



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



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

***" Διεγχειρητική Χρήση Ενδαγγειακού Υπερηχογραφήματος στην
Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Αορτικών Παθήσεων "***

υπό

ΝΑΤΑΣΑ ΤΖ. ΧΑΣΕΜΑΚΗ

Ειδικευόμενης Αγγειοχειρουργικής

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, 2024

Επιβλέπων:

Αθανάσιος Κατσαργύρης, Αναπληρωτής Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Αθανάσιος Κατσαργύρης, Αναπληρωτής Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Επιβλέπων)*
- 2. Χρήστος Κλωνάρης, Καθηγητής Αγγειοχειρουργικής, Τμήμα Ιατρικής, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*
- 3. Κωνσταντίνος Σπανός, Αγγειοχειρουργός ΠΓΝ Λάρισας, Ακαδημαϊκός Υπότροφος, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τίτλος εργασίας στα αγγλικά:

“Intraoperative Intravascular Ultrasound (IVUS) during Endovascular Aortic Procedures”

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ – ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ – ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
I. ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΚΑΤΙΟΥΣΗΣ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ (THORACIC ENDOVASCULAR AORTIC REPAIR - TEVAR).....	8
II. ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΝΕΦΡΙΚΩΝ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ (ENDOVASCULAR ABDOMINAL AORTIC REPAIR - EVAR).....	9
III. ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΑΝΕΦΡΙΚΩΝ / ΘΩΡΑΚΟΚΟΙΛΙΑΚΩΝ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΟΣΧΕΥΜΑΤΑ ΜΕ ΘΥΡΙΑΔΕΣ Η / ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ (FENESTRATED / BRANCHED ENDOGRAFTS – F/BEVAR).....	10
IV. ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΟΡΤΗΣ ΤΥΠΟΥ Β (ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ STANFORD).....	12
V. ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΜΒΛΕΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΟΡΤΗΣ	15
VI. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΟΥ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ (IVUS).....	16
VII. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ IVUS (IVUS TRANSDUCERS).....	20
ΣΚΟΠΟΣ.....	23
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	24
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	26
I. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IVUS ΣΤΗΝ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΥΠΟΝΕΦΡΙΚΩΝ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ (EVAR).....	26
II. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IVUS ΣΤΗΝ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΟΣ ΘΩΡΑΚΙΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ (TEVAR).....	28
III. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IVUS ΣΤΗΝ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΟΡΤΗΣ ΤΥΠΟΥ Β ΚΑΤΑ STANFORD.....	28

IV. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IVUS ΣΤΗΝ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΑΝΕΦΡΙΚΩΝ / ΘΩΡΑΚΟΚΟΙΛΙΑΚΩΝ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΟΣΧΕΥΜΑΤΑ ΜΕ ΘΥΡΙΑΔΕΣ Η / ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ (FENESTRATED / BRANCHED ENDOGRAFTS – F/BEVAR)	30
V. Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ IVUS ΣΤΗΝ ΕΝΔΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΜΒΛΕΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΟΡΤΗΣ	32
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	37

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Αθανάσιο Κατσαργύρη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής, αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική του καθοδήγηση, τις υποδείξεις του, την επιμονή του, τη συνεχή του υποστήριξη και το αμείωτο ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Αθανάσιο Γιαννούκα, Καθηγητή Αγγειοχειρουργικής της Πανεπιστημιακής Αγγειοχειρουργικής Κλινικής του Νοσοκομείου Λάρισας για την δυνατότητα που μου έδωσε να παρακολουθήσω το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, κερδίζοντας την υποτροφία από το Ινστιτούτο Αγγειακών Παθήσεων.

Επίσης, ευχαριστώ τον καθηγητή, κύριο Χρήστο Κλωνάρη, για τη διαρκή καθοδήγησή του, τις εποικοδομητικές τους υποδείξεις, το αμείωτο ενδιαφέρον του, τη συμπαράστασή του και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη στα Ελληνικά – Λέξεις Κλειδιά

Εισαγωγή: Η ραγδαία αύξηση στην ενδαγγειακή αποκατάσταση πληθώρας αγγειοχειρουργικών παθήσεων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της. Η χρήση ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος έχει αλλάξει ριζικά την αντιμετώπιση πολλών καρδιαγγειακών παθήσεων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει ει δυνατόν όλα τα μέχρι στιγμής δεδομένα της χρήσης IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση αορτικών παθήσεων, σε μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.

Μεθοδολογία: Έγινε αναζήτηση στη βάση δεδομένων της Medline/PubMed με τον εξής ορό (“intravascular ultrasound” OR “IVUS”) AND (“endovascular aortic repair” OR “EVAR”). Αναζητήθηκαν και ανασκοπήθηκαν όλα τα άρθρα που αναφέρονταν στην χρήση του ενδαγγειακού υπερήχου για την ενδαγγειακή αντιμετώπιση αορτικών παθήσεων.

Αποτελέσματα: Η τρέχουσα βιβλιογραφία, περιλαμβάνει αναδρομικές και προοπτικές μελέτες η πλειονότητα των οποίων αφορά στη χρήση του IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση διαχωρισμού αορτής τύπου B και στην ενδαγγειακή αποκατάσταση υπονεφρικών ανευρυσμάτων κοιλιακής αορτής. Σε όλο το φάσμα των ιατρικών παθήσεων, φαίνεται ότι η διεγχειρητική χρήση IVUS, συνδυάζεται με μειωμένη χρήση σκιαγραφικού μέσου, και μειωμένο χρόνο έκθεσης σε ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Συζήτηση - Συμπεράσματα: Η χρήση του IVUS στις ενδαγγειακές επεμβάσεις παθήσεων της αορτής, φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη διαγνωστική διεγχειρητική μέθοδος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα συνδυαστικά με άλλες μεθόδους. Περαιτέρω μελέτες με μεγαλύτερο αριθμό ασθενών και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα είναι απαραίτητα.

Περίληψη στα Αγγλικά – Λέξεις Κλειδιά

Intravascular ultrasound (IVUS) was introduced in the early 1970s as a novel imaging modality to produce from within the vessel, cross-sectional images with a 360-degree view. In contrast to angiography, IVUS provides 3-dimensional imaging of a vessel, hence assessing plaque morphology and burden, delineating the size of the vessel and indicating the size of the implanted stent-graft. In addition to intraoperative 3-dimensional imaging, IVUS has also been associated with reduced fluoroscopy time, reduced contrast use and lower operating time. Current guidelines point out the use of IVUS during coronary angiography and percutaneous coronary interventions (PCI), as well as in venous pathologies requiring imaging and intervention. During the past few years, IVUS has also been incorporated in endovascular aortic procedures, in terms of accurate aortic diameter assessment, orientation of the stent-graft, intraprocedural complications and true lumen identification (in cases of aortic dissection). Current literature highlights the perioperative benefit of IVUS during thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) and endovascular repair of acute or chronic Type B aortic dissection. However, there are no data demonstrating that intraoperative use of IVUS improves mid- and long-term outcomes. The purpose of this study is to identify the current trend and future perspectives of intraoperative IVUS during endovascular aortic procedures.

Key Words: Intravascular ultrasound, IVUS, endovascular aortic repair, EVAR

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί ραγδαία αύξηση στην ενδαγγειακή αποκατάσταση πολλών αγγειοχειρουργικών παθήσεων, όπως η περιφερική αρτηριακή νόσος, παθήσεις της θωρακικής, θωρακοκοιλιακής και κοιλιακής αορτής, και εν τω βάθει φλεβικές παθήσεις. Ο ταχέως αυξανόμενος ρυθμός χρήσης ενδαγγειακών τεχνικών οδήγησε στην εξέλιξη πληθώρας ενδαγγειακών υλικών και μοσχευμάτων που κατέστησαν δυνατή την ελάχιστη επεμβατική αντιμετώπιση παθήσεων των οποίων η ανοιχτή αντιμετώπιση συνδυάζεται με αυξημένη νοσηρότητα και θνητότητα.

I. Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Ανευρυσμάτων Κατιούσης Θωρακικής Αορτής (Thoracic Endovascular Aortic Repair - TEVAR)

Η έλευση των ενδαγγειακών τεχνικών στη θεραπεία των παθήσεων της κατιούσης θωρακικής αορτής, άλλαξε τον τρόπο αντιμετώπισης πολλών θωρακικών αορτικών παθήσεων. Η ενδαγγειακή αποκατάσταση της κατιούσης θωρακικής αορτής (TEVAR) συνδυάζεται με χαμηλά ποσοστά περιεγχειρητικής νοσηρότητας και θνητότητας σε σύγκριση με την ανοιχτή χειρουργική. Τα ευνοϊκά κλινικά αποτελέσματα του TEVAR οδήγησαν στην ευρεία αποδοχή του επικρατώντας σε πολλά αγγειοχειρουργικά κέντρα, ως θεραπεία εκλογής σε όλες τις ομάδες ασθενών. [1-3]

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή έκβαση των ενδαγγειακών τεχνικών, είναι η πολύ καλή προεγχειρητική μελέτη, οι ακριβείς μετρήσεις διαμέτρων και μηκών και η σωστή επιλογή μεγέθους μοσχεύματος. Οι συνέπειες της λανθασμένης επιλογής διαμέτρου μοσχεύματος φαίνεται να είναι μεγαλύτερες μετά το TEVAR συγκριτικά με τις ενδαγγειακές επεμβάσεις της κοιλιακής αορτής, λόγω μεγαλύτερων αιμοδυναμικών δυνάμεων [4-6].

Έως και σήμερα, για την προεγχειρητική μελέτη και το σχεδιασμό επέμβασης TEVAR, χρησιμοποιείται η Αξονική Τομογραφία Αγγειογραφία (Computed Tomography Angiography – CTA) και πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις της διαμέτρου της κεντρικής γραμμής της αορτής (centerline aortic diameter measurements) σε τριών-διαστάσεων ανασύνθεση. Ωστόσο, η χρήση της CTA περιλαμβάνει αρκετούς

περιορισμούς. Η απεικόνιση με υπολογιστική τομογραφία αποτυπώνει μια στατική εικόνα, αδυνατώντας να καταγράψει την παλμικότητα της αορτής κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου [7]. Επιπροσθέτως, η διάμετρος της αορτής μπορεί να επηρεαστεί από τη συνολική κατάσταση όγκου του ασθενούς, η οποία μπορεί να είναι διαφορετική τη στιγμή της αξονικής τομογραφίας συγκριτικά με τη στιγμή της επέμβασης TEVAR. Τέλος, η μελέτη βασισμένη στη διάμετρο της κεντρικής γραμμής της αορτής (centerline aortic diameter measurements) και στην τριών διαστάσεων ανασύνθεση ενέχει πιθανά λάθη στον προσανατολισμό και στην τελική θέση έκπτυξης του μοσχεύματος, καθώς η κεντρική γραμμή της αορτής δημιουργεί μια εξιδανικευμένη «ευθειασμένη» αορτή με βάση το κέντρο του αυλού της.

II. Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Υπονεφρικών Ανευρυσμάτων Κοιλιακής Αορτής (Endovascular Aneurysm Repair - EVAR)

Η ενδαγγειακή αποκατάσταση των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής (Endovascular Aneurysm Repair, EVAR) αποτελεί την θεραπεία εκλογής για ασθενείς με υπονεφρικό ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η τεχνική EVAR υπερτερεί έναντι της ανοιχτής χειρουργικής αντιμετώπισης λόγω, μειωμένου χρόνου επέμβασης, μειωμένης απώλεια αίματος, μειωμένου χρόνου παραμονής στο νοσοκομείο, και μειωμένης περιεγχειρητικής θνητότητας και νοσηρότητας. Η πλειονότητα των ενδαγγειακών υλικών που απαιτούνται για τη διεξαγωγή της επέμβασης EVAR (π.χ. ενδαγγειακά μοσχεύματα, καθετήρες, σύρματα, συσκευές των ενδαγγειακών μοσχευμάτων και θηκάρια), έχουν εξελιχθεί προοδευτικά, με στόχο την εφαρμογή της τεχνικής σε μεγαλύτερο αριθμό ασθενών και τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων της. Ωστόσο, οι χρόνοι της επέμβασης και ο τρόπος με τον οποίο αυτή εκτελείται δεν έχει αλλάξει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Οι αυξημένες δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας, η νεφροπάθεια από τη χρήση σκιαγραφικών μεσών καθώς και το υψηλό κόστος των μοσχευμάτων, αποτελούν την «αχίλλειο πτέρνα» της μεθόδου.

