



ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
**ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΓΓΕΙΑΚΩΝ  
ΠΑΘΗΣΕΩΝ**



*Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

**" Ο ΥΠΕΡΗΧΟΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ  
ΑΓΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΙΜΟΚΑΘΑΡΣΗ"**

υπό

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΤΖΙΑΛΛΑ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
*«Υπερηχογραφική Λειτουργική  
Απεικόνιση για την πρόληψη &  
διάγνωση των αγγειακών παθήσεων»*

Λάρισα, 2022

### **Επιβλέπων καθηγητής:**

Μιλτιάδης Λαζαρίδης, Ομότιμος Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής,  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

### **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

1. Μιλτιάδης Λαζαρίδης, Ομότιμος Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής,  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης- (Επιβλέπων)
2. Σταύρος Κάκκος, Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
3. Γεώργιος Κούβελος, Επ. Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής-Ενδοαγγειακής Χειρουργικής,  
Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

### **ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ:**

**“Ultrasounds for the functional evaluation of vascular access for hemodialysis”**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την ανάδειξη των βασικότερων στοιχείων που θα πρέπει να γνωρίζει το επικουρικό προσωπικό που έρχεται σε επαφή με έναν ασθενή που πρόκειται να υποβληθεί σε αιμοκάθαρση. Η εργασία αυτή γράφτηκε από την οπτική γωνία που αντιμετωπίζει το θέμα ένας τεχνολόγος ιατρικών εργαστηρίων, καθώς αυτή είναι και η ιδιότητα η οποία κατέχω.

Από τη θέση του μεταπτυχιακού φοιτητή του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Υπερηχογραφική λειτουργική απεικόνιση για την πρόληψη και διάγνωση των αγγειακών παθήσεων», της σχολής Επιστημών Υγείας, του τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Γιαννούκα, καθηγητή Αγγειοχειρουργικής του Ιατρικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή της Αγγειοχειρουργικής Κλινικής του Π.Γ.Ν. Λάρισας για τη δυνατότητα που μου έδωσε να συμμετάσχω στο παρόν μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μιλτιάδη Λαζαρίδη, ο οποίος είναι ομότιμος Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής του ΔΠΘ και επιβλέπων μου στην παρούσα εργασία, για την αμέριστη βοήθεια και τη συνεχή στήριξη που μου προσέφερε όλο αυτόν τον καιρό που ερευνούσα και μελετούσα, με σκοπό την συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συγγενείς και φίλους μου για την υποστήριξή τους όλο αυτό το διάστημα, καθώς η συγγραφή αυτής εδώ της εργασίας πραγματοποιήθηκε κάτω τις δυσμενείς συνθήκες που επέφερε η πανδημία του κορονοϊού σε όλους μας, πόσο μάλλον στα άτομα τα οποία εργαζόμαστε στα νοσοκομεία της χώρας μας αυτό το διάστημα, εκ των οποίων ένα από αυτά είμαι κι εγώ. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Αγλαΐα Μαλιάρα, για την υπομονή της και την στήριξη της, μέσα από την οποία έπαιρνα δύναμη για να συνεχίσω αυτή την προσπάθεια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αιμοκάθαρση είναι μια διαδικασία η οποία γίνεται σε ασθενείς με νεφρική νόσο τελικού σταδίου και για την πραγματοποίησή της απαιτείται η δημιουργία μιας αγγειακής προσπέλασης.

Για το σκοπό αυτό, ο ασθενής θα πρέπει να υποβληθεί σε απαραίτητες διαγνωστικές εξετάσεις πριν την δημιουργία της αγγειακής προσπέλασης, ώστε να εντοπιστούν πιθανές παθολογικές καταστάσεις και βρεθεί το καταλληλότερο σημείο για να πραγματοποιηθεί η εν λόγω διαδικασία. Επίσης, είναι βασικό να παρακολουθείται και η ωρίμανση της αγγειακής προσπέλασης, για την εξασφάλιση της λειτουργικής της επάρκειας ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η αιμοκάθαρση. Ως επί το πλείστον, ακόμα και όταν μία αγγειακή προσπέλαση θεωρηθεί ώριμη, θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς η λειτουργικότητάς της, καθώς με το πέρασμα του χρόνου μπορεί να προκύψουν διάφορες επιπλοκές και παθολογικές καταστάσεις, οι οποίες να οδηγήσουν στην θρόμβωση της.

Για όλα τα παραπάνω στάδια, έχουν αναπτυχθεί διάφορες διαγνωστικές μέθοδοι και εργαλεία παρακολούθησης της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι διαγνωστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν υπέρηχους για το σκοπό αυτό. Οι διαγνωστικές εξετάσεις με χρήση υπερήχων είναι μη επεμβατικές και εξασφαλίζουν πλέον σήμερα, την ανάκτηση χρήσιμων δεδομένων, τόσο για την εκτίμηση της λειτουργικής επάρκειας της προσπέλασης, όσο και για τον προσδιορισμό των μορφολογικών χαρακτηριστικών της. Ειδικότερα, οι λειτουργίες υπερήχων που χρησιμοποιούνται συχνότερα για το σκοπό αυτό, είναι οι λειτουργίες B-mode και Doppler, οι οποίες και θα αναλυθούν περισσότερο στην εργασία αυτή.

Λέξεις κλειδιά: Υπέρηχος, λειτουργική επάρκεια, αγγειακή προσπέλαση, αιμοκάθαρση, υπερηχογραφία Doppler

## ABSTRACT

Hemodialysis is a procedure that is performed in patients with end-stage renal disease and this procedure requires the creation of a vascular access.

For this purpose, the patient should undergo the necessary diagnostic tests before the creation of vascular access, in order to identify possible pathological conditions and find the most appropriate site to perform this procedure. It is also essential to monitor the maturation of vascular access, to ensure its functional adequacy so that dialysis can be performed. Also, even when a vascular access is considered mature, its functionality must be constantly monitored, as over time various complications and pathological conditions can arise, which lead to its thrombosis.

For all of the above stages, various diagnostic methods and tools have been developed to monitor the functional adequacy of vascular access. This paper presents the diagnostic methods that use ultrasounds for this purpose. Ultrasound diagnostic tests are non-invasive and now ensure the retrieval of useful data, both to the functional adequacy of vascular access and to determine its morphological characteristics. In particular, the ultrasound functions most often used for this purpose are the B-mode and Doppler functions, which will be further analyzed in this work.

**Keywords:** Ultrasound, functional adequacy, vascular access, hemodialysis, Doppler ultrasound

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</u>	<u>10</u>
<u>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Ο υπέρηχος στην διαγνωστική ιατρική.....</u>	<u>13</u>
<u>1.1. Είδη τεχνικών υπερηχογραφίας που χρησιμοποιούνται στην διαγνωστική ιατρική.....</u>	<u>14</u>
<u>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Αγγειακές προσπέλασεις.....</u>	<u>18</u>
<u>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Ο υπέρηχος στην αξιολόγηση της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση.....</u>	<u>23</u>
<u>Διερεύνηση της ωρίμανσης της αγγειακής προσπέλασης.....</u>	<u>23</u>
<u>Διερεύνηση της λειτουργικής επάρκειας μιας αγγειακής προσπέλασης.....</u>	<u>24</u>
<u>Παθολογικές καταστάσεις αγγειακής προσπέλασης.....</u>	<u>26</u>
<u>Τυπική Υπερηχογραφική εξέταση της αγγειακής προσπέλασης.....</u>	<u>31</u>
<u>Βήματα υπερηχογραφικού ελέγχου ενός αιμοκαθαιρόμενου ασθενή.....</u>	<u>32</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</u>	<u>40</u>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1:** Οι πιο συνηθισμένοι τύποι AFistula. Αριστερά: κερκίδο-κεφαλική αρτηριοφλεβική αναστόμωση, Μέση: τελικό-πλάγια συνένωση της βραχιόνιου αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα στην άρθρωση του αγκώνα, Δεξιά: τελικό-πλάγια συνένωση της βραχιολιού αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα πάνω από την άρθρωση του αγκώνα (ιδία επεξεργασία από εικόνα που ανακτήθηκε από την πηγή: Allon M, Robbin. Increasing Arteriovenous fistulas in hemodialysis patients: problems and solutions. *Kidney international*. Elsevier; 2002;62(4):1109–1124(20).....20

**Εικόνα 2:** Αριστερά: καμπύλης διαμόρφωσης αρτηριοφλεβικού μοσχεύματα, Δεξιά: ευθείας διαμόρφωσης αρτηριοφλεβικού μοσχεύματα (η εικόνα ανακτήθηκε από την πηγή: Elwakeel H, Graft K. Tula Access for Hemodialysis-HowtoMaintain in ClinicalPractice. *Hemodialysis. IntechOpen*; 2013 (27).....21

**Εικόνα 3:** Λειτουργία έγχρωμου Doppler στη βραχιόνιο αρτηρία. Εδώ φαίνεται η αλλαγή από τριφασική σε διφασική όταν ανοίγουμε και κλείνουμε αντίστοιχα τη γροθιά (η εικόνα ανακτήθηκε από το άρθρο: Wiese P, Nonnast-Daniel B. Colour Doppler ultrasound in dialysis access. *Nephrology Dialysis Transplantation*. Oxford University Press; 2004;19(8):1956–1963.(36).....26

## ΠΙΝΑΚΕΣ

**Πίνακας 1:** Κριτήρια στένωσης και ωρίμανσης αγγειακής προσπέλασης, όπως αναφέρεται στο: Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J. Εγχειρίδιο χρήσης υπερήχου για την εξέταση της αγγειακής προσπέλασης. Από τον Ειδικό στον Νοσηλευτή. Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J, editors. Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νοσηλευτών Αιμοκάθαρσης και Μεταμόσχευσης /Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νεφρολογικής Φροντίδας (EDTNA/ERCA); 2018(4).....28

**Πίνακας 2:** Κριτήρια στένωσης και ωρίμανσης αγγειακής προσπέλασης από διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις.....29



## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

AVF	Arteriovenous Fistula
AVG	Arteriovenous Graft
CVC	Central Venous Catheter
EDV	End -Diastolic Velocity
PRF	Pulse Repetition Frequency
PSV	Peak Systolic Velocity
RI	Resistive Index
TAN ή TAMEAN	Time Average Mean
AK	Αιμοκάθαρση

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του ρόλου των υπερήχων στον τομέα της παρακολούθησης της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση. Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, έγινε προσπάθεια απάντησης των παρακάτω βασικών ερωτημάτων:

- Με ποιο τρόπο χρησιμοποιούνται οι υπέρηχοι στη διαγνωστική ιατρική και ποια τα είδη των τεχνικών υπερηχογραφίας που χρησιμοποιούνται σήμερα;
- Τι είναι οι αγγειακές προσπελάσεις και ποια τα είδη τους;
- Πώς χρησιμεύουν οι υπέρηχοι στην αξιολόγηση της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση;

Τα δύο πρώτα ερωτήματα τέθηκαν με σκοπό την εισαγωγή του αναγνώστη σε βασικές γνώσεις που απαιτούνται για την περαιτέρω κατανόηση του βασικού θέματος της εργασίας και απαντιούνται στο 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της εργασίας, αντίστοιχα. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της εργασίας παραθέτονται οι χρήσεις των υπερήχων στη διερεύνηση της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, φαίνεται πως η δημιουργία αγγειακής προσπέλασης είναι απαραίτητη σε ασθενείς με νεφρική νόσο τελικού σταδίου, για την αποκατάσταση της νεφρικής τους λειτουργίας μέσω αιμοκάθαρσης. Για το λόγο αυτό, η εν λόγω διαδικασία αποτελεί ένα από τα βασικότερα στάδια της αιμοκάθαρσης, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή εάν η διαδικασία δεν πετύχει, τότε δεν μπορεί να γίνει και η αιμοκάθαρση (1) (2) (3).

Όσον αφορά στον τύπο της αγγειακής προσπέλασης, σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι με διαφορετικά χαρακτηριστικά, ενώ η επιλογή του κατάλληλου τύπου εξαρτάται κάθε φορά από την περίπτωση του ασθενούς και την κρίση της ομάδας των ιατρών που τον παρακολουθεί. Ωστόσο, ανάμεσα σε όλους τους υπάρχοντες τύπους, ο πιο ιδανικός ορίζεται πως είναι η αυτόλογη αρτηριοφλεβική προσπέλαση (Arteriovenous Fistula, AVF), για το λόγο κυρίως ότι χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών και την καλύτερη βατότητά της σε σχέση με άλλους τύπους (25).

