



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ
ΑΝΕΥΡΥΣΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ



Φοιτήτρια: Περδικάκη Χριστίνα

Α.Μ.: 5253

Επιβλέπων Καθηγητής: Μεταξά Ελένη

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ
ΑΝΕΥΡΥΣΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ

Φοιτήτρια: Περδικάκη Χριστίνα

A.M.: 5253

Επιβλέπων Καθηγητής: Μεταξά Ελένη

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου κ. Μεταξά Ελένη για την πολύτιμη βοήθεια και την σωστή καθοδήγηση που μου πρόσφερε ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου. Καθώς και τους υπόλοιπους καθηγητές που μου μετέδωσαν τις γνώσεις τους και μου δίδαξαν όσα γνωρίζω τώρα.

Όπως επίσης, και την οικογένεια μου για την στήριξη που μου έδωσαν και την υπομονή που έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να την αφιερώσω στον μπαμπά μου που έφυγε νωρίς από κοντά μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:.....	6
1.1. Εισαγωγή	6
1.2. Οι αρτηρίες και το αρτηριακό σύστημα	6
1.3. Η αορτή.....	9
1.3.1. Χειρουργικές παθήσεις της αορτής	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΕΥΡΥΣΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ.....	11
2.1. Τι είναι το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής	11
2.2. Γιατί είναι επικίνδυνο ένα ανεύρυσμα.....	13
2.3. Επιβαρυντικοί παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο για τη δημιουργία του ανευρύσματος.....	14
2.4. Συμπτώματα εκδήλωσης του ανευρύσματος	15
2.5. Διάγνωση του ανευρύσματος.....	16
2.6. Θεραπεία του ανευρύσματος	16
2.6.1. Προσεκτική παρακολούθηση.....	17
2.6.2. Χειρουργική επέμβαση	18
2.6.3. Επεμβατική αποκατάσταση	19
2.7. Προληπτικά μέτρα, για όσους έχουν ανεύρυσμα	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟ ΤΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΑ ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	27
3.1. Εμβιομηχανική.....	27
3.2. Μηχανική των στερεών	28
3.3. Αιμοδυναμική	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	31
4.1. ΙΤΚ – SNAP.....	31
4.2. VMTK.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία καλούμαστε να μελετήσουμε τις τάσεις που αναπτύσσονται στα τοιχώματα ανευρυσμάτων, χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων. Θα εξετάσουμε αν το μέγεθος του ανευρύσματος σχετίζεται με κάποιο από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του.

Στα πρώτα κεφάλαια θα αναφερθούμε στην αορτή και στο ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής, το οποίο είναι μία διόγκωση του αυλού και του τοιχώματος της αρτηρίας που οφείλεται σε βλάβη του αρτηριακού τοιχώματος. Όπως επίσης, θα δούμε και το πως συνδέεται ένα τέτοιο ιατρικό θέμα με την εμβιομηχανική.

Ενώ στα επόμενα κεφάλαια θα ασχοληθούμε με την πειραματική διαδικασία που ακολουθήσαμε, καθώς και με τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσα από αυτή και στο τέλος θα τα σχολιάσουμε.

Από ιατρικής σκοπιάς ασχολούμαστε με ένα είδος αγγειακής παθοφυσιολογίας. Από καθαρά εμβιομηχανική πλευρά όμως, μελετάμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανευρύσματος που έχουν συσχετιστεί σε προηγούμενες δημοσιεύσεις με την μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο τοίχωμα της αορτής, η οποία με την σειρά της σχετίζεται με τον κίνδυνο ρήξης του ανευρύσματος. Συνεπώς, προσπαθούμε να χαρακτηρίσουμε έμμεσα τον κίνδυνο ρήξης των ανευρυσμάτων με την μελέτη γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ανευρύσματος. Συγκεκριμένα, ασχολούμαστε με το συνδυασμό της βιοϊατρικής τεχνολογίας και της εμβιομηχανικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Εισαγωγή

Γιατί είναι σημαντικό για έναν μηχανικό να μελετάει φυσιολογία, τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού;

Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση θα πρέπει να αρχίσουμε αναγνωρίζοντας ότι οι καρδιαγγειακές διαταραχές αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου στις αναπτυγμένες χώρες. Επιπλέον, για να κατανοήσουμε τις παθολογίες ή τις δυσλειτουργίες του καρδιαγγειακού συστήματος, θα πρέπει πρώτα να μάθουμε τη φυσιολογία ή τη σωστή λειτουργία του συστήματος αυτού.

Το καρδιαγγειακό σύστημα αποτελείται από την καρδιά, τις αρτηρίες, τις φλέβες, τα τριχοειδή αγγεία και τα λεμφαγγεία. Οι πιο σημαντικές λειτουργίες του είναι να μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά, να απομακρύνει απόβλητα και να ρυθμίζει την θερμοκρασία.

Η κυκλοφορία του αίματος στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο κυρίως υποσυστήματα:

- Η **πνευμονική ή μικρή κυκλοφορία**: αρχίζει στη δεξιά κοιλία της καρδιάς και μεταφέρει αίμα στους πνεύμονες, όπου γίνεται το φιλτράρισμα του διοξειδίου του άνθρακα και εμπλουτίζεται το αίμα με οξυγόνο.
- Η **συστηματική ή μεγάλη κυκλοφορία**: αρχίζει από την αριστερή κοιλία της καρδιάς και προσδίνει οξυγονωμένο αίμα σε όλα τα όργανα και ιστούς του σώματος.

1.2. Οι αρτηρίες και το αρτηριακό σύστημα

Οι αρτηρίες αποτελούν βασικό στοιχείο του κυκλοφορικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού, γιατί μέσω αυτών μεταφέρεται το αίμα σε όλα τα μέρη του σώματος και επιστρέφει στην καρδιά μέσω των φλεβών. Για το λόγο αυτό θα ασχοληθούμε λίγο με τη δομή του αρτηριακού συστήματος.

Το αρτηριακό σύστημα αποτελείται από αγγεία διαφόρων διαμέτρων και μηκών που διαδοχικά διαχωρίζονται σε μικρότερα αγγεία. Βασικό, πρώτο και μεγαλύτερο αγγείο μετά την καρδιά είναι η αορτή, η οποία διακλαδίζεται διαδοχικά σε μικρότερα αγγεία μέχρι τα λεπτότερα, που ονομάζονται τριχοειδή. Ακολούθως τα τριχοειδή αγγεία συνδέονται μεταξύ τους σε όλο και μεγαλύτερα αγγεία που αποτελούν το φλεβικό σύστημα, του οποίου τα αγγεία ακολουθούν διόδους παράλληλες με εκείνες των αρτηριών. Η μείωση της διαμέτρου στο αρτηριακό σύστημα εξασφαλίζεται όχι μόνο με μείωση της διαμέτρου στα διακλαδούμενα αγγεία αλλά και με σταδιακή μείωση της διατομής κάθε κλάδου.

Οι αρτηρίες έχουν ελαστικές ιδιότητες και δύνανται να προσαρμόζονται στην κίνηση του σώματος. Επιπλέον, συστέλλονται και διαστέλλονται αντιδρώντας στη μεταβολή της πίεσης ή της μυϊκής έντασης. Η μυϊκή ένταση περί των αρτηριών ρυθμίζει τη ροή του αίματος σε αυτές διαστέλλοντας το αγγείο για να αυξηθεί η ροή (αγγειοδιαστολή) ή συστέλλοντας το για να μειωθεί η ροή (αγγειοσυστολή).

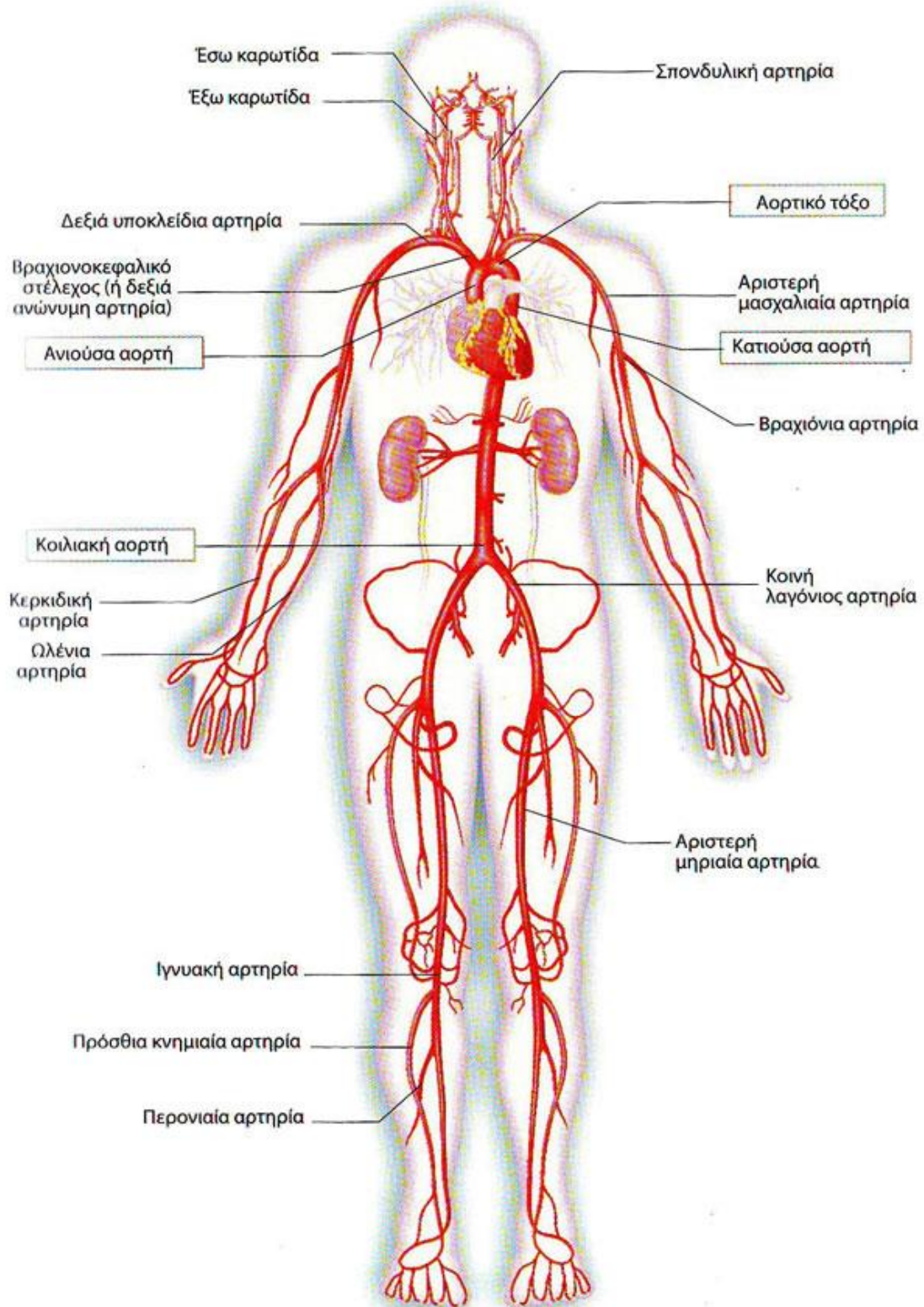
Κατά τη διάρκεια της συστολής η υψηλή πίεση της καρδιάς ωθεί το αίμα στις αρτηρίες οι οποίες διογκώνονται, ενώ κατά τη διάρκεια της διαστολής το συσσωρευθέν αίμα απελευθερώνεται καθώς οι αρτηρίες συστέλλονται λόγω μείωσης της πίεσης.