Η προσθήκη της αγγειογραφίας με διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στη φαρέτρα των ενδαγγειακών τεχνικών, εξαλείφει σημαντικά τον κίνδυνο νεφροπάθειας που προκαλείται από σκιαγραφικά μέσα, δεν εξαλείφει όμως τους κινδύνους που

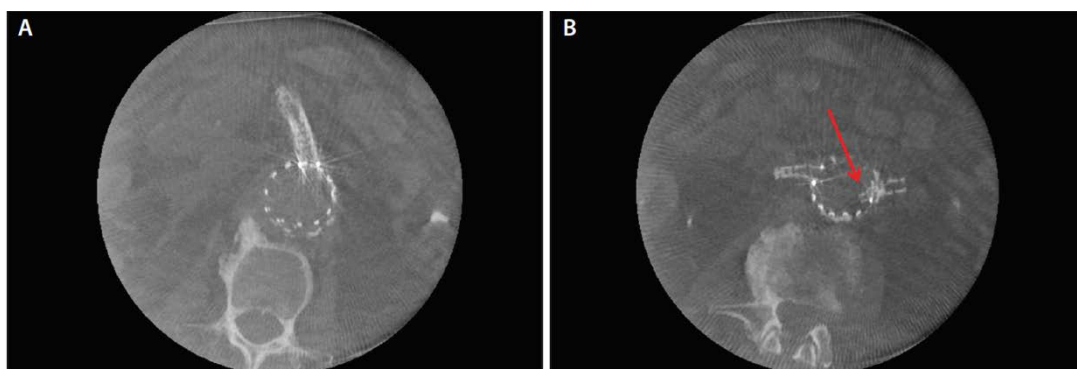
σχετίζονται με το χρόνο ακτινοσκόπησης και τις αυξημένες δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας [8,9].

Η υβριδική απεικόνιση (fusion imaging) σε συνδυασμό με σύστημα αγγειογραφίας με καθοδήγηση (road mapping angiography) φαίνεται να συμβάλλει στη μείωση της έκθεσης σε ιονίζουσα ακτινοβολία [10,11]. Μέχρι σήμερα όμως, το fusion imaging είναι διαθέσιμο σε εξειδικευμένα αγγειοχειρουργικά κέντρα και σε υβριδικές σουίτες [12]. Το ενδαγγειακό υπερηχογράφημα (IVUS) αποτελεί αξιόπιστη μέθοδο άμεσης διεγχειρητικής απεικόνισης της αορτής και των κλάδων αυτής, ενώ παράλληλα επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση του κεντρικού και περιφερικού σημείου πρόσφυσης του ενδαγγειακού μοσχεύματος [13,14]. Σε σύγκριση με τις συμβατικές επεμβάσεις EVAR, η χρήση IVUS διεγχειρητικά εκτός από μείωση χορήγησης σκιαγραφικού μέσου, θα μπορούσε να συμβάλλει και στη μείωση του χρόνου ακτινοσκόπησης και της έκθεσης στην ιοντίζουσα ακτινοβολία, τόσο για τον ασθενή όσο και για τον χειρουργό, χωρίς να μειώνεται η ακρίβεια και η τεχνική επιτυχία της επέμβασης.

III. Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Παρανεφρικών / Θωρακοκοιλιακών Ανευρυσμάτων με μοσχεύματα με θυρίδες ή / και πλάγιους κλάδους (Fenestrated / Branched Endografts – F/BEVAR)

Η εξέλιξη των ενδαγγειακών τεχνικών και η ανάπτυξη μοσχευμάτων με θυρίδες και πλάγιους κλάδους καθιστά πλέον εφικτή την αμιγώς ενδαγγειακή αποκατάσταση πολύπλοκων θωρακοκοιλιακών ανευρυσμάτων, παρανεφρικών ανευρυσμάτων, υπονεφρικών ανευρυσμάτων κοιλιακής αορτής με κοντό μήκος αυχένα ακόμα και περιπτώσεων ενδοδιαφυγής τύπου I σε προηγηθείσα ενδαγγειακή αποκατάσταση υπονεφρικού ανευρύσματος κοιλιακής αορτής. Η ανάπτυξη μιας ελάχιστα επεμβατικής τεχνικής για την αντιμετώπιση σύνθετης ανευρυσματικής νόσου ήταν επιτακτικής ανάγκης, καθώς η πλειονότητα των ασθενών με θωρακοκοιλιακά και παρανεφρικά ανευρύσματα πάσχουν από σοβαρές συνοσηρότητες καθιστώντας την ανοιχτή επέμβαση ιδιαίτερα αυξημένου περιεγχειρητικού κινδύνου. Σήμερα η χρήση σύνθετων αορτικών μοσχευμάτων για τη θεραπεία των σύνθετων ανευρυσμάτων της αορτής αποτελεί τη μέθοδο αναφοράς σε πολλά εξειδικευμένα κέντρα [15].

Τα ενδαγγειακά μοσχεύματα με θυρίδες αρχικά κατασκευάστηκαν με σκοπό την επέκταση των ενδαγγειακών τεχνικών στην αντιμετώπιση των περινεφρικών ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής χωρίς ή με μικρού μήκους αυχένα, δημιουργώντας ικανή κεντρική ζώνη στήριξης με παράλληλη διατήρηση των σπλαχνικών και νεφρικών αρτηριών. Με το επόμενο τεχνολογικό βήμα της κατασκευής μοσχευμάτων με πλάγιους κλάδους κατέστη εφικτή η ενδαγγειακή αντιμετώπιση των θωρακοκοιλιακών ανευρυσμάτων ανεξάρτητα από την έκταση τους. Βεβαίως η λεπτομερής ανατομία της θωρακοκοιλιακής αορτής εξακολουθεί να αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα, αλλά η συνεχής και ραγδαία πρόοδος στις απεικονιστικές τεχνικές αλλά και στην τεχνολογία των ενδαγγειακών συσκευών έχει περιορίσει σημαντικά αυτή την πρόκληση.



Εικόνα 1: Cone Beam Computed Tomography – (CBCT) πριν από την ολοκλήρωση της επέμβασης FEVAR. Α. Ο κλάδος της άνω μεσεντερινικής αρτηρίας απεικονίζεται με βατότητα και ακεραιότητα του ενδονάρθηκα. Β. Ο κλάδος της αριστερής νεφρικής αρτηρίας απεικονίζεται με γωνίωση του ενδονάρθηκα (kink).

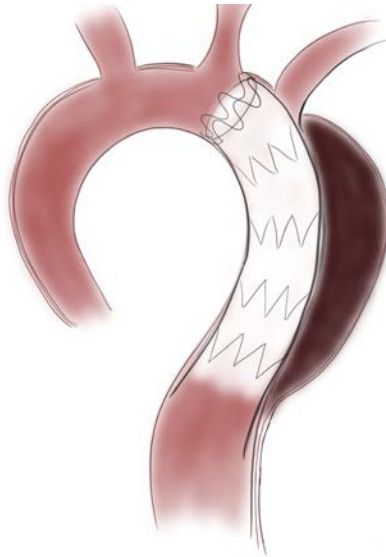
Η πολυπλοκότητα των επεμβάσεων αυτών, απαιτεί εξελιγμένες τεχνικές απεικόνισης τόσο διεγχειρητικά όσο και μετεγχειρητικά για την πρόωμη ανίχνευση επιπλοκών. Για το λόγο αυτό εισήχθη η Αξονική Τομογραφία Κωνικής Δέσμης (Cone Beam Computed Tomography – CBCT) (Εικόνα 1), που επιτρέπει την διεγχειρητική αξιολόγηση τεχνικών ζητημάτων και την άμεση διόρθωσή τους, αποφεύγοντας μελλοντικές επανεπεμβάσεις [16]. Ωστόσο, οι επεμβάσεις F/BEVAR συνδυάζονται με υψηλή έκθεση σε ακτινοβολία τόσο για τον ασθενή όσο και για το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό και όπως αναμένεται, η διεγχειρητική χρήση CBCT αυξάνει σημαντικά το ποσοστό έκθεσης σε ακτινοβολία. Παρότι οι τεχνικές και τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε αξιοσημείωτη μείωση της έκθεσης ακτινοβολίας με την

πάροδο ετών, οι κίνδυνοι που προκαλούνται από την ακτινοβολία δεν πρέπει να υποτιμώνται.

Επιπροσθέτως, η ραγδαία αύξηση των επεμβάσεων F/BEVAR για την αντιμετώπιση πολύπλοκων αορτικών παθήσεων, οδήγησε στην ανάδειξη επιπλοκών σχετιζόμενων με την αστάθεια των ενδοαρθικών γεφύρωσης (bridging stent-grafts) στα αγγεία-στόχους (σπλαχνικές αρτηρίες – νεφρικές αρτηρίες). Η αστάθεια των αγγείων-στόχων περιλαμβάνει την εμφάνιση ενδοδιαφυγής, τη θρόμβωση και ισχαιμία του αντίστοιχου οργάνου και κάταγμα του ενδονάρθηκα. Η έγκαιρη ανίχνευση και θεραπεία της αστάθειας των αγγείων-στόχων είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή των παραπάνω επιπλοκών.

IV. Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Διαχωρισμού Αορτής τύπου B (ταξινόμηση κατά Stanford)

Τα τελευταία χρόνια με την έλευση των ενδαγγειακών τεχνικών, η αντιμετώπιση του διαχωρισμού αορτής τύπου B (ταξινόμηση κατά Stanford), έχει αλλάξει ριζικά. Η ενδαγγειακή αποκατάσταση (TEVAR) (Εικόνα 2), έχει κυριαρχήσει στην αντιμετώπιση των ασθενών με επιπλεγμένο αορτικό διαχωρισμό τύπου B, λόγω της μειωμένης περιεγχειρητικής θνητότητας και νοσηρότητας, συγκριτικά με την ανοιχτή αντιμετώπιση. Παρ'όλα αυτά, ακόμα και σήμερα υπάρχουν αρκετές αντιπαραθέσεις αναφορικά με την επιλογή του είδους του μοσχεύματος, τη θέση έκπτυξης, και την επιλογή διαμέτρου του μοσχεύματος (oversizing).



Εικόνα 2: Σχηματική Απεικόνιση Ενδαγγειακής Αποκατάστασης Διαχωρισμού Αορτής τύπου Β κατά Stanford

Σύμφωνα με τις τελευταίες κατευθυντήριες οδηγίες, η ενδαγγειακή αποκατάσταση επιπλεγμένου αορτικού διαχωρισμού τύπου Β, αποτελεί θεραπεία εκλογής, ενώ στον μη επιπλεγμένο αορτικό διαχωρισμό, η φαρμακευτική αγωγή σε συνδυασμό με τη στενή παρακολούθηση αποτελούν την καλύτερη θεραπευτική στρατηγική. Μεταξύ των ασθενών με μη επιπλεγμένο αορτικό διαχωρισμό, προτείνεται η ενδαγγειακή αποκατάσταση, στην ομάδα των ασθενών που φέρουν κλινικά και απεικονιστικά κριτήρια που τους καθιστούν ασθενείς υψηλού κινδύνου, καθώς πρόσφατες μελέτες [17,18] δημοσίευσαν ευνοϊκά αποτελέσματα της ενδαγγειακής αντιμετώπισης όσον αφορά την εξέλιξη της νόσου και την αναδιαμόρφωση της αορτής (remodeling). Κατά συνέπεια ο αριθμός τελικά των ασθενών που θα αντιμετωπισθούν με ενδαγγειακές τεχνικές, αυξάνεται σημαντικά.

