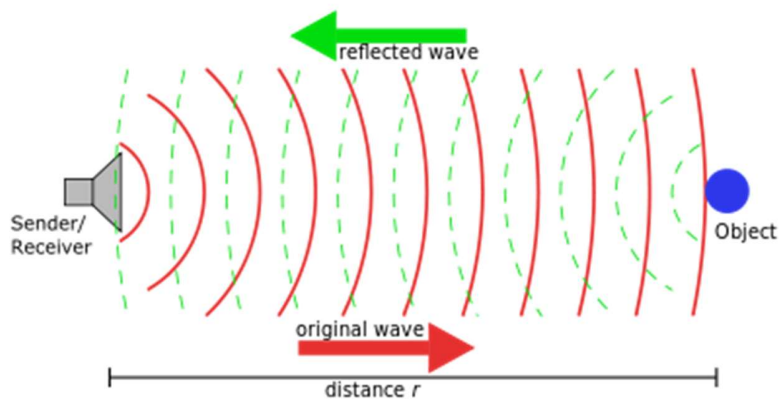
Η κονσόλα χειρισμού του συστήματος υπερήχων αποτελείται από αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο μέσω του οποίου γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων, όπως τα στοιχεία του ασθενούς και σχόλια επί των εικόνων και από πλήκτρα ελέγχου όλου του συστήματος. Μέσω αυτών των ειδικά διαμορφωμένων πλήκτρων ο χειριστής μπορεί να επιλέξει τη εξέταση θέση να πραγματοποιήσει, ποιον μετατροπέα υπερήχων να ενεργοποιήσει, την έναρξη, διακοπή και ολοκλήρωση της λήψης εικόνας καθώς και την επεξεργασία της εικόνας μετά την λήψη. Επιπλέον, μπορεί να διαχειρίζεται όλο το σύστημα αρχειοθέτησης των εικόνων και αναφορών στην εσωτερική βάση δεδομένων του συστήματος, την εξαγωγή τους σε εξωτερικά μέσα αποθήκευσης (USB, CD/DVD, σύστημα PACS) και την εκτύπωση τους. (How Ultrasound Works, 2021)

### **2.3 Μετατροπείς υπερήχων**

Οι μετατροπείς υπερήχων (transducers) μέσω των πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων που διαθέτουν μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική και αντίστροφα, λειτουργώντας τόσο ως πομποί όσο και ως δέκτες. Για την παραγωγή των υπερήχων εφαρμόζεται κατάλληλο εναλλασσόμενο δυναμικό στα άκρα του υλικού, το οποίο προκαλεί περιοδική μετακίνηση της επιφάνειας του υλικού και στη συνέχεια ταλάντωση των γειτονικών μορίων του αέρα. Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι διεγείρονται και δονούνται δημιουργώντας υπερηχητικά κύματα τα οποία διαχέονται στο σώμα.

Για την ανίχνευση των υπερήχων συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Το υπερηχητικό κύμα πέφτει πάνω στον μετατροπέα υπερήχων, θέτει σε παλμική κίνηση την επιφάνεια του, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας διαφοράς δυναμικού στα άκρα του, η οποία προκαλεί την παραγωγή ηλεκτρικού παλμού. Ο ηλεκτρικός παλμός αποστέλλεται στο υπολογιστικό σύστημα του υπερήχου το οποίο δημιουργεί μια εικόνα που ονομάζεται ηχογράφημα. (Wikipedia Contributors, 2021) (Nightingale, 2021) (NYSORA, 2021)





Εικόνα 2.1: Διάδοση υπερηχητικού κύματος (Wikipedia Contributors, 2021)

Ο μετατροπέας υπερήχων αποτελείται από τα παρακάτω πέντε βασικά εξαρτήματα (Nightingale, 2021):

### 1. Κεραμικό στοιχείο με πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες

- Συνήθως είναι πιτανικός ζirkονικός μόλυβδος (PZT), όπου πρόκειται για ένα κεραμικό υλικό υπεροβσκήτη το οποίο εμφανίζει έντονο πιεζοηλεκτρικό αποτέλεσμα
- Συνήθως αποτελείται από ένα στοιχείο ή από πολλά στοιχεία αν πρόκειται για ευρυζωνικό μετατροπέα υπερήχων
- Το πάχος του κάθε στοιχείου εξαρτάται από τη συχνότητα συντονισμού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και μπορεί να είναι:
  - Ίσο με το μισό του μήκους κύματος
  - Παχύτερο σε περίπτωση που θα παραχθεί ταλάντωση χαμηλότερης συχνότητας
  - Λεπτότερο στοιχείο για την παραγωγή ταλάντωσης υψηλότερης συχνότητας

### 2. Τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία είναι συνδεδεμένα από τις δύο πλευρές με θετικά ηλεκτρόδια και γείωσης έτσι ώστε:

- Να επιτρέπεται η ηλεκτρική συνδεσιμότητα

- Το θετικό ηλεκτρόδιο να είναι συνδεδεμένο στην πίσω πλευρά του στοιχείου
- Το ηλεκτρόδιο γείωσης να είναι συνδεδεμένο στην μπροστινή πλευρά του στοιχείου

### 3. Σύστημα υποστήριξης καλωδίου (συνδετήρας)

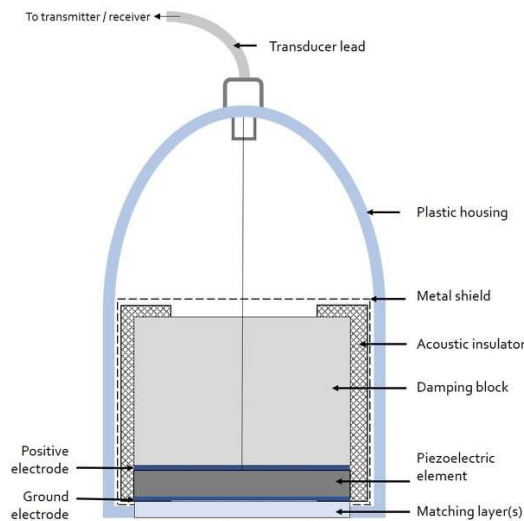
- Είναι κολλημένο στην πίσω πλευρά του θετικού ηλεκτροδίου ώστε να το προστατεύει adhered to the back of the crystal (behind the positive electrode)
- απορροφά την ενέργεια υπερήχου που κατευθύνεται προς τα πίσω και εξασθενίζει τα αδέσποτα υπερηχητικά σήματα από το περίβλημα
- μειώνει τις συντονισμένες δονήσεις στο στοιχείο το οποίο δημιουργεί μικρότερο μήκος χωρικού παλμού, επιτρέποντας την καλύτερη αξονική ανάλυση αλλά και το υψηλότερο εύρος ζώνης

### 4. Στρώμα συνδετικού υλικού (Matching layer)

- πρόκειται για διεπαφή μεταξύ του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου και της επιφάνειας, το οποίο έχει στόχο την καλύτερη μεταφορά του ηχητικού κύματος από τον κρύσταλλο στο σώμα του ασθενούς (σε συνεργασία με το gel)
- επιτρέπει σχεδόν το 100% της μετάδοσης της υπερηχητικής ενέργειας από το κάθε στοιχείο στους ιστούς ελαχιστοποιώντας την αντανάκλαση λόγω της διάδοσης σε διάφορα στάδια
- τα παραπάνω επιτυγχάνονται αποτελούμενα από στρώματα υλικού με ακουστικές σύνθετες αντιστάσεις μεταξύ του μαλακού ιστού και του υλικού του μετατροπέα, το οποίο μπορεί να αποτελείται από ένα ή πολλαπλά επίπεδα
- το κάθε επίπεδο έχει πάχος ίσο με το ένα τέταρτο ( $1/4$ ) του μήκος κύματος

### 5. Περίβλημα του μετατροπέα, το οποίο:

- Είναι ηλεκτρικά μονωμένο και προστατεύει το κάθε πιεζοηλεκτρικό στοιχείο
- Περιλαμβάνει πλαστική θήκη, μεταλλική προστασία και ακουστικό μονωτικό υλικό



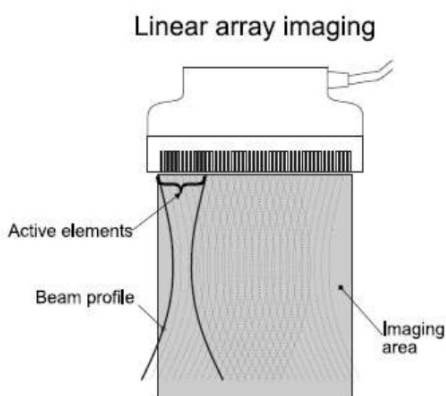
Εικόνα 2.2: Δομή μετατροπέα υπερήχων (Nightingale, 2021)

Οι μετατροπείς διατίθενται σε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη για την λήψη εικόνων από διαφορετικά μέρη του σώματος. Διαφέρουν ως προς την κατασκευή τους με βάση την διάταξη των πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων, το μέγεθος της επιφάνειας σάρωσης και την εύρος συχνοτήτων στο οποίο λειτουργούν. Οι τρεις βασικές κατηγορίες είναι οι μετατροπείς γραμμικής διάταξης (Linear Array), κυρτής διάταξης (Convex Array) και φασικής διάταξης (Phased Array).

### Μετατροπείς γραμμικής διάταξης

Ο μετατροπέας γραμμικής διάταξης (Linear Array) αποτελείται από διάταξη των στοιχείων (κρυστάλλων) σε σειρά – γραμμική διάταξη και η διέγερση τους γίνεται διαδοχικά. Για την παραγωγή της υπερηχογραφικής δέσμης ενεργοποιούνται ταυτόχρονα ομάδες στοιχείων, με την δέσμη να επικεντρώνεται γύρω από το κεντρικό στοιχείο της ομάδας. Κατά την έναρξη της απεικόνισης ενεργοποιείται πρώτη η ομάδα στοιχείων που βρίσκεται στο ένα άκρο της γραμμικής διάταξης, εκπέμποντας την πρώτη γραμμή της δέσμης και προσλαμβάνοντας αντίστοιχα τα σήματα των αντηχήσεων. Στην συνέχεια η ενεργός ομάδα στοιχείων μετατοπίζεται κατά ένα στοιχείο, δημιουργώντας μια καινούρια ομάδα και η αποστολή παλμού και λήψη αντήχησης συνεχίζεται. Η μετατόπιση αυτή κατά ένα στοιχεία πραγματοποιείται από το ένα άκρο της διάταξης μέχρι το άλλο με τη διαδοχική ενεργοποίηση των στοιχείων.

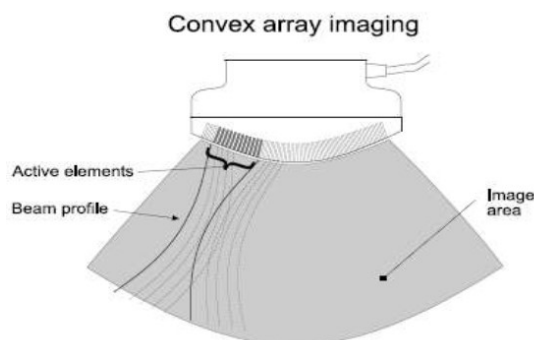
Οι υπερηχογραφικές γραμμές είναι παράλληλες και το σχήμα της υπερηχογραφικής εικόνας που παράγεται είναι ορθογώνιο. Οι μετατροπείς γραμμικής διάταξης χρησιμοποιούν υψηλές συχνότητες, διαθέτουν μεγάλο πάτημα (footprint) και χρησιμοποιούνται κυρίως για την απεικόνιση επιφανειακών οργάνων, όπως θυροειδής και μαστός, αλλά και για απεικόνιση φλεβών και αγγείων. Για την υπερηχογραφική απεικόνιση των κάτω άκρων, που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιούνται μετατροπείς γραμμικής διάταξης υψηλών συχνοτήτων. (Σπανίδης, 2010) (Σκλαβούνος και Θανασούλας, 1998)



Εικόνα 2.3: Μετατροπείς γραμμικής διάταξης (Σπανίδης, 2010)

### Μετατροπείς κυρτής διάταξης

Οι μετατροπείς κυρτής διάταξης (Convex Array) αποτελούνται από στοιχεία τοποθετημένα κατά μήκος μιας κυρτής επιφάνειας. Η μέθοδος παραγωγής της εικόνας είναι ίδια με εκείνη της γραμμικής διάταξης, με την ενεργή ομάδα στοιχείων να μετατοπίζεται προοδευτικά από το ένα άκρο στο άλλο. Οι μετατροπείς κυρτής διάταξης χρησιμοποιούν κυρίως χαμηλές συχνότητες και χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση εν τω βάθει οργάνων, όπως εξετάσεις άνω και κάτω κοιλίας, μαιευτική και γυναικολογία. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η δημιουργία μεγάλου πεδίου απεικόνισης σε μεγάλο βάθος. (Σπανίδης, 2010) (Σκλαβούνος και Θανασούλας, 1998)

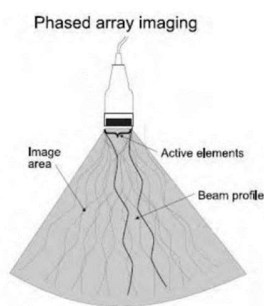


Εικόνα 2.4: Μετατροπέας κυρτής διάταξης (Σπανίδης, 2010)

## Μετατροπείς φασικής διάταξης

Οι μετατροπείς φασικής διάταξης (Phased Array) αποτελούνται από πολύ στενά στοιχεία τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο και σχήμα τετραγώνου. Η λειτουργία διαφέρει από αυτή της γραμμικής και κυρτής διάταξης, καθώς για την εκπομπή αλλά και την λήψη κάθε υπερηχογραφικής γραμμής σάρωσης χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα όλα τα στοιχεία του μετατροπέα. Ο προσανατολισμός της δέσμης που εκπέμπεται ελέγχεται μέσω της εφαρμογής μικρής χρονικής καθυστέρησης (φάσης) στην διέγερση των κρυστάλλων μεταξύ των παλμών και γι' αυτό η συγκεκριμένη διάταξη ονομάζεται φασική.

Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας τους, επιτρέπει την απεικόνιση κινούμενων ανατομικών δομών και αιματικών ροών υψηλής ταχύτητας. Επιπλέον, το μεγάλο βάθος στο οποίο απεικονίζουν μέσω του μικρού απεικονιστικού παραθύρου που χρησιμοποιούν και το μικρό τους πάτημα τους καθιστά ιδανικούς για χρήση σε καρδιολογικές εξετάσεις. (Σπανίδης, 2010) (Σκλαβούνος και Θανασούλας, 1998)



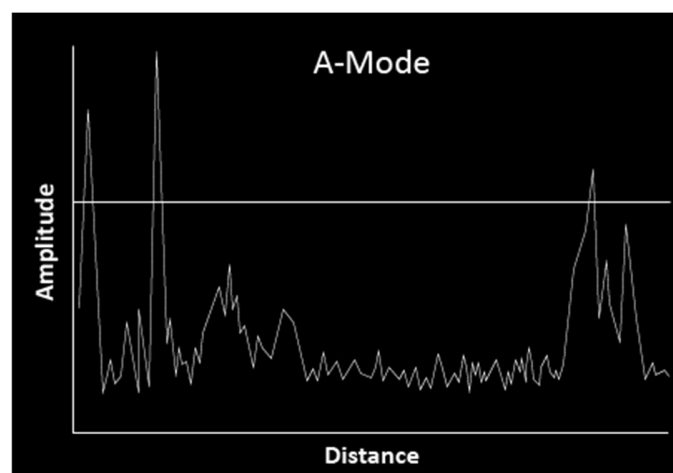
Εικόνα 2.5: Μετατροπέας φασικής διάταξης (Σπανίδης, 2010)

## 2.4 Τεχνικές σάρωσης

Η εξέλιξη της υπερηχητικής απεικόνισης άρχισε με την εμφάνιση ενός στατικού μονοδιάστατου τρόπου απεικόνισης (A-Mode), βελτιώθηκε όταν ο παράγοντας χρόνος προσαρμόστηκε στην διαδικασία παραγωγής εικόνας (M-Mode) και έκανε τεράστια άλματα προόδου με την απεικόνιση δύο διαστάσεων (B-Mode) και την απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι (gray scale imaging). Σήμερα, αυτοί οι μέθοδοι απεικόνισης δείχνουν “απαρχαιωμένοι” μπροστά στην τρισδιάστατη (3D) αλλά και τετραδιάστατη (4D) πλέον απεικόνιση.

### A-Mode Απεικόνιση

Η A-Mode απεικόνιση αποτελεί την αφετηρία για την εξέλιξη των υπολοίπων τρόπων απεικόνισης και η ονομασία της προέρχεται από τον όρο Amplitude (πλάτος) και συγκεκριμένα Amplitude Modulation (Διαμόρφωση Πλάτους). Οι ανιχνευόμενες ανακλάσεις απεικονίζονται μονοδιάστατα ως εξέχουσες κορυφές σε μία οριζόντια βασική γραμμή η οποία αντιπροσωπεύει τον άξονα διεύθυνσης βαθμονομημένο σε εκατοστά. Το ύψος της κάθε κορυφής είναι ανάλογο της έντασης της ανακλώμενης δέσμης στην οποία αντιστοιχεί και η θέση της παρέχει το βάθος στο οποίο βρίσκεται η ανατομική δομή στην επιφάνεια της οποίας γίνεται η ανάκλαση του ηχητικού παλμού (εικόνα 6).



Εικόνα 2.6: A-Mode Απεικόνιση (NYSORA, 2021)

Όταν ένας ηλεκτρικός παλμός εφαρμόζεται στο μετατροπέα, μια κορυφή εμφανίζεται στην οθόνη για να σηματοδοτήσει την έναρξη του ηχητικού παλμού. Καθώς η ηχητική δέσμη διαπερνά τον ασθενή, ένα ποσοστό ανακλάται προς το μετατροπέα από τις επιφάνειες των ανατομικών δομών. Το βάθος στο οποίο βρίσκεται κάθε δομή απεικονίζεται και είναι ανάλογο του χρόνου που απαιτείται, από την ανακλώμενη δέσμη, για να επιστρέψει και να ανιχνευθεί από τον μετατροπέα.