Η διάρκεια ζωής μιας αγγειακής προσπέλασης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό και το μέγεθος των επιπλοκών που μπορεί να προκύψουν και από τις παθολογικές καταστάσεις

που μπορεί να εμφανίσει ο ασθενής. Ειδικότερα για τις παθολογικές αυτές καταστάσεις, είναι πολύ συχνές σε ασθενείς οι οποίοι υποβάλλονται σε αιμοκάθαρση, οι οποίοι είναι συνήθως άτομα μεγάλης ηλικίας, που εμφανίζουν μεγάλη νοσηρότητα, κυρίως διαβήτη και περιφερειακές αγγειοπάθειες. Επομένως, με βάση όσα προαναφέρθηκαν φαίνεται πως η συνεχής παρακολούθηση της λειτουργικής επάρκειας μιας αγγειακής προσπέλασης είναι απαραίτητη για την παράταση του χρόνου ζωής της (4) (44).

Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εργαλεία και μέθοδοι παρακολούθησης που αφορούν τόσο την ωρίμανση της αγγειακής προσπέλασης, όσο και τη λειτουργική της επάρκειας. Οι υπέρηχοι αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την εφαρμογή τους σε μη επεμβατικές μεθόδους διερεύνησης της λειτουργικής επάρκειας των αγγειακών προσπελάσεων.

Ανάμεσα με όλες της διαγνωστικές τεχνικές που χρησιμοποιούν υπέρηχους για το σκοπό αυτό, τα υπερηχογραφήματα Doppler κατέχουν τη σημαντικότερη θέση (3), καθώς επιτρέπουν την ταυτόχρονη μορφολογική μελέτη, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ακόμα και όταν ο ασθενής βρίσκεται στη μονάδα αιμοκάθαρσης (4). Επομένως, με τη χρήση υπερηχογραφίας Doppler γίνεται εξοικονόμηση χρόνου καθώς μπορούν να αποφευχθούν άσκοπες μετακινήσεις του ασθενούς σε άλλα τμήματα για περαιτέρω εξετάσεις (12) (3). Επιπλέον, η δυνατότητα χρήσης υπερήχων σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή τη στιγμή που γίνεται η παρακέντηση, βοηθάει στην πραγματοποίηση της αιμοκάθαρσης, ακόμα και όταν υπάρχουν πολύπλοκες προσπελάσεις (3).

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι επιπλοκές και οι παθολογικές καταστάσεις που μπορούν να προκύψουν από τη δημιουργία μιας αγγειακής προσπέλασης, αποτελούν συχνό φαινόμενο όταν υπάρχει νοσηρότητα. Με τη σειρά της η νοσηρότητα είναι συχνότερη σε μεγαλύτερες ηλικίες, συμπεριλαμβάνοντας συνήθως διαβήτη και αγγειακές νόσους. Επομένως, οι διαγνωστικές εξετάσεις με υπερήχους έχουν βοηθήσει και στη διεύρυνση του ορίου ηλικίας των ασθενών (45).

Όλα τα παραπάνω είναι ενδεικτικά στοιχεία της σημαντικότητας των υπερήχων στη διερεύνηση της λειτουργικότητας της αγγειακής προσπέλασης. Εντούτοις, η χρησιμότητα των υπερήχων δεν περιορίζεται μόνο στον τομέα της αιμοκάθαρσης με αγγειακές προσπελάσεις, αλλά και σε πλήθος άλλων εφαρμογών της διαγνωστικής ιατρικής, ενώ οι έρευνες συνεχίζονται ακόμα και σήμερα για τη βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης ενός τόσο σημαντικού ιατρικού εργαλείου (12) (46) (47).

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας είναι απόρροια μιας λεπτομερούς και εμπειριστατωμένης μεθοδολογικής έρευνας που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια της μελέτης του θέματος της εργασίας. Ειδικότερα, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η συλλογή πληροφοριών και δεδομένων από βιβλιογραφικές πηγές και αναφορές και η εις βάθος μελέτη και ανασκόπησή τους.

## Κεφάλαιο 1° Ο υπέρηχος στην διαγνωστική ιατρική

Οι υπέρηχοι (ultrasounds) είναι διαμήκη, ελαστικά κύματα, τα οποία έχουν συχνότητα μεγαλύτερη των 20 kHz, δηλαδή πάνω από το όριο της συχνότητας των κυμάτων που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με την ακοή του (5).

Οι υπέρηχοι άρχισαν να χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς ιατρικούς σκοπούς από το 1913, ενώ σήμερα οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται στην ιατρική και για θεραπευτικές εφαρμογές, στηριζόμενες στην αρχή της αύξησης της θερμοκρασίας των ιστών (6).

Η σύγχρονη διαγνωστική ιατρική χρησιμοποιεί τους υπέρηχους μέσω της έγχρωμης υπερηχογραφίας Doppler, κατά την οποία καταγράφεται η αλληλεπίδραση μεταξύ εκπεμπόμενων υπερήχων και βιολογικών ιστών. Η υπερηχογραφία θεωρείται ως μία μη καταστροφική για τους ανθρώπινους ιστούς διαγνωστική τεχνική εξέτασης, εάν αυτή διενεργηθεί σωστά. Ειδικότερα, μέχρι σήμερα δεν έχει ανιχνευτεί κάποιος σημαντικός κίνδυνος, όσον αφορά τη χρήση αυτής της μεθόδου, ενώ όπως έχει αποδειχθεί δεν έχει επίδραση στο γενετικό υλικό του εξεταζόμενου ατόμου (7).

Στη διαγνωστική ιατρική οι συχνότητες των υπερήχων που χρησιμοποιούνται συχνότερα κυμαίνονται μεταξύ 1 και 20 MHz και η βασική αρχή που εφαρμόζεται είναι αυτή της ανάκλασης των υπερήχων από διάφορες δομές του σώματος, όπως για παράδειγμα διαχωριστικές επιφάνειες οργάνων, κοιλιοτήτων ή παθολογικών μορφωμάτων. Στη συνέχεια, οι ανακλώμενοι από τις δομές του σώματος υπέρηχοι, συλλέγονται και αναλύονται με τη χρήση ειδικών οργάνων και υπολογιστών, ώστε να μπορούν να δώσουν χρήσιμες διαγνωστικές πληροφορίες (8).

Συγκεκριμένα, για την παραγωγή και ανίχνευση των ιατρικών υπερήχων χρησιμοποιείται ένας «ηχοβολέας» ή αλλιώς «μεταλλάκτης» ή «μετατροπέας» ή απλά «κεφαλή», ο οποίος είναι μία συσκευή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηχητικά κύματα (6).

Η αρχή λειτουργίας του μετατροπέα στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Κατά το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο δημιουργούνται ετερόνυμα φορτία στα άκρα ενός υλικού, μετά τη συμπίεσή του ή τον εκφυλισμό του και αντιστρόφως, εάν σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό επιτευχθεί η δημιουργία διαφοράς τάσης, τότε αυτό συμπιέζεται ή εκφυλίζεται (6). Τα υλικά

που μπορούν να εμφανίζουν αυτό το φαινόμενο είναι κάποιοι κρύσταλλοι, όπως οι κρύσταλλοι χαλαζία και κάποια κεραμικά υλικά, όπως οξειδία τιτανίου, ζirkονίου, κ.α. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι το φαινόμενο αυτό μπορούν να εμφανίσουν και υλικά, όπως το PVDF (polyvinylidene fluoride) (9). Συγκεκριμένα, στην ιατρική, για την παραγωγή υπέρηχων χρησιμοποιείται ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, στο οποίο εφαρμόζεται εναλλασσόμενο ρεύμα στα άκρα του, με αποτέλεσμα αυτό να κινείται περιοδικά. Με τον τρόπο αυτό παράγονται υπέρηχοι από την κίνηση των γειτονικών στο υλικό, μορίων αέρα. Στη συνέχεια, οι υπέρηχοι ανακλώνται και σκεδάζονται από τους ιστούς του σώματος και επιστρέφουν στον ίδιο υλικό, όπου και ξαναφέρουν σε παλμική κίνηση την επιφάνειά του. Έτσι δημιουργείται και πάλι διαφορά τάσης στα άκρα του υλικού, η οποία και καταγράφεται μέσω υπολογιστών, δίνοντας χρήσιμες πληροφορίες. Οι πληροφορίες που συλλέγονται έχουν να κάνουν τόσο με το βάθος της διείσδυσης του κύματος στο σώμα πριν την ανάκλαση, όσο και από την αλλαγή στη συχνότητα του κύματος μετά την ανάκλαση (6).

### **Είδη τεχνικών υπερηχογραφίας που χρησιμοποιούνται στην διαγνωστική ιατρική.**

Υπάρχουν πολλά είδη τεχνικών υπερηχογραφίας που χρησιμοποιούνται στη διαγνωστική ιατρική. Οι διαφορές στις τεχνικές υπερηχογραφίας έχουν να κάνουν με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων, τον τρόπο λειτουργίας τους, στις φυσικές αρχές που διέπουν τον τρόπο λειτουργίας κάθε τεχνικής, όσο και στον τρόπο απεικόνισης των ανακλώμενων σημάτων (6).

Ένα από τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της υπερηχογραφίας είναι οι συχνότητες εκπομπής που χρησιμοποιούνται (6). Ως συχνότητα (F) ορίζεται ο αριθμός των γεγονότων ανά μονάδα χρόνου, ενώ ειδικότερα στην υπερηχογραφία, συχνότητα είναι οι κύκλοι ανά δευτερόλεπτο (κύκλοι/sec) (10). Οι συχνότητες επιλέγονται κάθε φορά με βάση το επιθυμητό επίπεδο απορρόφησης, το οποίο θα πρέπει να είναι γνωστό εκ των προτέρων. Ως εκ τούτου, οι συχνότητες καθορίζονται αναλόγως το βάθος στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο που βρίσκεται προς διερεύνηση, καθώς και την διακριτική ικανότητα της εικόνας που επιθυμείται να ληφθεί (6).

Άλλη μία αρχή που είναι σημαντική στην υπερηχογραφία, είναι η περίοδος (T), δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να συμπληρωθεί ένας κύκλος. Η περίοδος (T) υπολογίζεται σε δευτερόλεπτα και συνδέεται με την συχνότητα μέσω της σχέσης:  $T=1/F$  (10).

Επίσης, το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) είναι μία ακόμα σημαντική αρχή της υπερηχογραφίας στην οποία υπολογίζεται σε mm (10) και καθορίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε κεφαλής εκπομπής υπερήχων και συγκεκριμένα από το πάχος της (6).

Άλλες σημαντικές αρχές της υπερηχογραφίας είναι:

- Η ταχύτητα διάδοσης (C), η οποία είναι η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων στο μέσο διάδοσής τους. Η C υπολογίζεται σε m/s και συνδέεται με την συχνότητα και το μήκος κύματος, μέσω της σχέσης:  $\lambda=C/F$ . Η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από το μέσο διάδοσης των υπερήχων και συγκεκριμένα από την ελαστικότητα και την πυκνότητά του. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα διάδοσης είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του λόγου του μέτρου της ελαστικότητας του μέσου, προς την πυκνότητά του. (10).
- Η ισχύς (P), η οποία είναι το ποσό ενέργειας που παράγεται ή μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου και υπολογίζεται σε (W) (10).
- Η ένταση (I), η οποία είναι η συγκέντρωση της ισχύος προς την μονάδα του χώρου ( $I=P/A$ ) και υπολογίζεται σε  $W/m^2$  (10).
- Το εύρος κύματος (A), που είναι η μέγιστη μεταβολή του ήχου ή αλλιώς η μονάδα μέτρησης του ποσού της ενέργειας σε μια ηχητική κυματομορφή (10).

Όσον αφορά στις μεθόδους απεικόνισης, η πιο απλή μέθοδος είναι η στατική υπερηχογραφία, κατά την οποία σαρώνεται μια επιφάνεια του σώματος από μια δέσμη υπερήχων και οι ανακλάσεις καταγράφονται ως ηλεκτρικά σήματα. Τα σήματα αυτά καταγράφονται ως πλάτος (ένταση) των ανακλάσεων σε συνάρτηση με το χρόνο και επομένως με την απόσταση του ανιχνευτή από την επιφάνεια ανάκλασής του. Έτσι, μέσα από μετατροπή των σημάτων, μπορούν να ανιχνευτούν τα χαρακτηριστικά κάθε επιφάνειας ανάκλασης. Τα σήματα αυτά μπορούν να απεικονιστούν μονοδιάστατα με τον τρόπο καταγραφής (A mode Amplitude) ή να μετατραπούν σε δισδιάστατα σήματα (B mode, Brightness mode) τα οποία και αναπαριστούν την ένταση των ανακλώμενων παλμών ως επίπεδο φωτεινότητας. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των ανωτέρω απεικονίσεων τα σήματα μπορούν να μετατραπούν σε γραφική απεικόνιση TM (time-motion) mode ή M (Allon) mode, της κίνησης των επιφανειών που έγινε η ανάκλαση,

κατά μήκος του άξονα της δέσμης υπερήχων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απεικόνιση B mode αναφέρεται και ως υπερηχοτομογραφία (11).