Ο καρδιακός κύκλος λοιπόν, υποδιαιρείται σε δύο κυρίως τμήματα, τη συστολή και τη διαστολή για να αντιδράσει ο οργανισμός στη μεταβολή της πίεσης ή της μυϊκής έντασης.

Όπως αναφέραμε, οι αρτηρίες είναι το μέσο μεταφοράς του αίματος σε όλα τα σημεία του ανθρώπινου σώματος. Η διαδρομή του αίματος είναι η εξής:

Το οξυγονωμένο αίμα εγκαταλείπει την καρδιά εκτοπιζόμενο από τη σύσταση της αριστερής κοιλίας και φθάνει στην αορτή μέσω της αορτικής βαλβίδας και από εκεί διαμοιράζεται σε όλα τα όργανα και τους ιστούς. Στη συνέχεια μέσω των τριχοειδών αγγείων διέρχεται στο φλεβικό σύστημα. Δια μέσου του φλεβικού συστήματος και της κοίλης φλέβας πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα φθάνει στο δεξιό κόλπο και μετά στη δεξιά κοιλία. Μέσω της πνευμονικής βαλβίδας και της πνευμονικής κυκλοφορίας μεταφέρεται στους πνεύμονες. Εκεί το διοξείδιο του άνθρακα

ανταλλάσσεται με οξυγόνο και επιστρέφει στον αριστερό κόλπο. Από εκεί μέσω της μιτροειδούς βαλβίδας εισέρχεται στην αριστερή κοιλία για να επαναληφθεί ο κύκλος. Μία κατάλληλη διάκριση ανάμεσα στις αρτηρίες και τις φλέβες είναι ότι οι αρτηρίες μεταφέρουν αίμα σε σχετικά υψηλότερη πίεση από την πίεση αντίστοιχα των φλεβών.



Εικόνα 1: Το αρτηριακό σύστημα.

1.3. Η αορτή

Η αορτή είναι η πρώτη και κυριότερη αρτηρία του σώματος, με διάμετρο κατά μέσο όρο 2 – 3 cm. Είναι μεγάλη σε μήκος εκτεινόμενη από την αορτική βαλβίδα και κατερχόμενη μέχρι την μηριαία διακλάδωση. Στο κάτω τμήμα της κοιλιακής χώρας η αορτή χωρίζεται στις δύο κοινές λαγόνιες αρτηρίες, οι οποίες μεταφέρουν το αίμα στα κάτω άκρα.

Το τμήμα αυτό της αορτής υποδιαιρείται στα παρακάτω τρία τμήματα:

1) Την **ανιούσα αορτή (ascending aorta)**

Έχει μήκος περίπου 5 cm και ανατομικά βρίσκεται μεταξύ της πνευμονικής αρτηρίας και της κοίλης φλέβας. Είναι το πρώτο τμήμα της αορτής και ξεκινάει από την καρδιά. Στην αρχή της υπάρχουν δύο διακλαδώσεις, η δεξιά και η αριστερή στεφανιαία αρτηρία, που εφοδιάζουν τον καρδιακό μυ με αίμα.

2) Το **αορτικό τόξο (aortic arch)**

Το μέσο μήκος του ανέρχεται στα 5 cm. Ακολουθεί το αορτικό τόξο, όπου η αορτή καμπυλώνει. Από εδώ εξέρχονται τρεις κλάδοι: η βραχιοκεφαλική (brachiocephalic) ή ανώνυμος, η κοινή καρωτίδα (common carotid) και η υποκλείδια αρτηρία (subclavian artery).

3) Την **κατιούσα αορτή (descending aorta)**

Αποτελείται από την κατιούσα θωρακική αορτή (descending thoracic aorta), μέσου μήκους 20 cm και από την κατιούσα κοιλιακή αορτή (descending abdominal aorta).

Η αορτή είναι ένα παράδειγμα ελαστικής αρτηρίας, διότι περιέχει μεγάλο ποσοστό ελαστίνης μιας και ανήκει στις μεγάλες αρτηρίες που εκβάλλουν από την καρδιά.

Οι συντελεστές που αποτελούν το τοίχωμα του αγγείου είναι:

- 1) **Ενδοθηλιακός ιστός**
- 2) **Ίνες κολλαγόνου**
- 3) **Ίνες ελαστίνης**
- 4) **Λείοι μύες**
- 5) **Βασική ουσία**

Οι παραπάνω ουσίες είναι διατεταγμένες σε τρία στρώματα:

- 1) Ο **έσω χιτώνας (tunica intima)**, αποτελείται από ένα στρώμα ενδοθηλίου με ένα λεπτό στρώμα ελαστίνης και ινών κολλαγόνου.
- 2) Ο **μέσος χιτώνας (tunica media)**, που αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του τοιχώματος του αγγείου και αποτελείται από σφιχτές ελικοειδείς ίνες με λεία μυϊκά κύτταρα μεταξύ τους είναι υπεύθυνος για την αντοχή και την ελαστικότητα του αρτηριακού τοιχώματος.
- 3) Ο **έξω χιτώνας (adventitia)**, που αποτελείται από ελαστίνη και ίνες κολλαγόνου και περιβάλλεται από ιστούς.

1.3.1. Χειρουργικές παθήσεις της αορτής

Μία πάθηση της αορτής είναι τα ανευρύσματα. Εάν τώρα θέλουμε να δώσουμε έναν ορισμό, είναι η μόνιμη εντοπισμένη ή σε μεγαλύτερη έκταση διάταση της αορτής.

Άλλη πάθηση, η οποία μπορεί να γίνει και ανεύρυσμα, είναι ο διαχωρισμός (σκίσιμο) της αορτής που αποτελεί μία οξεία βαριά, καταστροφική πάθηση του καρδιαγγειακού συστήματος. Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες του αορτικού διαχωρισμού είναι η υπέρταση και η εκφύλιση του μέσου χιτώνα του τοιχώματος της αορτής από κάποιο συγγενές νόσημα. Άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι η εγκυμοσύνη (ιδιαίτερα κατά το τρίτο τρίμηνο της κύησης) και ο τοκετός.

Επίσης, άλλη μία πάθηση είναι η τραυματική ρήξη της αορτής που την ονομάζουμε και ψευδοανεύρυσμα. Συνήθως συμβαίνει από κάποιο τροχαίο ατύχημα – μετωπική σύγκρουση, πτώση από ύψος ή έκρηξη μεγάλης ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΕΥΡΥΣΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ (ΑΚΑ)

2.1. Τι είναι το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής

Η αορτή μπορεί να διαταθεί ανάλογα με τις βλάβες που υπάρχουν στο τοίχωμα της και την πίεση του αίματος που εξασκείται πάνω σε αυτό. Όταν η διάταση της αορτής είναι μεγάλη, δηλαδή όταν η διάμετρος της αορτής ξεπεράσει κατά 1,5 – 2 φορές το φυσιολογικό και περιορίζεται σε ορισμένα τμήματα της, ονομάζεται ανεύρυσμα.

Θεωρητικά το ανεύρυσμα μπορεί να εμφανιστεί σε οποιοδήποτε αγγείο του κυκλοφορικού συστήματος, όμως στην πραγματικότητα εμφανίζεται συνήθως στις αρτηρίες. Δεδομένου ότι εκεί η εσωτερική πίεση του αίματος που κυκλοφορεί είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα είναι μεγαλύτερη η τάση που αναπτύσσεται πάνω στο αρτηριακό τοίχωμα. Τα ανευρύσματα εμφανίζονται είτε στην αρχή της αορτής (ανιούσα αορτή), είτε στο μέσο (θωρακική αορτή), είτε στο τελικό τμήμα της (κοιλιακή αορτή).