Καθώς η ενδαγγειακή αντιμετώπιση αποκτά ευρείας αποδοχής, η αναγνώριση του αληθούς και του ψευδούς αυλού καθώς και ο επιτυχής αποκλεισμός της ρήξης του έσω χιτώνα (primary intimal tear) είναι η καθοριστικής σημασίας για την τεχνική επιτυχία της επέμβασης. Το σωστό μέγεθος και η ακριβής τοποθέτηση του μοσχεύματος έχει σοβαρές επιπτώσεις στην αναδιαμόρφωση, το ποσοστό επανεπέμβασης και την επακόλουθη έκβαση των ασθενών. Συνεπώς, η προσεκτική και ακριβής αξιολόγηση της προεγχειρητικής και διεγχειρητικής μορφολογίας του αορτικού διαχωρισμού με χρήση υπολογιστικής τομογραφίας αγγειογραφίας (CTA) ή/και αγγειογραφίας μαγνητικού συντονισμού (MRA) είναι καθοριστικής σημασίας. Παρόλες τις

σημαντικές ανατομικές πληροφορίες που προσφέρει η CTA, συνοδεύεται από κάποιους σημαντικούς περιορισμούς όπως η αδυναμία αναγνώρισης δυναμικής υποάρδευσης οργάνων (dynamic malperfusion) και η αδυναμία αναγνώρισης των σημείων επανεισόδου του διαχωρισμού (re-entry tears).

Βιβλιογραφικά δεδομένα των τελευταίων ετών, αναφέρουν ότι η χρήση IVUS κατά τη διάρκεια επέμβασης TEVAR για τη θεραπεία διαχωρισμού αορτής τύπου B, έχει σημαντικό ρόλο στην οριοθέτηση του ψευδούς και αληθούς αυλού, στην απεικόνιση της έκφυσης των κλάδων της αορτής, στην αναγνώριση των σημείων επανεισόδου καθώς και στην αξιολόγηση της ζώνης πρόσφυσης του ενδαγγειακού μοσχεύματος. Ωστόσο, η χρήση του IVUS στην αντιμετώπιση του αορτικού διαχωρισμού δεν αποτελεί πρακτική ρουτίνας.

V. Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Αμβλέος Τραυματισμού Αορτής

Ο αμβλύς τραυματισμός της αορτής είναι μια σπάνια αλλά δυνητικά θανατηφόρα οντότητα. Αν και η συνολική επίπτωση της νόσου είναι <1%, αποτελεί τη δεύτερη αιτία θανάτου σε αμβλύ τραύμα. Πάνω από το 60% των αμβλέων αορτικών τραυματισμών συμβαίνουν στον αορτικό ισθμό, όπου η σχετικά σταθερή κατιούσα αορτή συναντά το πιο κινητό αορτικό τόξο. Άλλα τμήματα της αορτής που μπορεί να εμπλέκονται είναι η ανιούσα θωρακική αορτή (8–27%), το αορτικό τόξο (8–18%), η κατιούσα θωρακική αορτή (11–21%) και σε μικρότερο ποσοστό η κοιλιακή αορτή.

Ο αμβλύς τραυματισμός της αορτής αντιπροσωπεύει ένα φάσμα παθήσεων που βασίζεται στους χιτώνες της αορτής που εμπλέκονται (Εικόνα 3):

- Ρήξη έσω χιτώνα (βαθμός I)
- Ενδοτοιχωματικό αιμάτωμα (βαθμός II)
- Ψευδές ανεύρυσμα (βαθμός III)
- Ρήξη (βαθμός IV)



Εικόνα 3: Ταξινόμηση Αμβλέος Τραυματισμού Αορτής ανάλογα με τον χιτώνα που εμπλέκεται.

Η μέθοδος αντιμετώπισης και η συνολική διαχείριση των ασθενών με αμβλύ αορτικό τραύμα, έχει αλλάξει δραματικά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Μια πολυκεντρική μελέτη που δημοσιεύθηκε το 2015, περιλάμβανε ασθενείς με αμβλύ αορτικό τραύμα, το 76,4% των οποίων αντιμετωπίστηκε με TEVAR [19]. Ορισμένες μελέτες υποδηλώνουν ότι η καθυστερημένη θεραπεία είναι ασφαλής και ότι μπορεί να

οδηγήσει σε βελτιωμένα κλινικά αποτελέσματα, συγκριτικά με την πρώιμη θεραπεία (<24 h). Μια ανάλυση ασθενών έδειξε σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό θνητότητας στην καθυστερημένη ομάδα σε σύγκριση με την πρώιμη ομάδα (5,8% έναντι 16,5%) [20].

Η ενδαγγειακή αποκατάσταση του αμβλέος αορτικού τραυματισμού συνοδεύεται από σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά μετεγχειρητικής νοσηρότητας και θνητότητας, συγκριτικά με την ανοιχτή αποκατάσταση. Η σωστή επιλογή μεγέθους του ενδαγγειακού μοσχεύματος είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή οριστικής θεραπείας και για την αποφυγή διεγχειρητικών επιπλοκών. Και σε αυτή την ομάδα ασθενών, η προεγχειρητική αξιολόγηση περιλαμβάνει την υπολογιστική τομογραφία (CT), για τον προσδιορισμό του μεγέθους της αορτής και ακολούθως τον προσδιορισμό του μεγέθους αλλά και του μήκους του μοσχεύματος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Είναι βιβλιογραφικά γνωστό, ότι η αξονική τομογραφία υποεκτιμά τη διάμετρο της αορτής όσον αφορά την προεγχειρητική μελέτη για τη διενέργεια TEVAR. Στην ομάδα των ασθενών όμως με αμβλύ αορτικό τραυματισμό, η απεικόνιση με CTA υποεκτιμά ακόμα περισσότερο τη διάμετρο της αορτής, καθώς στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ο ασθενής βρίσκεται σε κατάσταση υπογκαιμίας [21,22]. Μετά την αξονική τομογραφία και μέχρι την ενδαγγειακή θεραπεία του ασθενούς, χορηγούνται ενδοφλέβια υγρά με σκοπό την αναζωογόνησή του. Όπως αναμένεται, αυτή η αύξηση του ενδαγγειακού όγκου των ασθενών, έχει φανεί με χρήση διεγχειρητικού IVUS, ότι οδηγεί σε διεγχειρητική αύξηση της διαμέτρου της αορτής έως και 20%, αλλάζοντας τελικά διεγχειρητικά τη διάμετρο του επιλεγμένου ενδαγγειακού μοσχεύματος στο 84% των περιπτώσεων [23].

VI. Η χρήση του ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος (IVUS)

Έως και σήμερα, για την περάτωση των ενδαγγειακών επεμβάσεων, η διεγχειρητική αγγειογραφία με τη χρήση ιωδιούχου σκιαγραφικού μέσου, αποτελεί απαραίτητη συνιστώσα της επέμβασης. Αν και η συμβατική αγγειογραφία είναι παγκοσμίως διαθέσιμη, περιλαμβάνει κάποιους βασικούς περιορισμούς στη διεγχειρητική της χρήση. Σημαντικό ποσοστό των ασθενών με αγγειοχειρουργικές παθήσεις πάσχουν από νεφρική ανεπάρκεια (στάδιο I – V), όπου η χρήση των

ιωδιούχων σκιαγραφικών μέσων συνδυάζεται με αυξημένη νοσηρότητα και υψηλά ποσοστά οξείας σωληναριακής βλάβης. Τα τελευταία χρόνια ως εναλλακτικό σκιαγραφικό μέσο, χρησιμοποιείται το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι ασφαλές τόσο για τους ασθενείς με νεφρική ανεπάρκεια όσο και για τους ασθενείς με αλλεργία στα ιωδιούχα σκιαγραφικά μέσα, όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρτηριακές ενδαγγειακές επεμβάσεις θωρακικής αορτής και βραχιοκεφαλικών αρτηριών.



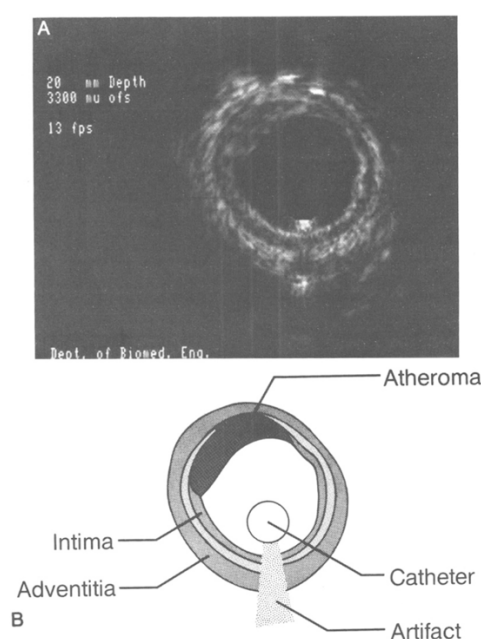
Εικόνα 4: Ενδαγγειακή Αποκατάσταση Παρανεφρικού Ανευρύσματος Κοιλιακής Αορτής (FEVAR) με διεγχειρητική αγγειογραφία με διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). (από το αρχείο της Β' Αγγειοχειρουργικής Κλινικής, ΕΚΠΑ, ΓΝΑ "Λαϊκό")

Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα της διεγχειρητικής αγγειογραφίας είναι η αποτύπωση δύο διαστάσεων του απεικονιζόμενου αγγείου περιορίζοντας σε σημαντικό βαθμό την ακριβή απεικόνιση των τριών διαστάσεων του αυλού, αποκρύπτοντας έτσι σημαντικές ανατομικές πληροφορίες. Σε αρκετές ενδαγγειακές επεμβάσεις, διενεργούνται αγγειογραφίες με πολλαπλές λήψεις με διαφορετικές θέσεις του C-ARM, για καλύτερη αποτύπωση των τριών διαστάσεων του αυλού, αυξάνοντας όμως τον χρόνο επέμβασης και παράλληλα αυξάνοντας τον χρόνο διεγχειρητικής ακτινοσκόπησης. Επιπροσθέτως, αναφορικά με την αθηρωματική νόσο, στην αγγειογραφία ο βαθμός της αθηρωματικής βλάβης εκτιμάται σε σχέση με παρακείμενες περιοχές του αγγείου. Επομένως, σε πολλές περιπτώσεις με την αγγειογραφία η βλάβη υποεκτιμάται, καθώς συγκρίνεται με περιοχές, που, αν και φαίνονται «υγιείς», έχουν αθηροσκλήρωση.

Αξιολογώντας τα ανωτέρω μειονεκτήματα της διεγχειρητικής αγγειογραφίας, γεννήθηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη μιας διαγνωστικής τεχνικής, που θα απεικόνιζε συμπληρωματικά το αγγειακό τοίχωμα, θα παρείχε πληροφορίες για τη διάμετρο του αγγείου και θα αποτύπωνε σε τρεις διαστάσεις τον αυλό του αγγείου.

Η χρήση του ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος (intravascular ultrasound – IVUS), εισήχθη για πρώτη φορά το 1988 από τους Meyer et al. [24], όπου διεξήγαγαν in vitro απεικόνιση μηριαίων και λαγονίων αρτηριών σε ανατομικά παρασκευάσματα, με τη χρήση συστήματος υπερήχων ενσωματωμένο σε καθετήρα και συνέκριναν τα απεικονιστικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα απεικόνισης των παραπάνω αγγείων με μαγνητική τομογραφία. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπήρχε πολύ καλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο απεικονιστικών τεχνικών.

Έκτοτε, η χρήση του IVUS εξελίχθηκε ραγδαίως και ενσωματώθηκε άμεσα στην επεμβατική καρδιολογία, με την πρώτη in-vivo χρήση του IVUS να πραγματοποιείται ένα χρόνο αργότερα από τους Yock et al. [25] (Εικόνα 5).



Εικόνα 5.: Χρήση IVUS σε στεφανιαία αρτηρία με απεικόνιση αθηρώματος και ακριβή απεικόνιση των τριών χιτώνων της αρτηρίας, από: Yock PG, Linker DT, Angelsen BA. Two-dimensional intravascular ultrasound: technical development and initial clinical experience. J Am Soc Echocardiogr. 1989 Jul-Aug;2(4):296-304.