Εκτός των παραπάνω μεθόδων υπερηχογραφίας και υπερηχοτομογραφίας, σήμερα υπάρχουν και μέθοδοι απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο (real-time), κατά τα οποίες ανιχνεύονται και επεξεργάζονται σήματα ανακλάσεων με πολύ υψηλές ταχύτητες. Στα συστήματα αυτά παρουσίασης εικόνων υπερηχογραφίας και υπερηχοτομογραφίας, σχηματίζονται πολλές εικόνες το δευτερόλεπτο, ώστε να μπορεί να απεικονιστεί η κίνηση της επιφάνειας που παρακολουθείται. Συνήθως στις απεικονίσεις αυτές χρησιμοποιείται μια σειρά από μεταλλάκτες, οι οποίοι σαρώνουν μια επιφάνεια με ταχύτητα η οποία καθορίζεται από την ταχύτητα που κινείται η επιφάνεια που εξετάζεται (12).

Εκτός των ανωτέρω τεχνικών παλμικής μετάδοσης, στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κατά κόρον και τεχνικές διάγνωσης με υπερήχους, οι οποίες στηρίζονται στο φαινόμενο Doppler. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται με σκοπό την καταγραφή κινούμενων επιφανειών, για την περαιτέρω μελέτη τους. Ειδικότερα, στην τεχνική υπερήχων Doppler ανιχνεύονται πιθανές διαφορές στις συχνότητες ανάμεσα στους εκπεμπόμενους και στους ανακλώμενους ηχητικούς παλμούς και με αυτόν τον τρόπο παίρνονται ποιοτικές πληροφορίες για την κίνηση των ανακλαστικών επιφανειών. Συγκεκριμένα, κατά το φαινόμενο Doppler, όταν μια πηγή η οποία παράγει ήχο κινείται ως προς έναν «παρατηρητή» ή αλλιώς τον δέκτη του ηχητικού κύματος, τότε ο δέκτης αντιλαμβάνεται διαφορετική συχνότητα ήχου από αυτή που εκπέμπει η πηγή. Ακόμα πιο συγκεκριμένα, όταν η πηγή του ήχου πλησιάζει τον δέκτη, τότε η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο δέκτης αυξάνεται και αντίστροφα, όταν η πηγή απομακρύνεται από τον δέκτη, τότε η συχνότητα που φτάνει στον δέκτη μειώνεται (13).

Από τις παραπάνω τεχνικές, οι πιο χρήσιμες και ευρέως χρησιμοποιούμενες για την εκτίμηση της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης είναι οι B-mode και Doppler. Ειδικότερα, με την υπερηχογραφία Doppler, μπορούν να ανιχνευτούν οι ταχύτητες ροής του αίματος και να γίνει απεικόνιση τους είτε μέσω καμπυλών (συνεχές Doppler), είτε έγχρωμα (Έγχρωμη απεικόνιση Doppler, Color Doppler). Στην έγχρωμη απεικόνιση η ταχύτητα ροής βρίσκεται ταυτόχρονα με την απόσταση των περιοχών ανάκλασης. Αξίζει να σημειωθεί πως στο αίμα οι κυριότεροι ανακλαστικοί παράγοντες είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Όσον αφορά στην απεικόνιση, η έγχρωμη εικόνα αναπαρίσταται πάνω στην ασπρόμαυρη εικόνα



υπερηχοτομογραφίας και οι ταχύτητες ροής προσδιορίζονται αναλόγως του χρώματος της κάθε περιοχής (13).

Πριν όμως γίνει η ανάλυση των τεχνικών εκτίμησης της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση, με χρήση τεχνικών υπερήχων, αξίζει να αναφερθούν εν συντομία κάποια βασικά χαρακτηριστικά των αγγειακών προσπελάσεων.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Αγγειακές προσπελάσεις

Οι αγγειακές προσπελάσεις είναι τεχνητές αρτηριοφλεβικές επικοινωνίες (fistula), η δημιουργία των οποίων είναι απαραίτητη στις μέρες μας με σκοπό την αιμοκάθαρση. Συγκεκριμένα, οι αγγειακές προσπελάσεις δημιουργούνται σε ασθενείς οι οποίοι πρόκειται να υποβληθούν ή ήδη υποβάλλονται σε θεραπεία νεφρικής υποκατάστασης μέσω αιμοκάθαρσης. Οι ασθενείς αυτοί είναι άτομα με χρόνια νεφρική ανεπάρκεια (ΧΝΑ) τελικού σταδίου (14).

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι αγγειακών προσπελάσεων, που όμως μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες (2):

- Την αρτηριοφλεβική επικοινωνία (Arteriovenous Fistula, AVF),
- Την αγγειακή προσπέλαση με χρησιμοποίηση αρτηριοφλεβικού μοσχεύματος (Arteriovenous Graft, AVG) και
- Την αγγειακή προσπέλαση με χρησιμοποίηση Κεντρικού Φλεβικού Καθετήρα (Central Venous Catheter, CVC).

Οι παραπάνω κατηγορίες μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε (2):

- Μόνιμους καθετήρες
- Προσωρινούς καθετήρες

Εκτός της διάρκειας παραμονής στο σώμα του ασθενούς, ο κάθε τύπος αγγειακής προσπέλασης έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, τα οποία εκτός των άλλων, ορίζουν και την καταλληλότητά τους για κάθε περίπτωση.

Αρχίζοντας από την AVF, η οποία όπως αναφέρθηκε, είναι ένας τύπος μόνιμης αγγειακής προσπέλασης, μπορεί να ειπωθεί πως ένα από τα βασικά της χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα εφαρμογής της καθολικά. Για το λόγο αυτό, αλλά και για την ευκολία δημιουργίας της, τη μεγάλη διάρκεια ζωής της και τη χαμηλή συχνότητα επιπλοκών, αποτελεί σήμερα τον πιο ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο τύπο αγγειακής προσπέλασης, αλλά και την πρώτη επιλογή ανάμεσα σε όλους τους υπάρχοντες τύπους (15).

Οι αγγειακές προσπελάσεις διαχωρίζονται ακόμα σε (16) (17):

- Πρωτογενείς και

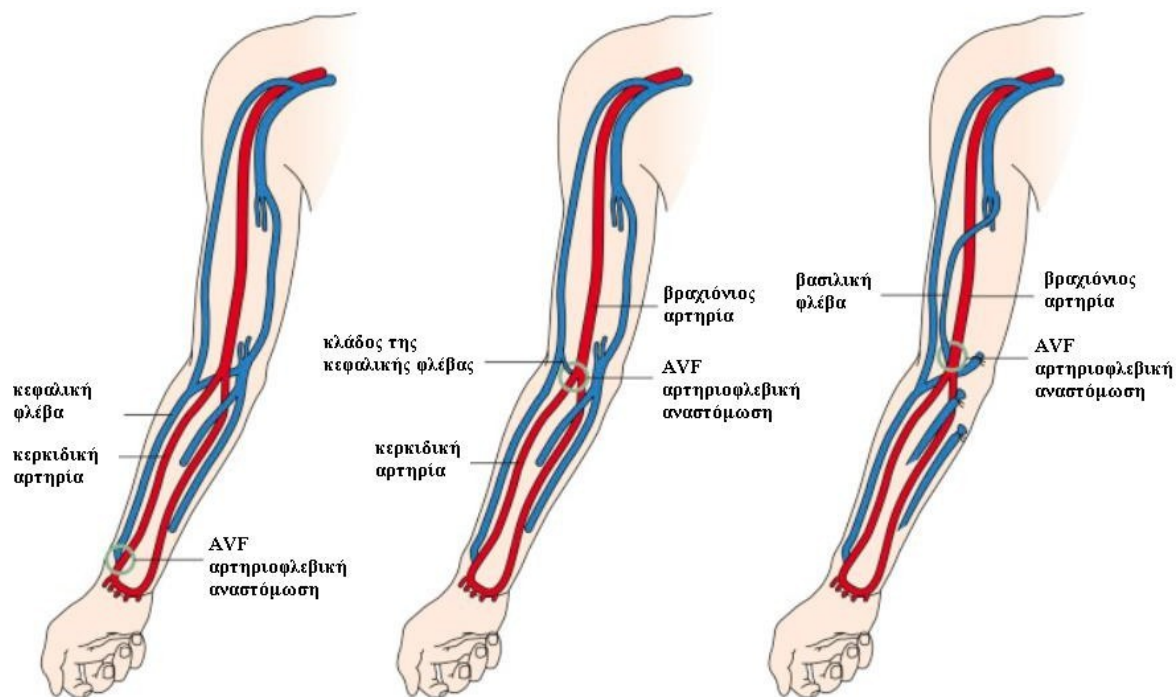
- Δευτερογενείς

Η συνηθέστερη αρτηριοφλεβική αναστόμωση είναι η κερκίδο-κεφαλική αρτηριοφλεβική επικοινωνία, η οποία γίνεται στο αντιβράχιο, λίγο κεντρικότερα από την περικαρπική άρθρωση, μέσω πλάγιο-πλάγιας ή τελικό-πλάγιας συνένωσης της κερκιδικής αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα. Ο τύπος αυτός της αρτηριοφλεβικής αναστόμωσης μπορεί να γίνει και στον καρπό (Εικόνα 1, Αριστερά). Η επόμενη επιλογή είναι, η αναστόμωση να διενεργηθεί στην άρθρωση του αγκώνα ή λίγο πιο πάνω από τον αγκώνα (Εικόνα 1, Κέντρο και Δεξιά αντίστοιχα). Στον τύπο αυτό γίνεται τελικο-πλάγια συνένωση της βραχιονίου αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα (16).

Μεταξύ πλάγιο-πλάγιας συνένωσης και τελικο-πλάγιας συνένωσης, αυτή που προτιμάται είναι η δεύτερη, καθώς στην τελικο-πλάγια συνένωση το περιφερικό τμήμα της φλέβας απολινώνεται, με αποτέλεσμα, να αποφεύγονται επιπλοκές λόγω αυξημένης φλεβικής πίεσης και εξοίδησης του άκρου (16).

Η δευτερογενής fistula πραγματοποιείται σε κεντρικότερα αγγεία, όταν κάποιος από τους παραπάνω τύπους αρτηριοφλεβικής αναστόμωσης δεν μπορεί να διενεργηθεί στον ασθενή. Αυτός ο τύπος fistula έχει περισσότερες πιθανότητες για ωρίμανση, ώστε να γίνει ικανή για παρακέντηση και αιμοκάθαρση, όμως έχει επίσης και υψηλότερο ποσοστό δημιουργίας θρομβώσεων σε σχέση με τους προαναφερθέντες τύπους fistula. Η διαδικασία δημιουργίας δευτερογενούς fistula έχει ως εξής: παρασκευάζεται στο ύψος του βραχίονα βασιλική φλέβα, ώστε να μπορεί να μετακινηθεί σε πιο επιφανειακό επίπεδο και να αναστομωθεί με τη βραχιόνιο αρτηρία. Επίσης, μετά από την παρασκευή της βασιλικής φλέβας μπορεί να πραγματοποιηθεί μετάθεση της βασιλικής φλέβας (18).

Όταν για τη δημιουργία αγγειακών προσπελάσεων δεν μπορεί να υλοποιηθεί καμία από τις παραπάνω επιλογές, τότε χρησιμοποιείται ο τύπος αγγειακής προσπέλασης αρτηριοφλεβικού μοσχεύματος (Arteriovenous Graft, AVG) (19).



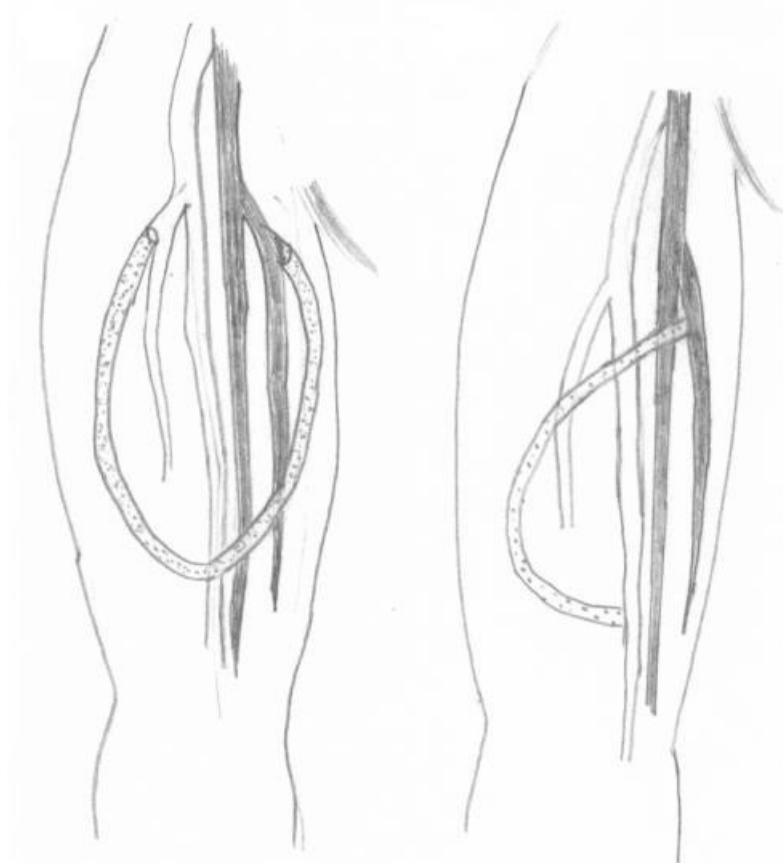
Εικόνα 1: Οι πιο συνηθισμένοι τύποι AFistula. Αριστερά: κερκίδο-κεφαλική αρτηριοφλεβική αναστόμωση, Μέση: τελικο-πλάγια συνένωση της βραχιόνιου αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα στην άρθρωση του αγκώνα, Δεξιά: τελικο-πλάγια συνένωση της βραχιολίου αρτηρίας με την κεφαλική φλέβα πάνω από την άρθρωση του αγκώνα (ιδία επεξεργασία από εικόνα που ανακτήθηκε από την πηγή: Allon M, Robbin. Increasing Arteriovenous fistulas in hemodialysis sis patients: problems and solutions. *Kidney international*. Elsevier; 2002;62(4):1109–1124 (20).