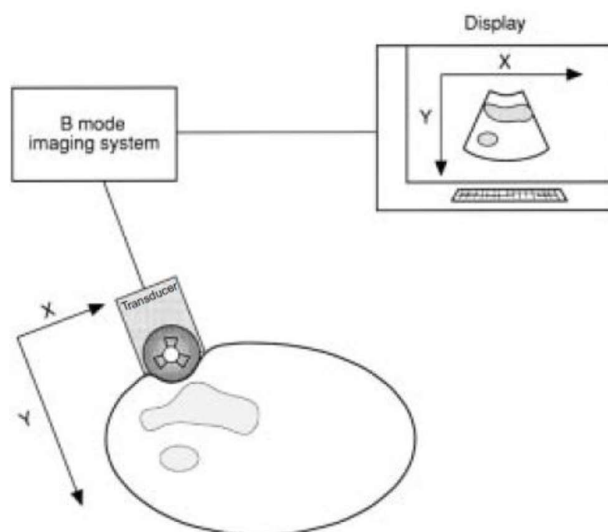
Η διαγνωστική ακρίβεια της A-Mode απεικόνισης εξαρτάται από την αξονική διακριτική ικανότητα, δηλαδή από το χωρικό μήκος και τη συχνότητα του παλμού. Ο κύριος σκοπός της A-Mode απεικόνισης είναι να μετρηθούν το βάθος στο οποίο βρίσκονται οι δομές οι οποίες ανιχνεύονται και η μεταξύ τους απόσταση. Στην σημερινή πραγματικότητα η απεικόνιση A-Mode θεωρεί “απαρχαιωμένη” και χρησιμοποιείται πλέον σπάνια. (NYSORA, 2021) (Σκλαβούνος, 1998)

### **B-Mode Απεικόνιση**

Το υπερηχογράφημα αναπτύχθηκε ως τεχνική απεικόνισης με τη μέθοδο απεικόνισης B-Mode. Στην απεικόνιση A-Mode το ύψος των κορυφών είναι ανάλογο με την ένταση της ανακλώμενης δέσμης. Εάν αυτή η κορυφή “συμπιεστεί” στο μέγεθος μιας κουκίδας, τότε η ένταση της φωτεινότητας της κουκίδας είναι ανάλογη της έντασης της ανακλώμενης δέσμης, ενώ η θέση της κουκίδας εξακολουθεί να ορίζει τη θέση της ανακλαστικής επιφάνειας. Σε κάθε ανάκλαση αντιστοιχίζεται μια αριθμητική τιμή η οποία αντιπροσωπεύει ταυτόχρονα την έντασης της, καθώς και μια απόχρωση στην κλίμακα του γκρι. Αυτού του είδους η απεικόνιση ονομάζεται B-Mode Απεικόνιση.

Οι αποστάσεις των ανακλαστικών επιφανειών υπολογίζονται με βάση την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στους ιστούς και το συνολικό χρόνο διάδοσης του ηχητικού παλμού μέχρι το σημείο ανάκλασης και επιστροφής της ανάκλασης στο μετατροπέα. Ο πίνακας εντάσεων, που αποθηκεύεται στη μνήμη εικόνας, διαβάζεται και μεταφέρεται στην οθόνη με συχνότητα που επιτρέπει τη σταθερή και συνεχή απεικόνιση της ανατομικής τομής. Το γεγονός ότι η εικόνα είναι αποθηκευμένη σαν πίνακας αριθμητικών τιμών δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας της εικόνας, πριν από την προβολή της στην οθόνη.

Η θέση της ανακλώμενης ηχούς εμφανίζεται σε δύο διαστάσεις (x και y) στην οθόνη (δισδιάστατη απεικόνιση). Το πλάτος κάθε ηχούς αντιπροσωπεύεται από την τιμή φωτεινότητας στη θέση xy. Η ηχώ υψηλού πλάτους μπορεί να παρουσιαστεί είτε ως υψηλής φωτεινότητας είτε ως χαμηλής φωτεινότητας. Οι περιοχές στον ασθενή που είναι περισσότερο ηχογενείς αντιστοιχούν σε περιοχές της εικόνας που είναι πιο φωτεινές, ενώ αυτές που είναι λιγότερο ηχογενείς σε περιοχές της εικόνας που είναι λιγότερο φωτεινές. (Δημητριάδης, 2017) (Σκλαβούνος και Θανασούλας, 1998) (Two-dimensional (2D) echocardiography – ECG & ECHO, 2021)



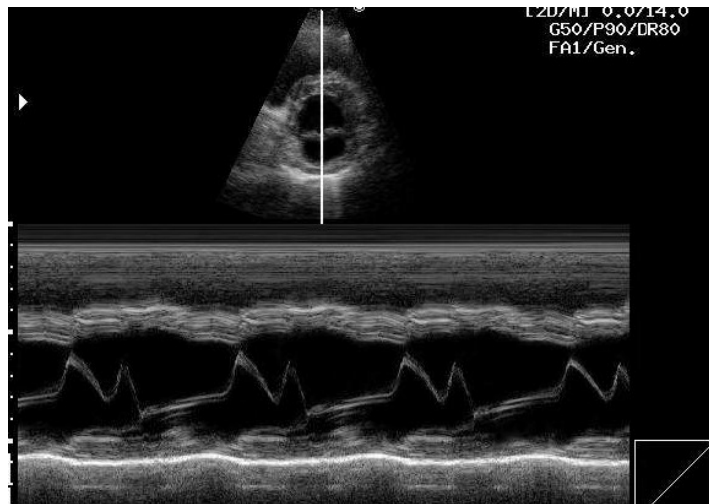
Εικόνα 2.7: B-Mode Απεικόνιση (Δημητριάδης Κ., 2017)

Όταν μια ηχώ επιστρέφει στον μετατροπέα, το εύρος της αντιπροσωπεύει το βαθμό φωτεινότητας (ηχογένεια) μιας κουκίδας στην οθόνη. Οι ισχυρές κατοπτρικές αντανάκλασεις δημιουργούν φωτεινές κουκίδες (υπερηχοειδείς), π.χ. διάφραγμα, οστό, περικάρδιο ενώ οι ασθενέστερες διάχυτες αντανάκλασεις παράγουν γκριζές κουκίδες (υποηχοειδείς) π.χ., στερεά όργανα. Επίσης, οι βαθιές δομές εμφανίζονται συχνά υποηχοειδείς επειδή η εξασθένηση περιορίζει τη μετάδοση δέσμης για να φτάσει στις δομές, με αποτέλεσμα μια αδύναμη ηχώ να επιστρέφει. Όταν οι κουκίδες είναι πολύ σκούρες (ανηχοειδείς), καμία ανάκλαση δεν έχει πραγματοποιηθεί. Ο συνδυασμός όλων αυτών των κουκίδων αποτελεί την τελική εικόνα του υπερήχου.



## M-Mode Απεικόνιση

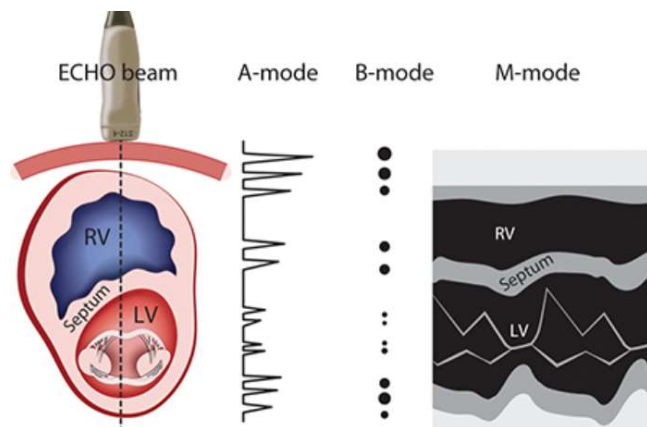
Η απεικόνιση της χρονικής κίνησης του υπερηχητικού κύματος κατά μήκος μιας επιλεγμένης γραμμής υπερήχων ονομάζεται M-Mode απεικόνιση. Αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων μεθόδων δηλαδή είναι ένας συνδυασμός διαμορφώσεων κατά πλάτος και κατά φωτεινότητα.



Εικόνα 2.8: M-Mode Απεικόνιση (Home et al., 2021)

Εάν οι κορυφές του A-Mode μεταφραστούν σε μια γραμμή σάρωσης B-Mode, τότε η εικόνα που θα προκύψει θα αποτελείται από μια σειρά κουκίδων, άλλων ακίνητων και άλλων κινούμενων, σε αντιστοιχία με τις A-Mode κορυφές. Οι κουκίδες της B-Mode απεικόνισης, δίνουν την πληροφορία για την κίνηση ή όχι κάποιων ανακλαστικών επιφανειών, δεν μπορεί όμως να ελεγχθεί ούτε η επαναληψιμότητα ούτε το εύρος της κίνησης της κάθε επιφάνειας και σε σχέση με γειτονικές επιφάνειες.

Για να υπάρξει η δυνατότητα τέτοιων μετρήσεων, πρέπει να επιτευχθεί κάποιου είδους απεικόνιση συναρτήσεως του χρόνου. Αυτό επιτυγχάνεται εάν ταυτόχρονα με την απεικόνιση B-Mode υπάρχει και μετατόπιση, με σταθερή ταχύτητα, κατά τη διεύθυνση του άξονα Y. Η A-Mode απεικόνιση καταγράφεται στον άξονα Y και η κίνηση στον άξονα X. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης αποτελεί την M-Mode απεικόνιση.



Εικόνα 2.9: Δημιουργία M-Mode Απεικόνισης (McGraw-Hill Medical, 2021)

Το βασικό πλεονέκτημα της απεικόνισης M-Mode είναι ο πολύ υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας, ο οποίος οδηγεί σε ανάλυση υψηλού χρόνου, ώστε ακόμη και πολύ γρήγορες κινήσεις να μπορούν να καταγράφονται, να εμφανίζονται και να μετριοούνται. Χρησιμοποιείται στην καρδιολογία για τη μελέτη της κίνηση των καρδιακών τοιχωμάτων και των βαλβίδων, στην εξέταση της κοιλιακής χώρας για την εκτίμηση της κατάστασης μεγάλων αγγείων όπως η κοιλιακή αορτή και οι νεφρικές αρτηρίες, στη γυναικολογία κ.α.

Ωστόσο, ένα μειονέκτημα της αποτελεί το γεγονός ότι η γραμμή υπερήχων είναι σταθερή και μπορεί να είναι δύσκολο να ευθυγραμμιστεί η λειτουργία M-Mode κάθετα προς τις δομές που εμφανίζονται (διάφραγμα), οδηγώντας έτσι σε ψευδείς μετρήσεις. Το Anatomical M-Mode έρχεται να παρακάμψει αυτό τον περιορισμό επιτρέποντας την ελεύθερη τοποθέτηση της γραμμής του κέρσορα. Ωστόσο, η ανάλυση χρόνου είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν της συμβατικής λειτουργίας M-mode. (Σκλαβούνος και Θανασούλας, 1998) (M-mode (motion mode) echocardiography – ECG & ECHO, 2021).

### Υπερηχογραφική απεικόνιση Doppler

Η απεικόνιση Doppler αποτελεί μία εξειδικευμένη τεχνική των υπερήχων και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας της αιματικής ροής και την απεικόνιση της σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο φαινόμενο Doppler, που πρώτος παρατήρησε ο Johann Doppler, σύμφωνα με το οποίο: «όταν πηγή ήχου και παρατηρητής

*βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους, τότε η συχνότητα του ήχου που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής δεν είναι η ίδια με αυτή που εκπέμπει η πηγή». Ειδικότερα, ο παρατηρητής λαμβάνει ήχο με συχνότητα μικρότερη από την συχνότητα της πηγής όταν η απόσταση μεταξύ τους μεγαλώνει και μεγαλύτερη όταν η απόσταση μεταξύ τους μειώνεται. (White, 2021)*

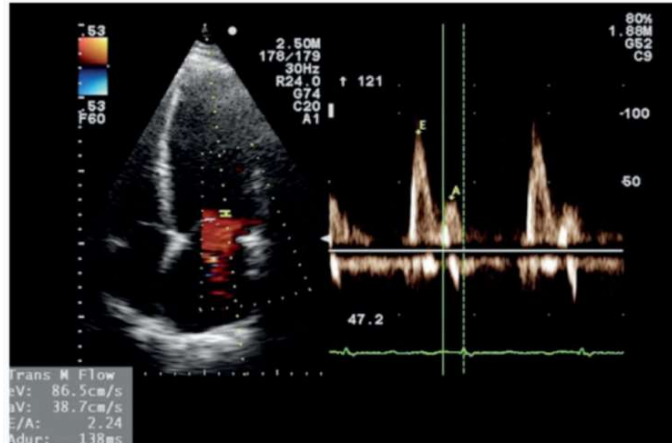
Στην περίπτωση της εξέτασης των αιματικών ροών με την εφαρμογή της μεθόδου Doppler, χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστά μοντέλα αυτό του κινούμενου δείκτη και της κινούμενης πηγής. Συγκεκριμένα, αρχικά ο μετατροπέας αποτελεί την ακίνητη πηγή η οποία στέλνει τα υπερηχητικά κύματα και το αίμα, συγκεκριμένα τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τους δέκτες σε κίνηση οι οποίοι λαμβάνουν τα υπερηχητικά κύματα. Στην συνέχεια όμως, καθώς τα υπερηχητικά κύματα ανακλώνται, τα ερυθρά αιμοσφαίρια λειτουργούν ως κινούμενη πηγή που αποστέλλει τα κύματα στον ακίνητο δέκτη, δηλαδή τον μετατροπέα.

Στα συστήματα υπερήχων υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές απεικόνισης, το **Doppler παλμικού κύματος (Pulsed Wave Doppler)** και το **Doppler συνεχούς κύματος (Continuous Wave Doppler)**.

Στην περίπτωση του **Doppler παλμικού κύματος**, οι υπέρηχοι παράγονται κατά παλμούς και τα ανακλώμενα σήματα εξετάζονται ως προς την συχνότητα τους. Οι υπερηχητικοί παλμοί που εκπέμπονται από τον μετατροπέα είναι μικρής διάρκειας και η συλλογή των ανακλώμενων σημάτων πραγματοποιείται με την χρήση χρονικών πυλών. Το εύρος τους καθορίζει το μέγεθος της προς εξέταση ανατομικής δομής και η χρονική τους καθυστέρηση το βάθος στο οποίο βρίσκεται αυτή.

Το κυριότερο πλεονέκτημα του Doppler παλμικού κύματος είναι η ικανότητα του καθορισμού του σημείου (κατά μήκος της γραμμής του Doppler) στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση των ταχυτήτων. Αυτό είναι δυνατό διότι όπως ήδη αναφέραμε, στο Doppler παλμικού κύματος η αποστολή και η λήψη-ανάλυση των κυμάτων γίνεται ξεχωριστά. Η επιλογή του συγκεκριμένου σημείου πραγματοποιείται με την μετακίνηση δείγματος όγκου (sample volume) κατά μήκος της γραμμής του Doppler.

Το sample volume απεικονίζεται με δύο παράλληλες γραμμές κάθετα στην γραμμή Doppler.



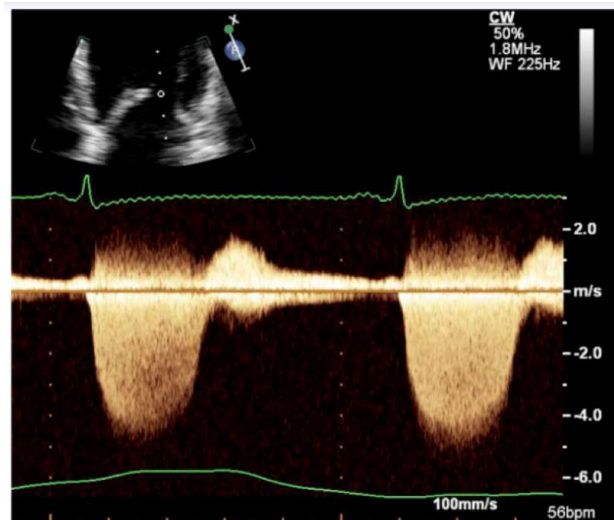
Εικόνα 2.10: Doppler παλμικού κύματος (Pulsed Wave Doppler – ECG & ECHO, 2021)

Ο αριθμός των υπερηχητικών παλμών που στέλνονται ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται συχνότητα επανάληψης παλμών (pulse repetition frequency – PRF) και καθορίζεται από την ταχύτητα διάδοσης και την απόσταση που πρέπει να διανήσει. Δεδομένου ότι η ταχύτητα διάδοσης στο ανθρώπινο σώμα είναι σταθερή, το PRF εξαρτάται μόνο από την απόσταση της προς εξέταση ανατομικής δομής. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκεκριμένη απόσταση, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται από τα υπερηχητικά κύματα να ταξιζέψουν και επομένως χαμηλότερη συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF).

Ωστόσο, για την εκτίμηση της ταχύτητας της ροής του αίματος, το PRF πρέπει να είναι υψηλό καθώς κάθε υπερηχητικός παλμός παράγει ένα 'στιγμιότυπο' της ροής του αίματος. Επομένως, όσο περισσότεροι υπερηχητικοί παλμοί αποστέλλονται στην μονάδα του χρόνου τόσο καλύτερη απεικόνιση και εκτίμηση της ταχύτητας ροής επιτυγχάνεται. (Pulsed Wave Doppler – ECG & ECHO, 2021) (123 Sonography, 2021)

Στην περίπτωση του **Doppler συνεχούς κύματος**, η αποστολή των υπερηχητικών κυμάτων και η ανάλυση-λήψη των ανακλώμενων πραγματοποιείται ταυτόχρονα. Αυτό είναι εφικτό με την χρήση διαφορετικών ομάδων πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων και συγκεκριμένα η μία ομάδα είναι υπεύθυνη για την αποστολή και η άλλη για την λήψη. Η

χρήση του Doppler συνεχούς κύματος επιτρέπει την μέτρηση μεγαλύτερων ταχυτήτων αλλά δεν είναι δυνατός ο καθορισμός του σημείου κατά μήκος της γραμμής Doppler από το οποίο προέρχονται. Το Doppler συνεχούς κύματος απεικονίζεται με μία γεμάτη φασματική καμπύλη (εικόνα 9), καθώς όλες οι ταχύτητες από την μηδενική έως την μέγιστη καταγράφονται κατά μήκος της γραμμής Doppler. (Continuous Wave Doppler (CW Doppler) – ECG & ECHO, 2021) (123 Sonography, 2021)

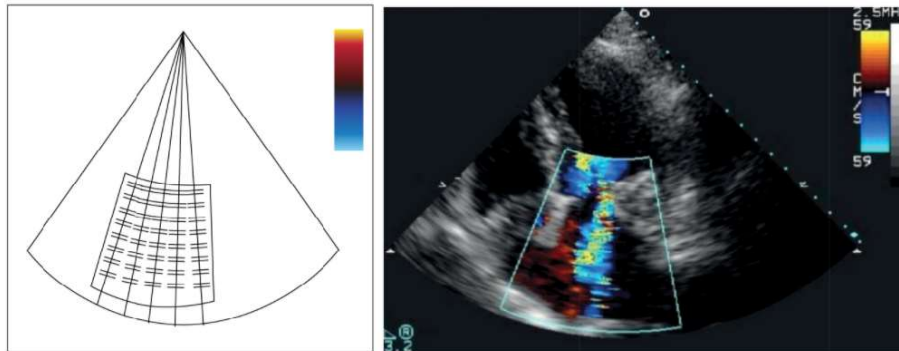


Εικόνα 2.11: Doppler συνεχούς κύματος (Continuous Wave Doppler (CW Doppler) – ECG & ECHO, 2021)

Η απεικόνιση κατά την οποία εμφανίζεται στην οθόνη του συστήματος υπερήχων ταυτόχρονα η δισδιάστατη εικόνα B-Mode και η κυματομορφή του Doppler, ονομάζεται **απεικόνιση Duplex** (Duplex Mode). Επιτρέπει στους χειριστές να εξετάσουν τόσο την δομή ενός αγγείου όσο και πληροφορίες σχετικές με την ροή του αίματος που το διαπερνά. Το σήμα Doppler καταγράφεται στο κάτω μέρος της εικόνας, πάνω από την βασική γραμμή εάν η φορά ροής του αίματος είναι προς τον μετατροπέα και κάτω, εάν είναι αντίθετη.