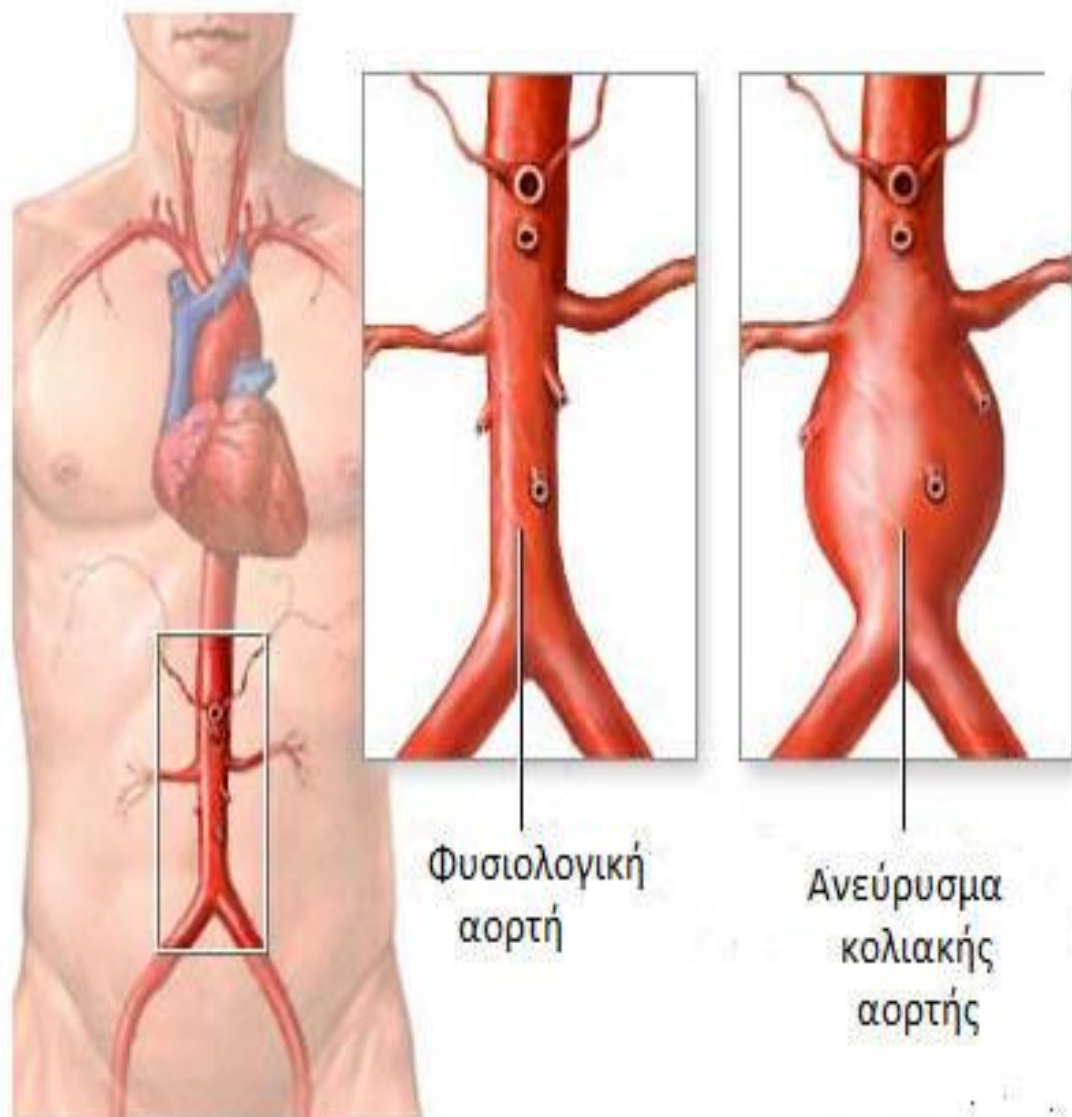
Ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής καλείται μία ευάλωτη περιοχή στην αορτή. Όταν το αίμα ρέει διαμέσου της αορτής ασκείται πίεση στα τοιχώματά της, με αποτέλεσμα να διευρύνεται και να μοιάζει σαν φουσκωμένο μπαλόνι. Εάν οι διαστάσεις της ανευρυσματικής περιοχής αυξηθούν σημαντικά τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ρήξης του αγγείου, με αποτέλεσμα την εσωτερική αιμορραγία. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα αδυναμίας ή λέπτυνσης του τοιχώματος των αιματικών αγγείων. Συχνότερα τα ανευρύσματα κοιλιακής αορτής εντοπίζονται κάτω από το επίπεδο των νεφρικών αρτηριών και είναι σακοειδή ή ελικοειδή. Το ανεύρυσμα σε πολλές περιπτώσεις επεκτείνεται και σε αγγεία της λεκάνης και των μηρών.

Όταν το ανεύρυσμα προσεγγίσει τη διάμετρο των 5 cm, τα τοιχώματά της αορτής χάνουν την ελαστικότητά τους. Γι' αυτό όταν η διάμετρος της αορτής ξεπεράσει τα 5,5 cm υπάρχει άμεση ένδειξη να αντιμετωπισθεί με χειρουργική επέμβαση, διότι έχει πολύ αυξημένες πιθανότητες να ραγεί, δηλαδή να σπάσει.

Κατά συνέπεια η αντιμετώπιση του ανευρύσματος μέχρις ότου ξεπεράσει τα 5,5 cm σε διάμετρο πρέπει να είναι συντηρητική. Αντίθετα, μετά τα 5,5 cm η αντιμετώπιση είναι επεμβατική.

Οι επιπλοκές που μπορεί να εμφανιστούν από το ανεύρυσμα είναι:

- Διαχωρισμός της αορτής
- Θρόμβωση στο τοίχωμα της αορτής
- Ρήξη του ανευρύσματος



Εικόνα 2: Το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής.

2.2. Γιατί είναι επικίνδυνο ένα ανεύρυσμα

Το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής είναι επικίνδυνο γιατί υπάρχει πιθανότητα ρήξης. Με την ρήξη του τοιχώματος της αορτής προκαλείται σημαντική αιμορραγία. Ο κίνδυνος ρήξης ενός ανευρύσματος με διαστάσεις κάτω των 5 cm είναι περίπου ίδιος με τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει ένας ασθενής που υποβάλλεται σε μέσης δυσκολίας χειρουργείο. Πρόκειται για μία πολύ σοβαρή επιπλοκή, όπου σε περίπτωση ρήξεως του ανευρύσματος η πιθανότητα επιβίωσης του ασθενούς είναι χαμηλή, με ένα ποσοστό 80 – 90% των ρήξεων να καταλήγουν σε θάνατο. Αυτοί οι θάνατοι μπορούν να αποφευχθούν, εάν γίνει εγκαίρως η διάγνωση και η αντιμετώπιση των ανευρυσμάτων αυτών, πριν επέλθει ρήξη. Ευτυχώς τα ανευρύσματα αντιμετωπίζονται με ασφαλή και αποτελεσματικό τρόπο, ειδικά όταν έχουν διαγνωστεί έγκαιρα πριν την εμφάνιση συμπτωμάτων.

Η επικινδυνότητα ρήξης σχετίζεται άμεσα με την διάμετρο του ανευρύσματος:

- Για ένα ανεύρυσμα με διάμετρο 5 – 6 cm, ο κίνδυνος ρήξης σε 1 έτος είναι 5 – 10%
- Για ένα ανεύρυσμα με διάμετρο 6 – 7 cm, ο κίνδυνος ρήξης σε 1 έτος είναι 10 – 20%
- Για ένα ανεύρυσμα με διάμετρο > 7 cm, ο κίνδυνος ρήξης σε 1 έτος ξεπερνάει το 20%

Έτσι το ανεύρυσμα που πρέπει να αντιμετωπισθεί για να προληφθεί ο κίνδυνος ρήξης είναι εκείνο που υπερβαίνει τα 5 cm σε διάμετρο, ή που αν και μικρότερο μεγαλώνει με ρυθμό μεγαλύτερο του 1 cm το χρόνο.

Ένα άλλο, λιγότερο συχνό πρόβλημα, που μπορεί να προκαλέσει το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής είναι ο εμβολισμός. Ο θρόμβος ή τα συντρίμματα που σχηματίζονται εντός του ανευρυσματικού σάκου αποσπώνται και με την αιματική ροή καταλήγουν στα αγγεία που αιματώνουν άλλα όργανα. Αν τα αγγεία αυτά αποφραχτούν προκαλείται έντονος πόνος και ισχαιμία του οργάνου και αν δεν αποκατασταθεί άμεσα η αιμάτωση του οδηγεί σε νέκρωση και απώλεια του.

2.3. Επιβαρυντικοί παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο για τη δημιουργία του ανευρύσματος

Το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής δεν είναι μία σπάνια πάθηση. Η ηλικία είναι ο βασικότερος παράγοντας εμφάνισης του ανευρύσματος και παίζει σημαντικό ρόλο στον εκφυλισμό του αρτηριακού μηχανισμού, καθώς με την πάροδο των ετών το αρτηριακό τοίχωμα λεπταίνει. Ανευρίσκεται συχνότερα σε άτομα ηλικίας 60 ετών και άνω, γι' αυτό και τις περισσότερες φορές συνοδεύεται και από άλλες παθήσεις, κυρίως αγγειακές, όπως καρδιακές, νεφρικές και των κάτω άκρων, αλλά και αναπνευστικές, ή ακόμη συνυπάρχει με κάποια κακοήγη νεοπλασία. Οι άνδρες έχουν 4 φορές πιο μεγάλη πιθανότητα από τις γυναίκες να το πάθουν. Σε άνδρες ηλικίας 60 – 80 ετών το ποσοστό αυτών που έχουν ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής είναι 2 – 5%, ενώ στις γυναίκες ίδιας ηλικίας το ποσοστό είναι 1%.

Περίπου το 75% όλων των ανευρυσμάτων βρίσκονται στην κοιλιακή αορτή. Και οι παράγοντες ανάπτυξής τους είναι:

- Ιστορικό καπνίσματος και χρόνιας αποφρακτικής νόσου των πνευμόνων
Το κάπνισμα συμβάλλει στην αθηροσκλήρωση και προκαλεί υψηλή αρτηριακή πίεση, οδηγώντας έτσι στην ταχύτερη ανάπτυξη των ανευρυσμάτων.
- Κληρονομικοί παράγοντες
Άτομα που έχουν οικογενειακό ιστορικό ανευρύσματος διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο να αναπτύξουν ανεύρυσμα σε νεότερη ηλικία και βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο για ρήξη του ανευρύσματος.
- Αθηροσκλήρωση των αρτηριών
- Αρτηριακή υπέρταση
- Αρτηριοπάθεια, όπως στεφανιαία νόσο ή περιφερική αποφρακτική αρτηριοπάθεια

Το 50% των ασθενών με ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής, οι οποίοι δεν αντιμετωπίζονται, τελικά πεθαίνουν από αυτήν την αιτία.