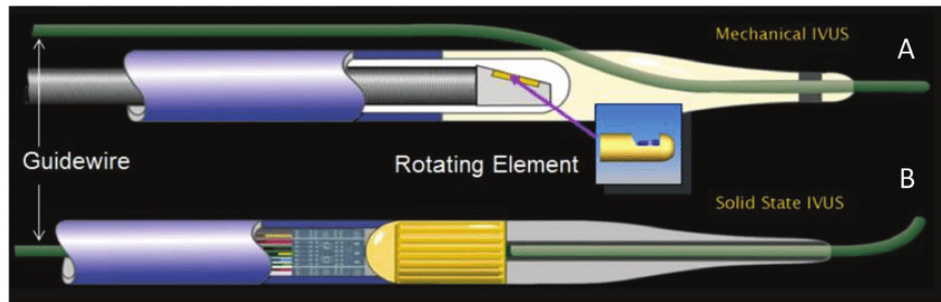
Το IVUS αποτελείται από τρία τμήματα:

- τον καθετήρα, που φέρει στο άκρο του την πηγή των υπερήχων
- μια συσκευή αυτόματης ανάσυρσης (pull-back device)
- την κονσόλα, που μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε εικόνα [26].

Το IVUS λειτουργεί με τις ίδιες βασικές αρχές όπως και οποιαδήποτε άλλη μέθοδος απεικόνισης που βασίζεται σε υπερήχους. Ο μετατροπέας λαμβάνει ηλεκτρικά σήματα από την κονσόλα και οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι στον μετατροπέα διαστέλλονται και συστέλλονται για να παράγουν κύματα υπερήχων υψηλής συχνότητας. Τα υπερηχητικά κύματα αντανακλώνται στην επιφάνεια του αγγειακού τοίχωματος, όπου μέρος των ανακλώμενων κυμάτων επιστρέφει στον μορφοτροπέα και οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι μετατρέπουν αυτά τα σήματα σε ηλεκτρικά σήματα. Η μηχανή απεικόνισης στην κονσόλα επεξεργάζεται τα ηλεκτρικά σήματα και δημιουργεί grayscale sectional εικόνα. Ο καθετήρας IVUS εισάγεται στο αγγείο δια του οδηγού σύρματος (over the wire – OTW), τοποθετείται περιφερικότερα του σημείου ενδιαφέροντος, και αποσύρεται σταδιακά, αποτυπώνοντας όλο το μήκος του αγγείου. Το σύρμα οδηγός για τον καθετήρα IVUS μπορεί να είναι .014'', .018'' και .035'' αναλόγως του καθετήρα και της διαμέτρου του αγγείου [26].

VII. Μετατροπείς IVUS (IVUS Transducers)

Οι μετατροπείς IVUS ταξινομούνται σε δύο τύπους ανάλογα με τον καθετήρα που χρησιμοποιούν και τη μέθοδο λήψης της εικόνας, τον μηχανικό (mechanical) και το ηλεκτρονικό (solid state) (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Είδη μετατροπέων IVUS: Α. Μηχανικός Μετατροπέας, Β. Ηλεκτρονικός Μετατροπέας, από:

Τα δυο είδη καθετήρα έχουν σημαντικές διαφορές στο σχεδιασμό και στον τρόπο λειτουργίας του, υπάρχουν ορισμένα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και περιορισμοί σε κάθε ένα από τα σχέδια καθετήρα

Ο μηχανικός μετατροπέας IVUS φέρει στο άκρο του πιεζοκρύσταλλο που περιστρέφεται 360° με 1800 φορές το δευτερόλεπτο (rpm) και παράγει υπερήχους. Ο τρόπος λειτουργίας του μηχανικού μετατροπέα, του επιτρέπει τη μικρή διάμετρό του (<1 mm σε διάμετρο) και έτσι ελαχιστοποιεί το μέγεθος ενός καθετήρα IVUS (<2 mm σε διάμετρο). Επιπλέον, το άκαμπτο άκρο των μετατροπέων IVUS έχει μήκος μικρότερο από 2 mm επιτρέποντας στον καθετήρα να περάσει εύκολα μέσα από έντονα αθηρωματική βλάβη. Ωστόσο, επειδή η εικόνα αποκτάται μέσω μηχανικής περιστροφής, μπορεί να παραμορφωθεί σε μη ομοιόμορφη περιστροφή που μπορεί να σχηματιστεί σε έντονα ελικομένο αγγείο. Επιπλέον, βάσει των αρχών της υπερηχοτομογραφίας, μικρές φυσαλίδες που μπορεί να δημιουργηθούν μεταξύ του καθετήρα και του μετατροπέα λόγω της περιστροφής, μπορεί να επηρεάσουν τη μετάδοση, επηρεάζοντας τελικά και την ποιότητα της εικόνας. Για αυτό το λόγο, οι καθεήρες IVUS, διαθέτουν σύστημα έκπλυσης με φυσιολογικό ορό, επιλύοντας το πρόβλημα και βελτιώνοντας την τελική εικόνα. Οι καθεήρες IVUS με μηχανικό

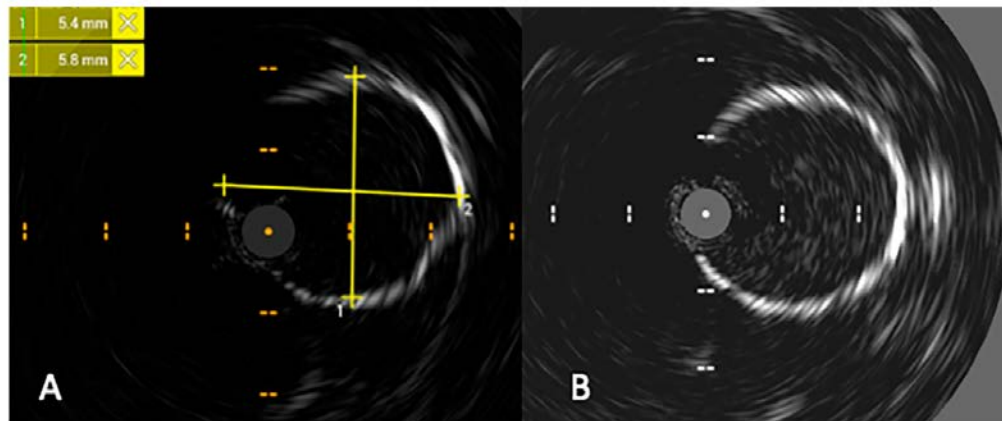
μετατροπέα λειτουργούν με συχνότητα 40 MHz ή 60 MHz και είναι συμβατοί με 5F ή 6F καθετήρα. Οι εμπορικά διαθέσιμοι καθετήρες IVUS είναι ο καθετήρας OptiCross από την εταιρεία Boston Scientific (Santa Clara, California) ο καθετήρας Revolution από την εταιρεία Volcano (Rancho Cordova, California), ο καθετήρας ViewIT από την εταιρεία Terumo (Tokyo, Japan) και ο καθετήρας Kodama HD από την εταιρεία ACIST Medical Systems (Eden Prairie, Minnesota).

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας IVUS φέρει στο άκρο του 64 πιεζοκρύσταλλους, οι οποίοι ενεργοποιούνται διαδοχικά με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις για να παραχθεί μια δέσμη υπερήχων που σαρώνει την περιφέρεια του αγγείου, και έτσι δεν υπάρχει παραμόρφωση της εικόνας λόγω περιστροφής. Επιπλέον, ο καθετήρας δεν έχει εξωτερικό περίβλημα, έτσι δεν δημιουργείται παγίδευση αέρα γύρω από τον καθετήρα και δεν χρειάζεται έκπλυση με φυσιολογικό ορό για καλύτερη απεικόνιση. Ωστόσο, το άκαμπτο άκρο του ηλεκτρονικού μετατροπέα έχει μεγαλύτερο μήκος (π.χ. 7 mm). Ο εμπορικά διαθέσιμος καθετήρας με ηλεκτρονικό μετατροπέα είναι ο καθετήρας Eagle Eye από την εταιρεία Philips (San Diego, CA, USA), ο οποίος λειτουργεί σε κεντρική συχνότητα 20 MHz και είναι συμβατός με 5F. Αν και ο καθετήρας με ηλεκτρονικό μετατροπέα έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, περιορίζεται από τη χαμηλότερη συχνότητά του, την προκύπτουσα κακή ανάλυση καθώς και από την απώλεια λεπτομερειών απεικόνισης κοντά στην επιφάνεια του καθετήρα.

Το IVUS αντιπροσωπεύει μια διεγχειρητική συμπληρωματική μέθοδο για την αξιολόγηση της ανατομίας του αγγείου αλλά και του αποτελέσματος της ενδαγγειακής θεραπείας, παράλληλα όμως προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης της χρήσης ιωδιούχων σκιαγραφικών μέσων και της έκθεση στην ακτινοβολία. Επιπλέον, το IVUS παρέχει μια δυναμική αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο σε σύγκριση με την στατική προεγχειρητική αξονική τομογραφία ή τη διεγχειρητική αγγειογραφία.

Το IVUS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο μιας ενδαγγειακής επέμβασης, είτε αμιγώς διαγνωστικά είτε διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στις θεραπευτικές επιλογές. Ως μέρος μιας διαγνωστικής αξιολόγησης, το IVUS μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της θέσης, της έκτασης και της μορφολογίας της αθηρωματικής πλάκας, στην επιλογή του μεγέθους του ενδονάρθηκα, βάσει των διαστάσεων του αυλού και καθώς και στην επιλογή του μήκους του ενδονάρθηκα (Εικόνα 7). Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, η χρήση του IVUS μπορεί να

επιβεβαιώσει την έκπτυξη του ενδονάρθηκα και τη μέγιστη ενίσχυση του αυλού του αγγείου. Η απεικόνιση μετά το τέλος της επέμβασης μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό πιθανών επιπλοκών, συμπεριλαμβανομένου του διαχωρισμού, της ατελούς έκπτυξης (recoiling) του ενδονάρθηκα, της κακής τοποθέτησης του ενδονάρθηκα, και των αιματωμάτων.



Εικόνα 7: Διεγχειρητική εκτίμηση διαμέτρου με χρήση ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος IVUS.

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση των αποτελεσμάτων της χρήσης του ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος (IVUS) κατά τη διάρκεια ενδαγγειακών επεμβάσεων αορτικών παθήσεων. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθούν τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τη διεγχειρητική χρήση του IVUS στην ενδαγγειακή αντιμετώπιση διαχωρισμού αορτής, ανευρύσματος αορτής (θωρακικής, θωρακοκοιλιακής και κοιλιακής αορτής), καθώς και του αμβλέος αορτικού τραύματος, αναφορικά με την επίπτωση στο συνολικό χρόνο χειρουργείου, στην έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία και στη χρήση ιωδιούχων σκιαγραφικών μέσων.

Μεθοδολογία

Για τη διεξαγωγή της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, διενεργήθηκε αναζήτηση στην δημοσιευμένη βιβλιογραφία τον Δεκέμβριο του 2023. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν συλλέχθηκαν μέσω αναζήτησης από βάσεις δεδομένων Ιατρικών άρθρων όπως το MEDLINE (database provider PubMed, from 1966 to December 2023), EMBASE (database provider Ovid, from 1980 to December 2023), Google Scholar and Cochrane Central Register of Controlled Trials (December 2023). Η συλλογή συμπεριλάμβανε Διεθνή βιβλιογραφία αυστηρά στην Αγγλική γλώσσα.

Εφαρμόστηκαν οι ακόλουθοι όροι αναζήτησης: (“intravascular ultrasound” OR “IVUS”) AND (“endovascular aortic repair” OR “EVAR”). Αξιολογήθηκαν όλα τα άρθρα που αναφέρονταν στην χρήση του ενδαγγειακού υπερήχου για την ενδαγγειακή αντιμετώπιση αορτικών παθήσεων. Πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση της βιβλιογραφίας των άρθρων για την ανάδειξη περαιτέρω μελετών σχετικών με το θέμα (snowball process).