Με σκοπό την απεικόνιση της κατεύθυνσης της ροής του αίματος χρησιμοποιείται το **έγχρωμο Doppler** (Color Doppler), δηλαδή στην ασπρόμαυρη υπερηχογραφική εικόνα προστίθεται η έγχρωμη απεικόνιση των αγγείων και των φλεβών που βασίζεται στην ανίχνευση του σήματος Doppler. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση της ροής του αίματος μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας (κουτί

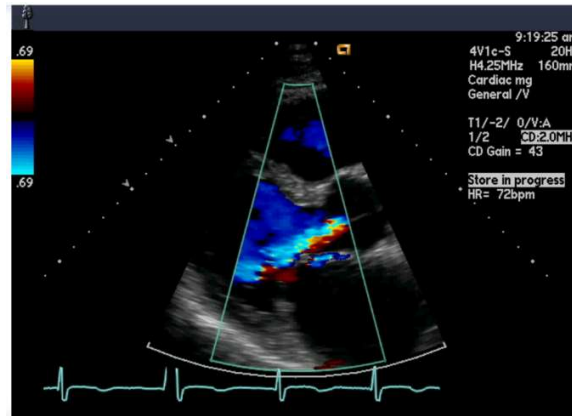
χρώματος). Το χρωματικό κουτί χωρίζεται σε μικρές περιοχές δείγματος κάθε μια από τις οποίες αντιπροσωπεύει τη μέση ταχύτητα εντός της περιοχής όπως μετριέται με πολλαπλούς όγκους δείγματος (εικόνα 10). Η μέση ταχύτητα μετατρέπεται στη συνέχεια σε ένα συγκεκριμένο χρώμα. (Color Doppler – ECG & ECHO, 2021) (Carroll, 2021) (123 Sonography, 2021)



Εικόνα 2.12: Περιοχές δείγματος που μετατρέπονται σε κωδικοποιήσεις χρώματος (Color Doppler – ECG & ECHO, 2021)

Εξ ορισμού, η ροή προς τον μετατροπέα απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα ενώ η αντίθετη ροή με μπλε χρώμα. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές αποχρώσεις του κόκκινου και του μπλε για την εμφάνιση της ταχύτητας και οι ελαφρύτερες αποχρώσεις αποδίδονται σε υψηλότερες ταχύτητες. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο εμφανίζονται οι ταχύτητες καθορίζεται από τον λεγόμενο χρωματικό χάρτη. Ορισμένοι χάρτες κωδικοποιούν στροβιλοειδείς ροές σε κίτρινο ή πράσινο. Η στροβιλοειδής ροή υπάρχει όταν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα ροής εντός της περιοχής του δείγματος.

Οι πληροφορίες ενημερώνονται με συνέπεια από πλαίσιο σε πλαίσιο, παρέχοντας έτσι μια σαφή εικόνα για το πώς ρέει το αίμα. Με το έγχρωμο Doppler, προσδιορίζεται ο αγγειακός χαρακτήρας ενός μορφώματος αλλά και η διαφοροποίηση της ροής κατά τον καρδιακό κύκλο. (Color Doppler – ECG & ECHO, 2021)



Εικόνα 2.13: Έγχρωμο Doppler (Color Doppler – ECG & ECHO, 2021)

Η απεικόνιση **Triplex Doppler** αποτελεί ένα συνδυασμό του έγχρωμου Doppler, της B-Mode απεικόνισης και του Doppler παλμικού κύματος και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ταχύτητας της ροής του αίματος. Χρησιμοποιείται τόσο για αρτηριακές όσο και για φλεβικές παθήσεις, όπως θρόμβωση, φλεβική ανεπάρκεια, στένωση καρωτίδων, κ.ά.

## 2.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά Υπερήχων

Τα συστήματα υπερηχοτομογραφίας κατά την πρώτη τους εμφάνιση ως ιατρικές διαγνωστικές συσκευές, ήταν μεγάλου όγκου και δεν μπορούσαν εύκολα να μεταφερθούν. Επομένως, κάθε τμήμα ενός Νοσοκομείου ή μιας διαγνωστικής μονάδας να διαθέτει ένα ξεχωριστό σύστημα υπερηχοτομογραφίας γεγονός που διαδραμάτιζε τεράστιο ρόλο στον περιορισμό της χρήσης υπερήχων ως συστήματος απεικόνισης.

Η φορητότητα των συστημάτων αυτών προσέφερε τεράστια ευελιξία καθώς πλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και στο κρεβάτι νοσηλείας του ασθενούς ή σε χειρουργική αίθουσα και γενικά σε κάθε περίπτωση όπου ο χώρος είναι περιορισμένος αλλά η κινητικότητα ιδιαίτερα σημαντική. Το πρώτο φορητό σύστημα υπερηχοτομογραφίας ήταν εμπορικά διαθέσιμο το 1975 ενώ ο πρώτος υπέρηχος χειρός εμφανίστηκε στην αγορά κατά την δεκαετία του 1990. Πλέον, τα φορητά συστήματα υπερηχοτομογραφίας διακρίνονται σε συστήματα τύπου λάπτοπ (laptop-style devices) και συστήματα χειρός (handheld devices).

Η εισαγωγή των φορητών συσκευών και ιδιαίτερα των συσκευών υπερήχων χειρός προσέφερε πολλά αποδεδειγμένα οφέλη όπως:

*Ακρίβεια διάγνωσης:* Η προσθήκη της συσκευής υπερήχων χειρός σε κλινική εξέταση ρουτίνας έχει αλλάξει, προσθέσει ή επιβεβαιώσει μια σημαντική διάγνωση. Αυτό καθιστά απαραίτητη τη χρήση συσκευών υπερήχων για διαγνωστικούς σκοπούς.

*Γρηγορότερη διάγνωση και θεραπεία:* Επειδή μια συσκευή υπερήχων χειρός διευκολύνει τη ροή εργασίας, όχι μόνο μπορεί να γίνει γρηγορότερη διάγνωση, αλλά και η θεραπεία μπορεί να ξεκινήσει αμέσως. Αυτό βελτιώνει τα αποτελέσματα των ασθενών.

*Περιφερειακή χρήση:* Οι συσκευές χειρός είναι ιδιαίτερα χρήσιμες μακριά από το νοσοκομείο, σε κέντρα υγείας και διαγνωστικές μονάδες σε απομακρυσμένες περιοχές.



## Κεφάλαιο 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων υπερηχογραφίας GE Logic V2 και VINNO Q-7L

Τα συστήματα υπερηχογραφίας GE Logic V2 και VINNO 7Q-L προορίζονται για απεικόνιση μέσω υπερήχων, μέτρηση και ανάλυση του ανθρώπινου σώματος, για πολλές κλινικές εφαρμογές, όπως: μικρών οργάνων (μαστός, όρχεις, θυροειδής), περιφερικών αγγείων, μυοσκελετική (συμβατική και επιφανειακή), απεικονιστική καθοδήγηση παρεμβατικών διαδικασιών (νευρικού αποκλεισμού, αγγειακής προσπέλασης, βιοψίας ιστών), κ.ά.

### 3.1 Φορητός υπέρηχος GE Logic V2

Ο φορητός υπερηχοτομογράφος **GE LOGIQ V2** αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα Υπερηχοτομογραφίας ευέλικτου σχεδιασμού υψηλής ποιότητας και απόδοσης και περιλαμβάνει πολλές προηγμένες τεχνολογίες απεικόνισης για την κάλυψη όλων των ειδικοτήτων της ιατρικής όπως εξετάσεις άνω και κάτω κοιλίας, επιφανειακών οργάνων, γυναικολογικές/μυοσκελετικές, καρδιολογικές, μυοσκελετικού συστήματος, ουρολογικές, παιδιατρικές/νεογνικές και αγγειολογικές.

Διαθέτει σύγχρονο ψηφιακό διαμορφωτή δέσμης επεξεργασίας (Digital Beamformer), με περισσότερα από 190.000 ψηφιακά κανάλια επεξεργασίας για τη δημιουργία εικόνας υψηλής διακριτικότητας και υψηλού ρυθμού εναλλαγής εικόνας, έως και 1.100 εικόνες (frames) ανά δευτερόλεπτο.

Λειτουργεί αποκλειστικά με ηχοβόλες κεφαλές ηλεκτρονικής σάρωσης, Convex/Microconvex Array, Linear Array, Phased Array με συνολικό εύρος συχνοτήτων από 1,7 MHz έως 13 MHz και έχει την δυνατότητα απεικόνισης σε B-Mode, M-Mode, Color M-Mode, PW Doppler, HPRF, Color Flow Doppler (CFM), Power Doppler Imaging (PDI), Directional Power Doppler, πανοραμική απεικόνιση (LOGIC View), τραπεζοειδής απεικόνιση (Virtual Convex) καθώς και συνδυασμούς σε πραγματικό χρόνο real time triplex.

Διαθέτει έγχρωμη ψηφιακή οθόνη τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων LCD 15 ιντσών υψηλής ανάλυσης (Non Interlaced, Flat Display) και υψηλής ευκρίνειας, καθώς και πλήρες αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο και κονσόλα χειρισμού με λογισμικό αυτόματης προσαρμογής στην εκάστοτε εξέταση παρέχοντας μέγιστη εργονομία. Παρέχει την δυνατότητα σύνδεσης μίας ηχοβόλου κεφαλής και αυτόματη ενεργοποίησή της με “απλή λήψη”.



Εικόνα 3.1: Φορητός υπερηχοτομογράφος GE LOGIQ V2 (GE Healthcare, 2021)

Είναι μικρού όγκου και βάρους, μόλις 6Kg, με ειδική ενσωματωμένη μπαταρία για αυτόνομη λειτουργία εκτός παροχής ρεύματος και φέρει ειδική χειρολαβή για την εύκολη μεταφορά του. Διαθέτει ενσωματωμένα ηχεία, μονάδα σκληρού δίσκου HDD και Optical Disk (DVD-RW) για την αναβάθμιση του συστήματος και για αρχειοθέτηση εικόνων μέσω του συστήματος Image Archive.

Επιπλέον, ο φορητός υπερηχοτομογράφος **GE LOGIQ V2** περιλαμβάνει την σύγχρονη τεχνική πραγματικού χρόνου **High Definition Speckle Reduction Imaging (SRI-HD)** η οποία βελτιστοποιεί την υπερηχογραφική εικόνα. Βασίζεται στην φιλοσοφία της ψηφιακής τεχνολογίας των συστημάτων υπολογιστικής και μαγνητικής τομογραφίας η οποία χρησιμοποιώντας την πληροφορία των ακατέργαστων υπερηχογραφικών δεδομένων της εικόνας (Raw data), πραγματοποιεί ψηφιακή επεξεργασία σε επίπεδο pixel απεικόνισης και αφαιρεί τον «θόρυβο» (speckle) από την υπερηχογραφική εικόνα προσφέροντας στην απεικόνιση υψηλή διακριτική ικανότητα και διαγνωστική αξία. Η τεχνική αυτή έχει ιδιαίτερα σημαντική εφαρμογή και οι τελικές εικόνες που προκύπτουν έχουν υφή που αγγίζει την απεικόνιση της μαγνητικής τομογραφίας MRI. Λειτουργεί με όλες τις ηχοβόλες κεφαλές του συστήματος.

Διαθέτει ακόμα την σύγχρονη τεχνική πραγματικού χρόνου **CrossXBeam** κατά την οποία η δέσμη των υπερήχων γίνεται σε μορφή διασταυρούμενων δεσμών. Μέσω αυτού του επαναστατικού τρόπου εκπομπής μπορεί να πραγματοποιηθεί σάρωση μιας ανατομικής δομής από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες με αποτέλεσμα την δημιουργία υπερηχογραφικής εικόνας υψηλής διακριτικής ικανότητας και τη συλλογή μεγάλου αριθμού επιπρόσθετων κλινικών / διαγνωστικών πληροφοριών. Εφαρμόζεται σε όλες τις ηχοβόλες κεφαλές τύπου Convex, Linear και Microconvex του συστήματος καλύπτοντας όλο το φάσμα των διαγνωστικών εξετάσεων σε παιδιά και ενήλικες.

Διαθέτει νέο επαναστατικό σχεδιασμό αυτοματοποίησης μεγάλου αριθμού λειτουργιών η οποία αυξάνει την εργονομία και τη λειτουργικότητα στη μέγιστη απόδοση. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας καθώς δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός χειρισμών για την επίτευξη της ιδανικής υπερηχογραφικής εικόνας. Πραγματοποιεί αυτόματη βελτιστοποίηση της υπερηχογραφικής εικόνας με προσαρμογή παραμέτρων απεικόνισης όπως δυναμικό εύρος, ενίσχυση (Gain), χρονικά αντισταθμιζόμενη ενίσχυση (TGC), αντίθεση (Contrast), αυτόματη ρύθμιση χρωματικής ενίσχυσης (Color Gain) και ταχύτητες χρωματικής ροής, αυτόματη προσαρμογή (Steering) δείγματος τόσο στο έγχρωμο όσο και στο φασματικό Doppler, αυτόματη εισαγωγή σχολίων (Comments) στην εικόνα.



Εικόνα 3.2: Κεφαλή υπερήχου GE (GE Healthcare, 2021)

Η τεχνολογία **Auto Optimization (AO)** πραγματοποιεί Αυτόματη Ψηφιακή Βελτιστοποίηση της εικόνας η οποία βασίζεται στην υφή του ιστού και την ανατομία του οργάνου ή την αιμοδυναμική συμπεριφορά του αγγείου που εξετάζεται. Εφαρμόζεται τόσο σε εικόνες δύο διαστάσεων (ATO: Auto Tissue Optimization) όσο και σε εικόνες φασματικού Doppler (ASO: Auto Spectral Optimization) και ενεργοποιείται με το πάτημα ενός πλήκτρου.

Ο φορητός υπερηχοτομογράφος **GE LOGIC V2** διαθέτει το λογισμικό εφαρμογών μαιευτικής/ γυναικολογικής απεικόνισης με πλήρεις μετρήσεις και αναφορές το οποίο περιλαμβάνει και το εξειδικευμένο λογισμικό αυτόματων βιομετρικών μετρήσεων (SonoBiometry). Αυτόματη αναγνώριση της περιοχής ενδιαφέροντος και τοποθέτηση των caliper στην εικόνα και λήψη των μετρήσεων με ελάχιστες μόνο παρεμβάσεις/διορθώσεις από τον χειριστή. Επιτρέπει την πραγματοποίηση μετρήσεων για:

- Head Circumference
- Biparietal Diameter (outer-inner / outer-outer)
- Abdominal Circumference
- Femur Length

Επιπλέον, υποστηρίζει τρισδιάστατη απεικόνιση 3D με όλες τις ηχοβόλες κεφαλές του συστήματος.

Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει το λογισμικό **Auto-IMT** το οποίο πραγματοποιεί αυτόματη μέτρηση του πάχους μεταξύ του έσω και του μέσου χιτώνα σε πραγματικό χρόνο και προβολή της υπολογιζόμενης τιμής σε γράφημα.

Περιλαμβάνει ειδικό σταθμό αρχειοθέτησης και διαχείρισης κλινικών εικόνων και εξετάσεων για τήρηση βάσης δεδομένων. Διαθέτει ενσωματωμένο σκληρό δίσκο (HDD) για αποθήκευση έγχρωμων ή ασπρόμαυρων εικόνων σε στατική και δυναμική μορφή (cine loop), δίσκο DVD-RW με δυνατότητα εγγραφής των αποθηκευμένων εξετάσεων για ανάγνωσή τους σε συμβατικό ηλεκτρονικό υπολογιστή και θύρες USB. Επιπλέον, διαθέτει τη μοναδική πρωτοποριακή δυνατότητα **TruAccess** για την αποθήκευση εικόνων – εξετάσεων με μορφή raw data.

Τέλος, ο φορητός υπερηχοτομογράφος **GE LOGIQ V2** περιλαμβάνει πλήρες πρωτόκολλο επικοινωνίας DICOM 3.0 για μεταφορά εικόνων σε μορφή DICOM, μεταφορά στοιχείων ασθενών και εκτύπωση και επεξεργασία εικόνων. Συγκεκριμένα, υποστηρίζει τις υπηρεσίες:

- Verify / Print / Store / Modality Worklist / Storage Commitment
- Modality Performed Procedure Step (MPPS)
- Query/retrieve (περιλαμβάνει εικόνες από άλλα απεικονιστικά συστήματος όπως Αξονικοί Τομογράφοι, Μαγνητικοί Τομογράφοι και Μαστογράφοι)
- Structured Reporting Template συμβατά με τα Μαιευτικά και Αγγειολογικά πρότυπα

### **3.2 Υπέρηχος χειρός VINNO Q-7L**

Ο φορητός υπέρηχος χειρός **VINNO Q-7L** της σειράς **VINNO Q** αποτελεί μια καινοτόμα ιδέα και χάρη στον άκρως ολοκληρωμένο και μικρών διαστάσεων σχεδιασμό του είναι μια ιδιαίτερα ευέλικτη λύση για πληθώρα εφαρμογών. Παρέχει εξαιρετικής ποιότητας υπερηχογραφικές εικόνες υψηλής ανάλυσης και περιλαμβάνει πολλές προηγμένες τεχνολογίες απεικόνισης για την κάλυψη ειδικοτήτων της ιατρικής όπως εξετάσεις άνω και

κάτω κοιλίας, επιφανειακών οργάνων, γυναικολογικές/μυαιευτικές, καρδιολογικές, μυοσκελετικού συστήματος, ουρολογικές, παιδιατρικές/νεογνικές και αγγειολογικές.



Εικόνα 3.3: Φορητοί υπερηχοτομογράφοι χειρός VINNO Q Series (Vinno Technology, 2021)

Είναι της πλέον σύγχρονης τεχνολογίας, βασισμένοι σε λειτουργικό σύστημα Windows 10 και χάρη στους αλγορίθμους επεξεργασίας μεγάλου αριθμού raw data που διαθέτουν, προσφέρουν υπερηχογραφικές εικόνες υψηλής ανάλυσης και αντίθεσης. Διαθέτουν νέας γενιάς ψηφιακό διαμορφωτή δέσμης επεξεργασίας (Digital Beamformer) για την παραγωγή συχνοτήτων έως και 16MHz.

Με δυναμικό εύρος έως και 280db, επιτυγχάνει υψηλή διάκριση μεταξύ των ορίων οργάνων, ειδικά σε όργανα που έχουν παραπλήσια ηχογεννητική δομή. Επιπλέον, χάρη στην νέας γενιάς τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας αφαίρεσης θορύβου και παρασίτων από την εικόνα βελτιώνει την παρουσίαση των ιστών και την ανάλυση των ορίων.

Λειτουργεί με ηχοβόλες κεφαλές Convex Array, Linear Array και Phased Array με συνολικό εύρος συχνοτήτων από 2MHz έως 16MHz και έχει την δυνατότητα απεικόνισης σε B-Mode, M-Mode, Multi-angle M mode (MAM), Color M-Mode, PW Doppler, HPRF, Color Flow Doppler (CFM), Power Doppler Imaging (PDI), Directional Power Doppler, Tissue harmonic Imaging καθώς και συνδυασμούς σε πραγματικό χρόνο real time triplex.

Συνοδεύεται από κονσόλα χειρισμού τύπου tablet (**Microsoft Surface Pro 7**), με εξαιρετικά ευαίσθητη οθόνη αφής 12,3” (2736x1824 pixels) με ρυθμιζόμενη φωτεινότητα, πλήρες αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο, ενσωματωμένο ηχείο και ιδιαίτερα εύκολη στην χρήση.