2.4. Συμπτώματα εκδήλωσης του ανευρύσματος

Το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής καλείται και σιωπηλός δολοφόνος, διότι συχνά δεν δίνει προφανή συμπτώματα στους ασθενείς, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εντόπιση του. 3 στα 4 ανευρύσματα δεν έχουν δώσει κανένα σύμπτωμα μέχρι τη στιγμή που διαγιγνώσκονται. Ορισμένα ανευρύσματα ποτέ δεν θα υποστούν ρήξη, ιδίως αν είναι μικρά σε μέγεθος και αναπτύσσονται αργά με την πάροδο του χρόνου. Άλλα όμως ανευρύσματα αναπτύσσονται με ταχύτερο ρυθμό, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο ρήξης. Ο ρυθμός ανάπτυξης / διάτασης του ανευρύσματος της αορτής είναι δύσκολο να προβλεφθεί.

Σε περίπτωση ύπαρξης συμπτωματολογίας, τότε αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Κοιλιακός πόνος, συνεχής ή περιοδικός
- Πόνος στην πλάτη, με αντανάκλαση σε πόδια, γλουτούς και βουβωνική περιοχή
- Αίσθημα παλμών στην κοιλιακή χώρα σε συγχρονισμό με τους παλμούς της καρδιάς
- Σε σπάνιες περιπτώσεις, στα πόδια και στα δάχτυλα μπορεί να εμφανιστούν περιοχές με μπλε χρώμα και πόνο, λόγω εμβολής (διασκόρπισης) συντριμμάτων αθηροθρομβωτικού υλικού από το ανεύρυσμα προς τα κάτω («σύνδρομο κυανών δακτύλων»)

Όταν το ανεύρυσμα ραγεί, τότε η συμπτωματολογία τροποποιείται ως εξής:

- Έντονος πόνος στην μέση ή την κοιλιακή χώρα
- Ωχρότητα
- Ξηροστομία, υπερβολική δίψα
- Εμετός και ναυτία
- Εικόνα σοκ, με ρίγη, ιδίγγους, λιποθυμία, εφίδρωση, δύσπνοια, έντονη ταχυκαρδία και ξαφνική αδυναμία, τότε είναι επείγουσα κατάσταση που απαιτεί άμεση θεραπευτική παρέμβαση

2.5. Διάγνωση του ανευρύσματος

Η κλινική εικόνα του ανευρύσματος είναι τις περισσότερες φορές ανύπαρκτη, γι' αυτό και η διάγνωση του συνήθως γίνεται τυχαία, όταν ο ασθενής υποβάλλεται σε εξετάσεις για μία άλλη πάθηση. Θεωρητικά η εξέλιξη του από πλευράς αυξήσεως της διαμέτρου είναι σταθερά αυξητική και η τελική κατάληξη είναι η ρήξη του ανευρύσματος, μία επιπλοκή η οποία τις περισσότερες φορές είναι θανατηφόρα.

Σε μερικές περιπτώσεις το ανεύρυσμα διαγιγνώσκεται με μία απλή φυσική εξέταση του ασθενούς, κατά την οποία ο ιατρός με ψηλάφηση αισθάνεται το ανεύρυσμα σαν μία μαλακή, παλλόμενη μάζα στην κοιλιακή χώρα. Ωστόσο, η πιο διαδεδομένη διαγνωστική εξέταση είναι ο υπέρηχος στην περιοχή του ανευρύσματος.

Άλλες μέθοδοι για την λεπτομερή ανατομική δομή του ανευρύσματος, που είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό της επεμβατικής αντιμετώπισης είναι:

- Υπερηχογράφημα triplex κοιλιακής αορτής και λαγόνιων αρτηριών
- Αξονική τομογραφία (CT)
- Μαγνητική τομογραφία (MRI)
- Αρτηριογραφία
- Η νεότερη μέθοδος ψηφιακής απεικόνισης spiral CT

Το υπερηχογράφημα (triplex) μπορεί να μετρήσει τις ακριβείς διαστάσεις του ανευρύσματος. Η αξονική και η μαγνητική τομογραφία εκτός από τις διαστάσεις, μας πληροφορούν για το σημείο μετάπτωσης της φυσιολογικής αορτής σε ανευρυσματική και τη σχέση του με τις αρτηρίες που βρίσκονται κεντρικά (νεφρικές αρτηρίες), καθώς και την κατάσταση των αρτηριών που βρίσκονται περιφερικά (λαγόνιες, μηριαίες αρτηρίες).

2.6. Θεραπεία του ανευρύσματος

Δεν χρειάζονται όλα τα ανευρύσματα θεραπευτική αντιμετώπιση. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος, τη θέση τους και τη γενική κατάσταση υγείας του ασθενή, για να καθοριστεί αν θα αντιμετωπιστούν και πως.

Η μοναδική ένδειξη για θεραπεία σε έναν ασθενή με ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής είναι να τον προστατεύσουμε από ρήξη. Επομένως, ο κίνδυνος ρήξης, ο οποίος αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους του ανευρύσματος, καθορίζει και την ανάγκη για επέμβαση.

Το αν χρειάζεται ή όχι θεραπευτική αντιμετώπιση το αποφασίζει ο αγγειοχειρουργός, που είναι ο μόνος ιατρός σε θέση να προσφέρει όλους τους τύπους θεραπείας που υπάρχουν. Και είναι αυτός που θα συζητήσει με τον ασθενή τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μεθόδων αντιμετώπισης του ανευρύσματος, καθώς επίσης και τις επιπλοκές που έχει κάθε μέθοδος και θα προτείνει ποια είναι η καλύτερη θεραπεία για κάθε ασθενή ξεχωριστά.

Αν το ανεύρυσμα είναι μεγάλο ($> 5\text{cm}$), είναι γενικά ασφαλέστερο να γίνει επέμβαση. Επειδή η εγχείρηση έχει κάποιους κινδύνους, το ακριβές μέγεθος στο οποίο ο αγγειοχειρουργός θα συστήσει να γίνει επέμβαση εξαρτάται από τυχόν άλλα προβλήματα που μπορεί να έχει ο ασθενής. Αυτά μπορεί να είναι καρδιακά, αναπνευστικά ή νεφρικά προβλήματα, τα οποία αυξάνουν τους κινδύνους της επέμβασης. Για ασθενείς με μεγαλύτερο κίνδυνο, το όριο για να χειρουργηθεί το ανεύρυσμα μπορεί να φτάσει τα 7 cm ανάλογα με την κατάσταση υγείας τους. Μετά την ανοιχτή χειρουργική αντιμετώπιση ο κίνδυνος ρήξης μηδενίζεται. Ιδανικά, η σύσταση για εγχείρηση γίνεται όταν ο κίνδυνος ρήξης του ανευρύσματος ξεπερνά τον κίνδυνο της επέμβασης.

2.6.1. Προσεκτική παρακολούθηση

Μικρού μεγέθους ανευρύσματα, διαμέτρου $< 5\text{ cm}$, τα οποία δεν αυξάνονται ταχέως σε μέγεθος ή που δεν προκαλούν συμπτωματολογία, έχουν μειωμένη πιθανότητα ρήξης και συχνά δεν απαιτούν άλλη θεραπεία παρά την τακτική παρακολούθησή τους, τουλάχιστον ανά 6μηνο. Αυτή περιλαμβάνει τη διενέργεια υπερηχογραφικού ελέγχου σε τακτά χρονικά διαστήματα, για να καθοριστεί εάν και κατά πόσο το ανεύρυσμα έχει μεγαλώσει και ακολουθείται φαρμακευτική αγωγή, η οποία μειώνει την πίεση.

2.6.2. Χειρουργική επέμβαση

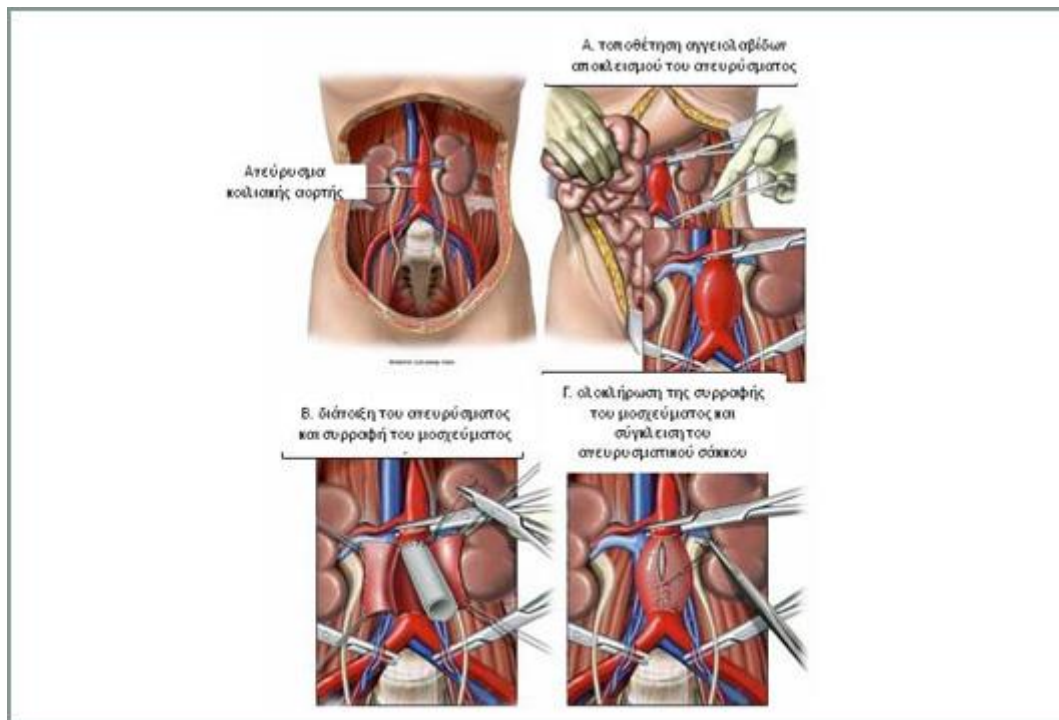
Για ανευρύσματα με διάμετρο που ξεπερνά τα 5 cm ή αν ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου ενός ανευρύσματος είναι γρήγορος άσχετα με το μέγεθος του ή αν εμφανιστούν συμπτώματα, μπορεί να απαιτηθεί επέμβαση. Η πιο διαδεδομένη θεραπεία εκλογής που εφαρμόζεται σε μεγάλα, μη ραγέντα ανευρύσματα κοιλιακής αορτής είναι η ανοιχτή χειρουργική επέμβαση, που διενεργείται από αγγειοχειρουργό.