Αξιολογήθηκαν όλες οι μελέτες αναφορικά με τη χρήση του IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση αορτικών παθήσεων, και συγκεκριμένα στην ενδαγγειακή αντιμετώπιση διαχωρισμού αορτής, ανευρύσματος αορτής (θωρακικής, θωρακοκοιλιακής και κοιλιακής αορτής), καθώς και του αμβλέος αορτικού τραύματος. Οι μελέτες οι οποίες παρείχαν αποτελέσματα ως προς την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και τα οφέλη της τεχνικής, θεωρήθηκαν κατάλληλες για την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Μελέτες όπου χρησιμοποιήθηκε το IVUS για αμιγώς διαγνωστικούς λόγους, καθώς και μελέτες που δεν εμφάνιζαν περιεγχειρητικά αποτελέσματα ως προς τη χρήση του IVUS θεωρήθηκαν ακατάλληλες και δεν συμπεριλήφθηκαν. Επιπλέον, αποκλείστηκαν από την παρούσα μελέτη συστηματικές ανασκοπήσεις, κλινικές περιπτώσεις, επιστολές προς τον εκδότη ή εργασίες δημοσιευμένες σε άλλη γλώσσα πλην της Αγγλικής. Στην περίπτωση εργασιών προερχόμενων από το ίδιο κέντρο, η εργασία με τις περισσότερες πληροφορίες λαμβανόταν υπόψιν για να συμπεριληφθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

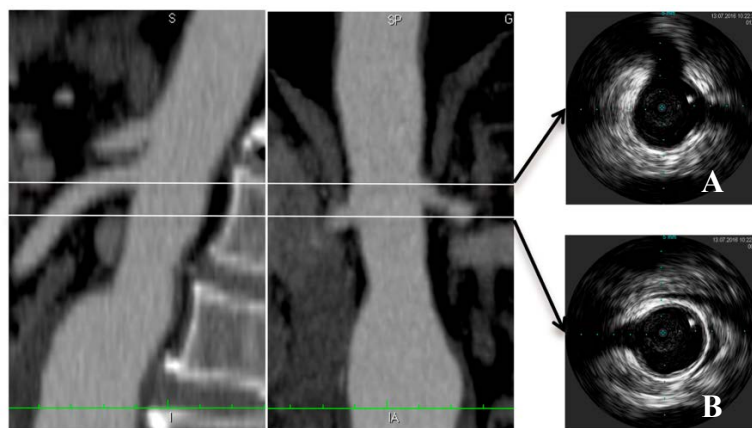
Συνολικά ταυτοποιήθηκαν 55 άρθρα σχετικά με τη χρήση IVUS σε ενδαγγειακές επεμβάσεις παθήσεων αορτής, εκ των οποίων 30 άρθρα αξιολογήθηκαν

περαιτέρω βάσει τον κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Η πλειονότητα των μελετών αφορούσε στη χρήση του IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση διαχωρισμού αορτής τύπου Β και στην ενδαγγειακή αποκατάσταση υπονεφρικών ανευρυσμάτων κοιλιακής αορτής. Σε καμία από τις κατηγορίες των αορτικών παθήσεων δεν ανευρέθη τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή.

Αποτελέσματα

I. Η χρήση του IVUS στην Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Υπονεφρικών Ανευρυσμάτων Κοιλιακής Αορτής (EVAR)

Οι Taalab et al. [27] σε μια πρόσφατη σειρά 10 ασθενών με υπονεφρικό ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής, εξέτασαν την ακρίβεια των μετρήσεων του IVUS αναφορικά με τις διαμέτρους και μήκη του ανευρύσματος και της αορτής, και την εγκυρότητα στην επιλογή μοσχευμάτων συγκριτικά με την εξέταση εκλογής, την αξονική αγγειογραφία. Κατά τη σύγκριση των μέσων μετρήσεων που ελήφθησαν από τη CTA και το IVUS, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με εξαίρεση τη μέγιστη διάμετρο του ανευρύσματος και τη διάμετρο της αορτής στο επίπεδο του διχασμού της (και οι δύο τιμές $P < .001$). Δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις μήκους μεταξύ των δύο τρόπων απεικόνισης. Η αξονική αγγειογραφία συσχετίστηκε περισσότερο με την ανίχνευση θρόμβου στον αορτικό αυχένα και το IVUS σχετίστηκε περισσότερο με την ανίχνευση ασβεστοποίησης.



Εικόνα 8: Α. Ενδαγγειακή υπερηχογραφική εικόνα που δείχνει την έκφυση της άνω μεσεντερίου αρτηρίας και της αριστερής νεφρικής αρτηρίας. Β. Ενδαγγειακή υπερηχογραφική εικόνα που δείχνει την έκφυση της δεξιάς νεφρικής αρτηρίας

Το 2019, οι Pecoraro et al. [28] δημοσίευσαν μια συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων της ενδαγγειακής αποκατάστασης υπονεφρικού ανευρύσματος κοιλιακής αορτής (standard EVAR) με τα αποτελέσματα της επέμβασης EVAR σε συνδυασμό με διεγχειρητικό IVUS. Οι συγγραφείς ανέδειξαν ότι η χρήση του IVUS

μειώνει σημαντικά τη χρήση του σκιαγραφικού μέσου καθώς και την έκθεση σε ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη συμπεριελήφθησαν 52 ασθενείς (26 ασθενείς στην ομάδα EVAR και 26 ασθενείς στην ομάδα EVAR + IVUS). Οι ερευνητές μελέτησαν την περιεγχειρητική νοσηρότητα και θνητότητα, την επίπτωση της οξείας νεφρικής βλάβης, την επίπτωση ενδοδιαφυγής, τη μέση τιμή χρήσης σκιαγραφικού μέσου, το συνολικό χρόνο επέμβασης, την έκθεση ακτινοβολίας και τον αριθμό των ψηφιακών αφαιρετικών αγγειογραφιών (digital subtraction angiography - DSA). Στην ομάδα των ασθενών EVAR + IVUS παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της χρήσης σκιαγραφικού μέσου (92mL vs 51mL, $P = .003$) και σημαντική μείωση στο χρόνο ακτινοσκόπησης (12min vs 29min, $P = .001$). Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά την επίπτωση της οξείας νεφρικής βλάβης και του συνολικού χρόνου επέμβασης.

Σε μία σειρά 173 ασθενών ενός κέντρου [29], μελετήθηκε προοπτικά η επίπτωση της χρήσης IVUS κατά τη διάρκεια επέμβασης EVAR για τη θεραπεία υπονεφρικού ανευρύσματος κοιλιακής αορτής. Συγκεκριμένα, 69 ασθενείς υπεβλήθησαν σε EVAR με αποκλειστική χρήση IVUS και 104 ασθενείς υπεβλήθησαν σε EVAR με διενέργεια διεγχειρητικής αγγειογραφίας. Η μέση διάρκεια του χρόνου ακτινοσκόπησης ήταν σημαντικά χαμηλότερη για την ομάδα με τη χρήση IVUS (24 ± 15 min έναντι 40 ± 30 min, $P < .01$). Επιπλέον, η μέση δόση ακτινοβολίας ήταν σημαντικά χαμηλότερη στην ομάδα με τη χρήση IVUS [76m Gy (44–102) έναντι 131mGy (58–494)], $P < .01$. Η ομάδα των ασθενών με τη χρήση IVUS έλαβε μικρότερη ποσότητα σκιαγραφικού μέσου, συγκριτικά με την άλλη ομάδα (60 ± 20 ml έναντι 120 ± 40 ml, $P < .01$). Δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση τιμή χρόνου επέμβασης (120 ± 30 λεπτά έναντι 140 ± 30 λεπτά, $P = .07$). και στη διαφορά νεφρικής κάθαρσης πριν και μετά την επέμβαση.

Σε μια πρόσφατη προοπτική μελέτη [30], 27 ασθενείς υπεβλήθησαν σε ενδαγγειακή αντιμετώπιση υπονεφρικού ανευρύσματος κοιλιακής αορτής με χρήση IVUS, χωρίς χρήση σκιαγραφικού μέσου, συνδυαστικά με τελικό έλεγχο με υπερηχογράφημα ενισχυμένης αντίθεσης (CEUS). Οι συγγραφείς ανέφεραν ότι η διενέργεια EVAR υποβοηθούμενο από υπερήχους (IVUS και CEUS) είναι ασφαλές, εφικτό και αξιόπιστο, εξαλείφοντας πλήρως την ανάγκη για σκιαγραφικό μέσο ιωδίου και μειώνοντας την έκθεση σε ακτινοβολία τόσο για τους ασθενείς όσο και για το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό.

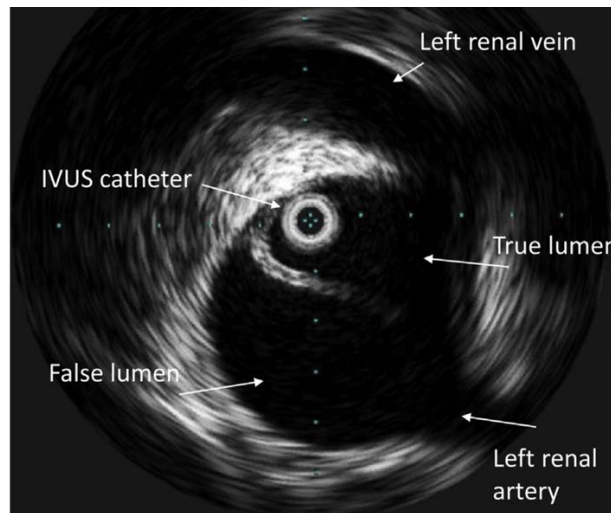
II. Η χρήση του IVUS στην Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Ανευρύσματος Θωρακικής Αορτής (TEVAR)

Οι Han et al. [31] μελέτησαν αναδρομικά εικόνες αξονικής αγγειογραφίας 26 ασθενών που υπεβλήθησαν σε εκλεκτική επέμβαση TEVAR για παθήσεις της κατιούσης θωρακικής αορτής και συνέκριναν τις μετρήσεις με διεγχειρητικές εικόνες IVUS. Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η διάμετρος της αορτής με τη χρήση του IVUS καθ' όλη τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου. Υπήρχε υψηλή συσχέτιση μεταξύ των διαμέτρων αορτής που προσδιορίστηκαν με CTA και IVUS ($R=0.62$; $P < .001$). Ωστόσο, περαιτέρω αναλύσεις έδειξαν ότι, σε σύγκριση με την αξονική τομογραφία, το IVUS οδήγησε σε μεγαλύτερες διαμέτρους αορτής, με μέση διαφορά 3,09 mm. Αναφορικά με τις μετρήσεις σε διάφορες θέσεις της αορτής, φάνηκε ότι η μικρότερη διαφορά των μετρήσεων μεταξύ των δύο τεχνικών ήταν στο επίπεδο έκφυσης της αριστερού υποκλείδιου αρτηρίας, ενώ η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των μετρήσεων ήταν στα σημεία της αορτής με γωνία με μέση διαφορά έως 7,96mm.

III. Η χρήση του IVUS στην Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Διαχωρισμού Αορτής τύπου B κατά Stanford

Σε μία προοπτική μελέτη κοόρτης, οι Guo et al. [32] παρουσίασαν τα αποτελέσματα 47 διαδοχικών ασθενών με επιπλεγμένο διαχωρισμό αορτής τύπου B. Από το σύνολο των 47 ασθενών, 13 ασθενείς υπεβλήθησαν σε TEVAR με τη χρήση IVUS και 34 ασθενείς υπεβλήθησαν σε TEVAR με χρήση μόνο αγγειογραφίας. Η μέση τιμή διαμέτρου των μετρήσεων IVUS στη ζώνη πρόσφυσης ήταν μεγαλύτερη από αυτή που εκτιμήθηκε με αξονική τομογραφία αγγειογραφίας ($31,82 \pm 4,21$ mm έναντι $30,64 \pm 4,13$ mm, $P < 0,001$).

Όσον αφορά τα περιεγχειρητικά αποτελέσματα, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο της επέμβασης μεταξύ των δύο ομάδων ($89,3 \pm 43,3$ TEVAR με τη χρήση IVUS έναντι $116,4 \pm 26,7$ λεπτά TEVAR, $P = .013$) και στη χρήση σκιαγραφικού μέσου ($101,3 \pm 18,2$ TEVAR με τη χρήση IVUS έναντι $133,7 \pm 17,6$ ml TEVAR, $P < .001$).