Στον τύπο AVG χρησιμοποιείται ένα συνθετικό μόσχευμα (το πιο συνηθισμένο υλικό που χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό είναι το PTFE (polytetrafluoroethylene) ή ένας αγωγός από ετερόλογο βιολογικό ιστό, για τη συνένωση αρτηρίας και φλέβας. Τα αρτηριοφλεβικά αυτά μοσχεύματα μπορεί να είναι καμπύλης διαμόρφωσης ή ευθείας διαμόρφωσης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Επίσης, ο AVG τύπος αγγειακής προσπέλασης μπορεί να δημιουργηθεί και στο ύψος της μασχάλης, αλλά και στα κάτω άκρα, όπως στον μηρό του ασθενή (19).

Συγκρίνοντας τους δύο βασικούς τύπους αγγειακών προσπελάσεων AVF και AVG έχουμε:

- Χαμηλότερα ποσοστά μολύνσεων στον τύπο AVF (21),
- Χαμηλότερα ποσοστά θρομβώσεων στον τύπο AVF (22),

- Μεγαλύτερη χρονική περίοδος ωρίμανσης στον τύπο AVF (2 μήνες για την AVF και μερικές βδομάδες για την AVG) (23) (24).
- Υψηλότερα ποσοστά πρωτογενούς αποτυχίας στον τύπο AVF (25) και
- Χαμηλότερα ποσοστά δευτερογενούς αποτυχίας στον τύπο AVF (26).



Εικόνα 2: Αριστερά: καμπύλης διαμόρφωσης (τύπου αγκύλης) αρτηριοφλεβικά μοσχεύματα, Δεξιά: ευθείας διαμόρφωσης αρτηριοφλεβικά μοσχεύματα (η εικόνα ανακτήθηκε από την πηγή: Elwakeel H, Graft

K. Tula Access for Hemodialysis-HowtoMaintain in ClinicalPractice. Hemodialysis. IntechOpen; 2013 (27).

Επομένως, όπως προαναφέρθηκε, ο τύπος AVF προτιμάται έναντι του τύπου AVG, όμως η επιλογή του κατάλληλου τύπου για κάθε περίπτωση εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως: το βάθος και η θέση που επιθυμείται να δημιουργηθεί η αγγειακή προσπέλαση

(επιφανειακές φλέβες ή βαθύτερες φλέβες και κεντρικές ή περιφερικές φλέβες αντίστοιχα), το επιθυμητό μήκος της αρτηριοποιημένης φλέβας, κ.α. (19).

Παρόλα αυτά, αν και υπάρχει μεγάλο εύρος επιλογών μεταξύ των διαφόρων τύπων AVF και AVG, εντούτοις και οι δύο αυτοί τύποι μπορεί να δυσλειτουργήσουν σε κάποιες περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η τοποθέτηση ενός κεντρικού φλεβικού καθετήρα, διαδικασία η οποία όμως αποτελεί και την τελευταία επιλογή, λόγω του υψηλού ποσοστού επιπλοκών που τη συνοδεύουν (28).

Η επιλογή του κατάλληλου αρτηριοφλεβικού μοσχεύματος και η περιοχή στην οποία αυτό θα τοποθετηθεί, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και καθορίζεται μέσω της προεγχειρητικής χαρτογράφησης. Η προεγχειρητική χαρτογράφηση γίνεται με τον υπέρηχο, ενώ έχει πρώτα προηγηθεί η λήψη του ιατρικού ιστορικού του ασθενούς (13).

Μετά την τοποθέτηση του αρτηριοφλεβικού μοσχεύματος είναι απαραίτητη και η διερεύνηση της λειτουργικής επάρκειας των αγγειακών προσπελάσεων

### **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Ο υπέρηχος στην αξιολόγηση της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση**

Η εξέταση για την αξιολόγηση της λειτουργικής επάρκειας της αγγειακής προσπέλασης για αιμοκάθαρση, πραγματοποιείται μέσω φυσικής εξέτασης του ασθενούς, αλλά και με τη χρήση υπέρηχων. Η βασική υπερηχογραφική μέθοδος είναι η έγχρωμη υπερηχογραφία Doppler (4).

Σκοπός των παραπάνω εξετάσεων είναι κυρίως ο εντοπισμός παθολογικών καταστάσεων της προσπέλασης, αλλά και ο εντοπισμός του βάθους της προσπέλασης σε όλο το μήκος των αγγείων, ώστε να εντοπιστούν τα δύσκολα σημεία για παρακέντηση. Για την ανίχνευση παθολογικών καταστάσεων απαιτείται η εξέταση της προσπέλασης τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια, αλλά και η εξέταση του χώρου γύρω από τα αγγεία, για τυχόν στενώσεις, αιματώματα, οιδήματα, κ.α.. Η πορεία της εξέτασης ξεκινά από την αρτηρία που τροφοδοτεί την προσπέλαση, συνεχίζει ως την αναστόμωση και μετέπειτα προχωρά στην φλεβική πορεία έως τα κεντρικά αγγεία (4).

#### **Διερεύνηση της ωρίμανσης της αγγειακής προσπέλασης**

Εκτός των ανωτέρω διαγνωστικών μετρήσεων και εξετάσεων με τη χρήση υπέρηχων, μπορεί να προσδιοριστεί και η πορεία της ωρίμανσης μιας αγγειακής προσπέλασης, καθώς η τελευταία θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από επαρκή λειτουργικότητα ώστε να χρησιμοποιηθεί για παρακέντηση. Επίσης, σε περίπτωση που μια αγγειακή προσπέλαση δεν καταφέρει να ωριμάσει στον αναμενόμενο χρόνο, τότε με τη βοήθεια των υπέρηχων μπορεί να διαγνωστεί και η αιτία της αποτυχίας ωρίμανσής της, ώστε να διενεργηθούν προσπάθειες διάσωσης της προσπέλασης, μέσω μιας πιθανούς επέμβασης (29).

Συνήθως μια αγγειακή προσπέλαση θεωρείται μη ώριμη και αποτυγχάνει όταν (20):

- Δεν επαρκεί η αρτηριακή παροχή αίματος, είτε λόγω στενώσεων (κεντρική στένωση ή περι αναστομωτική στένωση αρτηρίας, περιφερική στένωση ή περιαναστομωτική στένωση φλέβας), είτε λόγω μικρής διαμέτρου αρτηρίας, αναστόμωσης ή φλέβας.
- Η θέση που βρίσκεται η προσπέλαση είναι πολύ βαθιά, ώστε να είναι δύσκολη η παρακέντηση.

- Η διατασιμότητα της φλέβας είναι μικρή.
- Υπάρχουν παράπλευροι φλεβικοί κλάδοι με μεγάλο μέγεθος.

Επομένως, για να επιτευχθεί μια επιτυχής αιμοκάθαρση θα πρέπει η αγγειακή προσπέλαση να χαρακτηρίζεται από επαρκή ροή αίματος, η φλέβα να έχει επαρκές μήκος και διάμετρο και να βρίσκεται σε κατάλληλη θέση, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η παρακέντηση. Σύμφωνα με πρόσφατες βιβλιογραφικές αναφορές, ώριμη αγγειακή προσπέλαση θεωρείται αυτή που ικανοποιεί των «κανόνα των 6» (rule of sixes). Δηλαδή να ικανοποιεί τις παρακάτω προϋποθέσεις: προσπέλαση με φλέβα σε βάθος μικρότερο των 6 mm, φλέβα με διάμετρο 6 mm ή μεγαλύτερη, μήκος παρακεντημένης φλέβας > 6cm (30) και ροή μεγαλύτερη των 600 ml/a (4) (20) (31).

#### **Διερεύνηση της λειτουργικής επάρκειας μιας αγγειακής προσπέλασης**

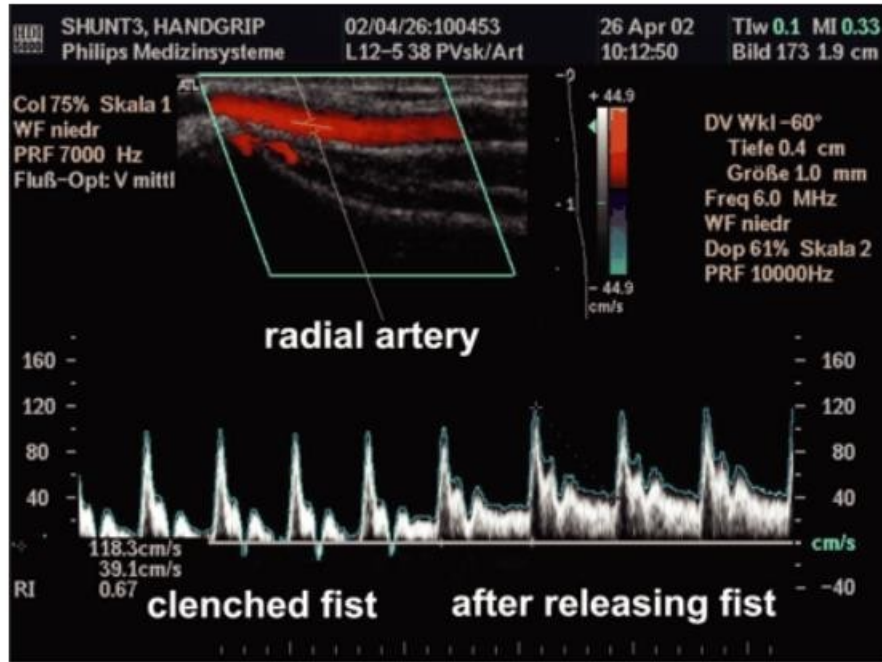
Εφόσον μια αγγειακή προσπέλαση θεωρηθεί ώριμη, τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί αιμοκάθαρση. Όμως, με το πέρασμα του χρόνου μπορούν να προκύψουν διάφορες επιπλοκές στην ομαλή λειτουργία της αγγειακής προσπέλασης, εξαιτίας στενώσεων, αιματωμάτων, φλεγμονών, κ.α. Οι παθολογικές αυτές καταστάσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν έγκαιρα για την ομαλή έκβαση της αιμοκάθαρσης, για τη διάσωση της αγγειακής προσπέλασης, αλλά και για την παράταση του χρόνου ζωής της (4).

Μια από τις πιο σημαντικές εξετάσεις, για την παρακολούθηση της ομαλής λειτουργίας της αγγειακής προσπέλασης είναι η μέτρηση της ροής του αίματος (A). Η εξέταση αυτή πρέπει να πραγματοποιείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα πριν τη διαδικασία της αιμοκάθαρσης, ενώ υπάρχουν και τεχνικές μέτρησης της ροής και κατά τη διάρκεια της αιμοκάθαρσης. Σήμερα υπάρχουν τεχνικές μέτρησης της ροής του αίματος με υπερήχους, οι οποίες μπορούν να εξυπηρετήσουν και τις δύο περιπτώσεις. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η με τη μέθοδο της έγχρωμης υπερηχογραφίας Doppler. Επίσης, η μέτρηση της ροής του αίματος με υπερήχους Doppler μπορεί να πραγματοποιηθεί και πριν την αιμοκάθαρση, παρέχοντας επιπλέον πληροφορίες και για μορφολογία της προσπέλασης (32).