Η διαδικασία περιλαμβάνει μία τομή ακριβώς κάτω από το στέρνο, έως την ηβική σύμφυση. Ο χειρουργός συσφίγγει με λαβίδα την αορτή, διανοίγει το ανεύρυσμα και τοποθετεί ένα μόσχευμα (πλαστικό σωλήνα), το οποίο τελικά αποκαθιστά την κυκλοφορία του αίματος. Η ροή του αίματος περνάει τελικά από το μόσχευμα, το οποίο και προστατεύει το ήδη αδύναμο αορτικό τοίχωμα από τις πιέσεις του καρδιακού παλμού.

Η επέμβαση αυτή γίνεται υπό γενική αναισθησία και διαρκεί 2 – 4 ώρες. Μετά την εγχείρηση ο ασθενής θα μείνει στο νοσοκομείο 5 – 7 μέρες και θα χρειαστεί 2 – 3 μήνες για πλήρη ανάρρωση, αλλά ο ακριβής χρόνος εξαρτάται κυρίως από την ηλικία.

Το μόσχευμα είναι από πολύ ισχυρό συνθετικό υλικό, είτε πολυεστέρας (Dacron) είτε πολυτετραφλουοραιθυλένιο (PTFE), στο μέγεθος της φυσιολογικής αορτής. Το μόσχευμα αυτό διαρκεί σε όλη τη ζωή του ασθενούς και είναι πάρα πολύ απίθανο να χρειαστεί να αντικατασταθεί.

Η επέμβαση αυτή έχει επιτυχία στο 90 – 98% των περιπτώσεων. Η ανοιχτή επέμβαση ουσιαστικά εξαλείφει τον κίνδυνο μελλοντικής ρήξης του ανευρύσματος.



Εικόνα 3: Η διαδικασία της χειρουργικής επέμβασης.

Στην Εικόνα 3 βλέπουμε τα στάδια που ακολουθούνται κατά την χειρουργική επέμβαση του ανευρύσματος της κοιλιακής αορτής.

Αυτά είναι:

- A. Η τοποθέτηση αγγειολαβίδων αποκλεισμού του ανευρύσματος
- B. Η διάταξη του ανευρύσματος και η συρραφή του μοσχεύματος
- C. Η ολοκλήρωση της συρραφής του μοσχεύματος και η σύγκλειση του ανευρυσματικού σάκου

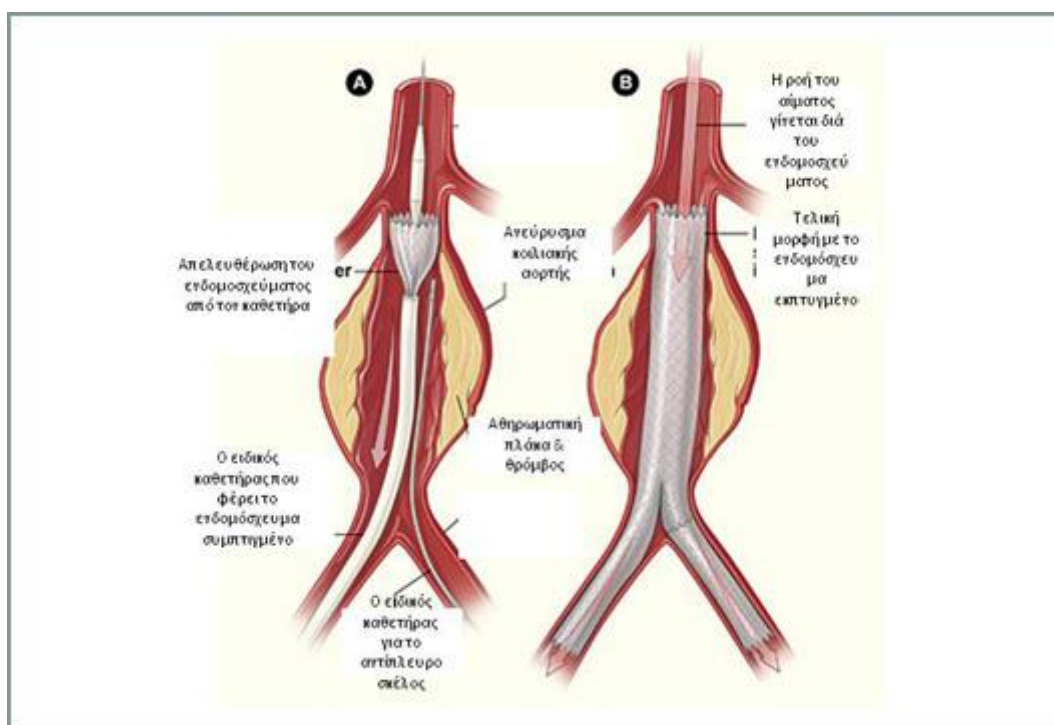
2.6.3. Επεμβατική αποκατάσταση

Το ανοιχτό χειρουργείο ήταν παραδοσιακά η μέθοδος αποκατάστασης του κοιλιακού αορτικού ανευρύσματος. Ωστόσο, το 1999 ο Αμερικάνικος Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων ενέκρινε την χρήση επικαλυμμένων ενδοπροθέσεων (stent graft) για τα κοιλιακά αορτικά ανευρύσματα, παρέχοντας ως εναλλακτική μέθοδο μία ελάχιστα επεμβατική τεχνική με μικρότερη περίοδο ανάρρωσης.

➤ Τι είναι η επικαλυμμένη ενδοπρόθεση (stent graft)

Στην αποκατάσταση κοιλιακού αορτικού ανeurύσματος με ενδοπρόθεση, ένας επεμβατικός ακτινολόγος με μία ομάδα άλλων γιατρών (αναισθησιολόγος, αγγειοχειρουργός) εισάγουν ένα μακρύ, λεπτό σωλήνα, που λέγεται καθετήρας, μέσω μίας μικρής τομής στη βουβωνική περιοχή ως την περιοχή του ανeurύσματος. Μέσω του καθετήρα ο ακτινολόγος τοποθετεί ένα υφασμάτινο αυλό (μόσχευμα-graft), που είναι αρκετά μακρύς ώστε να εκτείνεται σε όλη την διατεταμένη περιοχή της αορτής. Ο αυλός αυτός συγκρατείται στην περιοχή από ένα νάρθηκα (stent), που είναι ένας μεταλλικός δικτυωτός σκελετός. Ο νάρθηκας ασκεί πίεση μεταξύ του μόσχευματος και της αρτηρίας ώστε το μόσχευμα να στερεώνεται σφιχτά στην θέση του. Το αίμα έτσι ρέει μέσα από το μόσχευμα και προσπερνά το ανeurύσμα. Χωρίς την πίεση του ρέοντος αίματος το ανeurύσμα δεν κινδυνεύει πια να ραγεί και τελικά συρρικνώνεται.

Η επέμβαση αυτή γίνεται υπό γενική ή τοπική αναισθησία και διαρκεί 2 – 3 ώρες.



Εικόνα 4: Η επεμβατική αποκατάσταση με επικαλυμμένη ενδοπρόθεση.

Στην Εικόνα 4 βλέπουμε:

- *Αριστερά:* το ανεύρυσμα μαζί με τον θρόμβο, καθώς και τον ειδικό καθετήρα μέσω του οποίου θα τοποθετηθεί το ενδομόσχευμα συμπτυγμένο. Μόλις τώρα φτάσει ο καθετήρας στο κατάλληλο σημείο τότε το ενδομόσχευμα απελευθερώνεται.
- *Δεξιά:* την τελική μορφή που θα πάρει το ανεύρυσμα μαζί με το ενδομόσχευμα, όπου διά μέσω του θα γίνεται πλέον η ροή του αίματος.

➤ Αίτια τοποθέτησης ενδαγγειακής επικαλυμμένης ενδοπρόθεσης

Οι επικαλυμμένες ενδοπρόθεσεις κοιλιακών αορτικών ανευρυσμάτων χρησιμοποιούνται για την παράκαμψη μεγάλων ανευρυσμάτων στο κοιλιακό τμήμα της αορτής, που διαφορετικά θα έσπαγαν και θα προκαλούσαν επικίνδυνες καταστάσεις.

➤ Δεν είναι όλοι κατάλληλοι για τοποθέτηση ενδοπρόθεσης. Άτομα που μπορεί να είναι κατάλληλα επιλέγουν αυτή τη μέθοδο έναντι του χειρουργείου για τους ακόλουθους λόγους:

- Σημαντικά λιγότερες μέρες νοσηλείας (1 – 3 μέρες έναντι 5 – 7 μέρες μετά από χειρουργείο)
- Σημαντικά ταχύτερη ανάρρωση (μέσος όρος 11 μέρες έναντι 47 μέρες μετά από χειρουργείο)
- Αποφεύγονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την ανοιχτή χειρουργική αποκατάσταση
- Δεν χρειάζεται να λάβουν γενική αναισθησία
- Δεν χρειάζεται να λάβουν μετάγγιση αίματος, που μπορεί να είναι απαραίτητη στη διάρκεια του χειρουργείου
- Δεν είναι υποψήφιοι για ανοιχτή χειρουργική αποκατάσταση λόγω άλλων προβλημάτων υγείας

➤ Κίνδυνοι από την αποκατάσταση με επικαλυμμένη ενδοπρόθεση

Υπάρχουν ορισμένοι κίνδυνοι από την αποκατάσταση ανευρύσματος με ενδαγγειακή επικαλυμμένη ενδοπρόθεση οι οποίοι είναι σαφώς λιγότεροι από αυτούς που σχετίζονται με την χειρουργική αποκατάσταση.