Εικόνα 9: Αντιπροσωπευτική εικόνα ενδαγγειακού υπερηχογραφήματος (IVUS) με απεικόνιση αληθούς αυλού, ψευδούς αυλού, αριστερής νεφρικής αρτηρίας, αριστερής νεφρικής φλέβας και καθετήρα IVUS.

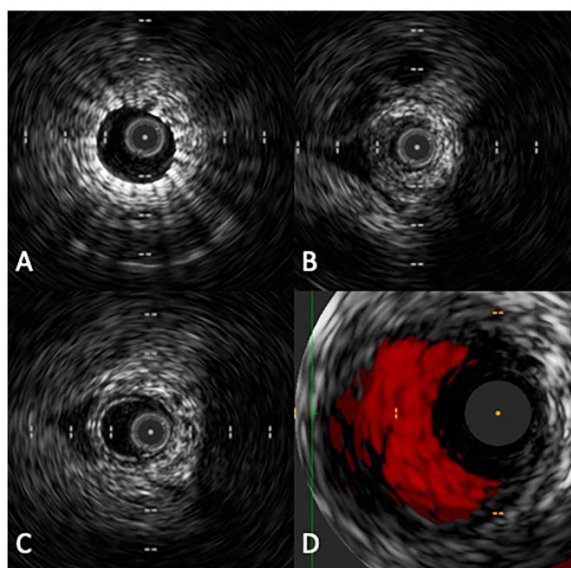
Σε μια μεγάλη σειρά 2686 ασθενών [33] με διαχωρισμό αορτής τύπου B, που αντιμετωπίστηκαν με ενδαγγειακές τεχνικές, φάνηκε ότι η διεγχειρητική χρήση του IVUS χρησιμοποιήθηκε στην πλειονότητα των περιπτώσεων (74.6%). Η χρήση του IVUS φάνηκε ότι ήταν πιο συχνή στις περιπτώσεις επείγουσας ενδαγγειακής παρέμβασης και σε πιο πολύπλοκες ενδαγγειακές επεμβάσεις. Στην ομάδα των ασθενών που χρησιμοποιήθηκε το IVUS, υπήρχαν υψηλότερα ποσοστά κεντρικής Ζώνης πρόσφυσης 0 έως 2 (43,9% έναντι 30,7%, $P<.001$), και υψηλότερα ποσοστά περιφερικής ζώνης πρόσφυσης μετά το επίπεδο του διαφράγματος (53,9% έναντι 37,4%, $P=.001$). Σε περαιτέρω ανάλυση που διενεργήθη φάνηκε ότι η χρήση IVUS, αποτέλεσε ανεξάρτητο προγνωστικό παράγοντα για υψηλότερα ποσοστά μακροπρόθεσμης επιβίωσης των ασθενών.

Η αναδρομική μελέτη των Lortz et al. [34], περιλάμβανε 45 ασθενείς που υπεβλήθησαν σε TEVAR για επιπλεγμένο διαχωρισμό αορτής τύπου B, εκ των οποίων 20 ασθενείς υπεβλήθησαν σε TEVAR συνδυαστικά με IVUS και 25 σε TEVAR χωρίς χρήση IVUS. Κατά τη διάρκεια της 12-μηνιας παρακολούθησης των ασθενών φάνηκε ότι η επιλογή του μεγέθους του μοσχεύματος βάσει των μετρήσεων IVUS οδήγησε σε μεγαλύτερη αύξηση του αληθούς αυλού ($30,4\pm 6,2$ έναντι $25,6\pm 5,3$, $P=.008$), μείωση του ψευδούς αυλού ($14,4\pm 8,5$ έναντι $23,9\pm 9,3$, $P=.0010$) και μείωση στην συνολική διάμετρο της αορτής ($35,5\pm 6,0$ έναντι $39,9\pm 8,1$, $P=.045$). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όταν η επιλογή του μεγέθους του μοσχεύματος γίνεται βάσει

μετρήσεων IVUS, συνδυάζεται με ευνοϊκά αποτελέσματα όσον αφορά την αναδιαμόρφωση της αορτής.

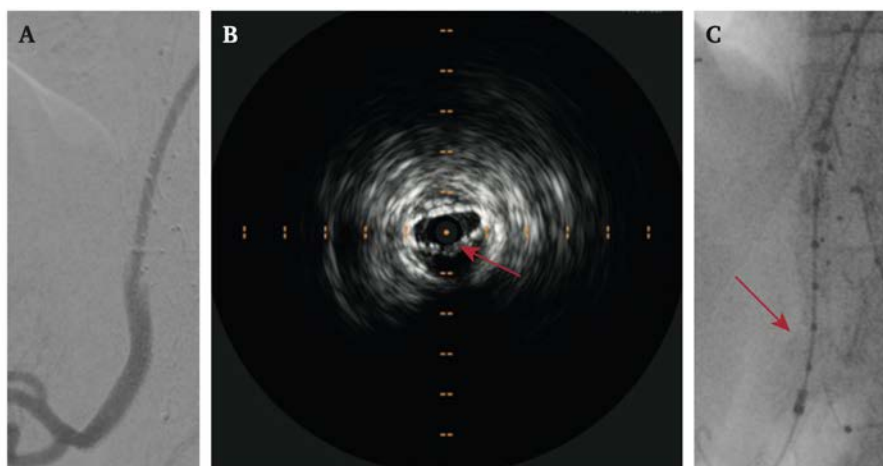
IV. Η χρήση του IVUS στην Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Παρανεφρικών / Θωρακοκοιλιακών Ανευρυσμάτων με μοσχεύματα με θυρίδες ή / και πλάγιους κλάδους (Fenestrated / Branched Endografts – F/BEVAR)

Οι Gennai et al., [35] μελέτησαν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του ενδαγγειακού υπερήχου (IVUS) στην ανίχνευση προβλημάτων αστάθειας αναφορικά με τους ενδονάρθηκες των αγγείων-στόχων (σπλαχνικές και νεφρικές αρτηρίες) κατά τη διάρκεια ενδαγγειακής αποκατάστασης με μοσχεύματα με θυρίδες ή/και πλάγιους κλάδους (F/BEVAR). Για το σκοπό της μελέτης, διενεργήθη διεγχειρητικό IVUS σε 33 ενδονάρθηκες αγγείων-στόχων. Ως πρωτεύον τελικό σημείο ασφαλείας ορίστηκε η απουσία ανεπιθύμητων ενεργειών που σχετίζονται με τη χρήση του IVUS. Ως πρωτεύον τελικό σημείο αποτελεσματικότητας ορίστηκε η τεχνική επιτυχία της αξιολόγησης IVUS σε κάθε αγγείο-στόχο, ο ρυθμός των ευρημάτων του IVUS συγκριτικά με τον πρόσθετο αριθμό των ενδαγγειακών ελιγμών που χρειάστηκαν να γίνουν για την ολοκλήρωση του IVUS και η επίπτωση των μετεγχειρητικών ευρημάτων σε αξονική τομογραφία σε σύγκριση με τη διεγχειρητική εκτίμηση. Στην παρούσα μελέτη δεν υπήρξαν ανεπιθύμητες ενέργειες σχετιζόμενες με τη χρήση του IVUS, ενώ η τεχνική επιτυχία αξιολόγησης με τη χρήση IVUS επιτεύχθηκε σε όλα τα αγγεία-στόχους. Με τη χρήση IVUS εντοπίστηκαν 7 ευρήματα στα 33 αγγεία-στόχους, εκ των οποίων τα 3 ήταν ύποπτα στην διεγχειρητική αγγειογραφία. Στο 57% των ευρημάτων (4/7) είχε προηγηθεί φυσιολογική τελική αγγειογραφία. Το IVUS μπόρεσε να ανιχνεύσει διεγχειρητική αστάθεια κλάδου που δεν εντοπίστηκε ή που δεν θεωρήθηκε ύποπτο κατά την ολοκλήρωση της αγγειογραφίας. Η αξιολόγηση με τη χρήση IVUS οδήγησε σε άμεση αναθεώρηση σε 5 (15%) αγγεία-στόχους.



Εικόνα 10: (Α) Καλή έκπτυξη ενδονάρθηκα νεφρικής αρτηρίας στο περιφερικό άκρο του. (Β) Στένωση του ενδονάρθηκα της νεφρικής αρτηρίας κοντά στο τέλος του πλάγιου κλάδου. (Γ) Διόρθωση της στένωσης με μη-επικαλυμμένο μεταλλικό ενδονάρθηκα. (Δ) Αξιολόγηση ροής μετά τη διόρθωση.

Πρόσφατα δημοσιεύθηκε μια προοπτική πολυκεντρική μελέτη με σκοπό την αξιολόγηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας του IVUS στην ανίχνευση αστάθειας των αγγείων-στόχων κατά τη διάρκεια F/BEVAR σε μια μεγαλύτερη ομάδα ασθενών [36]. Στη μελέτη συμπεριελήφθησαν 80 ασθενείς από τέσσερα αορτικά εξειδικευμένα κέντρα που υπεβλήθησαν σε θεραπεία με F/BEVAR και συνολικά μελετήθηκαν 300 αγγεία-στόχοι. Σε 7 περιπτώσεις (2.3%), δεν ήταν εφικτή η εισαγωγή του καθετήρα IVUS στο αγγείο-στόχος, ενώ σε 17 περιπτώσεις (5.7%), δεν ολοκληρώθηκε η αξιολόγηση με IVUS λόγω δυσλειτουργίας του καθετήρα. Η τεχνική επιτυχία της αξιολόγησης των αγγείων-στόχων με χρήση IVUS ήταν 91,9% (274/298), ενώ δεν παρουσιάστηκε καμία επιπλοκή που να σχετίζεται με τη χρήση του καθετήρα IVUS. Διεγχειρητικά, με τη χρήση του IVUS ανεδείχθησαν 7 περιπτώσεις αστάθειας αγγείων-στόχων (2.5%), οδηγώντας σε άμεση ενδαγγειακή αποκατάσταση. Σε 7 από τα 268 αγγεία-στόχους (2.6%) όπου υπήρχε διαθέσιμη αξονική αγγειογραφία 30 ημερών, κατέστη αναγκαία μια εκ νέου παρέμβαση λόγω αστάθειας του ενδονάρθηκα γεφύρωσης.



Εικόνα 11: Α. Φυσιολογική τελική αγγειογραφία ενδονάρθηκα δεξιάς νεφρικής αρτηρίας (Β) Απεικόνιση στένωσης του ίδιου ενδονάρθηκα της δεξιάς νεφρικής αρτηρίας μέσω IVUS, η οποία επιβεβαιώθηκε με (Γ) απλή ακτινογραφία.

V. Η χρήση του IVUS στην Ενδαγγειακή Αντιμετώπιση Αμβλέος Τραυματισμού Αορτής

Μια αναδρομική μελέτη 41 ασθενών που υπεβλήθησαν σε TEVAR για αμβλύ τραυματισμό αορτής, συνέκρινε ασθενείς που υπεβλήθησαν σε υπολογιστική τομογραφία (CT) μόνο (ομάδα CT) με τους ασθενείς που υπεβλήθησαν σε IVUS και CT (ομάδα IVUS) [37]. Είκοσι-οκτώ ασθενείς ήταν στην ομάδα CT και 13 στην ομάδα IVUS. Η διάμεση διάμετρος της αορτής βασιζόμενη στις μετρήσεις της CT ήταν παρόμοια και στις δύο ομάδες (20,5 mm στην ομάδα CT έναντι 19,0 mm στην ομάδα IVUS, $P=.374$). Η διάμεση κεντρική διάμετρος μοσχεύματος που τοποθετήθηκε ήταν 26 mm στην ομάδα CT και 24 mm στην ομάδα IVUS ($P=.329$), δημιουργώντας στατιστικά σημαντικό oversizing για τις δυο ομάδες 25,7% και 13,7% ($P < .001$). Σε 6 από τους 13 ασθενείς, διαφοροποιήθηκε διεγχειρητικά η επιλογή του μοσχεύματος βάσει των μετρήσεων του IVUS. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όσο πιο κοντά ήταν η τοποθέτηση του μοσχεύματος στην αριστερή υποκλείδιο αρτηρία, και αναλογικά όσο εγγύτερα στην υποκλείδιο ήταν οι μετρήσεις της αορτής τόσο πιο μεγάλη ήταν η απόκλιση μεταξύ των μετρήσεων CT και IVUS συγκριτικά τις μετρήσεις στην κατιούσα αορτή (18,8% έναντι 5,57%, $P=.005$).