Συγκεκριμένα, όσον αφορά στις μετρήσεις ροής αίματος με χρήση Doppler, τα στοιχεία που παρέχονται είναι οι τιμές της μέσης ταχύτητας ροής ή αλλιώς της μέσης χρονικής τιμής της ταχύτητας ροής (TAN ή TAMEAN, Time Average Mean velocity) και της διαμέτρου του αγγείου. Ειδικότερα, όσον αφορά στις AVG συστήνεται η ροή να είναι  $> 800 \text{ ml/min}$  και για τις AVF  $> 600 \text{ ml/min}$ . Για τιμές μικρότερες των προαναφερόμενων, η ροή δεν επαρκεί, ενώ η μείωση των τιμών της ροής (η οποία παρατηρείται μέσω τακτικών ελέγχων) κατά 20 με 25%, είναι ενδεικτική της δημιουργίας στενώσεων (4) (33) (34) (35). Όσον αφορά στο σημείο που γίνεται η μέτρηση της ροής του αίματος μια AVG μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε σημείο της, ενώ σε μια AVF η μέτρηση συστήνεται να πραγματοποιείται στη βραχιόνιο αρτηρία, καθώς όπως έχει αποδειχθεί η ροή στη συγκεκριμένη αρτηρία σχετίζεται άμεσα με τη ροή της αγγειακής προσπέλασης. Αντίθετα, η τυρβώδης ροή σε όλο το μήκος της φλέβας δίνει επισφαλή αποτελέσματα (4).

Άλλο ένα στοιχείο που η ερμηνεία του μας δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τη λειτουργική επάρκεια της αγγειακής προσπέλασης είναι ο δείκτης αντίστασης (RI, Resistive Index). Ο δείκτης αντίστασης δείχνει την αντίσταση ροής ενός αγγείου και ισοδυναμεί με το πηλίκο PSV - EDV προς PSV. Όπως έχει διαπιστωθεί, η ροή αλλάζει όταν δημιουργηθεί μια αγγειακή προσπέλαση και μάλιστα ο βαθμός αντίστασης μας δίνει πληροφορίες και για την πορεία της ωρίμανσής της. Συγκεκριμένα, όταν δημιουργείται μια αγγειακή προσπέλαση, η περιφερική αρτηρία, η οποία συνήθως παρουσιάζει τριφασική καμπύλη ροής, αναστομώνεται με μία φλέβα, η οποία δεν έχει συστολική επιτάχυνση και εμφανίζει μία συνεχή ροή με χαμηλή ταχύτητα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα αγγειακό δίκτυο με πολύ χαμηλή αντίσταση (χαμηλό RI) και η αρτηρία γίνεται διφασική (Εικόνα 3) (36).



Εικόνα 3: Λειτουργία έγχρωμου Doppler στη βραχιόνιο αρτηρία. Εδώ φαίνεται η αλλαγή από τριφασική σε διφασική όταν ανοίγουμε και κλείνουμε αντίστοιχα τη γροθιά (η εικόνα ανακτήθηκε από το άρθρο: Wiese P, Nonnast-Daniel B. Colour Doppler ultrasound in dialysis access. Nephrology Dialysis Transplantation. Oxford University Press; 2004;19(8):1956–1963. (36).

### Παθολογικές καταστάσεις αγγειακής προσπέλασης

Από τις συχνότερες επιπλοκές που μπορούν να εμφανιστούν με τη δημιουργία αγγειακής προσπέλασης είναι η εμφάνιση στενώσεων. Οι στενώσεις θα πρέπει να αντιμετωπιστούν έγκαιρα, ώστε να επιμηκυνθεί η διάρκεια ζωής της αγγειακής προσπέλασης και να αποφευχθεί η δημιουργία θρομβώσεων (37). Οι στενώσεις μπορούν να εντοπιστούν τόσο στις φλέβες, όσο και στις αρτηρίες (38).

Όσον αφορά στις στενώσεις που δημιουργούνται σε φλέβες, αυτές συνήθως εντοπίζονται σε κεντρικές φλέβες, στο κεντρικό μέρος των αγγείων και σε σημεία των αγγείων κοντά στο τέλος της αναστόμωσης. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ενδοθηλιακή υπερπλασία των φλεβών. Ο εντοπισμός τους με υπερηχογραφία πραγματοποιείται μέσω της παρατήρησης της αλλαγής των

τιμών των δεικτών PSV και RI και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί έγχρωμη Doppler για να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα (38) (39).

Μετά από την ανίχνευση στενώσεων στις φλέβες, πραγματοποιείται διερεύνηση του ποσοστού τους, μέσω του παρακάτω τύπου (4):

$$\text{οσοστό στέωσης \%} = \frac{\text{αχλή δίαερος αυού} - \text{υοιόεη δίαερος αυού}}{\text{αχλή δίαερος αυού} \times 100}$$

Στον παραπάνω τύπο, με τον όρο υπολειπόμενη διάμετρος εννοείται η ελάχιστη ενδοαυλική διάμετρος.

Σχετικά με τις αρτηριακές στενώσεις, αυτές μπορούν να εντοπιστούν σε οποιοδήποτε σημείο της αρτηρίας, αν και συνήθως εμφανίζονται στην περιοχή πριν την αναστόμωση. Ο λόγος εμφάνισής τους είναι κυρίως λόγω της προοδευτικής αρτηριοσκλήρυνσης. Όπως οι φλεβικές στενώσεις, έτσι και οι αρτηριακές, ανιχνεύονται μέσω της μείωσης του αυλού και της μεγάλης αύξησης του PSV (38).

Γενικότερα για τις αγγειακές στενώσεις, η σημαντικότητά τους κρίνεται από διάφορους παράγοντες με βάση κριτήρια που υιοθετούν διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις. Όμως, είναι κοινά αποδεκτό πως η σημαντικότητα μιας στένωσης εξαρτάται τόσο από μορφολογικά κριτήρια, όσο και από αιμοδυναμικά κριτήρια (39). Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1 και Πίνακας 2) παρουσιάζονται τα κριτήρια, οι τιμές των οποίων μπορούν να διαπιστωθούν με υπερήχους, και με τα οποία μία στένωση θεωρείται σημαντική ή μία αγγειακή προσπέλαση δεν θεωρείται ώριμη, όπως αναφέρονται σε πρόσφατες επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Πίνακας 1: Κριτήρια στένωσης και ωρίμανσης αγγειακής προσπέλασης, όπως αναφέρεται στο: Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J. Εγχειρίδιο χρήσης υπερήχου για την εξέταση της αγγειακής προσπέλασης. Από τον Ειδικό στον Νοσηλευτή. Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J, editors. Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νοσηλευτών Αιμοκάθαρσης και Μεταμόσχευσης /Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νεφρολογικής Φροντίδας (EDTNA/ERCA); 2018 (4).

Μορφολογικά Κριτήρια		
Στένωση > 50%		
Λειτουργικά Κριτήρια		
Ταχύτητα (PSV με Doppler US)	> 400 cm/s (που δε μετρήθηκε στην αναστόμωση)	
	PSV ratio (στη στένωση / προστενωτική)	NAVF: 2.0-3.0 AVG: 2
Ενδεικτική τιμή QA	nAVF: < 500 ml/min	
	AVG: < 600 ml/min	
Έμμεσα κριτήρια στην βραχιόνια αρτηρία	Κύμα υψηλής αντίστασης στο Doppler	
	RI > 0.6	
	Μείωση της ροής	
Μη επαρκής ωρίμανση		
Διάμετρος	< 4 mm.	
Q <sub>A</sub>	< 500 ml/min	

Πίνακας 1. Κριτήρια σημαντικής στένωσης και μη επαρκούς ωρίμανσης

**PSV:** Η υψηλότερη συστολική ταχύτητα  
**nAVF:** Αυτόλογη αρτηριοφλεβική αναστόμωση  
**AVG:** Αρτηριοφλεβικό Μόσχευμα  
**Q<sub>A</sub>:** Ροή  
**RI:** Δείκτης αντίστασης

Πίνακας 2: Κριτήρια στένωσης και ωρίμανσης αγγειακής προσπέλασης από διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις.	
<b>Μορφολογικά Κριτήρια</b>	
Στένωση > 50%(40) Μείωση της διαμέτρου <2mm(40)	
<b>Λειτουργικά Κριτήρια</b>	
Ταχύτητα (PSV με Doppler US)	> 400 cm/s (που δε μετρήθηκε στην αναστόμωση)(40) >από διπλάσια αύξηση της PSV(40)
Ενδεικτική τιμή Qa	<400 - 500 ml/min(41) < 600 ml/min(40) Μείωση της Qa>25% από τα ανώτερα επίπεδα (42)
Έμμεσα κριτήρια	Μείωση της ροής(40)
<b>Επαρκής ωρίμανση</b>	
Διάμετρος	>0,6 cm(41)
Ροή	>600 ml/min(41)

Άλλη μία παθολογική κατάσταση που μπορεί να εντοπιστεί με υπερηχογραφία είναι η ύπαρξη θρομβώσεων στα αγγεία. Μάλιστα, ο υπέρηχος έχει αποδειχθεί το πιο χρήσιμο μη επεμβατικό εργαλείο για την ύπαρξη θρομβώσεων, τόσο σε AVF όσο και σε AVG. Αν και η διαπίστωση της ύπαρξης θρομβώσεων μπορεί να γίνει και με απλή ψηλάφηση, εντούτοις η υπερηχογραφία μπορεί να μας δώσει άμεσες, αλλά και έμμεσες ενδείξεις, όπως και να διαπιστωθεί η ύπαρξη παλαιών θρομβώσεων, αλλά και οξέων καταστάσεων. Η διάγνωση με υπερήχους μπορεί να γίνει και με τη λειτουργία B-mode Doppler και με έγχρωμο Doppler. Αρχικά, οι μετρήσεις που

πραγματοποιούνται περιλαμβάνουν τον έλεγχο ροής (που στην περίπτωση των θρομβώσεων υπάρχει απουσία ροής) και στη συνέχεια γίνεται η απεικόνιση του θρόμβου με Doppler (43).

Ακόμα, η υπερηχογραφία μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη στην ανίχνευση ανευρυσμάτων και ψευδοανευρυσμάτων, αλλά και στη διαφοροποίηση αυτών των δύο παθολογικών καταστάσεων, ώστε να μπορούν να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις για την αποκατάσταση της βλάβης. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της λειτουργίας Doppler και της έγχρωμης απεικόνισης μπορεί να ερμηνευθεί η παθολογική κατάσταση ως «ανεύρυσμα», εάν υπάρχει διάταση φλέβας ή ως «ψευδοανεύρυσμα» όπου υπάρχει τραυματισμός της φλέβας. Ειδικότερα, το ανεύρυσμα διαφέρει από το ψευδοανεύρυσμα και στη μορφολογία του, αλλά και στον τρόπο που αυτό δημιουργείται (44). Το ψευδοανεύρυσμα δημιουργείται όταν προκληθεί αιμορραγία στην περιοχή παρακέντησης του μοσχεύματος ή στην περιοχή των αναστομών των μοσχευμάτων, τόσο με τις αρτηρίες, όσο και με τις φλέβες, ως αποτέλεσμα φλεγμονών στην περιοχή (10).

Τέλος, η υπερηχογραφία (κυρίως μέσω του φασματικού κύματος Doppler) μπορεί να φανεί χρήσιμη για την αναγνώριση περιφερικής ισχαιμίας-υποκλοπής και της αιτίας που την προκαλεί. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η λήψη της κατάλληλης μεθόδου αντιμετώπισης της παθολογικής αυτής κατάστασης και να αποτραπεί η κατάργηση της αγγειακής προσπέλασης. Η ισχαιμία-υποκλοπή είναι μια συχνή παθολογική κατάσταση που προκαλείται σε ασθενείς οι οποίοι έχουν αγγειακή προσπέλαση και υψηλή νοσηρότητα, κυρίως με διαβήτη και αρτηριοπάθειες. Συγκεκριμένα ισχαιμία προκαλείται λόγω της ύπαρξης υψηλής ροής στην αγγειακή προσπέλαση και το αγγειακό δίκτυο δεν μπορεί να προσαρμοστεί στις νέες αιμοδυναμικές συνθήκες. Επίσης, μπορεί να προκληθεί όταν η αναστόμωση είναι πολύ μεγάλη και οι περιφερειακές αρτηριακές αντιστάσεις είναι υψηλές. Η ισχαιμία μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ιστού εάν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί πως η ύπαρξη αγγειακής προσπέλασης έχει συνδεθεί και με την εμφάνιση καρδιακής ανεπάρκειας, λόγω αυξημένων ροών. Επομένως, ο υπέρηχος αποτελεί για ακόμα μία περίπτωση ένα χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο της ροής του αίματος στο καρδιαγγειακό δίκτυο (4).

## Τυπική Υπερηχογραφική εξέταση της αγγειακής προσπέλασης

Πριν από μία τυπική εξέταση αγγειακή προσπέλασης θα πρέπει αρχικά να ρυθμιστούν οι παράμετροι στις λειτουργίες των υπερήχων (4).

Όσον αφορά στην λειτουργία B-mode πρέπει να ρυθμιστεί (4):

- η ενίσχυση του σήματος,
- η εστίαση και
- το βάθος της απεικόνισης.

Όσον αφορά στη λειτουργία της έγχρωμης απεικόνισης θα πρέπει να ρυθμιστεί (4):

- η ενίσχυση του σήματος,
- η PRF,
- το μέγεθος του παραθύρου και
- η περιοχή εστίασης.