Εικόνα 3.4: Φορητός υπερηχοτομογράφος χειρός VINNO Q-7L (Vinnno Technology, 2021)

Διαθέτει εξειδικευμένες τεχνικές απεικόνισης όπως:

- **Τραπεζοειδής Απεικόνιση**, η οποία παρέχει μεγάλο πεδίο απεικόνισης σε συνδυασμό με μελέτη αιμάτωσης των περιοχών ενδιαφέροντος με έγχρωμο Doppler
- **Πανοραμική Απεικόνιση**, η οποία προκύπτει μετά από επιμήκη σάρωση της ηχοβόλου κεφαλής στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατόπιν ηλεκτρονικής ανασύνθεσης της ακολουθίας των υπερηχογραφικών τομών της σάρωσης σε μια ενιαία πανοραμική εικόνα.
- **Απεικόνιση μέσω αρμονικών συχνοτήτων** (Tissue Harmonic Imaging) με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας της εικόνας και την δυνατότητα της διάγνωσης σε δύσκολους υπερηχοτομογραφικά ασθενείς.

Επιπλέον, παρέχει μέγιστη εργονομία μέσω των αυτοματοποιημένων τεχνικών:

- **Auto Optimization (AO)**: Λογισμικό το οποίο πραγματοποιεί Αυτόματη Ψηφιακή Βελτιστοποίηση της εικόνας στο B-Mode και στο Doppler.
- **Auto OB**: Λογισμικό αυτόματων μετρήσεων βιομετρικών μετρήσεων (Head Circumference, Biparietal Diameter (outer-inner / outer-outer), Abdominal Circumference, Femur Length κ.α.)
- **Auto bladder**: Λογισμικό αυτόματων μετρήσεων των διαστάσεων της ουροδόχου κύστης.

Διαθέτει ενσωματωμένο σκληρό δίσκο SSD (από 128GB) για αποθήκευση έγχρωμων ή ασπρόμαυρων εικόνων σε στατική και δυναμική μορφή (cine loop) αλλά και μία (1) θύρα USB για την εξαγωγή τους σε εξωτερικά μέσα αποθήκευσης.

Τέλος, περιλαμβάνει πλήρες πρωτόκολλο επικοινωνίας DICOM 3.0, με τις υπηρεσίες Storage, Export, Print, Work list και την λειτουργία VCloud για ενσύρματη ή ασύρματη σύνδεση σε δίκτυο.



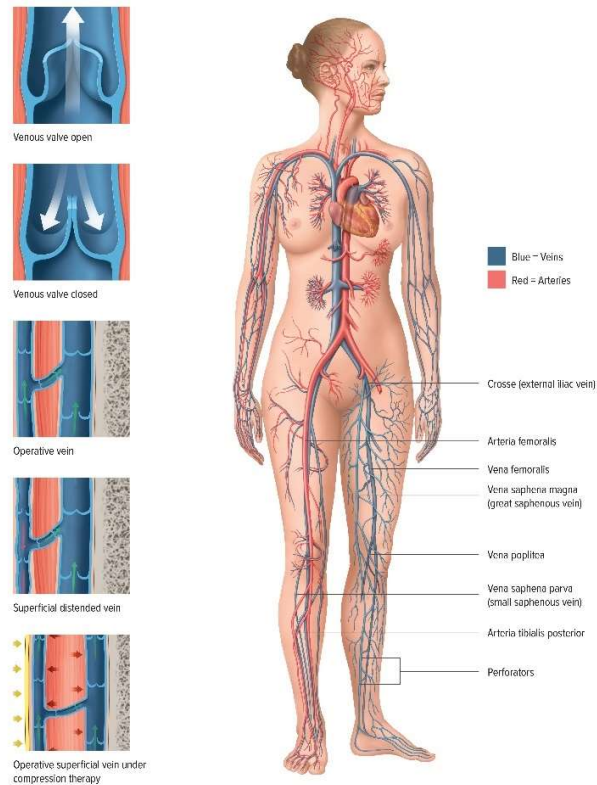
## **Κεφάλαιο 4: Επιπολής φλεβικό δίκτυο κάτω άκρων**

Το φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων αποτελείται από τρία βασικά συστήματα: Το επιπολής ή επιφανειακό φλεβικό σύστημα, το εν τω βάθει φλεβικό σύστημα και τις διαπιτραινουσες φλέβες (συνδέουν τα δύο συστήματα μεταξύ τους). Το φλεβικό δίκτυο σε αντίθεση με το αρτηριακό, χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενδοαυλική πίεση, βραδύτερη αιματική ροή και μεγαλύτερο όγκο αίματος. Οι μηχανισμοί επιστροφής του αίματος από τα πόδια στην καρδιά είναι η θωρακοκοιλιακή διφασική αντλία, η μυϊκή-περιτονιακή αντλία, η αρτηριο-φλεβική διαφορά πίεσης και οι βαλβίδες. Στο επιπολής φλεβικό δίκτυο μόνο με τις βαλβίδες (κύριο χαρακτηριστικό όλου του φλεβικού συστήματος) επιτυγχάνεται η επιστροφή του αίματος στην καρδιά. Εν ολίγης, οι επιφανειακές φλέβες μεταφέρουν το αίμα από τα άνω δερματικά στρώματα μέσω των διαπιτραινουσών φλεβών στις εν τω βάθει και αυτές με τη σειρά τους μεταφέρουν το αίμα πίσω στην καρδιά.

Οι φλεβικές παθήσεις αποτελούν ένα από τα πιο συχνά προβλήματα υγείας στις μέρες μας. Σχεδόν οι μισές γυναίκες (45-50%) και ένα ποσοστό των ανδρών της τάξης του 20-25% πάσχουν από φλεβική ανεπάρκεια. Όπως έλεγαν και στην αρχαιότητα (όχι μόνο για τη φλεβική ανεπάρκεια αλλά και για άλλες παθήσεις λόγω βάρους), είναι το τίμημα της όρθιας στάσης του ανθρώπου, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα όντα του ζωικού βασιλείου. Τα προαναφερθέντα ποσοστά αυξάνονται σε μεγάλο ποσοστό μετά την πέμπτη δεκαετία της ζωής του ανθρώπου.

### **4.1 Ανατομία φλεβικού δικτύου κάτω άκρων**

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η ανατομία του φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων, πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι μυϊκές περιτονίες έχουν καθοριστικό ρόλο στο διαχωρισμό του επιπολής από το εν τω βάθει φλεβικό δίκτυο, καθώς τα αγγεία που βρίσκονται υπερκείμενα των μυϊκών περιτονιών, στις γαστροκνημίες και στα κάτω άκρα ανήκουν στο επιπολής φλεβικό δίκτυο, ενώ κάτω από την μυϊκή περιτονία, στο εν τω βάθει διαμέρισμα βρίσκεται το εν τω βάθει φλεβικό δίκτυο. (Νικολακόπουλος, 2018)



Εικόνα 4.1: Επιτολής φλεβικό δίκτυο κάτω άκρων (Juzo, 2021)

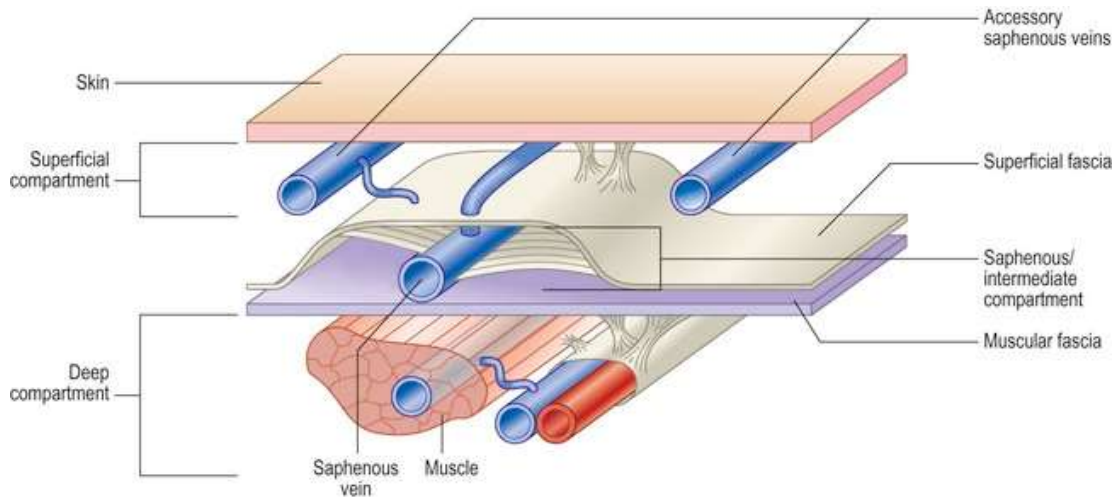
Επομένως, το φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων διακρίνεται σε τρία συστήματα σε σχέση με την εν τω βάθει (μυϊκή) περιτονία:

1. Το επιτολής σύστημα
2. Το εν τω βάθει σύστημα και
3. Το σύστημα των διααιτρινοσών φλεβών

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί μόνο το επιτολής φλεβικό δίκτυο και οι παθήσεις που συνδέονται με αυτό. Το επιτολής φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων περιλαμβάνει τη μείζων και την ελάσσονα σαφηνή φλέβα, καθώς και ένα δίκτυο φλεβών κάτω από το δέρμα.

Η μικροκυκλοφορία του δέρματος και του υποδόριου ιστού παροχετεύεται κυρίως από δύο φλεβικά πλέγματα που βρίσκονται στο δερμο-επιδερμικό και δερμο-υποδερμικό χώρο (Εικόνα 4.2). Τα φλεβίδια αυτών των πλεγμάτων σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από δικτυωτές φλέβες, οι οποίες εκβάλουν σε μεγαλύτερες επιδερμικές φλέβες.

Αυτές οι φλέβες πορεύονται κοντά στο δέρμα και εμβάλουν στη μείζων ή ελάσσων σαφηνή φλέβα και στις διαπιτραινουσες φλέβες.



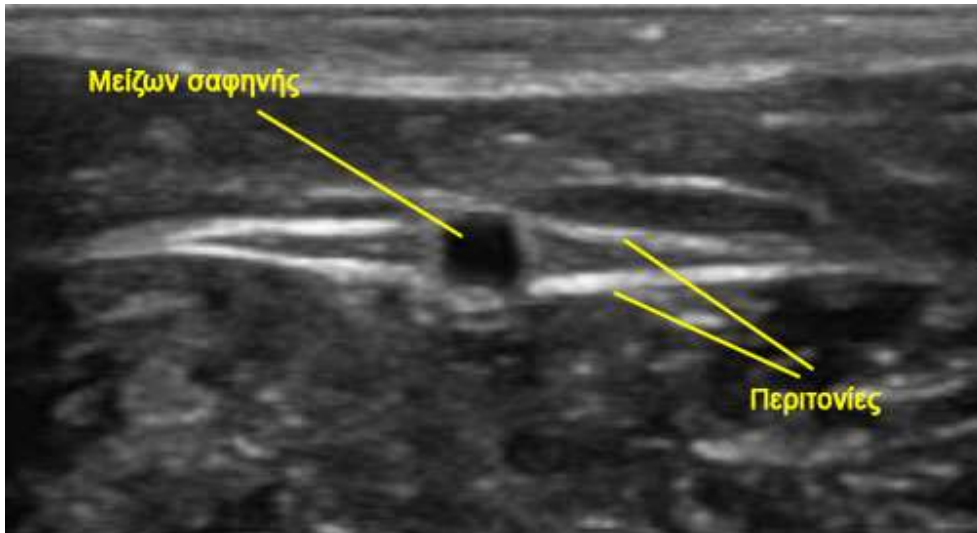
Εικόνα 4.2: Η ανατομική σχέση μεταξύ της περιτονίας και των φλεβών (Plastic Surgery Key, 2021)

### Μείζων σαφηνής φλέβα

Η μείζων σαφηνής φλέβα αποτελεί συνέχεια της έσω επιχείλιας φλέβας και σχηματίζεται στην περιοχή του έσω σφυρού, πορεύεται μεταξύ της έσω επιφάνειας της κνήμης και της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μύος.

Στο ύψος του γονάτου η μείζων σαφηνής πορεύεται κατά μήκος του έσω κονδύλου και επικονδύλου ενώ στο μηρό φέρεται πρώτα μεταξύ του ραπτικού και έσω πλατύ μυών και μετά μεταξύ του ισχνού και μακρού προσαγωγού μυών. Υπερηχογραφικά διακρίνεται εύκολα από το σημείο που σχηματίζεται από την επιπολής και την εν τω βάθει περιτονία (Εικόνα 4.3).

Στην βουβωνική χώρα διαπερνά το ωοειδές τρήμα και εκβάλει στην μηριαία φλέβα, περίπου τρία εκατοστά κάτω από το βουβωνικό σύνδεσμο. Έχει κατά μέσο όρο  $7,2 \pm 2,3$  βαλβίδες με σπουδαιότερη την τελευταία (τελική βαλβίδα) πριν την εκβολή της στο εν τω βάθει σύστημα (κοινή μηριαία φλέβα). (Νικολακόπουλος, 2018)



Εικόνα 4.3: Σε υπερηχογραφική απεικόνιση B-mode αναγνωρίζεται το «Αιγυπτιακό μάτι»

### **Ελάσσων σαφηνής φλέβα**

Η ελάσσων σαφηνής φλέβα είναι συνέχεια της έξω επιχειλίας φλέβας και σχηματίζεται στην έξω πλάγια μοίρα του άκρου ποδός. Το κύριο στέλεχος περνά πίσω και κάτω από τον έξω σφυρό στην έξω οπισθοσφυρική αύλακα και ανεβαίνει κατακόρυφα σε θέση διάμεση και υπεραπνευρωτική στην οπίσθια επιφάνεια της γαστροκνημίας.

Αφού συναντήσει την έκφυση του Αχίλλειου τένοντα οδεύει μεταξύ των τενόντων των δίδυμων φλεβών. Πορεύεται μεταξύ των δύο κεφαλών του γαστροκνημίου μύος και εκβάλλει σε διάφορες θέσεις στην ιγνυακή φλέβα (εν τω βάθει φλεβικό δίκτυο). Στην οπίσθια επιφάνεια του μηρού υπάρχει και μία ακόμα φλέβα άξια αναφοράς η Giacommini φλέβα, η οποία είναι η προέκταση της ελάσσων σαφηνούς φλέβας, που την ενώνει με την μείζων σαφηνή φλέβα.

### **Διαιτράινουσες φλέβες**

Υπάρχει ένα μεγάλο δίκτυο από διαιτράινουσες φλέβες που διαπερνούν την μυϊκή περιτονία και συνδέουν το επιπολής με το εν τω βάθει φλεβικό δίκτυο. Αυτές οι φλέβες κατευθύνουν τη ροή του αίματος από το επιπολής φλεβικό δίκτυο στο εν τω βάθει και από εκεί στη καρδιά μέσω της γαστροκνημιαίας αντλίας και μια σειρά μονόδρομων βαλβίδων. Οι διαιτράινουσες φλέβες είναι πολυάριθμες (περίπου 100) και οι πιο γνώστες είναι οι διαιτράινουσες του Dodd στη περιοχή του μηρού, του Boyd στη περιοχή του γόνατος και του Cockett στη περιοχή της κνήμης.

## 4.2 Φλεβική ανεπάρκεια

Η φλεβική ανεπάρκεια χαρακτηρίζεται από διάφορες εκδηλώσεις στα κάτω άκρα. Οι τηλεαγγειεκτασίες (ευρυαγγείες) και οι κίρσοι συνήθως υπάγονται στην παθολογική οντότητα με τον όρο πρωτοπαθής φλεβική ανεπάρκεια. Τα άκρα τα οποία έχουν οίδημα (πρήξιμο), αλλαγές στο δέρμα όπως υπέρχρωση, λιποδερματοσκλήρυνση ή έλκος χαρακτηρίζονται ως χρόνια φλεβική ανεπάρκεια. Η χρόνια φλεβική ανεπάρκεια είναι μια κατάσταση που προκαλείται από δυσλειτουργία των βαλβίδων των φλεβών. (Πυργάκης, 2016)

Η βλάβη των βαλβίδων των φλεβών προκαλεί δυσλειτουργία του φλεβικού συστήματος τόσο του επιπολής φλεβικού δικτύου, όσο και του εν τω βάθει φλεβικού δικτύου και των διαπιπραινουσών φλεβών. Επίσης, η βλάβη των τοιχωμάτων των φλεβών έχει ως αποτέλεσμα να διαστέλλονται οι φλέβες, προκαλώντας την δημιουργία των κίρσων. Η αύξηση της διαμέτρου μιας φλέβας αποτελεί μια αιτία βαλβιδικής δυσλειτουργίας που οδηγεί στην παλινδρόμηση του αίματος ως αποτέλεσμα να υπάρχει αυξημένη πίεση στις φλέβες των κάτω άκρων. Ως αποτέλεσμα, αυτή η παρατεταμένη φλεβική υπέρταση να προκαλεί μια σειρά παθολογικών συμβάντων που εκδηλώνονται κλινικά κυρίως ως πόνος, οίδημα, καυσαλγία, υπέρχρωση του δέρματος, έλκος, κ.ά.

**Μεταξύ των παραγόντων που συντελούν στη δημιουργία φλεβικής ανεπάρκειας είναι:**

- Η κληρονομικότητα
- Η εγκυμοσύνη
- Οι ορμονικές αλλαγές (αντισυλληπτικά, κ.α.)
- Ο σύγχρονος τρόπος ζωής (παχυσαρκία, έλλειψη άσκησης, κακή διατροφή, κ.λπ.)
- Η ηλικία
- Η ορθοστασία
- Ιστορικό φλεβικής θρόμβωσης
- Συγγενείς (γενετικοί) λόγοι όπως η έλλειψη βαλβίδων που οδηγεί σε φλεβική ανεπάρκεια σε άτομα νεαρής ηλικίας

## **Η ταξινόμηση της φλεβικής ανεπάρκειας των κάτω άκρων**

Μέχρι τη δεκαετία του '90 η διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας πραγματοποιούνταν με την λήψη ιστορικού και την κλινική εξέταση (ψηλάφηση των κίρσοιδών φλεβών). Στην εξέλιξη της διάγνωσης και την αντιμετώπιση της νόσου συνέβαλε η ανάπτυξη μη επεμβατικών διαγνωστικών εξετάσεων, κυρίως των συστημάτων υπερηχογραφίας.

Σημαντικό ρόλο επίσης για την οριοθέτηση και την χρήση μιας κοινής γλώσσας σε ότι αφορά το μέγεθος και την σοβαρότητα της νόσου (φλεβική ανεπάρκεια) διαδραμάτισε η ταξινόμηση ασθενών κατά CEAP ( Clinical, Etiological, Anatomic, Pathophysiologic). Ουσιαστικά η χρήση της είναι επιβοηθητική στο να περιγράψει τη διαβάθμιση της νόσου και στο να γίνει το πλάνο για τη θεραπεία. Στην ταξινόμηση κατά CEAP λαμβάνονται υπόψη η κλινική εικόνα (C), η αιτιολογία (E), η ανατομική κατανομή (A) και η παθοφυσιολογική δυσλειτουργία (P).