Οι Ceja-Rodriguez et al. [38], δημοσίευσαν το 2018 τα αποτελέσματα μελέτης χρήσης IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση 16 ασθενών με αμβλύ τραυματισμό αορτής. Οι συγγραφείς συνέκριναν τους ασθενείς που είχαν αντίστοιχη διάμετρο αορτής στην απεικόνιση με CT και IVUS (ομάδα 1) με τους ασθενείς που είχαν διαφορετικές τιμές διαμέτρου στην απεικόνιση με CT και IVUS (ομάδα 2). Πέντε ασθενείς εντάχθηκαν στην ομάδα 1 και 11 ασθενείς στην ομάδα 2. Αναφορικά με τους ασθενείς στην ομάδα 2, σε 10 περιπτώσεις, το IVUS ανέδειξε μεγαλύτερη διάμετρο αορτής, ενώ σε μια περίπτωση ανέδειξε μικρότερη διάμετρο αορτής συγκριτικά με τη CT. Μεταξύ των δύο ομάδων, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον αιμοδυναμικό όγκο των ασθενών, στη μέση συστολική αρτηριακή πίεση και στην ενδοφλέβια χορήγηση υγρών.

Συζήτηση

Το ενδαγγειακό υπερηχογράφημα (IVUS) εισήχθη για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980 ως μια συμπληρωματική μέθοδος αξιολόγησης των στεφανιαίων αρτηριών και της στεφανιαίας αθηρωματικής πλάκας. Έκτοτε χρησιμοποιείται και στις ενδαγγειακές επεμβάσεις διαφόρων αγγειοχειρουργικών παθήσεων, όπως διαχωρισμός αορτής, εν τω βάθει φλεβικές παθήσεις και περιφερική αρτηριακή νόσος. Σύμφωνα με πρόσφατες βιβλιογραφικές μελέτες αλλά και βάσει των τελευταίων κατευθυντήριων οδηγιών, φαίνεται ότι η χρήση του IVUS έχει γίνει αναπόσπαστο στοιχείο στην ενδαγγειακή αποκατάσταση των εν τω βάθει φλεβικών παθήσεων. Δεν ισχύει το ίδιο όμως και στις αορτικές παθήσεις. Η χρήση του IVUS έχει συσχετιστεί σε πολλές μελέτες με μειωμένη χρήση ιονίζουσας ακτινοβολίας, μειωμένη χορήγηση σκιαγραφικού μέσου, μειωμένο χειρουργικό χρόνο καθώς και βελτιωμένη ικανότητα διάκρισης του τοιχώματος της αορτής και των κλάδων της. Παρά τα ανωτέρω οφέλη, η χρήση του IVUS δεν χρησιμοποιείται καθολικά στην ενδαγγειακή αποκατάσταση αορτικών παθήσεων, όπως συμβαίνει στις φλεβικές παθήσεις, καθώς δεν υπάρχουν ακόμη κατευθυντήριες οδηγίες ή συστάσεις για τη χρήση του IVUS στη θεραπεία αορτικών παθήσεων.

Τα αποτελέσματα των μελετών που αφορούσαν τη χρήση IVUS σε επεμβάσεις EVAR [27-30] έδειξαν ότι σε σύγκριση με τις επεμβάσεις EVAR που στηρίζονται σε αγγειογραφία, είναι σημαντικά μειωμένη η χρήση ιωδιούχων σκιαγραφικών μέσων και η μέση διάρκεια ακτινοσκόπησης. Επιπροσθέτως, φαίνεται ότι το IVUS είναι πιο αποτελεσματικό από την αγγειογραφία στον εντοπισμό των στομιών των έσω λαγονίων αρτηριών [29], εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης πλάγιων προβολών με την κεφαλή του C-ARM. Στην παρούσα βιβλιογραφία, δεν αναφέρονται περιεγεχειρητικές επιπλοκές σχετιζόμενες με τη χρήση του IVUS, ενώ η χρήση του IVUS δεν φαίνεται να μειώνει το συνολικό χρόνο επέμβασης και τη διεγχειρητική απώλεια αίματος.

Αν και η χρήση του IVUS στην ενδαγγειακή αντιμετώπιση του διαχωρισμού αορτής τύπου B, περιεγράφηκε για πρώτη φορά πριν από περισσότερα από 30 χρόνια, το IVUS συνεχίζει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σημερινό τρόπο αντιμετώπισης του αορτικού διαχωρισμού. Για την επιτυχή ενδαγγειακή αντιμετώπιση αορτικού διαχωρισμού, είναι κριτικής σημασίας, η είσοδος του οδηγού σύρματος στον

αληθή αυλό, πάνω στο οποίο θα εισαχθεί και θα εκπτυχθεί τελικά το ενδαγγειακό μόσχευμα. Η διεγχειρητική αγγειογραφία είναι μια μέθοδος με την οποία μπορεί να ελεγχθεί η θέση του σύρματος. Πολλές φορές όμως, μπορεί να χρειάζονται επανειλημμένες ακτινοσκοπικές εικόνες και αγγειογραφίες, αναλόγως της ανατομίας της αορτής και της μορφολογίας του διαχωρισμού, καθιστώντας την αγγειογραφία αναξιόπιστη για την επιβεβαίωση της παρουσίας του σύρματος στον αληθή αυλό. Αντιθέτως, η χρήση του IVUS επιτρέπει εύκολα και με ασφάλεια την επιβεβαίωση της θέσης του σύρματος στον αληθή αυλό.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη χρήση IVUS στην ενδαγγειακή αποκατάσταση διαχωρισμού αορτής τύπου B, ανέδειξε ότι η χρήση IVUS σχετίζεται με χαμηλότερα επίπεδα ιονίζουσας ακτινοβολίας και χαμηλότερα ποσοστά χορήγησης σκιαγραφικού μέσου [32,33]. Τα ευρήματα αυτά δεν επιβεβαιώθηκαν από τους Lortz J et al. [34], , ωστόσο έδειξαν ότι η χρήση IVUS αποτελεί ανεξάρτητο προγνωστικό παράγοντα για υψηλότερα ποσοστά μακροπρόθεσμης επιβίωσης.

Η αχίλλειος πτέρνα του F/BEVAR σχετίζεται με επιπλοκές των ενδονάρθηκων γεφύρωσης των αγγείων-στόχων. Είναι γνωστό ότι η ψηφιακή αγγειογραφία, ο συνηθής διεγχειρητικός έλεγχος των αγγείων-στόχων, έχει περιορισμένη ικανότητα εντοπισμού πιθανών επιπλοκών των αγγείων-στόχων λόγω της απεικόνισης δύο διαστάσεων που προσφέρει [16]. Η συμπληρωματική χρήση του IVUS σε συνδυασμό με την αγγειογραφία, έχει πλεονεκτήματα έναντι της αγγειογραφίας. Το IVUS παρέχει μια συνολική εικόνα 360 μοιρών του αυλού του αγγείου, αξιολογώντας έτσι με μεγαλύτερη ακρίβεια τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του αγγείου και του ενδονάρθηκα. Η χρήση του IVUS θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε μείωση της έγχυσης σκιαγραφικού μέσου και της έκθεσης στην ακτινοβολία [39]. Στη βιβλιογραφία ανευρέθησαν δύο μελέτες χρήσης IVUS, αναφορικά με τη διεγχειρητική μελέτη της αστάθειας των αγγείων στόχων [35,36]. Και στις δυο μελέτες, η χρήση IVUS οδήγησε στη διεγχειρητική ανίχνευση αστάθειας αγγείων-στόχων, που δεν ανιχνεύθηκαν στην αγγειογραφία και αντιμετωπίστηκαν τελικά ενδαγγειακά στον ίδιο χρόνο. Ένας πιθανός περιορισμός της χρήσης IVUS για την μελέτη των αγγείων στόχων σε επεμβάσεις F/BEVAR, είναι η πιθανή αδυναμία προώθησης του καθετήρα IVUS στο αγγείο-στόχο [36]. Φάνηκε ότι, μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας προώθησης του καθετήρα IVUS, είναι σε θυριδωτά μοσχεύματα (λόγω της οξείας γωνίας έκφυσης των αγγείων-στόχων), μετά από > 2 χρήσεις του καθετήρα και στα

αγγεία-στόχους με πλάγιους κλάδους, των οποίων ο καθετηριασμός έχει πραγματοποιηθεί από τη μηριαία αρτηρία [36, 40]

Στα πλεονεκτήματα της χρήσης IVUS σε ενδαγγειακές επεμβάσεις αορτικών παθήσεων, περιλαμβάνεται η περιορισμένη χρήση ιωδιούχου σκιαγραφικού μέσου, που δυνητικά μπορεί να μειώσει και τον κίνδυνο εμφάνισης οξείας σωληναριακής βλάβης σχετιζόμενης με σκιαγραφικό. Επιπλέον, η χρήση του IVUS συνδέεται και με μειωμένη έκθεση σε ιοντίζουσα ακτινοβολία για τον ασθενή και για το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό. Φαίνεται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση IVUS, εκτιμά με μεγαλύτερη ακρίβεια τη διάμετρο της αορτής (θέση μέτρησης κοντά στη υποκλείδιο αρτηρία, υπογκαιμικός ασθενής), συγκριτικά με την αξονική αγγειογραφία.

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνονται το κόστος του καθετήρα IVUS, το οποίο προστίθεται σε επεμβάσεις με ήδη αυξημένο κόστος (EVAR, TEVAR, F/BEVAR), καθώς και η πιθανή παράταση του συνολικού χρόνου της επέμβασης. Επιπλέον, υπάρχει καμπύλη εκμάθησης στη χρήση και σωστή ερμηνεία των εικόνων του καθετήρα IVUS. Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός της τεχνολογίας IVUS είναι η αδυναμία του να ανιχνεύσει απουσία ροής σε κλάδο της αορτής ή / και ενδοδιαφυγή στο τέλος της ενδαγγειακής επέμβασης. Παρά τα πλεονεκτήματά της, η χρήση του IVUS μόνο, χωρίς συμπληρωματική αγγειογραφία, δεν μπορεί να εφαρμοσθεί ακόμα στο σύνολο των περιπτώσεων.