Επιπλέον, θα πρέπει να προσαρμοστεί η κλίμακα ταχύτητας ή η PRF στο φασματικό Doppler και τέλος, να οριστεί (4):

- η βασική γραμμή θέσης και
- το μέγεθος του δειγματοληπτικού παραθύρου

Εφόσον πραγματοποιηθούν οι παραπάνω διαδικασίες, η εξέταση ξεκινάει με τον ασθενή να έχει το άκρο του σε χαλαρή και ήρεμη θέση. Στη συνέχεια, με χρήση θερμής γέλης στην κεφαλή του υπερηχογραφικού οργάνου αρχίζει η εξέταση της αρτηρίας (με τη σειρά: υποκλείδιος, μασχαλιαία, βραχιόνιος αρτηρία) προς τον κεντρικό κλάδο της βραχιονίου αρτηρίας. Αρχικά παρατηρούνται πιθανές μεταβολές στην ανατομία και στη συνέχεια εξετάζεται η φλεβική πορεία από την αναστόμωση προς το κεντρικό φλεβικό δίκτυο (με τη σειρά: κεφαλική, ωλένιος, βασιλική ,υποκλείδιος φλέβα) (4).

Όσον αφορά στην αρτηριακή εξέταση, προτείνεται να είναι εγκάρσιας σάρωσης, με σκοπό την ανίχνευση διακυμάνσεων στη διάμετρο, με τη λειτουργία B-mode. Παράλληλα, θα πρέπει να δίνεται προσοχή για την ανίχνευση διακλαδώσεων, στενώσεων και για την επιβεβαίωση της σωστής αγγείωσης του ασθενούς (4).

Όταν εντοπιστεί η αναστόμωση, λαμβάνεται μια εγκάρσια εικόνα με τη λειτουργία B-mode και στη συνέχεια η εικόνα αυτή αναλύεται για να μετρηθεί το πλάτος της αναστόμωσης. Στη συνέχεια η αναστόμωση εξετάζεται κατά μήκος της και έπειτα και πάλι εγκάρσια με έγχρωμη απεικόνιση. Η χρήση έγχρωμου Doppler βοηθάει στην αναγνώριση της ύπαρξης αντίστροφης ροής από την περιφερική κερκιδική αρτηρία προς την αναστόμωση (4).

Στη συνέχεια ακολουθεί η φλεβική εξέταση. Η φλεβική εξέταση πρέπει να γίνεται κι αυτή εγκάρσια με τη λειτουργία B-mode. Έπειτα ακολουθεί επανάληψη της διαδικασίας στον επιμήκη άξονα. Καθ' όλη την φλεβική εξέταση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την ανίχνευση στενώσεων, θρόμβων, καθώς και αγγειακών μαζών ή συλλογών. Ταυτόχρονα, προσδιορίζεται και η κατάλληλη θέση για παρακέντηση, καθώς και λαμβάνονται μετρήσεις του βάθους και της διαμέτρου του αγγείου. Στη συνέχεια, όλη η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται και με έγχρωμη απεικόνιση, για επαλήθευση των αποτελεσμάτων (4).

Επιπλέον, πραγματοποιείται και μέτρηση της ροής της αγγειακής προσπέλασης αρχίζοντας με τη λειτουργία B-mode και στη συνέχεια με Doppler. Οι συσκευές που διατίθενται στις μέρες μας, συνήθως υπολογίζουν αμέσως τις τιμές της μέσης ροής, εφόσον υπολογιστεί η διάμετρος του αγγείου και η τελοδιαστολική ταχύτητα στο συγκεκριμένο σημείο (4).

### **Βήματα υπερηχογραφικού ελέγχου ενός αιμοκαθαιρόμενου ασθενή**

Η εξέταση της αρτηριοφλεβικής προσπέλασης προτείνεται να γίνεται με τον ασθενή σε ημικαθιστή θέση, με τον βραχίονα να εκτείνεται υπό γωνία 45°. Σε περίπτωση που η προσπέλαση βρίσκεται σε κάτω άκρο, το πόδι πρέπει να βρίσκεται σε έξω στροφή. Ο εξεταστής συνιστάται να βρίσκεται στην ίδια πλευρά με το άκρο που θα εξεταστεί και θα πρέπει να αξιολογήσει την περιοχή της αρτηρίας, τις περιφερικές αλλά και τις κεντρικές φλέβες (4).

Η εξέταση θα ξεκινά από την αρτηρία που τροφοδοτεί την προσπέλαση, θα συνεχίζει στην αναστόμωση και κατά μήκος της φλεβικής πορείας και θα καταλήγει στα κεντρικά φλεβικά αγγεία. Συνιστάται, επίσης, να εξεταστεί η πορεία της αρτηρίας από την υποκλείδια αρτηρία έως την αναστόμωση, καθώς και να διερευνηθεί ο χώρος γύρω από τα αγγεία για αναζήτηση



δομών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν επιπλέον λειτουργική στένωση του αυλού του αγγείου, όπως συλλογές, αιματώματα ή οιδήματα (4).

Αρχικά, η εξέταση διεξάγεται στη λειτουργία B-mode και έπειτα στη λειτουργία έγχρωμης απεικόνισης Doppler. Στην επόμενη φάση, λαμβάνονται φασματικές μετρήσεις Doppler για την εκτίμηση της PSV και της EDV. Συνήθως η PSV βρίσκεται μεταξύ 150 και 300 cm/s. Σε αυτό το σημείο αξιολογείται και η αναστόμωση και καταγράφεται η μορφολογία του φασματικού κύματος (4).

Ο υπερηχογραφικός έλεγχος αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην αναγνώριση της ωρίμανσης μιας AVF. Συχνά υπάρχει μακρόχρονη αναμονή μέχρι την πρώτη παρακέντηση και υπάρχουν αμφιβολίες στην κλινική πράξη για την βιωσιμότητα μιας AVF. Για το λόγο αυτό, εάν η φυσική εξέταση δημιουργεί αμφιβολίες για την ωρίμανση μιας AVF, η εξέταση με τη χρήση υπερήχου αποτελεί τη δοκιμασία εκλογής (4).

Στην τελευταία φάση της ωρίμανσης, η ιδανική αγγειακή προσπέλαση είναι αυτή που πληροί τον κανόνα των '6': βάθος όχι μεγαλύτερο των 6 mm, διάμετρος τουλάχιστον 6 mm και ελάχιστη ροή 600 ml/min (20) (31).

**Η μέτρηση της ροής** στην βραχιόνιο αρτηρία με τη χρήση φασματικού Doppler επιτρέπει τη γρήγορη εκτίμηση της ποιότητας της προσπέλασης. Ενώ η μέτρηση μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο ενός AVG, για τη AVF συνιστάται να γίνεται στην βραχιόνιο αρτηρία, όπου υπάρχει αποδεδειγμένη συσχέτιση με τη ροή της αγγειακής προσπέλασης. Η μέτρηση στην κερκιδική αρτηρία σε AVF του καρπού μπορεί να υποεκτιμήσει τη ροή στην προσπέλαση (4).

Τα στοιχεία που απαιτούνται για τη μέτρηση της ροής είναι:

- η διάμετρος του αγγείου και
- η μέση ταχύτητα της ροής, που συνήθως εμφανίζεται στις συσκευές υπερήχων ως μέση χρονική τιμή της ταχύτητας ροής ( Time Averaged Mean velocity, TAV ή TAMEAN).

Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι η γωνία πρόπτωσης της δέσμης πρέπει να είναι μικρότερη των 60° (μεταξύ 30° και 60°). Το μέγεθος του παραθύρου δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι αρκετά ευρύ για να καλύπτει τον αυλό του αγγείου, αν και υπάρχουν αρκετοί συγγραφείς που

συμβουλεύουν ότι θα πρέπει να καλύπτει το 50%-70% του αυλού, για να αποφεύγονται οι παρεμβολές που προκαλούνται από τις δονήσεις των τοιχωμάτων των αγγείων (4).

Τέλος, συνιστώνται 3 μετρήσεις ροής για να ληφθεί ο μέσος όρος και να αποφευχθεί η μεταβλητότητα. Ο τύπος στον οποίο βασίζεται είναι ο ακόλουθος (4):

$$QA \text{ (ml/min)} = TAV \text{ (cm/S)} \times \text{section area (}\Pi r^2 \text{ cm}^2\text{)} \times 60$$

**Ροή αίματος (ml/min) = μέση ταχύτητα της ροής αίματος (cm/S) x επιφάνεια διατομής του αγγείου ( $\Pi r^2 \text{ cm}^2$ ) x 60**

Για ένα AVG ενδείκνυται ροή αίματος μεταξύ 500-800 ml/min, ενώ για μια n AVF η ροή μπορεί να είναι μικρότερη 300-700 ml/min, δεδομένης της μεγάλης αγγειακής προσαρμοστικότητας. Οι τελευταίες κατευθυντήριες οδηγίες συνιστούν ροή αίματος 500 ml/min για μια AVF και 600 ml/min για ένα AVG, και συνιστούν να γίνεται έλεγχος για στένωση σε μείωση ροής της τάξης του 20-25% (23).

**Ανίχνευση στένωσης:** Η στένωση στο φλεβικό τμήμα μιας AVF μπορεί να δημιουργηθεί σε κεντρικά αγγεία, στο μεσαίο τμήμα του αγγείου και στην περιοχή αμέσως μετά την αναστόμωση (στα πρώτα 5 cm). Η στένωση στην φλεβική αναστόμωση είναι περισσότερο συχνή στα AVG και συνήθως εμφανίζεται στην περιοχή όπου η φλέβα εξέρχεται από την αναστόμωση. Σε αυτά τα σημεία δημιουργείται ενδοθηλιακή υπερπλασία του αγγείου, η οποία προκαλείται από την πίεση (shear stress) που ασκείται στις πιο εκτεθειμένες περιοχές (4).

Όπου τροποποιείται η διάμετρος του αυλού του αγγείου, υπάρχει αύξηση της PSV, η οποία μπορεί να δημιουργήσει ψευδή απεικόνιση (aliasing) στον υπέρηχο. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η PRF είναι μικρότερη από το διπλάσιο του υψηλότερου σήματος συχνότητας του Doppler, όπως συμβαίνει σε περιοχές με στροβιλισμό και υψηλές ταχύτητες, δηλαδή σε στενώσεις. Όταν ανιχνευθεί στένωση, μετράται το ποσοστό του φυσιολογικού αυλού του αγγείου που καλύπτει. Για να υπολογιστεί η στένωση, συγκρίνεται η ελάχιστη ενδοαυλική διάμετρος (υπολειπόμενη διάμετρος) με τη φυσιολογική διάμετρο του τμήματος του αυλού που βρίσκεται κοντά στη n AVF (4):

ποσοστό στένωσης %:

αρχική διάμετρος αυλού – υπολειπόμενη διάμετρος αυλού / αρχική διάμετρος αυλού x 100

Αν και αυτή η μείωση ροής είναι εύκολο να μετρηθεί στο AVG, δεν είναι εύκολο να μετρηθεί σε μια AVF, λόγω της μεγάλης διαστολής του αγγείου πριν και μετά την στένωση. Ομοίως, και στο σημείο αμέσως μετά την αναστόμωση (πρώτα 5 cm), η γωνία του αγγείου δεν επιτρέπει την εύκολη μέτρηση της ροής. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να ληφθούν υπόψη άλλες παράμετροι για την αρτηρία που τροφοδοτεί τη AVF, ώστε να έχουμε έμμεσες ενδείξεις για μία ενδεχόμενη μεγάλη στένωση. Αυτό, μπορεί επίσης να συμβεί και σε AVG που είναι φτιαγμένα από ακτινοσκοπικό υλικό. Η υπερηχογραφική εξέταση ξεκινά από τη βραχιόνια αρτηρία, επιτρέποντάς μας να αξιολογήσουμε τη ροή (σε περίπτωση σημαντικής στένωσης θα είναι μειωμένη) και το δείκτη αντίστασης RI, ο οποίος μπορεί να είναι μεγαλύτερος. Στη συνέχεια, εάν η AVF είναι κερκιδοκεφαλική πρέπει να εξεταστεί και το υπόλοιπο τμήμα της αρτηρίας, φτάνοντας μέχρι την αναστόμωση. Ακολουθεί εξέταση σε όλο το μήκος της πορείας της φλέβας, αρχικά εγκάρσια, με σκοπό να μελετηθεί η ανατομίας της και να αναζητηθούν μεταβολές στο μέγεθος του αγγείου. Μόλις εντοπιστεί μια στένωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η έγχρωμη Doppler για να επιβεβαιώσει τη ψευδή απεικόνιση (aliasing), προσαρμόζοντας πάντοτε την PRF προς τα επάνω. Με το Doppler μπορούμε να μετρήσουμε την τιμή της PSV στην περιοχή πριν από την στένωση, στη στένωση, αλλά και στην περιοχή μετά από αυτήν. Όταν η τιμή της PSV είναι  $> 400$  cm/s, η στένωση θεωρείται αιμοδυναμικά σημαντική. Από την τιμή της PSV της περιοχής της στένωσης και της PSV της περιοχής πριν από την στένωση δημιουργείται ένας λόγος (Ratio). Όταν ο λόγος αυτός είναι τουλάχιστον 2, θεωρείται ότι υπάρχει αιμοδυναμικά σημαντική στένωση, τόσο σε AVG όσο και σε AVF. Ορισμένοι συγγραφείς θεωρούν ότι όταν το πηλίκο αυτού του λόγου είναι 2,3 ή ακόμη και 3, σχετίζεται περισσότερο με την AVF. Στην περιοχή μετά από τη στένωση, μπορεί να παρατηρηθεί στο Doppler μια χαρακτηριστική στροβιλώδης ροή. Η αρτηριακή στένωση συνήθως προκαλείται από προοδευτική αρτηριοσκλήρυνση. Εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή πριν από την αναστόμωση, αν και μπορεί να εμφανιστεί σε οποιοδήποτε τμήμα της πορείας της αρτηρίας. Αναγνωρίζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στη φλεβική περιοχή, με μείωση του αυλού καθώς και με σημαντική αύξηση του λόγου PSV. Σε μια ενδεχόμενη παθολογική κατάσταση στην αρτηρία, η εξέταση της ωλένιας και της κερκιδικής αρτηρίας μπορεί να παρέχει καθοριστικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, κατά τη μέτρηση της ροής, εάν από τα 500 ml/min της βραχιονίου ροής, τα 400 ml/min διανέμονται στην ωλένια αρτηρία και τα υπόλοιπα στην κερκιδική, πρέπει να εστιάσουμε στην παθολογία της κερκιδικής αρτηρίας. Ένας άλλος τρόπος είναι να πιέσουμε την κερκιδική αρτηρία σε κάποιο σημείο περιφερικά της αναστόμωσης.