Εφόσον ο καθετήρας εισάγεται μέσα στα αγγεία, υπάρχει ο κίνδυνος τραυματισμού του αγγείου, εκχύμωσης ή αιμορραγίας στο σημείο της παρακέντησης ή μόλυνσης της τομής. Σπάνια αλλά επικίνδυνη επιπλοκή είναι η αλλεργική αντίδραση στο σκιαγραφικό μέσο που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της επέμβασης.

Είναι πιθανό η ενδοπρόθεση να μετακινηθεί ή να παρουσιάσει διαρροή μετά την αποκατάσταση. Αν κάτι τέτοιο συμβεί, αίμα συνεχίζει να ρέει μέσα στο ανεύρυσμα και δυνητικά μπορεί να προκληθεί μεγέθυνση του ανευρύσματος ή ρήξη αυτού. Διαρροές μπορεί να συμβούν στο 10% των ασθενών και οι περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν μη χειρουργικά.

➤ Καταστάσεις που πρέπει να γνωρίζει ο γιατρός

Πριν την εξέταση ο επιβλέπων επεμβατικός ακτινολόγος πρέπει να γνωρίζει αν κάποια από τις παρακάτω καταστάσεις αφορά τον ασθενή του:

- Προηγούμενη αντίδραση στο ιώδιο
- Προηγούμενη αντίδραση στην αναισθησία
- Διαταραχή της πηκτικότητας
- Καρδιοαναπνευστική νόσος
- Παρούσα εγκυμοσύνη
- Οδηγίες για την προετοιμασία
- Πλήρης προετοιμασία του παχέος εντέρου πριν την διαδικασία (ειδικές οδηγίες)
- Προετοιμασία για διαμονή στο νοσοκομείο για ένα βράδυ
- Κάποιος να οδηγήσει για τη μεταφορά του ασθενούς προς και από το νοσοκομείο

➤ Τι αναμένετε στη διάρκεια της διαδικασίας

Πριν την ημερομηνία της επέμβασης ο ασθενής υποβάλλεται σε προ-επεμβατικές εξετάσεις, που περιλαμβάνουν μία αξονική τομογραφία κοιλίας και πιθανώς αγγειογραφία. Οι εξετάσεις αυτές επιτρέπουν στον ακτινολόγο να απεικονίσει το ανεύρυσμα και να καθορίσει τον τύπο και το μέγεθος της ενδοπρόθεσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Και συμπληρώνονται κάποια έντυπα ώστε ο ακτινολόγος να γνωρίζει το ιατρικό ιστορικό του ασθενούς και ένα έντυπο συγκατάθεσης.

Όταν ο ασθενής προσέλθει για την επέμβαση θα του ζητηθεί να φορέσει κατάλληλο ρούχο. Αφού απαντηθούν οι όποιες απορίες ο τεχνολόγος τοποθετεί έναν ενδοφλέβιο καθετήρα και συνδέει τον ασθενή με διάφορες συσκευές παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης και του καρδιακού του ρυθμού στη διάρκεια της διαδικασίας. Μπορεί να λάβει γενική ή επισκληρίδιο αναισθησία και η επέμβαση λαμβάνει χώρα στην αίθουσα αγγειογραφιών.

Το σημείο εισόδου στη βουβωνική περιοχή θα καθαριστεί. Ένα μηχάνημα ακτινοσκόπησης θα τοποθετηθεί πάνω από την κοιλιά του. Γίνεται τομή στη βουβωνική περιοχή και ένας καθετήρας εισάγεται στην αρτηρία. Χρησιμοποιώντας τις εικόνες της ακτινοσκόπησης ο ακτινολόγος προωθεί τον καθετήρα ως τη θέση του ανευρύσματος. Η ενδοπρόθεση προωθείται μέσω του καθετήρα στη θέση του ανευρύσματος. Αφού απελευθερωθεί από τον καθετήρα η ενδοπρόθεση διατείνεται στο απαραίτητο μέγεθος. Ο καθετήρας στη συνέχεια αποσύρεται και η τομή πιέζεται για να σταματήσει η αιμορραγία. Στη συνέχεια γίνεται αξονική τομογραφία και υπερηχογράφημα ώστε ο ακτινολόγος να επιβεβαιώσει ότι η ενδοπρόθεση έχει τοποθετηθεί στην κατάλληλη θέση.

➤ Ανάρρωση από την επέμβαση

Αμέσως μετά την επέμβαση ο ασθενής πρέπει να μείνει κλινήρης για 4 με 6 ώρες για να ξεκινήσει η επούλωση της τομής ή των τομών. Χρειάζεται εντατική ενυδάτωση ώστε το σώμα να αποβάλλει το σκιαγραφικό που χορηγήθηκε στη διάρκεια της επέμβασης.

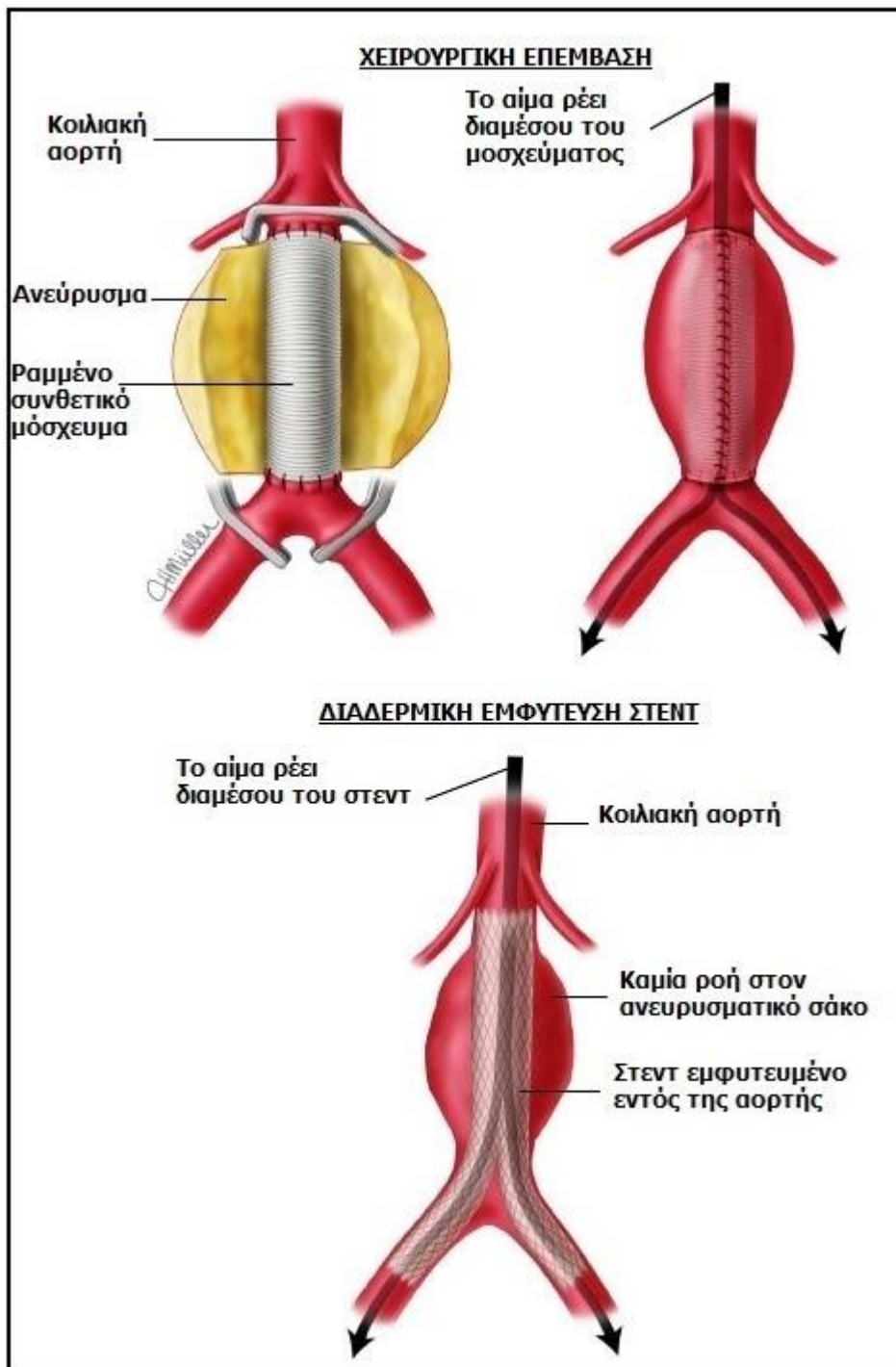
Ορισμένοι ασθενείς παρουσιάζουν ενοχλήσεις ή και παρενέργειες για μερικές μέρες μετά την επέμβαση. Παρενέργειες είναι το οίδημα του άνω τμήματος του μηρού, αστάθεια των κάτω άκρων, ναυτία, εμετός, πόνος στο κάτω άκρο ή αίσθημα παλμών, καταβολή, απώλεια όρεξης και απουσία εντερικών ήχων που συνήθως υποχωρούν γρήγορα.

Πολλοί ασθενείς βγαίνουν από το νοσοκομείο την επόμενη μέρα της διαδικασίας. Ωστόσο, πολλές φορές μπορεί να απαιτηθεί μακρύτερη διαμονή. Οι περισσότεροι ασθενείς επιστρέφουν στην κανονική τους δραστηριότητα εντός 2 εβδομάδων μετά την επέμβαση.

➤ Παρακολούθηση του ανευρύσματος

Μετά την εγχείρηση η παρακολούθηση του ανευρύσματος πρέπει να γίνεται στον 1^ο, 6^ο, και 12^ο μήνα. Στη συνέχεια χρειάζεται ετήσια παρακολούθηση εφ' όρου ζωής με αξονική τομογραφία ή υπερηχογράφημα, για να εξασφαλίσουμε ότι η ενδοπρόθεση έχει παραμείνει στη θέση της και ότι παρακάμπτεται ικανοποιητικά το αίμα από το ανεύρυσμα ώστε αυτό να συρρικνώνεται.