Είναι βέβαιο ότι απαιτούνται περαιτέρω μελέτες με μακροπρόθεσμα αποτελέσματα σε μεγαλύτερες ομάδες ασθενών για την επικύρωση αυτών των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, θα είχε ενδιαφέρον η σύγκριση των απεικονιστικών αποτελεσμάτων της χρήσης IVUS συγκριτικά με τα αποτελέσματα της CBCT όσον αφορά την αποτελεσματικότητα, την έκθεση στην ακτινοβολία, τον χρόνο της διαδικασίας και το κόστος.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Makaroun MS, Dillavou ED, Kee ST, Sicard G, Chaikof E, Bavaria J, et al. Endovascular treatment of thoracic aortic aneurysms: results of the phase II multicenter trial of the GORE TAG thoracic endoprosthesis. *J Vasc Surg* 2005;41:1-9.
2. Bavaria JE, Appoo JJ, Makaroun MS, Verter J, Yu ZF, Mitchell RS, et al. Endovascular stent grafting versus open surgical repair of descending thoracic aortic aneurysms in low-risk patients: a multicenter comparative trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007;133:369-77.
3. Matsumura JS, Cambria RP, Dake MD, Morre RD, Svensson LG, Snyder S, et al. International controlled clinical trial of thoracic endovascular aneurysm repair with the Zenith TX2 endovascular graft: 1-year results. *J Vasc Surg* 2008;47:247-57.
4. Kasirajan K, Dake MD, Lumsden A, Bavaria J, Makaroun MS. Incidence and outcomes after infolding or collapse of thoracic stent grafts. *J Vasc Surg* 2012;55:652-8.
5. Schurink GW, Aarts NJ, Van Baalen JM, Schultze Kool LJ, Van Bockel JH. Stent attachment site-related endoleakage after stent graft treatment: an in vitro study of the effects of graft size, stent shape, and atherosclerotic wall changes. *J Vasc Surg* 1999;30:658-67.
6. Canaud L, Alric P, Laurent M, Baum TP, Branchereau P, Marty-Ane CH, et al. Proximal fixation of thoracic stent-grafts as a function of oversizing and increasing aortic arch angulation in human cadaveric aortas. *J Endovasc Ther* 2008;15: 326-34
7. Parodi J, Berguer R, Carrascosa P, Khanafer K, Capunay C, Wizauer E. Sources of error in the measurement of aortic diameter in computed tomography scans. *J Vasc Surg* 2014;59:74-9
8. Chao A, Major K, Kumar SR, Patel K, Trujillo I, Hood DB, et al. Carbon dioxide digital subtraction angiography-assisted endovascular aortic aneurysm repair in the azotemic patient. *J Vasc Surg* 2007;45:451-8; discussion 458-60

9. de Almeida Mendes C, de Arruda Martins A, Teivelis MP, Kuzniec S, Varella AY, Wolosker N. Carbon Dioxide as Contrast Medium to Guide Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Ann VascSurg* 2017; 39:67-73
10. Hertault A, Maurel B, Sobocinski J, Martin Gonzalez T, Le Roux M, Azzaoui R, et al. Impact of hybrid rooms with image fusion on radiation exposure during endovascular aortic repair. *Eur J VascEndovascSurg* 2014; 48: 382-90
11. Bruschi A, Michelagnoli S, Chisci E, Mazzocchi S, Panci S, Didona A et al. A comparison study of radiation exposure to patients during EVAR and Dyna CT in an angiography suite vs. an operating theatre. *RadiatProt Dosimetry* 2015; 163: 491-8
12. Maurel B, Martin-Gonzalez T, Chong D, Irwin A, Guimbretière G, Davis M, et al. A prospective observational trial of fusion imaging in infrarenal aneurysms. *J VascSurg* 2018; 68: 1706-13
13. von Segesser LK, Marty B, Ruchat P, Bogen M, Gallino A. Routine use of intravascular ultrasound for endovascular aneurysm repair: angiography is not necessary. *Eur J VascEndovascSurg* 2002; 23:537-42
14. Pearce BJ, Jordan WD Jr. Using IVUS during EVAR and TEVAR: improving patient outcomes. *SeminVascSurg* 2009; 22:172-80
15. Katsargyris A, Marques de Marino P, Hasemaki N, Nagel S, Botos B, Wilhelm M, Verhoeven ELG. Editor's Choice - Single Centre Midterm Experience with Primary Fenestrated Endovascular Aortic Aneurysm Repair for Short Neck, Juxtarenal, and Suprarenal Aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2023 Aug;66(2):160-166. doi: 10.1016/j.ejvs.2023.02.069. Epub 2023 Feb 25. PMID: 36842460
16. Tenorio ER, Oderich GS, Sandri GA, et al. Impact of onlay fusion and cone beam computed tomography on radiation exposure and technical assessment of fenestrated-branched endovascular aortic repair. *J Vasc Surg*. 2019;69:1045– 1058.e3.
17. Brunkwall J, Kasprzak P, Verhoeven E, Heijmen R, Taylor P, Trialists A, et al. Endovascular repair of acute uncomplicated aortic type B dissection promotes aortic remodelling: 1 year results of the ADSORB trial. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2014; 48: 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2014.05.012> PMID: 24962744

18. Nienaber CA, Kische S, Rousseau H, Eggebrecht H, Rehders TC, Kundt G, et al. Endovascular repair of type B aortic dissection: long-term results of the randomized investigation of stent grafts in aortic dissection trial. *Circ Cardiovasc Interv.* 2013; 6: 407–416. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.113.000463> PMID: 23922146
19. DuBose JJ, Leake SS, Brenner M, Pasley J, O'Callaghan T, Luo-Owen X, Trust MD, Mooney J, Zhao FZ, Azizzadeh A; Aortic Trauma Foundation. Contemporary management and outcomes of blunt thoracic aortic injury: a multicenter retrospective study. *J Trauma Acute Care Surg.* 2015 Feb;78(2):360-9. doi: 10.1097/TA.0000000000000521. Erratum in: *J Trauma Acute Care Surg.* 2015 Mar;78(3):656. PMID: 25757123
20. Demetriades D, Velmahos GC, Scalea TM, Jurkovich GJ, Karmy-Jones R, Teixeira PG, Hemmila MR, O'Connor JV, McKenney MO, Moore FO, London J, Singh MJ, Spaniolas K, Keel M, Sugrue M, Wahl WL, Hill J, Wall MJ, Moore EE, Lineen E, Margulies D, Malka V, Chan LS. Blunt traumatic thoracic aortic injuries: early or delayed repair--results of an American Association for the Surgery of Trauma prospective study. *J Trauma.* 2009 Apr;66(4):967-73. doi: 10.1097/TA.0b013e31817dc483. PMID: 19359900
21. Botta DM, Jonker FHW, Mojibian H, Schlo FJ V, Indes JE, Moll FL, et al. The Impact of Hypovolaemic Shock on the Aortic Diameter in a Porcine Model. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2010;40(5):564–71
22. Prehn J Van, Herwaarden JA Van, Muhs BE. Difficulties with endograft sizing in a patient with traumatic rupture of the thoracic aorta: The possible influence of hypovolemic shock. *J Vasc Surg.* 2008;47(6):1333–6.
23. Wallace GA, Starnes BW, Hatsukami TS, Sobel M, Singh N, Tran NT. Intravascular ultrasound is a critical tool for accurate endograft sizing in the management of blunt thoracic aortic injury. *J Vasc Surg [Internet].* 2012;61(3):630–5
24. Meyer CR, Chiang EH, Fechner KP, Fitting DW, Williams DM, Buda AJ. Feasibility of high-resolution, intravascular ultrasonic imaging catheters. *Radiology.* 1988 Jul;168(1):113-6. doi: 10.1148/radiology.168.1.3289084. PMID: 3289084.
25. Yock PG, Linker DT, Angelsen BA. Two-dimensional intravascular ultrasound: technical development and initial clinical experience. *J Am Soc*

- Echocardiogr. 1989 Jul-Aug;2(4):296-304. doi: 10.1016/s0894-7317(89)80090-2. PMID: 2697308.
26. GS Mintz, SE Nissen, WD Anderson, SR Bailey, R Erbel, PJ Fitzgerald, FJ Pinto, K Rosenfield, RJ Siegel, EM Tuzcu, PG Yock. American College of Cardiology Clinical Expert Consensus Document on Standards for Acquisition, Measurement and Reporting of Intravascular Ultrasound Studies (IVUS). A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:1478-1492.
 27. Taalab MA, Kamal AM, Mohammad AF, Zaki MM. Intravascular Ultrasound Versus Computed Tomography Angiography in Sizing and Operative Management of Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *J Endovasc Ther*. 2023 Mar 16:15266028231158964.
 28. Pecoraro F, Bracale UM, Farina A, Badalamenti G, Ferlito F, Lachat M, Dinoto E, Asti V, Bajardi G. Single-Center Experience and Preliminary Results of Intravascular Ultrasound in Endovascular Aneurysm Repair. *Ann Vasc Surg*. 2019 Apr;56:209-215. doi: 10.1016/j.avsg.2018.09.016. Epub 2018 Nov 27. PMID: 30500656.
 29. Illuminati G, Pacilè MA, Ceccanei G, Ruggeri M, La Torre G, Ricco JB. Peroperative Intravascular Ultrasound for Endovascular Aneurysm Repair versus Peroperative Angiography: A Pilot Study in Fit Patients with Favorable Anatomy. *Ann Vasc Surg*. 2020 Apr;64:54-61. doi: 10.1016/j.avsg.2019.11.013. Epub 2019 Nov 11. PMID: 31726201.
 30. Illuminati G, Nardi P, Fresilli D, Sorrenti S, Lauro A, Pizzardi G, Ruggeri M, Ulisse S, Cantisani V, D'Andrea V. Fully Ultrasound-Assisted Endovascular Aneurysm Repair: Preliminary Report. *Ann Vasc Surg*. 2022 Aug;84:55-60. doi: 10.1016/j.avsg.2022.02.016. Epub 2022 Mar 4. PMID: 35257913.
 31. Han SM, Elsayed RS, Ham SW, Mahajan A, Fleischman F, Rowe VL, Cunningham MJ, Weaver FA. Comparison of intravascular ultrasound- and centerline computed tomography-determined aortic diameters during thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg*. 2017 Oct;66(4):1184-1191. doi: 10.1016/j.jvs.2017.03.445. Epub 2017 Jun 22. PMID: 28648482

32. Guo BL, Shi ZY, Guo DQ, Wang LX, Tang X, Li WM, Fu WG. Effect of Intravascular Ultrasound-assisted Thoracic Endovascular Aortic Repair for "Complicated" Type B Aortic Dissection. *Chin Med J (Engl)*. 2015 Sep 5;128(17):2322-9. doi: 10.4103/0366-6999.163386. PMID: 26315080; PMCID: PMC4733806.
33. Belkin N, Jackson BM, Foley PJ, Damrauer SM, Kalapatapu V, Golden MA, Fairman RM, Wang GJ. The use of intravascular ultrasound in the treatment of type B aortic dissection with thoracic endovascular aneurysm repair is associated with improved long-term survival. *J Vasc Surg*. 2020 Aug;72(2):490-497. doi: 10.1016/j.jvs.2019.10.073. Epub 2020 Jan 7. PMID: 31919000.
34. Lortz J, Tsagakis K, Rammos C, Horacek M, Schlosser T, Jakob H, Rassaf T, János RA. Intravascular ultrasound assisted sizing in thoracic endovascular aortic repair improves aortic remodeling in Type B aortic dissection. *PLoS One*. 2018 Apr 19;13(4):e0196180. doi: 10.1371/journal.pone.0196180. PMID: 29672613; PMCID: PMC5908162.
35. Gennai S, Leone N, Saitta G, Migliari M, Lauricella A, Farchioni L, Silingardi R. Intravascular Ultrasound in Branched and Fenestrated Endovascular Aneurysm Repair: Initial Experience in a Single-Center Cohort Study. *J Endovasc Ther*. 2021 Dec;28(6):828-836. doi: 10.1177/15266028211025014. Epub 2021 Jun 17. PMID: 34137660.
36. Ascitutto G, Ibrahim A, Leone N, Gennai S, Piazza M, Antonello M, Wanhainen A, Mani K, Lindström D, Struk L, Oberhuber A. Intravascular Ultrasound in the Detection of Bridging Stent Graft Instability During Fenestrated and Branched Endovascular Aneurysm Repair Procedures: A Multicentre Study on 274 Target Vessels. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2024 Jan;67(1):99-104. doi: 10.1016/j.ejvs.2023.09.009. Epub 2023 Sep 12. PMID: 37704100.
37. Shi Y, Tsai PI, Wall MJ Jr, Gilani R. Intravascular ultrasound enhanced aortic sizing for endovascular treatment of blunt aortic injury. *J Trauma Acute Care Surg*. 2015 Nov;79(5):817-21. doi: 10.1097/TA.0000000000000858. PMID: 26496107.
38. Ceja-Rodriguez M, Realyvasquez A, Galante J, Pevéc WC, Humphries M. Differences in Aortic Diameter Measurements with Intravascular Ultrasound

- and Computed Tomography After Blunt Traumatic Aortic Injury. *Ann Vasc Surg*. 2018 Jul;50:148-153. doi: 10.1016/j.avsg.2017.11.056. Epub 2018 Feb 23. PMID: 29481934.
39. Vogt KC, Brunkwall J, Malina M, IvancevK, Lindblad B, Risberg B, et al. The use of intravascular ultrasound as control procedure for the deployment of endovascular stented grafts. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1997;13:592e6.
40. Usai MV, Oberhuber A, Ascianto G. Assessment of Bridging Stent Grafts in Branched Endovascular Aortic Repair (EVAR) Procedures Using Intravascular Ultrasound (IVUS). *EJVES Vasc Forum*. 2020 Apr 23;47:51-54. doi: 10.1016/j.ejvsf.2020.04.003. PMID: 33937892; PMCID: PMC8077033.