Αυτό θα αποκαλύψει μια στένωση στην κερκιδική αρτηρία, εφόσον προκληθεί μείωση της PSV ή αύξηση του RI στο επίπεδο της βραχιόνιου αρτηρίας καθώς η δίοδος της οπισθοδρομικής ροής του αίματος από την ωλένια αρτηρία, μέσω του παλαμιαίου τόξου, είναι κλειστή. Οι αιμοδυναμικές αλλαγές είναι ανεπαίσθητες εάν δεν επηρεάζεται η κερκιδική αρτηρία (4).

Η ευαισθησία του υπέρηχου στην ανίχνευση στενώσεων μεγαλύτερων του 50% σε σύγκριση με την αγγειογραφία κυμαίνεται από 76% έως 95 %, και κατά περίπτωση φτάνει στο 97%. Όταν διαγνωστεί σημαντική στένωση, η ένδειξη και η στιγμή της παρέμβασης δεν είναι σαφείς. Σε αυτό το πλαίσιο ο υπέρηχος είναι εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο, δεδομένου ότι η εξέταση με αυτόν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σοβαρότητα της στένωσης και τον αντίκτυπο της στην λειτουργικότητα της προσπέλασης. Αποφεύγονται έτσι καθυστερήσεις στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την έγκαιρη θεραπεία ή με επιθετικές τεχνικές, σε περιπτώσεις που η αντιμετώπιση είναι συντηρητική (4).

Η έννοια της αιμοδυναμικά σημαντικής στένωσης έχει οριστεί προηγουμένως από καθαρά αγγειακή άποψη. Ωστόσο, τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται ως ενδείξεις για κάποια παρέμβαση είναι εξαιρετικά μεταβλητά. Αρχικά η σύσταση για παρέμβαση είχε ως μοναδικό κριτήριο τη μείωση του αυλού > 50% (ποσοστό προερχόμενο από αγγειογραφία), κάτι που ισχύει ακόμη σε πολλά κέντρα. Άλλοι, ακολουθώντας τις κατευθυντήριες οδηγίες DOQI, επιπλέον της μείωσης του αυλού, συμπεριλαμβάνουν και κάποια άλλη μη καθορισμένη παράμετρο (23). Εκτός της δυσλειτουργίας συμπεριλαμβάνουν και κάποιες κλινικές ή φυσιολογικές ανωμαλίες, όπως η φυσική εξέταση, αλλαγές στον λόγο Kt/V ή στη φλεβική πίεση, πτώση στη ροή της προσπέλασης < 600 ml/min, και τέλος ελάττωση της ροής αίματος (QA) στην ΑΚ. Οι τελευταίες ισπανικές κατευθυντήριες οδηγίες εισάγουν μία νέα έννοια της στένωσης, η οποία περιλαμβάνει μόνο τη στένωση με υψηλό κίνδυνο θρόμβωσης (4). Τα κριτήρια που καθιερώθηκαν για να την ορίσουν είναι: βασικά κριτήρια (μείωση του αγγειακού αυλού > 50% και λόγος PSV>2) και συμπληρωματικά κριτήρια (υπολειπόμενη διάμετρος < 2 mm ή/και QA< 500 ml/min σε η AVF ή QA< 600 ml/min σε AVG, ή/ και μείωση στην QA> 25% αν η QA είναι < 1000 ml/min). Επιπλέον, υπάρχουν κέντρα που χρησιμοποιούν μόνο τη μορφολογική μείωση του αυλού που μετριέται με τον υπέρηχο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης. Η υποεκτίμηση είναι εξίσου σημαντική με την υπερεκτίμηση, καθώς στην υποεκτίμηση υπάρχει ο κίνδυνος της θρόμβωσης

και στην υπερεκτίμηση κίνδυνος για επαναστένωση, λόγω του αυξημένου αριθμού των περιττών αγγειοπλαστικών που πραγματοποιούνται. Για το λόγο αυτό συνιστάται ο συνδυασμός των μορφολογικών και των αιμοδυναμικών κριτηρίων (Πίνακας 1).

Τέλος, είναι σημαντικό να αποκλειστεί η πιθανότητα ύπαρξης κεντρικής αγγειακής στένωσης. Αν και ο υπέρηχος έχει περιορισμένες δυνατότητες σε αυτόν τον τομέα, σε ορισμένες περιπτώσεις η κεντρική στένωση μπορεί να φανεί κατευθείαν. Τα αιμοδυναμικά κριτήρια είναι ίδια με αυτά που ισχύουν στη φλεβική στένωση και περιλαμβάνουν το λόγο της PSV στη στένωση/ προστενωτική PSV της τάξεως του 2,5 (4).

**Διάγνωση θρόμβωσης:** Ο υπέρηχος είναι η καλύτερη μη επεμβατική μέθοδος για την ανίχνευση θρόμβωσης, τόσο σε μια AVF όσο και σε ένα AVG. Επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση παρέχοντας είτε άμεσες είτε έμμεσες ενδείξεις. Τα υπερηχογραφικά κριτήρια για τη διάγνωση της θρόμβωσης βασίζονται αρχικά (4) (23):

- στην απουσία ροής στη Doppler και
- στην απουσία της έγχρωμης απεικόνισης.

Ταυτοχρόνως, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένα θρομβωμένο φλεβικό αγγείο δε μπορεί να συμπιεστεί. Το γεγονός αυτό μας κάνει να υποψιαστούμε την ύπαρξη θρόμβου, παρότι αυτός δεν είναι ορατός, κάτι που μπορεί να συμβαίνει στην οξεία φάση. Αυτό επίσης μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε και την έκταση που καλύπτει ο θρόμβος.

Οι παλαιότεροι θρόμβοι έχουν μεγαλύτερη ηχογένεια και μπορεί να φανούν πιο καθαρά στην λειτουργία B-mode. Οι έμμεσες ενδείξεις βασίζονται στην απεικόνιση του τριφασικού κύματος υψηλής αντίστασης στην αρτηρία τροφοδοσίας, το οποίο είναι ίδιο με αυτό μιας αρτηρίας που δεν συνδέεται σε AVF. Ωστόσο, είναι σημαντική η απεικόνιση του θρόμβου, καθώς οι έμμεσες ενδείξεις στην αρτηρία, στην περίπτωση της θρόμβωσης, μπορεί να είναι παρόμοιες με αυτές μιας σημαντικής στένωσης.

**Ανευρύσματα και ψευδοανευρύσματα:** Τόσο τα ανευρύσματα όσο και τα ψευδοανευρύσματα εμφανίζονται στις περιοχές παρακέντησης, λόγω αγγειακών βλαβών και λανθασμένης τεχνικής παρακέντησης, κάτι που συμβαίνει όταν η παρακέντηση γίνεται συνεχώς στην ίδια περιοχή. Ο υπέρηχος μας δίνει τη δυνατότητα να διαχωρίσουμε το ανεύρυσμα, ή αλλιώς τη φλεβική διάταση, από το ψευδοανεύρυσμα (4).

Το ανεύρυσμα είναι μία διάταση της φλέβας 1,5-2 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του αμετάβλητου αγγείου. Μπορεί να προκληθεί από μία κεντρικότερη στένωση.

Το ψευδοανεύρυσμα είναι μία κοιλότητα έξω από το αγγείο η οποία δημιουργείται από ένα αιμάτωμα, όταν η οπή από την παρακέντηση του αγγείου δεν κλείνει και η αιμορραγία είναι συνεχής. Ο υπέρηχος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στη διάγνωση της διαφοράς του ψευδοανευρύσματος από ένα ανεύρυσμα. Μας επιτρέπει να βλέπουμε το αίμα να εξαγγειώνεται στη λειτουργία της έγχρωμης απεικόνισης και στη λειτουργία Doppler και να παρατηρούμε τις χαρακτηριστικές ενδείξεις «εισόδου – εξόδου» του αίματος που αυτό καταγράφει. Επομένως, ο υπέρηχος μας επιτρέπει να διακρίνουμε τη διαφορά του ανευρύσματος από ένα αιμάτωμα ή από ένα ψευδοανεύρυσμα που απαιτεί χειρουργική αποκατάσταση, στο οποίο ενδέχεται να προκληθεί θρόμβος και μπορεί να αντιμετωπιστεί συντηρητικά (4).

**Σύνδρομο Υποκλοπής (Σύνδρομο Περιφερικής Ισχαιμίας):** Ένας ασθενής που εντάσσεται σε πρόγραμμα αιμοκάθαρσης (ΑΚ) έχει αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης ισχαιμίας προκαλούμενης από τη δημιουργία αγγειακής προσπέλασης. Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξημένης νοσηρότητας που εμφανίζουν οι ασθενείς αυτοί και ιδιαίτερα όταν προϋπάρχει διαβήτης και αρτηριοπάθεια. Η κατάσταση αυτή είναι ιδιαίτερα συχνή στα μοσχεύματα, λόγω της υψηλότερης ροής που έχουν. Η αγγειακή προσπέλαση υποκλέπτει αίμα όχι μόνο από την αρτηρία τροφοδοσίας της, αλλά επίσης αναδρομικά και από την άκρα χείρα και έτσι μπορεί να επηρεάσει την αιμάτωσή της. Στην πραγματικότητα, υπολογίζεται ότι αυτή η 'κλοπή' συμβαίνει στο 75 - 90 % των ασθενών, μετά από τη χειρουργική επέμβαση. Συνήθως το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται μέσω αντισταθμιστικών μηχανισμών. Ωστόσο, όταν αυτοί οι μηχανισμοί αποτυγχάνουν να διατηρήσουν την περιφερική αιμάτωση, το φαινόμενο της υποκλοπής μετατρέπεται σε σύνδρομο υποκλοπής. Αυτό χαρακτηρίζεται από πόνο μετά την ΑΚ ή κατά την ξεκούραση, την εμφάνιση τροφικών ελκών κ.ά.. Επομένως, είναι σημαντικό να εξετάζεται κάθε παθολογική κατάσταση που μπορεί να το προκαλέσει (4).

Αυτό συνεπάγεται προσεκτική αξιολόγηση τόσο της κερκιδικής, όσο και της ωλένιας αρτηρίας για τον αποκλεισμό στενώσεων και αποφράξεων. Η μορφή του φασματικού κύματος της Doppler, ιδιαίτερα κατά την εξέταση αντιδραστικής υπεραιμίας, έχει συσχετιστεί με το σύνδρομο υποκλοπής υψηλής ροής, επειδή οι αρτηρίες του παλαμιαίου τόξου δεν είναι σε θέση να διασταλούν. Αφού επιβεβαιωθεί η υποκλοπή, η κατεύθυνση της ροής του αίματος περιφερικά της αναστόμωσης διαπιστώνεται εύκολα με τη χρήση της Doppler (4).