Τα αρχικά αποτελέσματα είναι πολύ θετικά, όμως μιας και είναι μία νέα μέθοδος τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα (10 – 30 χρόνια) δεν είναι γνωστά.



Εικόνα 5: Και οι δύο τρόποι θεραπείας του ανευρύσματος.

2.7. Προληπτικά μέτρα, για όσους έχουν ανεύρυσμα

Είναι καλό να βελτιώνεται η γενική κατάσταση υγείας του κάθε ασθενή, για προστασία της καρδιάς και του κυκλοφορικού συστήματος, ακόμη και αν δεν χρειάζεται άμεσα επέμβαση.

Αυτό που έχει να κάνει ο ασθενής είναι:

- Να διακόψει το κάπνισμα, εάν είναι καπνιστής
- Να αυξήσει τη σωματική του άσκηση
- Να μειώσει το σωματικό του βάρος, προσέχοντας την ποιότητα της διατροφής του (χαμηλή σε ζωικά λίπη)
- Να ελέγχει τακτικά την αρτηριακή του πίεση
- Να αποφεύγει να σηκώνει και να μεταφέρει βάρη μεγαλύτερα από 10 kg
- Να παίρνει σωστά τη φαρμακευτική του αγωγή, που έχει σαν στόχο να σταθεροποιήσει το ανεύρυσμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟ ΤΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΑ ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

3.1. Εμβιομηχανική

Σκοπός της εμβιομηχανικής είναι η κατανόηση της Μηχανικής των ζωντανών οργανισμών.

Με βάση την εμβιομηχανική και τις βασικές αρχές της Καρδιαγγειακής Μηχανικής, η ρήξη ενός ανeurύσματος συμβαίνει όταν η τιμή των τοιχωματικών τάσεων, που δρουν πάνω στο ανeurύσμα, ξεπεράσει την οριακή τιμή της αντοχής του υλικού του αρτηριακού τοιχώματος.

Για να επιλυθεί ένα πρόβλημα Μηχανικής θα πρέπει να γίνει πρώτα κατανοητό το σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα εφαρμογής είναι ένα βιολογικό υλικό, ο ιστός του τοιχώματος φυσιολογικής και ανeurυσματικής κοιλιακής αορτής.

Για την καλύτερη κατανόηση όμως του προβλήματος χρησιμοποιούμε μοντέλα, θέλοντας να αναπαραστήσουμε, να μελετήσουμε, να αναλύσουμε, να σχεδιάσουμε και να παραθέσουμε τα αποτελέσματα της έρευνας μας.

Το καρδιαγγειακό σύστημα μπορεί να μελετηθεί από δύο επιστημονικές πλευρές:

- Τη **Μηχανική των ρευστών**, η οποία ασχολείται με τη ροή του αίματος και πως αυτή μπορεί να επηρεάσει το αίμα και τα αγγεία.
- Τη **Μηχανική των στερεών**, η οποία ασχολείται μόνο με τη συμπεριφορά των ιστών των αγγείων.

Και μιας και θα ασχοληθούμε περισσότερο με την Μηχανική των στερεών, μελετάει ακόμα τις δυνάμεις, την κίνηση και την αντοχή των βιολογικών ιστών και οργάνων.

3.2. Μηχανική των στερεών

Το κριτήριο της μέγιστης διαμέτρου δεν είναι και τόσο αξιόπιστο. Σε μελέτη βιοψίας ασθενών με ανευρύσματα, έχει βρεθεί ότι το 13% των μικρών ανευρυσμάτων (διαμέτρου < 5 cm) είχαν ραγεί, ενώ το 60% των μεγάλων ανευρυσμάτων δεν είχαν ραγεί ποτέ. Αυτός είναι ο λόγος που ένα μεγάλο πλήθος επιστημονικών ομάδων έχει στραφεί τα τελευταία 20 χρόνια στην εύρεση νέων κριτηρίων που θα βοηθήσουν στην σωστότερη εκτίμηση του κινδύνου ρήξης των ανευρυσμάτων κοιλιακής αορτής.

Η ρήξη υπεισέρχεται όταν η τοιχωματική τάση σε κάποιο σημείο του ανευρυσματικού τοιχώματος είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του. Κατά συνέπεια ο υπολογισμός της κατανομής των τοιχωματικών τάσεων των ανευρυσμάτων θα ήταν μια αξιόπιστη μέθοδος πρόβλεψης του κινδύνου ρήξης των ανευρυσμάτων. Επειδή όμως είναι δύσκολο να υπολογιστούν και απαιτούν εξελιγμένα λογισμικά προγράμματα και εξειδικευμένο προσωπικό, μελέτες στρέφονται στην εύρεση μορφολογικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την μέγιστη τοιχωματική τάση και κατά συνέπεια μπορούν να αποτελέσουν έναν έμμεσο δείκτη του κινδύνου ρήξης.

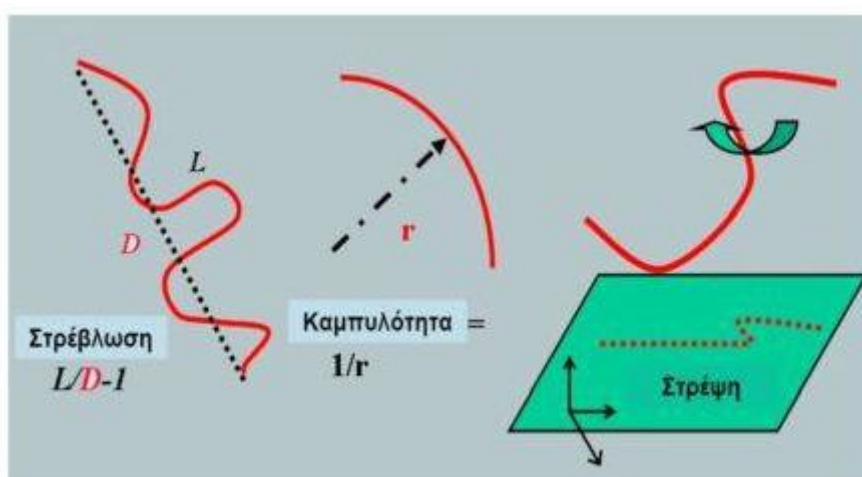
Όπως είναι γνωστό τα ανευρύσματα δεν έχουν μία απλή συμμετρική γεωμετρία. Αυτό συμβαίνει λόγω της ύπαρξης της σπονδυλικής στήλης, η οποία εμποδίζει την αύξηση του μεγέθους του οπίσθιου μέρους του τοιχώματος και συνεπώς η διόγκωση του ανευρύσματος γίνεται προς τα εμπρός.

Όσον αφορά την ασυμμετρία των ανευρυσμάτων μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι εκτός από τη διάμετρο, η συνολική γεωμετρία και ειδικότερα η κεντρογραμμή του αορτικού αυλού, σχετίζονται με την κατανομή των τοιχωματικών τάσεων των ανευρυσμάτων.

Συνήθως η μέγιστη τοιχωματική τάση εντοπίζεται στο σημείο όπου η καμπυλότητα του τοιχώματος του ανευρύσματος μεταβάλλεται απότομα. Η καμπυλότητα του Gaussian θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την πρόβλεψη του κινδύνου ρήξης των ανευρυσμάτων.

Κάποιες από τις γεωμετρικές παραμέτρους, οι οποίες υπολογίζονται κατά την εκτίμηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών ενός ανευρύσματος φαίνονται στην Εικόνα 6 και είναι:

- Η **καμπυλότητα (curvature)**
Η απόκλιση μιας καμπύλης από την ευθεία γραμμή.
- Η **στρέψη (torsion)**
Η απόκλιση ενός σημείου της καμπύλης από ένα δεδομένο επίπεδο.
- Η **στρέβλωση (tortuosity)**
Η απόκλιση του μήκους μεταξύ 2 σημείων από την ευθεία που συνδέει τα σημεία αυτά.



Εικόνα 6: Η έννοια της καμπυλότητας, της στρέψης και της στρέβλωσης.

3.3. Αιμοδυναμική

Το κυκλοφορικό σύστημα μπορούμε να το εκλάβουμε ως ένα δίκτυο ελαστικών σωληνώσεων μέσα στο οποίο ρέει το αίμα, με την καρδιά να παίζει τον ρόλο δύο αντλιών σε σειρά. Πάνω σε αυτή τη θεώρηση στηρίζεται η βιορευστομηχανική μελέτη του κυκλοφορικού συστήματος. Επίσης, οι αρτηρίες συνήθως θεωρούνται ως ελαστικοί αγωγοί μέσα στους οποίους ρέει ένα ρευστό, το αίμα.

Οι δύο κοιλίες της καρδιάς μπορούν να θεωρηθούν αντλίες σε σειρά, που πρέπει να είναι πλήρως συγχρονισμένες και να αντλούν την ίδια ποσότητα, ειδικά το σύστημα είτε θα αδειάζει είτε θα γεμίζει. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται νόμος Starling. Ο καρδιακός κύκλος υποδιαιρείται σε δύο κυρίως τμήματα, τη συστολή και τη διαστολή. Η καρδιά με τη συστολή και τη διαστολή προσφέρει την απαραίτητη πίεση εξώθησης του αίματος για να ελέγχονται οι απώλειες πίεσης και να παρέχεται αίμα στα υπόλοιπα όργανα.

Το αίμα ρέει μέσα στις αρτηρίες, οι οποίες με τη σειρά τους διατηρούν την πίεση του σταθερή. Για τη σωστή λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος λοιπόν, απαιτείται η ομαλή ροή του αίματος μέσα στις αρτηρίες. Η μελέτη της ροής του αίματος μέσα στα αγγεία ονομάζεται αιμοδυναμική.