### **Για την κλινική εκδήλωση της νόσου έχουν δημιουργηθεί οι εξής κατηγορίες:**

- C0: Χωρίς εμφανή σημεία φλεβικής νόσο
- C1: Τηλεαγγειεκτασίες ή δικτυωτές φλέβες (ευρυαγγείες)
- C2: Κίρσοι (διάμετρος φλέβας άνω των 3 mm)
- C3: Οίδημα
- C4: Αλλαγές του χρώματος στο δέρμα και υποδόριο ιστό
  - C4a: Υπέρχρωση δέρματος και/ή έκζεμα
  - C4b: Λιποδερματοσκλήρυνση και/η λευκή ατροφία
- C5: Επουλωμένο φλεβικό έλκος
- C6: Ενεργό φλεβικό έλκος



Εικόνα 4.4: Τα στάδια της φλεβικής ανεπάρκειας (Κωτσικόρης, 2021)

#### Πιο αναλυτικά η φλεβική ανεπάρκεια των κάτω άκρων μπορεί να προκαλέσει:

- **Κιρσούς:** Η φλεβική ανεπάρκεια αποτελεί τον κύριο λόγο εμφάνισης των κιρσών στα κάτω άκρα. Η χαλάρωση και η δυσλειτουργία των βαλβίδων στις φλέβες των ποδιών είναι η αρχή της εμφάνισης των κιρσών. Οι κιρσοί σχηματίζονται στις επιφανειακές φλέβες, οι οποίες διογκώνονται και αποκτούν σχοινοειδή μορφή. Οι κιρσοί δεν προκαλούν μόνο αισθητικό πρόβλημα αλλά και κάψιμο, φαγούρα, κράμπες και πόνο στα κάτω άκρα. Οι ενοχλήσεις επιδεινώνονται συνήθως μετά από μακρά ορθοστασία ή καθιστική θέση, κυρίως τις βραδινές ώρες, στην αρχή κάθε ζεστής εποχής και κατά την εγκυμοσύνη. Παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης κιρσών είναι το οικογενειακό ιστορικό, η παχυσαρκία, η απουσία άσκησης, το κάπνισμα, η όρθια ή καθιστή θέση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, κ.ά. Οι γυναίκες κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης έχουν αυξημένο κίνδυνο να εμφανίσουν κιρσούς, αλλά οι φλέβες τους συχνά επιστρέφουν στο φυσιολογικό μετά από τον τοκετό. Εκτός από το ιστορικό και την κλινική εξέταση το έγχρωμο υπερηχογράφημα (triplex φλεβών) αποτελεί την εξέταση εκλογής για τη διάγνωση των κιρσών. Με τη βοήθεια ενός συστήματος υπερήχου ο γιατρός μπορεί να μετρήσει την ταχύτητα της αιματικής ροής και να δει τη δομή των φλεβών. Η συγκεκριμένη εξέταση είναι ανώδυνη και διαρκεί περίπου 10-20 λεπτά.

- Θρομβοφλεβίτιδα:** Η επιπολής θρομβοφλεβίτιδα χαρακτηρίζεται από την πήξη του αίματος σε μια επιφανειακή φλέβα ενώ σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι δεν συνδέεται ως πάθηση με την εν τω βάθει φλεβική θρόμβωση. Γενικά, θεωρείται ότι η επιπολής θρομβοφλεβίτιδα αποτελεί μια πάθηση χαμηλού ρίσκου. Ωστόσο, αποτελεί συχνό φαινόμενο με επώδυνα συμπτώματα στο σημείο που δημιουργείται ο θρόμβος, με το τοίχωμα της φλέβας να φλεγμαίνει, το δέρμα να γίνεται σκληρό, ζεστό και ερυθρωπό. Η επιπολής θρομβοφλεβίτιδα αποτελεί μια πάθηση με το ποσοστό εμφάνισης στο γενικό πληθυσμό να κυμαίνεται από 3-11%. Η επιπολής θρομβοφλεβίτιδα μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μορφές, α) σε αυτήν που συνυπάρχουν φλεβικοί κίρσοι και β) σε αυτήν που δεν συνυπάρχουν κίρσοι. Ενώ, γενικά, ασθενείς με κίρσους προσβάλλονται πιο συχνά από επιπολής θρομβοφλεβίτιδα σε σχέση με όσους δεν έχουν. Προδιαθεσικοί παράγοντες είναι εκτός από τους κίρσους (είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας) η θρομβοφιλία, τα νεοπλάσματα και οι αιματολογικές διαταραχές, η χρήση αντισυλληπτικών, η εγκυμοσύνη, η ορμονική θεραπεία, η παχυσαρκία, η παρατεταμένη ακινητοποίηση, η σκληροθεραπεία, ένα πρόσφατο χειρουργείο, κάποιο ιστορικό φλεβικής θρόμβωσης και κάποια φάρμακα (η διαζεπάμη, η αμιοδαρόνη, χημειοθεραπευτικά, κ.ά). Διαγνωστικά, η υποψία της επιπολής θρομβοφλεβίτιδας τίθεται με την κλινική εικόνα και επιβεβαιώνεται με υπερηχογραφική εξέταση. Η θεραπεία εξαρτάται από την αιτιολογία και το σημείο που εντοπίζεται η επιπολής θρομβοφλεβίτιδα.
- Ευρυαγγείες:** Οι ευρυαγγείες είναι διατεταμένες φλέβες και διακρίνονται κάτω από την επιδερμίδα συνήθως στα πόδια και το πρόσωπο. Η διάμετρός τους ποικίλει από 0,1 mm έως 1 mm και μπορεί να εμφανίζονται μεμονωμένες ή ως εκτεταμένοι φλεβικοί σχηματισμοί με αραχνοειδή (spider veins). Οι ευρυαγγείες, σε αντίθεση με τους κίρσους, είναι μικρότερες σε μέγεθος και δεν προεξέχουν από το δέρμα. Συνοδεύονται από τις δικτυωτές φλέβες που είναι πιο μεγάλες και πιο βαθιές και έχουν μεγάλη κλινική σημασία, καθώς είναι αυτές που τροφοδοτούν με αίμα τις ευρυαγγείες. Γενικά, η παρουσία ευρυαγγειών στο πόδι σημαίνει φλεβική ανεπάρκεια 1ου βαθμού, πρόκειται δηλαδή για μία μικρή, αλλά παθολογική



κυκλοφορία του φλεβικού αίματος στα κάτω άκρα. Τα αίτια μπορεί να είναι γενετικοί παράγοντες (κληρονομικότητα, συγγενείς αγγειοπάθειες), επίκτητοι παράγοντες (κίρσοι), ορμονικοί παράγοντες (εγκυμοσύνη, οιστρογονοθεραπεία, τοπικά κορτικοστεροειδή), φυσικοί παράγοντες (ακτινοβολία, τραύμα, λοίμωξη). Οι ευρυαγγείες δεν αποτελούν σοβαρό ιατρικό πρόβλημα, αλλά προκαλούν ανησυχία για αισθητικούς λόγους.

- **Φλεβικά έλκη:** Τα φλεβικά έλκη (ή άτονα φλεβικά έλκη) είναι βλάβες του δέρματος που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της χρόνιας φλεβικής ανεπάρκειας. Αποτελούν πάνω από το 70% όλων των ελκών των κάτω άκρων. Συνηθέστερη εντόπισή τους είναι χαμηλά στην περιοχή του έσω σφυρού, στην πορεία της μείζονος σαφηνούς φλέβας. Τα φλεβικά έλκη επουλώνονται αργά, υποτροπιάζουν συχνά ενώ είναι επιρρεπή σε επιμολύνσεις. Η ανεπάρκεια των φλεβών των κάτω άκρων έχει ως αποτέλεσμα τη φλεβική στάση και την αύξηση της φλεβικής πίεσης (φλεβική υπέρταση). Τα κύρια συμπτώματα είναι: Οίδημα, πόνος, υπέρχρωση του δέρματος, ξηρότητα, κνησμός και εμφάνιση μιας κόκκινης πληγής με ακανόνιστα όρια. Ως μέσω διάγνωσης των αιτιών που προκάλεσαν το έλκος χρησιμοποιείται το triplex φλεβών. Η θεραπεία του έλκους στοχεύει τόσο στη συμπτωματική αντιμετώπιση του όσο και στην διόρθωση των αιτιών που οδήγησαν στην εμφάνισή του.

### 4.3 Διάγνωση της φλεβικής νόσου

Όσο γρηγορότερα διαγνωστεί και αντιμετωπιστεί η φλεβική νόσος, τόσο χαμηλότερος είναι ο κίνδυνος επιπλοκών. Για να καθοριστεί ο τύπος και η βαρύτητα μιας φλεβικής νόσου συνίσταται η άμεση επίσκεψη σε ειδικό ιατρό. Τυχόν ιστορικό προηγούμενων θρομβώσεων, συμπτωμάτων φλεβικής ανεπάρκειας (πόνος, οίδημα, καυσαλγία, κ.ά.) ή ιστορικό φλεβικής νόσου εντός του άμεσου οικογενειακού περιβάλλοντος αποτελούν ενδείξεις ευπάθειας. Σε συνδυασμό με το ιστορικό, ο ιατρός εξετάζει προσεκτικά τα πόδια και το δέρμα του ασθενή για μία αρχική εκτίμηση του προβλήματος.

Για την ακριβέστερη διάγνωση κρίνεται αναγκαία μία ή και περισσότερες από τις παρακάτω εξετάσεις:

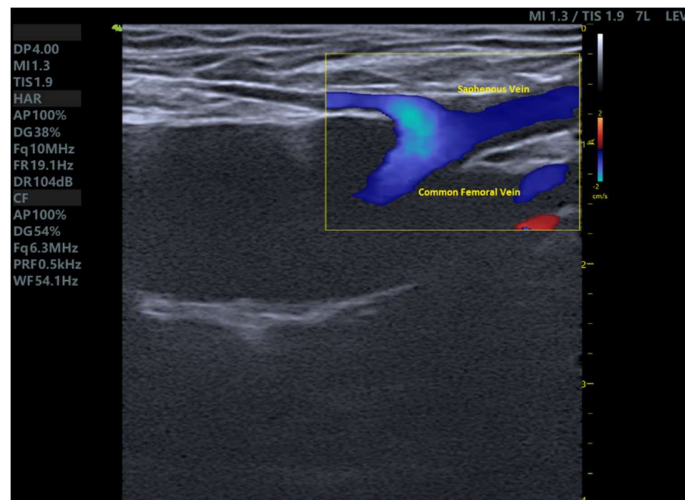
- **Υπέρηχο doppler:** είναι η πιο συχνά εφαρμοσμένη τεχνική που επιτρέπει στον ιατρό να καθορίσει την ταχύτητα και την κατεύθυνση της ροής του αίματος στις φλέβες.
- **Υπερηχογράφημα triplex:** επιτρέπει τον ακριβή καθορισμό της ταχύτητας και της ροής του αίματος προσφέροντας επιπλέον πλήρη απεικόνιση και λεπτομερή στοιχεία για την κατάσταση των φλεβών.
- **Ρεογραφία ανάκλασης φωτός (LRR ή φωτοπληθυσμογραφία):** εντοπίζονται τυχόν διαταραχές στη φυσιολογική φλεβική λειτουργία.
- **Φλεβογραφία:** είναι ουσιαστικά μια ακτινογραφία των φλεβών, επιτυγχάνεται με τη χρήση σκιαγραφικού και απεικονίζει τη μορφή των φλεβών, τη λειτουργία των βαλβίδων και την κατεύθυνση της αιματικής ροής. Η φλεβογραφία χρησιμοποιείται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις για διαγνωστικούς και επεμβατικούς σκοπούς.

## Κεφάλαιο 5: Υπερηχογραφική εξέταση επιπολής φλεβικού δικτύου κάτω άκρων

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εξέταση των φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων είναι το έγχρωμο υπερηχογράφημα (triplex φλεβών). Το έγχρωμο υπερηχογράφημα φλεβών (triplex φλεβών) των κάτω άκρων είναι μία εξειδικευμένη υπερηχογραφική μελέτη του επιπολής φλεβικού δικτύου κατά την οποία ελέγχεται η μορφολογία του αυλού των φλεβών, η ροή αίματος εντός αυτών και η λειτουργικότητα τους. Είναι μια σύντομη και ανώδυνη εξέταση για τον ασθενή, καθώς δεν χρειάζεται κάποια προηγούμενη προετοιμασία, ενώ διαρκεί μόλις λίγα λεπτά.

### 5.1 Έγχρωμο υπερηχογράφημα φλεβών κάτω άκρων (triplex)

Το έγχρωμο υπερηχογράφημα φλεβών (Triplex φλεβών) των κάτω άκρων είναι μια εξειδικευμένη υπερηχογραφική εξέταση για την αξιολόγηση του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχεται η ροή του αίματος στο επιπολής φλεβικό δίκτυο των κάτω άκρων, η μορφολογική κατάσταση και η λειτουργικότητα του.



Εικόνα 5.1: Υπερηχογραφική απεικόνιση της σαφηνομηριαίας συμβολής

Ένα σύστημα υπερηχογραφίας είναι μία ασφαλής ιατρική συσκευή που παράγει εικόνες από το εσωτερικό του σώματος χρησιμοποιώντας ηχητικά κύματα. Η απεικόνιση με υπερήχους, ονομάζεται επίσης υπερηχογράφημα. Τα ηχητικά κύματα μετατρέπονται σε

δισδιάστατες ασπρόμαυρες εικόνες, που λέγεται απεικόνιση B-mode. Το υπερηχογράφημα με Doppler μετράει το πώς τα κύματα ήχου ανακλώνται στα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος και στέλνει τις πληροφορίες στη συσκευή, η οποία παράγει έγχρωμες εικόνες που απεικονίζουν τη ροή του αίματος.

Το υπερηχογράφημα triplex συνδυάζει τις πληροφορίες της συμβατικής υπερηχογραφικής απεικόνισης των φλεβών με τις πληροφορίες εξέτασης της ροής σε αυτές με Doppler. Με αυτόν τον τρόπο, ο ιατρός μπορεί να ελέγξει την πορεία των φλεβών, να υπολογίσει το μέγεθός αυτών και το βαθμό ανεπάρκειας, αν υπάρχει. Επομένως, η B-mode υπερηχογραφία προσφέρει άμεσα και σε πραγματικό χρόνο μορφολογικές και ανατομικές πληροφορίες, ενώ το έγχρωμο Doppler χρησιμοποιείται για την ανάδειξη και ποσοτικοποίηση της παλίνδρομης ροής (reflux) που αποτελεί το βασικό κριτήριο για τη διάγνωση και εκτίμηση της βαρύτητας της φλεβικής ανεπάρκειας.

## **5.2 Πρωτόκολλο εξέτασης**

Η διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας είναι σημαντική για την επιλογή της κατάλληλης θεραπείας του ασθενή. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το επιπολής φλεβικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα περίπλοκο συνεπώς η αιτία της νόσου είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε βλάβη παραπάνω από ενός αγγείου. Ο απεικονιστικός έλεγχος με υπέρηχο σε ασθενείς με κίρσους είναι απαραίτητος καθώς αποτελεί το κλειδί για τη σωστή διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας και καθοδηγεί τον αγγειοχειρουργό στον σχεδιασμό της σωστής θεραπείας.

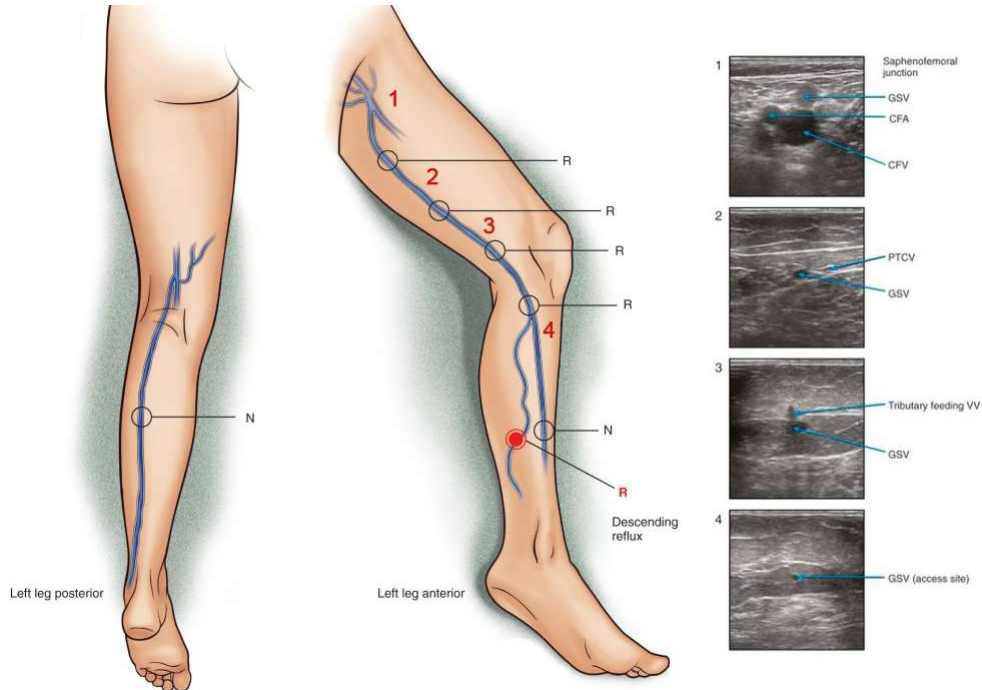
Η κλινική εξέταση αρχίζει με τη λήψη ιστορικού του ασθενή και τα συμπτώματα που εμφανίζει (αν έχει). Στη συνέχεια ο ειδικός ιατρός πραγματοποιεί οπτικό έλεγχο των κάτω άκρων για εμφανείς κίρσους, ευρυαγγείες, φλεβικά έλκη, κ.ά. Αφού πραγματοποιηθεί ο οπτικός έλεγχος στα κάτω άκρα του ασθενή και διαπιστωθεί αν πάσχει από κάποιο εμφανή νόσημα, στη συνέχεια πραγματοποιείται υπερηχογραφική εξέταση (Triplex φλεβών).



Εικόνα 5.2: Υπερηχογραφική εξέταση ελάσσων σαφηνούς φλέβας (Κωτσικόρης, 2021)

Η υπερηχογραφική εξέταση (Triplex φλεβών) γίνεται με μια συσκευή υπερηχογραφίας. Για να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη εξέταση ο ασθενής θα πρέπει να σταθεί όρθιος ή να ξαπλώσει όπου του υποδείξει ο ιατρός. Στη συνέχεια θα πρέπει να κάνει μια ελαφριά έξω στροφή στο υπό εξέταση πόδι καθώς η πρώτη φλέβα που πραγματοποιείται έλεγχος είναι η μείζων σαφηνής φλέβα. Κατόπιν, ο ιατρός θα απλώσει πάνω στο δέρμα της περιοχής που θα εξεταστεί ένα ειδικό gel (εφαρμόζεται στην υπό εξέταση περιοχή για να βοηθήσει τον ηχοβολέα να έρθει σε επαφή με το δέρμα). Ο ιατρός πιέζει τον ηχοβολέα πάνω στο δέρμα του ασθενή και τον μετακινεί σε διάφορες κατευθύνσεις μέχρι να ληφθούν οι επιθυμητές εικόνες και να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις για το μέγεθος της υπό εξέτασης φλέβας, καθώς και το χρόνο παλινδρόμησης του αίματος εντός αυτής (γίνεται μέτρηση της διαμέτρου και έλεγχος της ροής του αίματος σε διάφορα σημεία κατά μήκος της φλέβας). Στη συνέχεια ο ιατρός ελέγχει το υπό εξέταση άκρο για διαπυρραίνουσες φλέβες, για άλλους κλάδους (φλέβες) που μπορεί να παρουσιάζουν ανεπάρκεια (προσθιοπλάγιος, κλάδος μείζων σαφηνούς, κ.ά.) καθώς και για κίρσους που δεν είναι ορατοί με το μάτι. Αφού εξετασθεί η όλη πρόσθια πλευρά του υπό εξέταση κάτω άκρου, ο ιατρός ζητάει από τον ασθενή να γυρίσει για να εξετάσει και το οπίσθιο μέρος. Αφού ο ασθενής γυρίσει με πλάτη στον ιατρό, ο ιατρός ελέγχει την ελάσσονα σαφηνή φλέβα να δει αν παρουσιάζει ανεπάρκεια (γίνεται μέτρηση της διαμέτρου και έλεγχος της

ροής του αίματος σε διάφορα σημεία κατά μήκος της φλέβας) καθώς και για άλλους κλάδους και κίρσους στο οπίσθιο μέρος του ποδιού.