Από άποψη αιτιο-παθογένειας υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη συνδρόμου υποκλοπής (4):

- Το πρώτο είδος συνδρόμου υποκλοπής οφείλεται σε αρτηριακή στένωση που εμφανίζει πρόωρα μειωμένη ροή.
- Στο δεύτερο είδος, η μεγάλη αναστόμωση αποτελεί αιτία υψηλής ροής (1600 ml/min) στην αγγειακή προσπέλαση.
- Στο τρίτο, η αιτία εμφάνισης του είναι η αποτυχία του αγγειακού δικτύου του αντιβραχίου να προσαρμοστεί στις νέες αιμοδυναμικές συνθήκες της αγγειακής προσπέλασης, κάτι που σχετίζεται άμεσα με την αρτηριοσκλήρυνση.

Ο υπέρηχος χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της αιτίας και παίζει σημαντικό ρόλο στην θεραπεία. Αρχικά, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ροής στην βραχιόνια αρτηρία, το οποίο μπορεί να αποκλείσει την πιθανότητα υποκλοπής υψηλής ροής. Έπειτα, είναι απαραίτητο να προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε βλάβες στο αρτηριακό αγγειακό δίκτυο και τέλος να μελετήσουμε την κατεύθυνση της ροής στην αρτηρία σε κάποιο σημείο περιφερικά της αναστόμωσης. Εάν αυτή είναι αντίστροφη, θεωρείται ότι η κατάλληλη κατεύθυνση θα ανακτηθεί συμπιέζοντας την αγγειακή προσπέλαση. Ένας άλλος στόχος της χρήσης του υπερήχου είναι να υποδείξει την πιθανή θεραπεία για την επίλυση ή τη βελτίωση συμπτωμάτων, πριν χρειαστεί να κλείσει μία αγγειακή προσπέλαση. Η αγγειοπλαστική είναι μία πιθανή λύση στην περίπτωση της αρτηριακής στένωσης. Στην περίπτωση όμως υψηλής ροής, θα μπορούσαν να εξεταστούν διάφορες θεραπευτικές διαδικασίες για την μείωση της. Τέτοιες είναι η απολίνωση φλεβών στο εν τω βάθει σύστημα και η χειρουργική ανακατασκευή (4).

Η χρονική διάρκεια εκτέλεσης υπερηχογραφικής παρακολούθησης αρτηριοφλεβικής επικοινωνίας κυμαίνεται από **15 έως 45** λεπτά και οφείλεται στην εμπειρία του εξεταστή για τη παραπάνω εξέταση, καθώς και την πολυπλοκότητα του εξεταζόμενου ασθενή.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Evans RW, Manninen DL, Garrison Jr LP, Hart LG, Blagg CR, Gutman RA, et al. The quality of life of patients with end-stage renal disease. *New England journal of medicine*. Mass Medical Soc; 1985;312(9):553–559.
2. Santoro D, Benedetto F, Mondello P, Pipitò N, Barillà D, Spinelli F, et al. Vascular access for hemodialysis: current perspectives. *International journal of nephrology and renovascular disease*. Dove Press; 2014;7:281.
3. D. JONATHAN Beard IL A. Gaines. Αγγειακή και ενδαγγειακή χειρουργική, Εγχειρίδιο εξειδικευμένης χειρουργικής πρακτικής. Γιαννούκας Δ. Α, Λαζαρίδης Μ, Τσολάκης Ι, editors. Παρισιάνου Α.Ε.; 2014.
4. Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J. Εγχειρίδιο χρήσης υπερήχου για την εξέταση της αγγειακής προσπέλασης. Από τον Ειδικό στον Νοσηλευτή. Iglesias R, Vallespín J, Ibeas J, editors. Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νοσηλευτών Αιμοκάθαρσης και Μεταμόσχευσης /Ευρωπαϊκή Εταιρεία Νεφρολογικής Φροντίδας (EDTNA/ERCA); 2018 (Ανακτήθηκε από τη σελίδα:[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiB-obVi7b1AhVC-qQKHTI-B-UQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.edtnaerca.org%2Fresource%2Fedt-na%2Ffiles%2FLibro\\_ultrasound-greek.pdf&usg=AOvVaw3T2osBjmCbD13tZpIRthLB](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiB-obVi7b1AhVC-qQKHTI-B-UQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.edtnaerca.org%2Fresource%2Fedt-na%2Ffiles%2FLibro_ultrasound-greek.pdf&usg=AOvVaw3T2osBjmCbD13tZpIRthLB), στις 10/12/2021).
5. Gavrilov L, Gersuni G, Pudov V, Rozenblyum A, Tsirul'nikov E. Human hearing in connection with the action of ultrasound in the megahertz range on the aural labyrinth. *Sov Phys-Acoust*. 1980;26:290–292.
6. Szabo TL. *Diagnostic ultrasound imaging: inside out*. Academic press; 2004.
7. Marques-de-Carvalho R, Clode N, Ayres-de-Campos D. Surveillance of fetal well-being. Ayres-de-Campos PD, editor. *Welfare of Women*; 2021.



8. Bhatia A, Peng P. Ultrasound-Guided Procedures for Pain Management: Spine Injections and Relevant Peripheral Nerve Blocks. *Essentials of Pain Medicine*. Elsevier; 2018. p. 725–736.
9. Uchino K. The development of piezoelectric materials and the new perspective. *Advanced Piezoelectric Materials*. Elsevier; 2017. p. 1–92.
10. Γιαννούκας ΔΑ, Labropoulos N. Υπερηχογραφική Διερεύνηση των Αγγειακών Παθήσεων. Παρισιάνου; 2013.
11. Diridollou S, Berson M, Vabre V, Black D, Karlsson B, Auriol F, et al. An in vivo method for measuring the mechanical properties of the skin using ultrasound. *Ultrasound in medicine & biology*. Elsevier; 1998;24(2):215–224.
12. Huang Q, Zeng Z. A review on real-time 3D ultrasound imaging technology. *BioMed research international*. Hindawi; 2017;2017.
13. Carovac A, Smajlovic F, Junuzovic D. Application of ultrasound in medicine. *Acta Informatica Medica*. The Academy of Medical Sciences of Bosnia and Herzegovina; 2011;19(3):168.
14. Wilson SE. *Vascular access: principles and practice*. Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
15. Voorzaat BM, Schaik J van, Siebelink H-MJ, Tordoir JH, Rotmans JI. The pros and cons of preserving a functioning arteriovenous fistula after kidney transplantation. *The journal of vascular access*. SAGE Publications Sage UK: London, England; 2016;17(1\_suppl):S16–S22.
16. Shenoy S. Innovative surgical approaches to maximize arteriovenous fistula creation. *Seminars in vascular surgery*. Elsevier; 2007. p. 141–147.
17. Oliver MJ, Mccann RL, Indridason OS, Butterly DW, Schwab SJ. Comparison of transposed brachiobasilic fistulas to upper arm grafts and brachiocephalic fistulas. *Kidney international*. Elsevier; 2001;60(4):1532–1539.

18. Fitzgerald JT, Schanzer A, Chin AI, McVicar JP, Perez RV, Troppmann C. Outcomes of upper arm arteriovenous fistulas for maintenance hemodialysis access. *Archives of Surgery*. American Medical Association; 2004;139(2):201–208.
19. Bode A, Tordoir J. Vascular access for hemodialysis therapy. *Modelling and Control of Dialysis Systems*. Springer; 2013. p. 235–303.
20. Allon M, Robbin ML. Increasing arteriovenous fistulas in hemodialysis patients: problems and solutions. *Kidney international*. Elsevier; 2002;62(4):1109–1124.
21. MacRae JM, Ahmed SB, Hemmelgarn BR, Network AKD, others. Arteriovenous fistula survival and needling technique: long-term results from a randomized buttonhole trial. *American journal of kidney diseases*. Elsevier; 2014;63(4):636–642.
22. Al-Jaishi AA, Liu AR, Lok CE, Zhang JC, Moist LM. Complications of the arteriovenous fistula: a systematic review. *Journal of the American Society of Nephrology*. *Am Soc Nephrol*; 2017;28(6):1839–1850.
23. Lok CE, Huber TS, Lee T, Shenoy S, Yevzlin AS, Abreo K, et al. KDOQI clinical practice guideline for vascular access: 2019 update. *American Journal of Kidney Diseases*. Elsevier; 2020;75(4):S1–S164.
24. Allon M, Imrey PB, Cheung AK, Radeva M, Alpers CE, Beck GJ, et al. Relationships between clinical processes and arteriovenous fistula cannulation and maturation: a multicenter prospective cohort study. *American Journal of Kidney Diseases*. Elsevier; 2018;71(5):677–689.
25. Leermakers J, Bode A, Vaidya A, Van Der Sande F, Evers S, Tordoir J. Cost-effectiveness of vascular access for haemodialysis: arteriovenous fistulas versus arteriovenous grafts. *European journal of vascular and endovascular surgery*. Elsevier; 2013;45(1):84–92.
26. Hemachandar R. Analysis of vascular access in haemodialysis patients-single center experience. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. JCDR Research & Publications Private Limited; 2015;9(10):OC01.

27. Elwakeel H, Elalfy K. Vascular Access for Hemodialysis-How to Maintain in Clinical Practice. Hemodialysis. IntechOpen; 2013.
28. Sahli F, Feidjel R, Laalaoui R. Hemodialysis catheter-related infection: rates, risk factors and pathogens. Journal of infection and public health. Elsevier; 2017;10(4):403–408.
29. Levin A, Rocco MV. NKF-K/DOQI: Key Recommendations. Handbook of Dialysis Therapy E-Book. Elsevier Health Sciences; 2007;364.
30. Sheth RA, Freed R, Tavri S, Huynh TT, Irani Z. Nonmaturing fistulae: epidemiology, possible interventions, and outcomes. Techniques in vascular and interventional radiology. Elsevier; 2017;20(1):31–37.
31. Oliver MJ. The science of fistula maturation. Journal of the American Society of Nephrology. Am Soc Nephrol; 2018. p. 2607–2609.
32. Guedes Marques M, Ibeas J, Botelho C, Maia P, Ponce P. Doppler ultrasound: a powerful tool for vascular access surveillance. Seminars in dialysis. Wiley Online Library; 2015. p. 206–210.
33. Aragoncillo I, Abad S, Caldés S, Amézquita Y, Vega A, Cirugeda A, et al. Adding access blood flow surveillance reduces thrombosis and improves arteriovenous fistula patency: a randomized controlled trial. The journal of vascular access. SAGE Publications Sage UK: London, England; 2017;18(4):352–358.
34. Browne LD, Walsh MT, Griffin P. Experimental and numerical analysis of the bulk flow parameters within an arteriovenous fistula. Cardiovascular engineering and technology. Springer; 2015;6(4):450–462.
35. Linden J van der, Smits JH, Assink JH, Wolterbeek DW, Zijlstra JJ, Jong GH de, et al. Short-and long-term functional effects of percutaneous transluminal angioplasty in hemodialysis vascular access. Journal of the American Society of Nephrology. Am Soc Nephrol; 2002;13(3):715–720.
36. Wiese P, Nonnast-Daniel B. Colour Doppler ultrasound in dialysis access. Nephrology Dialysis Transplantation. Oxford University Press; 2004;19(8):1956–1963.

37. Naroienejad M, Saedi D, Rezvani A, others. Prevalence of central vein stenosis following catheterization in patients with end-stage renal disease. *Saudi journal of kidney diseases and transplantation*. Medknow Publications; 2010;21(5):975.
38. Ferring M, Henderson J, Wilink A, Smith S. Vascular ultrasound for the pre-operative evaluation prior to arteriovenous fistula formation for haemodialysis: review of the evidence. *Nephrology Dialysis Transplantation*. Citeseer; 2008;23(6):1809–1815.
39. Ihan G, Esi E, Bozok S, Yürekli smail, Özpak B, Özelçi A, et al. The clinical utility of vascular mapping with Doppler ultrasound prior to arteriovenous fistula construction for hemodialysis access. *The journal of vascular access*. SAGE Publications Sage UK: London, England; 2013;14(1):83–88.
40. Lomonte C, Meola M, Petrucci I, Casucci F, Basile C. The key role of color Doppler ultrasound in the work-up of hemodialysis vascular access. *Seminars in dialysis*. Wiley Online Library; 2015. p. 211–215.
41. Kopple JD. National kidney foundation K/DOQI clinical practice guidelines for nutrition in chronic renal failure. *American journal of kidney diseases*. Elsevier; 2001;37(1):S66–S70.
42. Tessitore N, Bedogna V, Verlato G, Poli A. The rise and fall of access blood flow surveillance in arteriovenous fistulas. *Seminars in dialysis*. Wiley Online Library; 2014. p. 108–118.
43. Hwang SD, Lee JH, Lee SW, Kim J kyung, Kim M-J, Song JH. Comparison of ultrasound scan blood flow measurement versus other forms of surveillance in the thrombosis rate of hemodialysis access: A systemic review and meta-analysis. *Medicine*. Wolters Kluwer Health; 2018;97(30).
44. Schoch ML, Du Toit D, Marticorena RM, Sinclair PM. Utilising point of care ultrasound for vascular access in haemodialysis. *Renal Society of Australasia Journal*. 2015;11(2):78–82