Εικόνα 5.3: Επιτολής φλεβικό δίκτυο κάτω άκρων

**Εν ολίγης για την πραγματοποίηση της υπερηχογραφικής εξέτασης ο ιατρός ακολουθεί τα εξής βήματα:**

- Έλεγχος της μείζονος σαφηνούς φλέβας
- Έλεγχος ελάσσων σαφηνούς φλέβας
- Έλεγχος διαπιτραινουσών φλεβών
- Έλεγχος λοιπών κλάδων του επιτολής φλεβικού δικτύου (προσθιοπλάγιος, Giacomini, κ.ά.).
- Έλεγχος κίρσοιδών φλεβών

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης πραγματοποιείται έλεγχος της διαμέτρου των φλεβών και της ροής μέσα σε αυτές. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο ασθενής μαθαίνει αμέσως τα αποτελέσματα της εξέτασης, καθώς η διάγνωση γίνεται σε πραγματικό χρόνο, κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Μόλις ολοκληρωθεί η εξέταση, το τζελ υπερήχων θα σκουπιστεί

από το δέρμα του ασθενή και ο ασθενής μπορεί να αποχωρήσει αμέσως και να συνεχίσει αμέσως τις δραστηριότητες του.

## **Κεφάλαιο 6: Πιλοτική σύγκριση φορητής συσκευής υπερήχων και συσκευής χειρός στην αξιολόγηση του επιπολής φλεβικού δικτύου**

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές συσκευές υπερήχων, ένας φορητός της εταιρείας GE (Logic V2) και ένας χειρός της εταιρείας Vinno (Q-7L). Πραγματοποιήθηκαν εξετάσεις, συνολικά σε έξι ασθενείς του ίδιου φύλου. Οι εξετάσεις πραγματοποιήθηκαν από αγγειοχειρουργό στο χώρο του ιατρείου του. Σε κάθε ασθενή πραγματοποιήθηκε υπερηχογραφική εξέταση και με τις δύο συσκευές υπερήχων, ακολουθώντας το ίδιο πρωτόκολλο. Βάση των τεχνικών προδιαγραφών και των διαγνωστικών αποτελεσμάτων έγινε σύγκριση των δύο συστημάτων, τα αποτελέσματα της οποίας αναλύεται στις επόμενες παραγράφους.

### **6.1 Ανάλυση και σύγκριση των χαρακτηριστικών των συστημάτων υπερηχογραφίας**

Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν δύο συστήματα υπερηχογραφίας τελευταίας τεχνολογίας. Τόσο ο φορητός υπέρηχος της εταιρείας GE (Logic V2), όσο και της εταιρείας Vinno (Q-7L) είναι δύο συσκευές που «βγήκαν» στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Συνεπώς ήταν και ένας από τους βασικούς λόγους η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου της GE για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση με τον υπέρηχο χειρός.

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εξέταση του επιπολής φλεβικού δικτύου πραγματοποιείται με κεφαλή γραμμικής διάταξης (linear probe). Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε, από τη σειρά των υπερήχων χειρός της Vinno, ο Q-7L που είναι γραμμικής διάταξης και για τον φορητό υπέρηχο της GE επιλέχθηκε η κεφαλή Linear L6-12-RS. Και οι δύο κεφαλές είναι τεχνολογίας πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων, με εύρος συχνοτήτων της GE από 6 έως 13 MHz και της Vinno από 8 έως 16 MHz. Οι διαστάσεις σάρωσης (Field of view) είναι για τον φορητό 38mm και το βάθος εστίασης από 2 έως 16 cm ενώ για τον υπέρηχο χειρός οι διαστάσεις σάρωσης είναι 45mm και το βάθος εστίασης από 1 έως 15,5 cm. Επίσης το δυναμικό εύρος για τον φορητό είναι 224 dB ενώ για τον υπέρηχο



χειρός είναι 280 dB. Επιπλέον, και οι δυο συσκευές διαθέτουν λειτουργία σάρωσης vascular, doppler (CF/PDI), Autocalculation Doppler και CF, ενώ Auto Angle Correct διαθέτει μόνο η συσκευή της GE. Ένα πλεονέκτημα του υπερήχου της Vinno είναι ότι διαθέτει Teaching software (λογισμικό το οποίο καθοδηγεί το χρήστη πως να κάνει συγκεκριμένες εξετάσεις), κάτι που δε διαθέτει η συσκευή της GE.

Το μέγεθος του φορητού υπερήχου είναι εμφανές μεγαλύτερο από αυτό του υπερήχου χειρός. Η συσκευή της GE διαθέτει οθόνη 15 ιντσών, ενώ το tablet που είναι εγκατεστημένο το software της Vinno είναι 12,3 ίντσες. Όσον αφορά το βάρος, ο υπέρηχος της GE ζυγίζει 6 κιλά ενώ ο υπέρηχος της Vinno ζυγίζει περίπου ένα κιλό (340 γραμμάρια η κεφαλή και 740 γραμμάρια το tablet). Ο υπέρηχος της Vinno μαζί με το tablet, λόγω του μικρού του μεγέθους μεταφέρεται εύκολα σε οποιαδήποτε τσάντα μεταφοράς, ενώ ο φορητός υπέρηχος της GE διαθέτει ειδική βαλίτσα μεταφοράς. Ένα μειονέκτημα του φορητού υπερήχου είναι η μικρή διάρκεια της μπαταρίας (30 λεπτά), γεγονός που τον κάνει λίγο δύσχρηστο (ως προς τη φορητότητα) για φορητό υπέρηχο, σε αντίθεση με το tablet που η μπαταρία του διαρκεί έως 15 ώρες.

Σε γενικές γραμμές τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων υπερηχογραφίας δε διαφέρουν μεταξύ τους. Σε εξετάσεις που δεν χρειάζεται λεπτομερή απεικόνιση ανατομικών στοιχείων και οι δύο υπέρηχοι προσφέρουν τα ίδια διαγνωστικά αποτελέσματα.

Θα γίνει αναφορά μόνο σε μερικά σημεία, βάση των τεχνικών χαρακτηριστικών που αναλύθηκαν πιο πάνω. Αρχικά, ο υπέρηχος χειρός μειονεκτεί έναντι του φορητού υπερήχου σε τρία σημεία. α) Το μέγεθος της κεφαλής (probe) το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό μιας κλασικής κεφαλής υπερήχων. Αυτό εντάσσεται στα αρνητικά για το λόγο ότι σε μεγάλο αριθμό εξεταζόμενων είναι κουραστικό στη χρήση του για τον ιατρό. β) Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του προγράμματος του υπερήχου δεν γίνεται ταυτόχρονη φόρτιση του tablet. γ) Είναι δύσχρηστη η λειτουργία του doppler mode σε σχέση με τον υπέρηχο της GE, γεγονός που οφείλετε κατά κύριο λόγο στην απουσία του «Auto Angle Correct», με τον ιατρό να χρειάζεται περισσότερο χρόνο να τελειώσει μια εξέταση.

Πίνακας 1: Τα χαρακτηριστικά των υπερήχων

	<b>GE Logic V2</b>	<b>Vinno Q-7L</b>
<b>Κόστος</b>	12.000 €	5.500 € (4.500 € κόστος κεφαλής, 1000 € κόστος tablet)
<b>Λειτουργικό σύστημα</b>	Windows	Windows
<b>Τύπος κεφαλής</b>	Linear L6-12-RS (6-13MHz)	Q-7L(8-16 MHz)
<b>Τεχνολογία probe</b>	Κρυστάλλων	Κρυστάλλων
<b>Αποθηκευτικός χώρος</b>	55 GB	Ανάλογα την έκδοση του tablet
<b>Μέγεθος οθόνης</b>	15"	12.3"
<b>Αυτονομία μπαταρίας</b>	30 λεπτά	Έως 15 ώρες
<b>Βάρος</b>	6 kg	775 gr (tablet) + 340 gr (probe)
<b>Δυναμικό εύρος</b>	224 dB	280 dB
<b>Εύρος συχνοτήτων</b>	6-13 MHz	8-16 MHz
<b>Λειτουργία σάρωσης Lower Extremity Venous (LEV)</b>	Διαθέτει	Διαθέτει
<b>Διαστάσεις σάρωσης</b>	Field of view: 38 mm	Field of view: 45 mm
<b>Βάθος εστίασης</b>	2 cm – 16 cm	1 cm- 15,5 cm
<b>Doppler</b>	CF/PDI	CF/PDI
<b>CF</b>	Διαθέτει	Διαθέτει
<b>Autocalculation Doppler</b>	Διαθέτει	Διαθέτει
<b>Auto Angle Correct</b>	Διαθέτει	Δε διαθέτει
<b>Teaching software</b>	Δε διαθέτει	Διαθέτει

Από την άλλη πλευρά ο υπέρηχος χειρός υπερτερεί σε αρκετά σημεία. Μερικά από αυτά είναι τα εξής: α) Τι τιμή, καθώς ο υπέρηχος χειρός κοστίζει τα μισά χρήματα από τον φορητό υπέρηχο. β) Η χωρητικότητα της μπαταρίας. Η μπαταρία του tablet μπορεί να διαρκέσει έως και 15 ώρες λειτουργίας ενώ του υπερήχου χειρός έως 30 λεπτά (μειονέκτημα για μια φορητή συσκευή). γ) Το μέγεθος και το βάρος στην συσκευή, καθώς ο υπέρηχος χειρός έχει πολύ μικρό μέγεθος και μπορεί να τον μεταφέρει κάποιος με οποιαδήποτε τσάντα, ενώ ο φορητός υπέρηχος της GE έχει δική του βαλίτσα μεταφοράς (μεγάλους αποσκευής καμπίνας αεροπλάνου). δ) Αποθηκευτικός χώρος. Το tablet έχουν

μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο από τη συσκευή του φορητού υπερήχου και επίσης δίνει τη δυνατότητα να αποθηκεύονται οι εξετάσεις κατευθείαν μέσω Wi-Fi σε οποιονδήποτε online drive, ενώ ο φορητός υπέρηχος πρέπει να συνδεθεί με καλώδιο δικτύου για να γίνει αποθήκευση των εικόνων. Επιπλέον, ο υπέρηχος χειρός αποθηκεύει κατευθείαν τις εξετάσεις σε μορφή εικόνας (jpeg), ενώ για τον φορητό υπέρηχο χρειάζεται ένα πρόγραμμα DICOM Viewer για να τις ανοίξει κάποιος. ε) Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του υπερήχου χειρός είναι και τα τρία πλήκτρα που υπάρχουν πάνω στο probe. Αυτό διευκολύνει τον ιατρό από περιπτές κινήσεις, όπως ρύθμιση του focus, depth, gain, κ.ά. στ) Επιπρόσθετα, ο υπέρηχος χειρός έχει κάποια καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως το δυναμικό εύρος, το εύρος συχνοτήτων και τις διαστάσεις σάρωσης. Διαφορές όμως, που δεν είναι άξιες αναφοράς στην διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας. ζ) Για αρχάριους χειριστές η Vinno έχει εγκαταστήσει έναν οδηγό (Teaching software) μέσω του οποίου παρουσιάζεται ο τρόπος που μπορεί να πραγματοποιηθεί μια εξέταση, π.χ. μέτρηση στένωσης καρωτίδας, εξέταση νεφρών, κτλ.

Συνεπώς βάση των παραπάνω, ένας ιατρός που ασχολείται με τη διάγνωση ή και θεραπεία της φλεβικής ανεπάρκειας των κάτω άκρων, θα μπορούσε να αντικαταστήσει τον φορητό υπέρηχο του με ένα υπέρηχο χειρός. Επιπλέον, αν κάποιος διαθέτει σταθερό υπέρηχο στο ιατρείο του, ο υπέρηχος χειρός θα ήταν ιδανική επιλογή για δεύτερη συσκευή.

## **6.2 Ανάλυση και σύγκριση διαγνωστικών εξετάσεων**

Πραγματοποιήθηκαν διαγνωστικές εξετάσεις (από αγγειοχειρουργό) σε έξι ασθενείς για τον έλεγχο φλεβικής ανεπάρκειας στα κάτω άκρα. Και οι έξι ασθενείς ήταν του ίδιου φύλου (άνδρες). Κάθε ασθενής εξετάστηκε και με τις δύο συσκευές υπερήχων, ώστε να διαπιστωθεί αν θα υπάρξουν διαφορές στη διάγνωση. Αρχικά, κάθε ασθενής εξετάστηκε με τον υπέρηχο χειρός (Vinno Q-7L), καταχωρήθηκαν τα στοιχεία του και στη συνέχεια έγινε λήψη των απαραίτητων εικόνων. Αμέσως μετά, στον ίδιο ασθενή, έγινε επανάληψη της εξέτασης με τον φορητό υπέρηχο (GE Logic V2). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και στους έξι ασθενείς. Ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο εξέτασης που αναφέρθηκε στο

προηγούμενο κεφάλαιο, ενώ η διάγνωση πραγματοποιήθηκε από τον αγγειοχειρουργό κατά τη διάρκεια της εξέτασης

Έπειτα από την εξέταση και των έξι ασθενών, δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στα αποτελέσματα των εξετάσεων (τόσο με b-mode απεικόνιση όσο και με απεικόνιση με έγχρωμο doppler), μεταξύ των δύο συσκευών υπερηχογραφίας. Επομένως οι δύο συσκευές συμφωνούν στο 100% (6/6). Και στους έξι ασθενείς τα αποτελέσματα των εξετάσεων ήταν τα ίδια. Τέσσερις ασθενείς δεν είχαν φλεβική ανεπάρκεια, ένας είχε ανεπάρκεια στην μείζων και στην ελάσσων σαφηνή φλέβα και ένας ασθενής είχε ανεπάρκεια μόνο στην μείζων σαφηνή φλέβα. Στον πίνακα Πίνακας 2 που ακολουθεί αναγράφονται τα αποτελέσματα αναλυτικά.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα εξετάσεων των ασθενών

Ασθενείς	Φύλο	Ηλικία	Άκρο	Διάγνωση με GE Logic V2	Διάγνωση με Vinno Q-7L
Ασθενής 1	Άρρεν	28	Δεξί	Χωρίς ανεπάρκεια	Χωρίς ανεπάρκεια
Ασθενής 2	Άρρεν	53	Δεξί	Χωρίς ανεπάρκεια	Χωρίς ανεπάρκεια
Ασθενής 3	Άρρεν	46	Δεξί	Χωρίς ανεπάρκεια	Χωρίς ανεπάρκεια
Ασθενής 4	Άρρεν	60	Αριστερό	Χωρίς ανεπάρκεια	Χωρίς ανεπάρκεια
Ασθενής 5	Άρρεν	42	Αριστερό	Ανεπάρκεια μείζων & ελάσσων σαφηνής φλέβα	Ανεπάρκεια μείζων & ελάσσων σαφηνής φλέβα
Ασθενής 6	Άρρεν	36	Δεξί	Ανεπάρκεια μείζων σαφηνής φλέβα	Ανεπάρκεια μείζων σαφηνής φλέβα

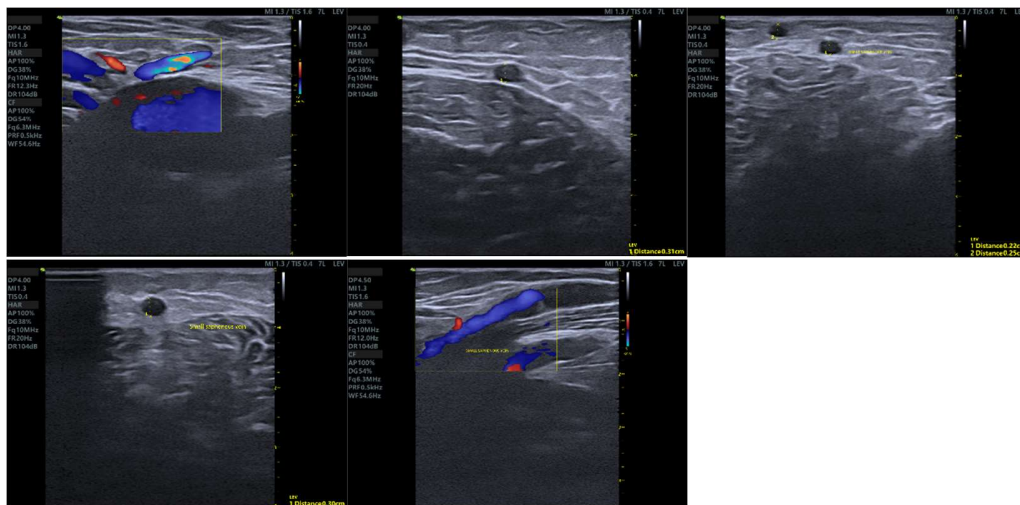
Στις επόμενες παραγράφους αναγράφονται και παρουσιάζονται οι διαγνώσεις και οι εξετάσεις και των δύο συστημάτων υπερηχογραφίας για κάθε ασθενή. Οι εικόνες που ελήφθησαν είναι στη μείζονα σαφηνή φλέβα από: την σαφηνομηριαία συμβολή (επιμήκης υπερηχογραφική τομή), την μεσότητα του μηρού και την μεσότητα της γαστροκνημίας (εγκάρσιες υπερηχογραφικές τομές). Ενώ στην ελάσσονα σαφηνή από: την συμβολή με την ιγνυακή φλέβα (επιμήκης υπερηχογραφική τομή), και λίγο κάτω από την μεσότητα της γαστροκνημίας (εγκάρσια υπερηχογραφική τομή).

## Ασθενής 1

Σε ασθενή 28 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο του δεξιού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

Επαρκής η βαλβίδα στη δεξιά σαφηνομηριαία συμβολή με φυσιολογικό το κύριο στέλεχος σε όλο το μήκος του. Φυσιολογική η ελάσσων σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης. Εμφάνιση κίρσοειδούς φλέβας λίγο άνωθεν της γαστροκνημίας.

### Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 1)



## Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 1)

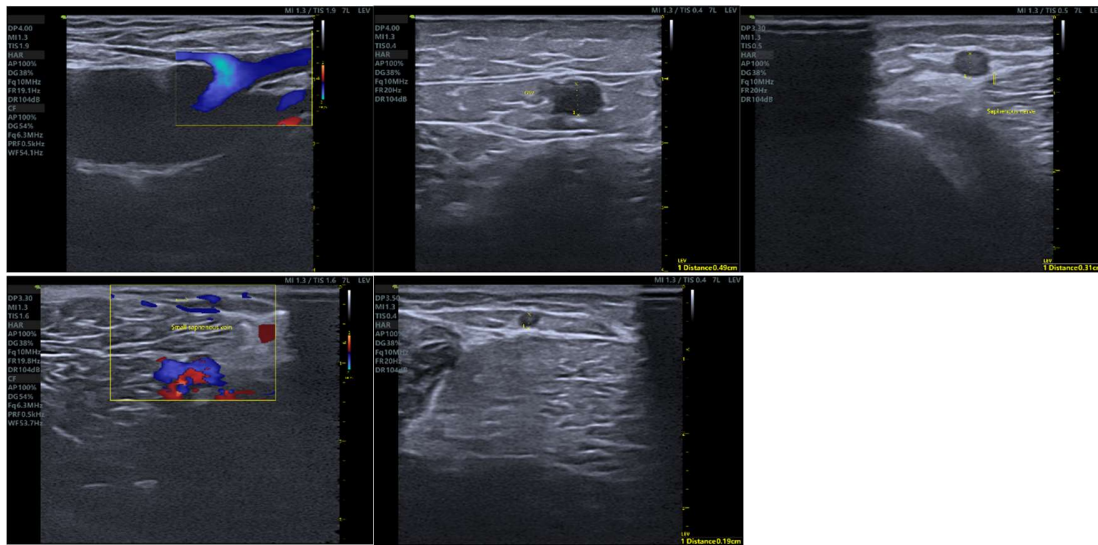


## Ασθενής 2

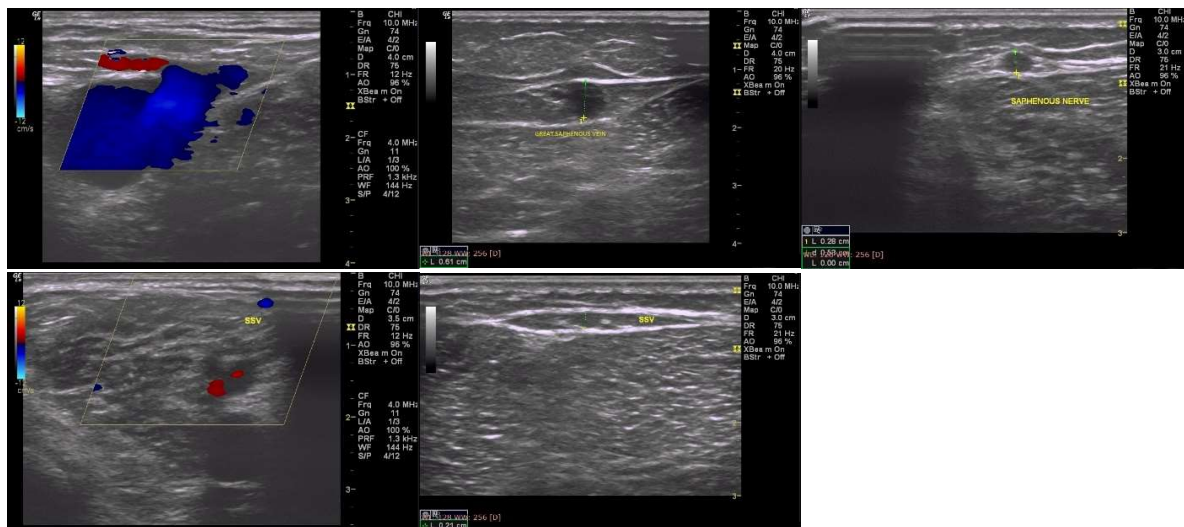
Σε ασθενή 53 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο του δεξιού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

Επαρκής η βαλβίδα στη δεξιά σαφηνομηριαία συμβολή με φυσιολογικό το κύριο στέλεχος σε όλο το μήκος του. Φυσιολογική η ελάσσων σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης.

## Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 2)



## Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 2)



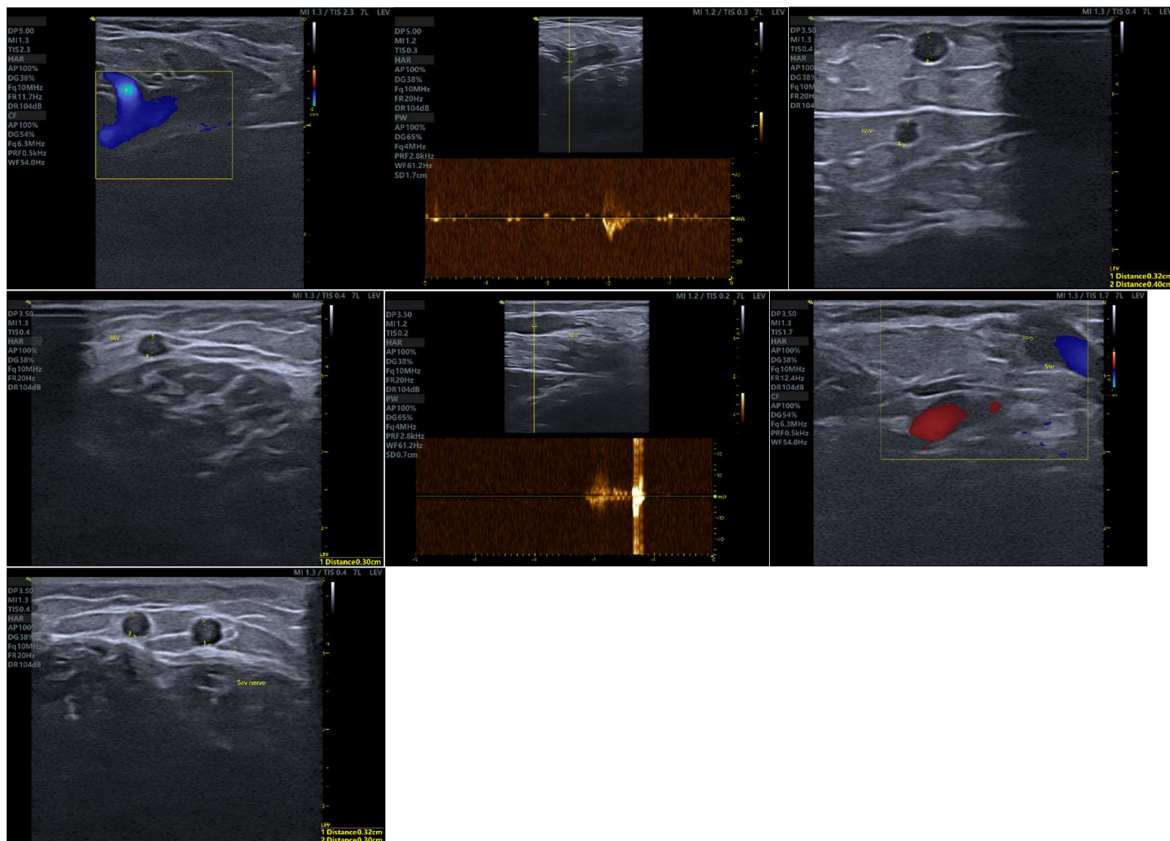
## Ασθενής 3

Σε ασθενή 43 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο του δεξιού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον

αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

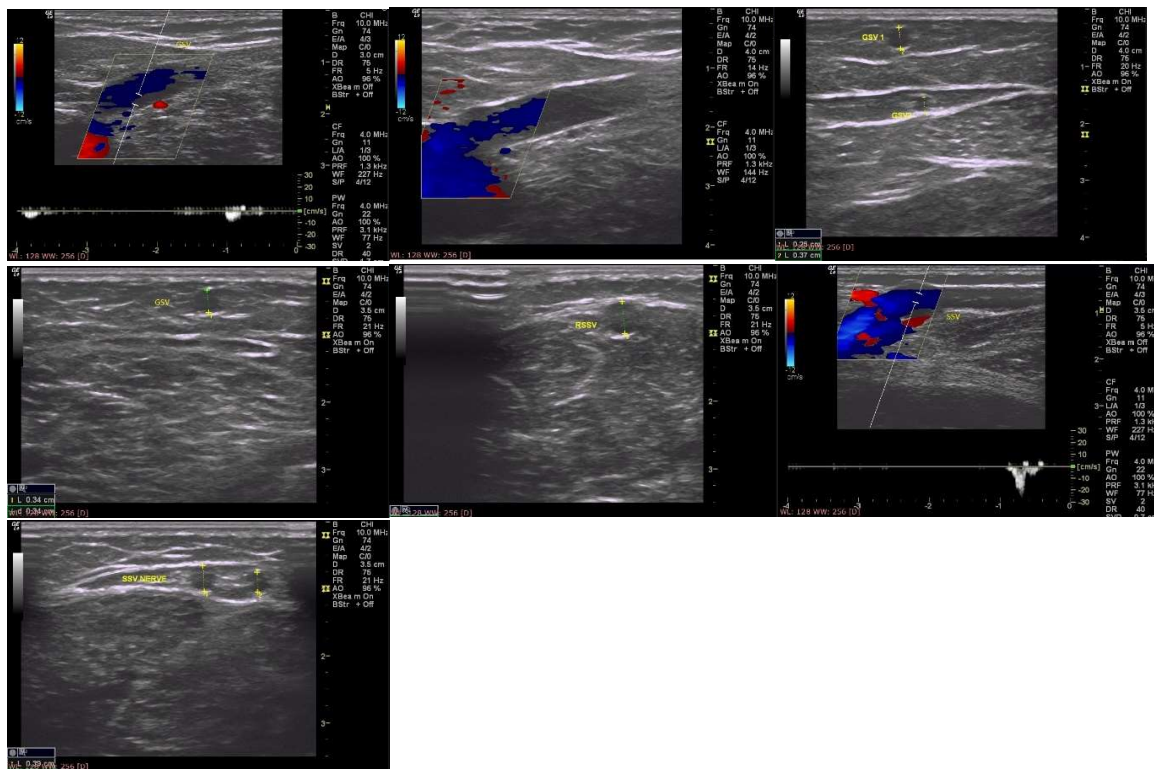
Επαρκής η βαλβίδα στη δεξιά σαφηνομηριαία συμβολή με φυσιολογικό το κύριο στέλεχος σε όλο το μήκος του. Βρέθηκε κλάδος της μείζονας σαφηνούς φλέβας, χωρίς ανεπάρκεια, από τη μεσότητα του μηρού έως τη γαστροκνήμια. Φυσιολογική η ελάσσων σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Βρέθηκε κλάδος της ελάσσονας σαφηνούς καθ' όλο το μήκος της, χωρίς να παρουσιάζει ανεπάρκεια. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης.

### Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 3)





### Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 3)



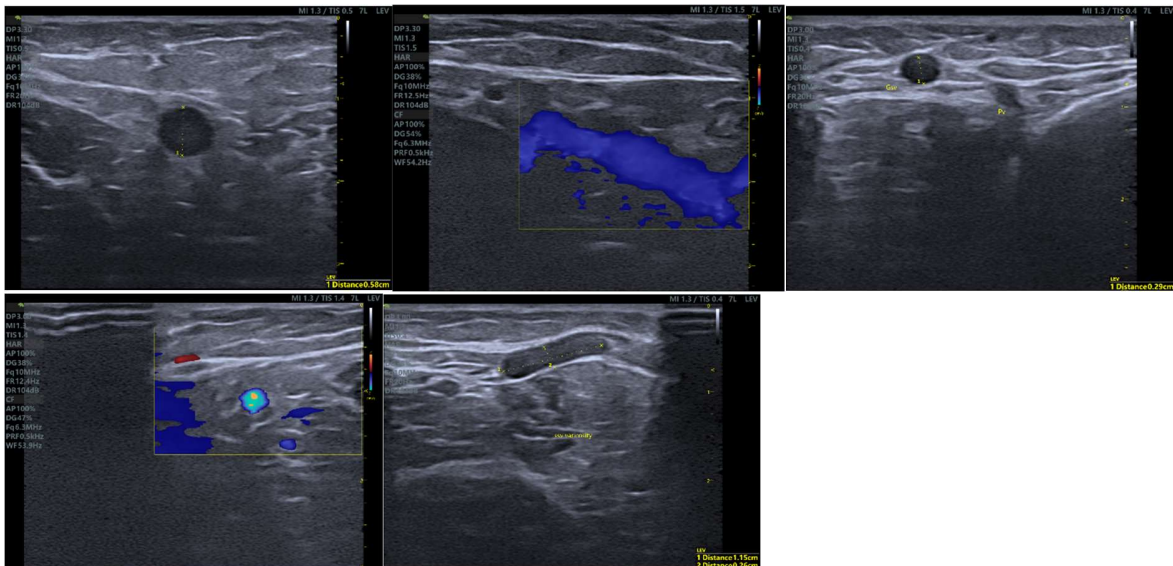
### Ασθενής 4

Σε ασθενή 60 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο του αριστερού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

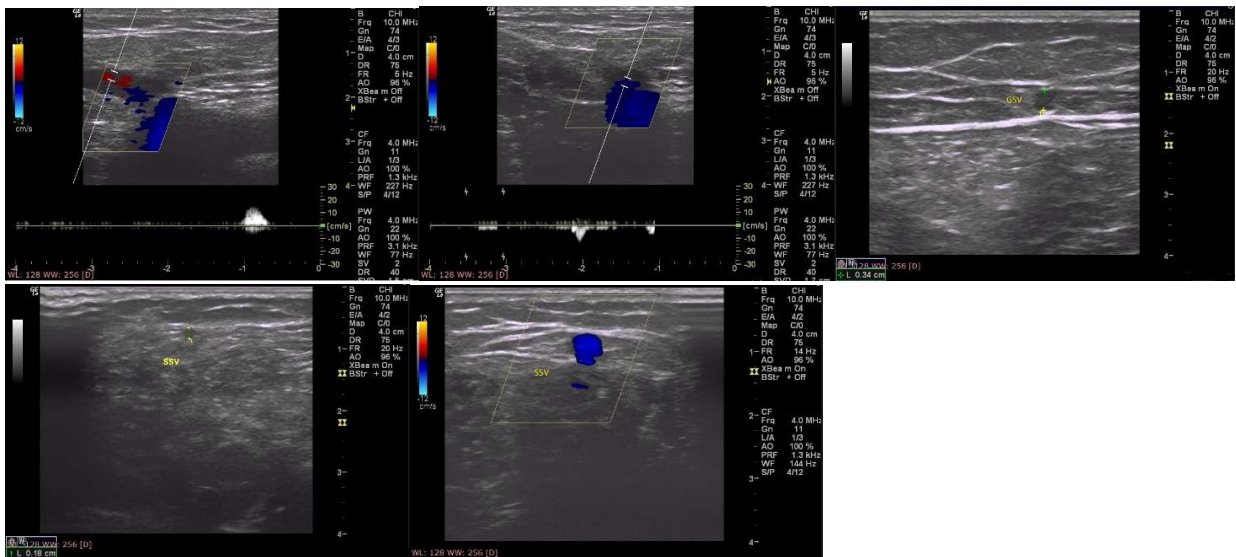
Επαρκής η βαλβίδα στην αριστερή σαφηνομηριαία συμβολή με φυσιολογικό το κύριο στέλεχος σε όλο το μήκος του. Βρέθηκε διαπυρνώσα φλέβα (Boyd) λίγο κάτωθεν του γονάτου. Χωρίς ανεπάρκεια η ελάσσω σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Η ελάσσω σαφηνής 4 εκατοστά πριν την συμβολή με την ιγνυακή φλέβα παρουσιάζει ανευρυσματική

διάταση μέγιστου μήκους 1,15 cm. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης.

### Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 4)



### Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 4)

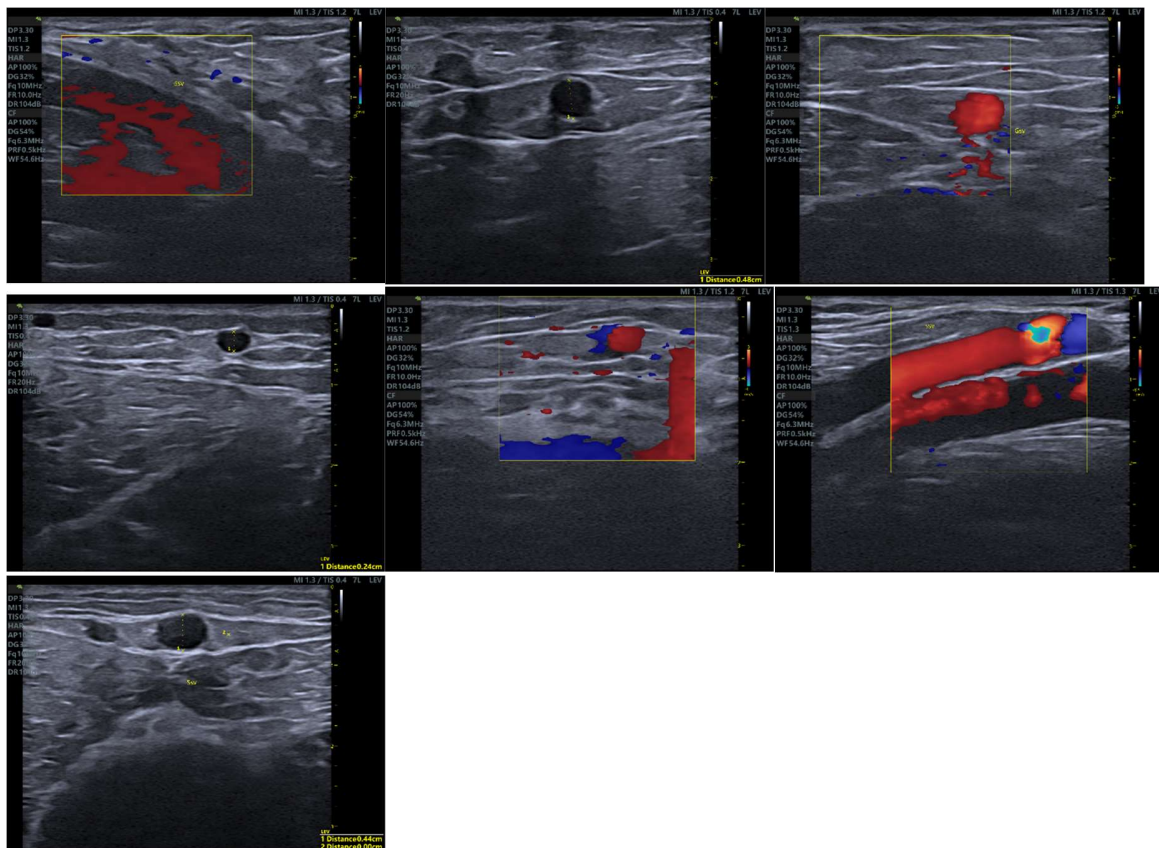


## Ασθενής 5

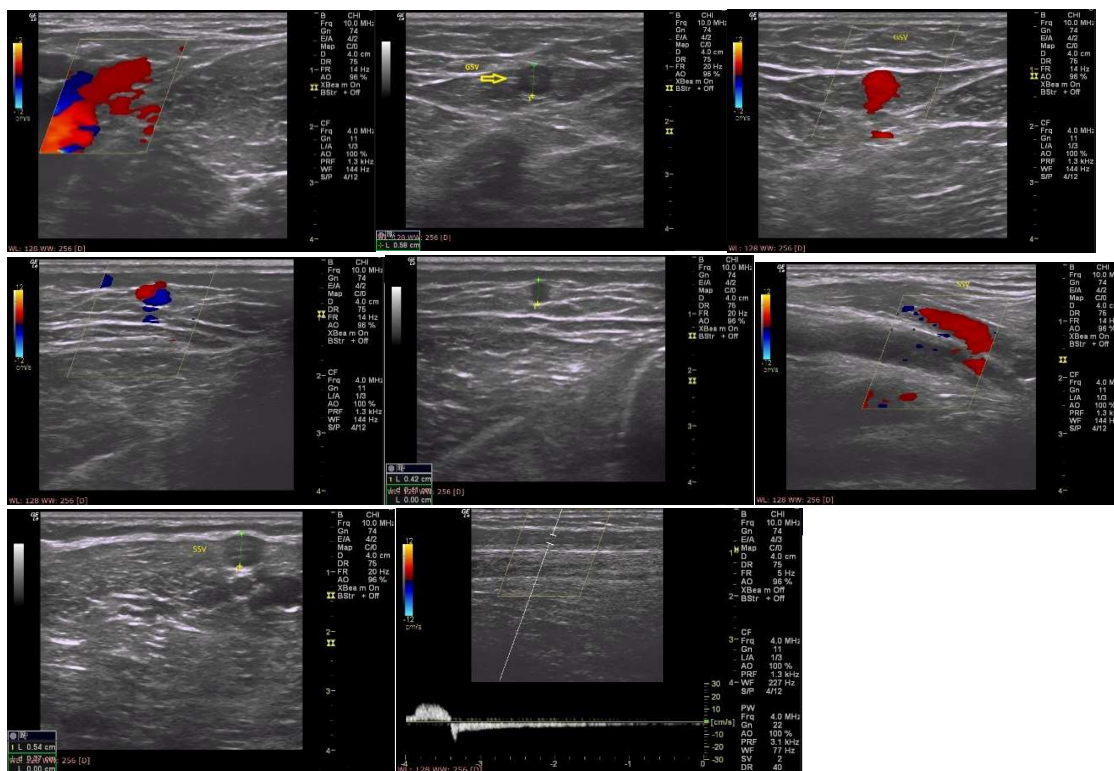
Σε ασθενή 42 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο αριστερού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

Ανεπάρκεια του αριστερού κύριου στελέχους της μείζων σαφηνής φλέβας, από τη σαφηνομηριαία συμβολή έως τη μεσότητα της γαστροκνημίας. Ανεπάρκεια παρουσιάζει και η ελάσσων σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης. Εντοπίζονται κίρσοειδείς φλέβες στην οπίσθια επιφάνια του μηρού και την γαστροκνημία.

### Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 5)



## Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 5)

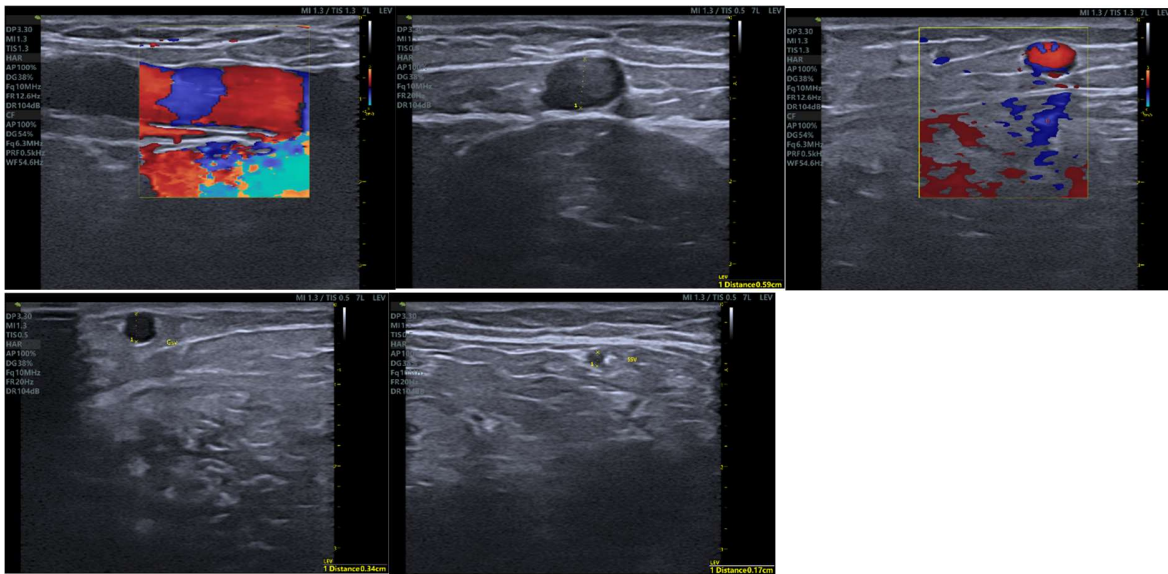


## Ασθενής 6

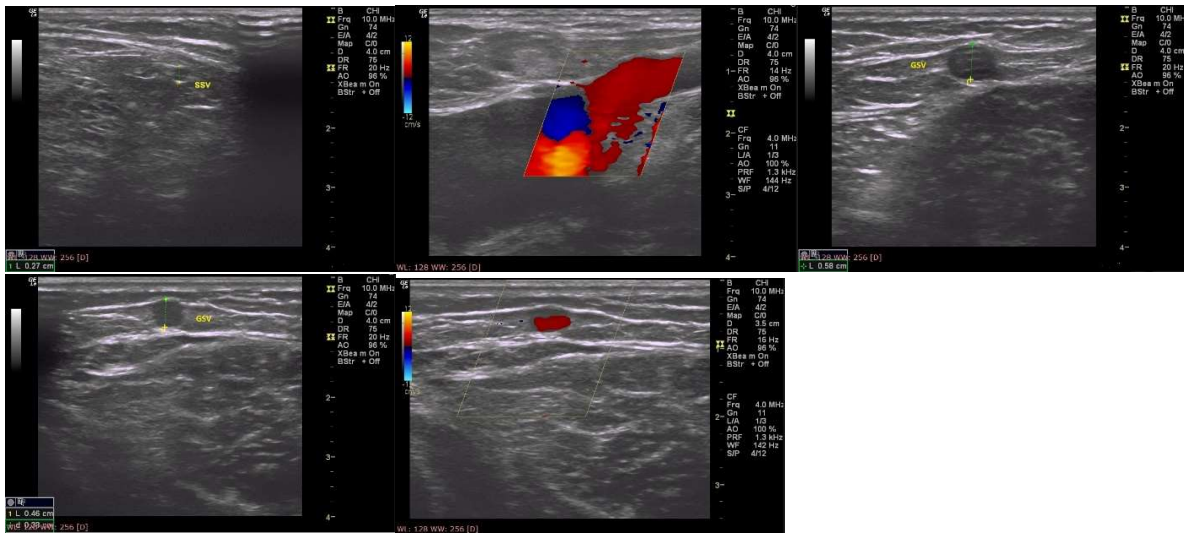
Σε ασθενή 36 ετών, ελέγχθηκε το επιπολής φλεβικό δίκτυο του δεξιού σκέλους από το ύψος της κοινής μηριαίας φλέβας μέχρι και τις φλέβες στο ύψος των σφυρών, με έγχρωμο Doppler, με τον ασθενή σε όρθια θέση, στηριζόμενο στο μη εξεταζόμενο σκέλος. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και με τις δύο συσκευές υπερηχογραφίας, με τον αγγειοχειρουργό να καταλήγει στην ίδια διάγνωση ανεξαρτήτως συσκευής. Η διάγνωση να είναι η ακόλουθη:

Ανεπάρκεια δεξιάς μείζονας σαφηνούς φλέβας, από τη σαφηνομηριαία συμβολή έως λίγο κάτωθεν της μεσότητας της γαστροκνημίας. Φυσιολογική η ελάστων σαφηνής φλέβα σε όλο το μήκος της. Δεν ελέγχονται στοιχεία πρόσφατης ή παλαιάς θρόμβωσης.

## Εικόνες από Vinno Q-7L (ασθενής 6)



## Εικόνες από GE Logic V2 (ασθενής 6)



## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάστηκαν τόσο τα αποτελέσματα των διαγνωστικών εξετάσεων έξι ασθενών όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων υπερηχογραφίας με τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι εξετάσεις. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές συσκευές, διαφορετικών κατασκευαστών, που χρησιμοποιούν την ίδια τεχνική προσέγγιση για τη διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας. Συνολικά εξετάσθηκαν έξι ασθενείς (κάθε ασθενής και με τις δύο συσκευές υπερήχων) από αγγειοχειρουργό, ο οποίος πραγματοποίησε και τη διάγνωση των εξετάσεων τους.

Ως αποτέλεσμα των εξετάσεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν να υπάρχει συμφωνία 100% (6/6), μεταξύ των δύο συσκευών υπερηχογραφίας. Ο αγγειοχειρουργός και στους έξι ασθενείς κατέληξε στην ίδια διάγνωση και με τις δύο συσκευές υπερήχων. Δεν υπήρξαν αποκλίσεις στη διάγνωση τόσο στη b-mode απεικόνιση όσο και στην απεικόνιση με έγχρωμο doppler (παλινδρόμηση αίματος στη φλέβα). Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο αριθμός των ασθενών ήταν μικρός, ενώ δεν υπήρξε και κάποιος ασθενής με ιδιαίτερη παθολογία (π.χ. κάποια παλιά θρόμβωση). Γεγονός που δεν επιτρέπει την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων.

Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά τη λειτουργικότητα, τη φορητότητα και το κόστος αγοράς των δύο συσκευών, παρατηρήθηκε ότι ο υπέρηχος χειρός μπορεί να αντικαταστήσει έναν φορητό υπέρηχο και να δώσει τη δυνατότητα σε έναν ιατρό να έχει μια συσκευή με όλα τα χαρακτηριστικά που θα του πρόσφερε ένας φορητός υπέρηχος, αλλά με χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη ευκολία στη μεταφορά. Ωστόσο, επειδή οι υπέρηχοι χειρός είναι «νέα» τεχνολογία απαιτούνται περισσότερες κλινικές εφαρμογές και δοκιμές της αξιοπιστίας των συσκευών αυτών και της συμβατότητας τους με τις φορητές συσκευές (tablet, smartphone, κ.ά.).

Η πιλοτική κλινική μελέτη των δύο συσκευών υπερήχων έδειξε ότι ο υπέρηχος χειρός έχει τις δυνατότητες να αντικαταστήσει ένα φορητό υπέρηχο για εξετάσεις του επιπολής φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων. Στο συμπέρασμα αυτό συμβάλει το γεγονός ότι για τη διάγνωση της φλεβικής ανεπάρκειας αρκεί μια συσκευή υπερηχογραφίας χωρίς

ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά. Η εξαγωγή όμως οριστικών συμπερασμάτων απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό ασθενών συμπεριλαμβανομένων και ασθενών με ιδιαίτερα παθολογικά ευρήματα (π.χ. παλιά θρόμβωση).

## Βιβλιογραφία

Δημητριάδης Κ. (2017) *Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνων Υπερήχων Β - Mode*. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Κύπρος: Ανοιχτό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Διαθέσιμο στο: <https://dkorthosurgery.com/wp-content/uploads/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%80%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE-%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AE-%CE%9A%CF%85%CF%81%CE%B9%CE%AC%CE%BA%CE%BF%CF%82-%CE%94%CE%B7%CE%BC%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1%CE%B4%CE%B7%CF%82-%CE%95%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CF%89%CE%BD-%CF%85%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AE%CF%87%CF%89%CE%BD-US-%CE%92-mode-%CE%94%CE%B5%CE%BA%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%82-2017-1.pdf> [Πρόσβαση: 15 Φεβρουαρίου 2021]

Κουμαριανός, Δ. (2015) *Οδηγός μελέτης για τις βασικές ακτινολογικές προβολές*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Διαθέσιμο στο: [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/479/3/9942\\_Koumarianos.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/479/3/9942_Koumarianos.pdf) [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

Κωτσικόρης Γ. Ιωάννης (2017). *Χρόνια φλεβική ανεπάρκεια*. Διαθέσιμο στο: <https://kotsikoris.gr/flevikes-pathiseis/fleviki-aneparkeia/> [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

Μοσχούρης, Ι. και Παπαδάκη Μ. Γ. (2013) *Βασική ανατομία του επιπολής φλεβικού συστήματος του κάτω άκρου με υπερηχογραφική συσχέτιση*, Ελληνική Ακτινολογία, 44 (4), 223-234. Διαθέσιμο στο: <https://www.hjradiology.org/index.php/HJR/article/download/37/13> [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

Νικολακόπουλος, Κ. (2018) *Προοπτική μελέτη θεραπείας της επιπολής φλεβικής θρόμβωσης των κάτω άκρων με τινζαπαρίνη*. Μη εκδοθείσα διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών

Σπανίδης Θ. (2010) *Βασικές τεχνολογικές αρχές υπερηχογραφικών συστημάτων*. Διαθέσιμο στο: [http://www.symvoli.gr/conference/aebe/uploads/periodiko\\_dek\\_2010/02\\_spanidis.pdf](http://www.symvoli.gr/conference/aebe/uploads/periodiko_dek_2010/02_spanidis.pdf) [Πρόσβαση: 12 Φεβρουαρίου 2021]



Σκλαβούνος, Π. και Θανασούλας, Κ. (1998) *Διαγνωστικοί υπέρηχοι*. Ελληνικές τεχνολογικές εκδόσεις.

Angelsen, B. (2000a) *Ultrasound Imaging: Waves, Signals and Signal Processing*. vol. I. Emantec AS.

Kossoff, G. (2004) *Basic physics and imaging characteristics of ultrasound*. World J Surg, 134-42.

Ορφανουδάκης, Σ. και Μαριάς, Κ. (2003) *Βασικές αρχές υπερήχων*. Σημειώσεις μαθήματος. Κύπρος: Πανεπιστήμιο Κρήτης. Διαθέσιμο στο: <https://www.csd.uoc.gr/~hy571/NOTES/ultrasound.pdf> [Πρόσβαση: 3 Φεβρουαρίου 2021]

AngioExpert (2016), *Τι είναι οι κίρσοι και πως αντιμετωπίζονται*. Διαθέσιμο στο: <http://www.angioexpert.gr/%cf%84%ce%b9-%ce%b5%ce%af%ce%bd%ce%b1%ce%b9-%ce%bf%ce%b9-%ce%ba%ce%b9%cf%81%cf%83%ce%bf%ce%af-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%cf%80%cf%89%cf%82-%ce%b1%ce%bd%cf%84%ce%b9%ce%bc%ce%b5%cf%84%cf%89%cf%80%ce%af%ce%b6/> [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

AngioExpert (2016), *Φλεβική ανεπάρκεια κάτω άκρων*. Διαθέσιμο στο: <http://www.angioexpert.gr/%cf%86%ce%bb%ce%b5%ce%b2%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%b1%ce%bd%ce%b5%cf%80%ce%ac%cf%81%ce%ba%ce%b5%ce%b9%ce%b1-%ce%ba%ce%ac%cf%84%cf%89-%ce%ac%ce%ba%cf%81%cf%89%ce%bd/> [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

Χαράλαμπος Κ. Ηλίας [χ.χ.]. *Κίρσοι κάτω άκρων*. Διαθέσιμο στο: <https://www.iliasxar.gr/%CF%85%CF%80%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%83%CE%AF%CE%B5%CF%82/%CE%BA%CE%B9%CF%81%CF%83%CE%BF%CE%AF-%CE%BA%CE%AC%CF%84%CF%89-%CE%AC%CE%BA%CF%81%CF%89%CE%BD> [Πρόσβαση: 21 Φεβρουαρίου 2021]

Accesspediatrics.mhmedical.com. (2021) *M-Mode Echocardiography and 2D Cardiac Measurements\** | *Practical Neonatal Echocardiography* | *AccessPediatrics* | *McGraw-Hill Medical*. Διαθέσιμο στο: <https://accesspediatrics.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2497&sectionid=203646325> [Πρόσβαση: 20 Φεβρουαρίου 2021]

Carroll, D. (2021) *Color flow Doppler (ultrasound) | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org*. Radiopaedia.org. Διαθέσιμο στο: <https://radiopaedia.org/articles/color-flow-doppler-ultrasound> [Πρόσβαση: 19 Φεβρουαρίου 2021]

ECG & ECHO. (2021) *Color Doppler – ECG & ECHO*. Διαθέσιμο στο: <https://ecgwaves.com/topic/color-doppler/> [Πρόσβαση: 19 Φεβρουαρίου 2021]

ECG & ECHO. (2021) *Continuous Wave Doppler (CW Doppler) – ECG & ECHO*. Διαθέσιμο στο: <https://ecgwaves.com/topic/continuous-wave-doppler-cw-doppler/> [Πρόσβαση: 19 Φεβρουαρίου 2021]

ECG & ECHO. (2021) *M-mode (motion mode) echocardiography – ECG & ECHO*. Διαθέσιμο στο: <https://ecgwaves.com/topic/m-mode-motion-mode-echocardiography/> [Πρόσβαση: 20 Φεβρουαρίου 2021]

ECG & ECHO. (2021) *Pulsed Wave Doppler – ECG & ECHO*. Διαθέσιμο στο: <https://ecgwaves.com/topic/pulsed-wave-doppler/> [Πρόσβαση: 19 Φεβρουαρίου 2021]

ECG & ECHO. (2021) *Two-dimensional (2D) echocardiography – ECG & ECHO*. Διαθέσιμο στο: <https://ecgwaves.com/topic/two-dimensional-2d-echocardiography/> [Πρόσβαση: 15 Φεβρουαρίου 2021]

En.wikipedia.org. (2021) *Ultrasound*. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound> [Πρόσβαση: 7 Φεβρουαρίου 2021].

Home, US tutorials General Basic physics Modes Knobs, d., General Basic physics Modes Knobs, l., physics, B., Knobs, p., Infection, l., disease, C., status, V., function, L., function, D., heart, R., disease, P., Thoracoabdominal Lung ultrasound Airway ultrasound Sinuses, d., ultrasound, L., ultrasound, A., Sinuses, d., LP, N., nerve, O., LP, C., access DVT TEE, M., access, V., workshops, Gallery, About and Contact (2021) *Tutorial 2 – Modes of ultrasound – ICU Sonography*. Criticalecho.com. Διαθέσιμο στο: <https://criticalecho.com/tutorial-2-modes-of-ultrasound> [Πρόσβαση: 20 Φεβρουαρίου 2021]

Nightingale, R. (2021) *Ultrasound transducer | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org*. Radiopaedia.org. Διαθέσιμο στο: <https://radiopaedia.org/articles/ultrasound-transducer> [Πρόσβαση: 9 Φεβρουαρίου 2021].

NYSORA. (2021) *Physics of Ultrasound - NYSORA*. Διαθέσιμο στο: <https://www.nysora.com/foundations-of-regional-anesthesia/equipment/physics-of-ultrasound/> [Πρόσβαση: 3 Φεβρουαρίου 2021].

www8.physics.utoronto.ca. (2021) *How Ultrasound Works*. Διαθέσιμο στο:  
[https://www8.physics.utoronto.ca/~jharlow/teaching/phy138\\_0708/lec04/ultrasoundx.htm](https://www8.physics.utoronto.ca/~jharlow/teaching/phy138_0708/lec04/ultrasoundx.htm)  
[Πρόσβαση: 5 Φεβρουαρίου 2021].

123 Sonography. (2021) *123 Sonography*. Διαθέσιμο στο:  
<https://www.123sonography.com/> [Πρόσβαση: 19 Φεβρουαρίου 2021]