Όταν η γεωμετρία των αρτηριών μεταβάλλεται, προκαλούνται προβλήματα στην αιμάτωση των οργάνων και των μυών του οργανισμού που είναι γνωστά ως στένωση και ανεύρυσμα, με το οποίο και ασχοληθήκαμε παραπάνω αλλά από ιατρικής πλευράς.

Η στένωση και το ανεύρυσμα αποτελούν τα γνωστά και ευρέως μελετούμενα τυπικά ρευστομηχανικά προβλήματα, σε συγκλίνον – αποκλίνον ακροφύσιο και σε απότομα διευρυνόμενο αγωγό αντίστοιχα. Οι περιοχές αυτές έχουν ιδιαίτερο ρευστομηχανικό ενδιαφέρον γιατί εκεί εντοπίζονται σημαντικές διαφορές της στατικής πίεσης και των διατμητικών τάσεων στο τοίχωμα (WSS), σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη στα ευθύγραμμα τμήματα. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η δομή του αρτηριακού τοιχώματος επηρεάζεται από τη μηχανική κόπωση του αγγείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Από καθαρά εμβιομηχανική σκοπιά, η ρήξη του ανευρύσματος οφείλεται στο γεγονός ότι η αντοχή του τοιχώματος αδυνατεί να αντέξει την τοιχωματική τάση. Επειδή όμως ο υπολογισμός της τάσης είναι χρονοβόρος και δεν είναι διαθέσιμος προς το παρόν στις κλινικές, έρευνες γίνονται για να εντοπιστούν μορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται τόσο με μεγάλες τοιχωματικές τάσεις όσο και με το μεγάλο μέγεθος του ανευρύσματος ή τον ταχύ ρυθμό αύξησης της διαμέτρου του.

Στην παρούσα πτυχιακή, εξετάζουμε αν το μέγεθος του ανευρύσματος σχετίζεται με κάποια μορφολογικά χαρακτηριστικά του.

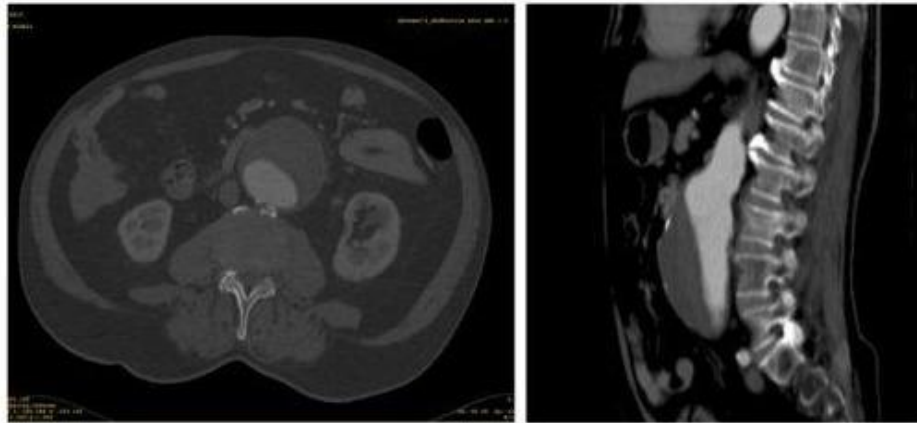
4.1. ITK – SNAP

Αρχικά χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα ITK-SNAP, το οποίο είναι μία εφαρμογή λογισμικού η οποία χρησιμοποιείται για την δημιουργία τμηματικών δομών σε τρισδιάστατες ιατρικές εικόνες.

Πήραμε τις αξονικές τομογραφίες άνω – κάτω κοιλιάς (CT) στις οποίες υποβλήθηκαν ασθενείς με ανεύρυσμα κοιλιακής αρτηρίας.

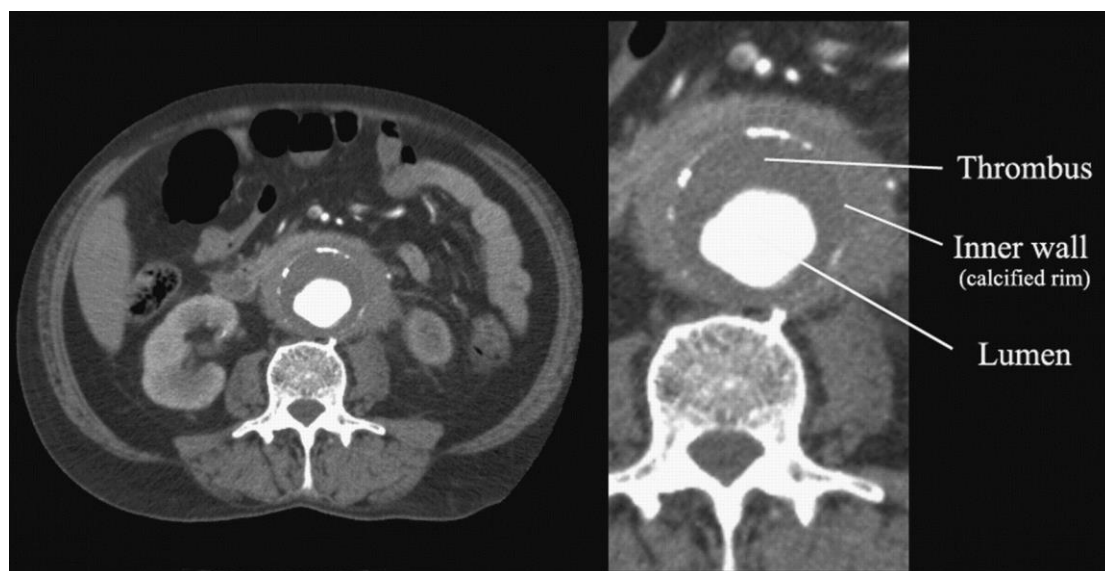
Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από **19** συνεχόμενους ασθενείς, οι οποίοι παρακολουθούνται από την αγγειοχειρουργική κλινική του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Κρήτης από το 2010 μέχρι και το 2012 και έχουν από 2 στιγμιότυπα ο καθένας, ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί και ο ρυθμός αύξησης του ανευρύσματος σε μία επόμενη μελέτη.

Έτσι για κάθε ασθενή περάσαμε μέσα στο πρόγραμμα τα δεδομένα που έχουμε πάρει από την αξονική, ώστε να πάρουμε την τρισδιάστατη εικόνα μας.



Εικόνα 7: Η τρισδιάστατη εικόνα που παίρνουμε για το ανεύρυσμα, κατά τον εγκάρσιο (αριστερά) και τον οβελιαίο (δεξιά) άξονα.

Πάνω τώρα σε κάθε μία από τις εικόνες σχεδιάσαμε αρχικά το περίγραμμα της εσωτερικής επιφάνειας του ανευρύσματος δηλαδή του *αυλού* (lumen) και έπειτα το περίγραμμα της εξωτερικής επιφάνειας του ανευρύσματος δηλαδή του *τοιχώματος* (wall), ώστε να μπορούμε να διακρίνουμε που σχηματίζεται ο *ενδοαυλικός θρόμβος*.

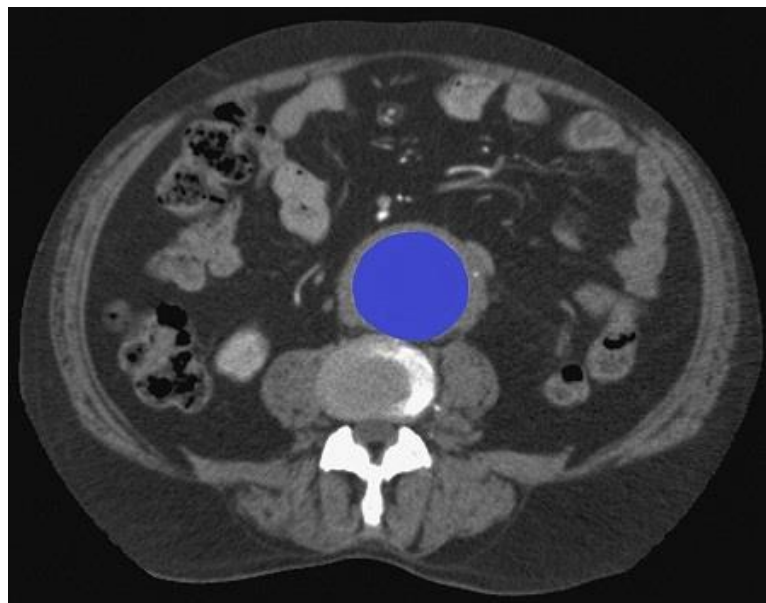


Εικόνα 8: Αυλός (lumen), εσωτερικό τοίχωμα με το ασβεστοποιημένο χείλος (inner wall with calcified rim) και ενδιάμεσα ο θρόμβος (thrombus).

Σχεδιάσαμε με κόκκινο χρώμα τον αυλό στα σημεία που σχηματίζεται (Εικόνα 9) και με μπλε χρώμα σχεδιάσαμε το τοίχωμα (Εικόνα 10).

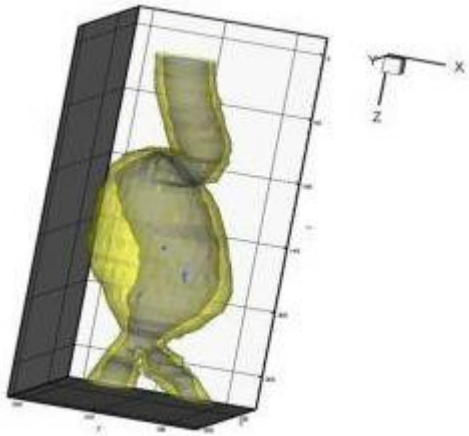


Εικόνα 9: Σχεδιασμός του αυλού του ανευρύσματος.



Εικόνα 10: Σχεδιασμός του τοιχώματος του ανευρύσματος.

Επαναλαμβάνοντας πολλές φορές την διαδικασία αυτή του σχεδιασμού και για τον αυλό αλλά και για το τοίχωμα πήραμε την τρισδιάστατη εικόνα του ανευρύσματος (Εικόνα 11).



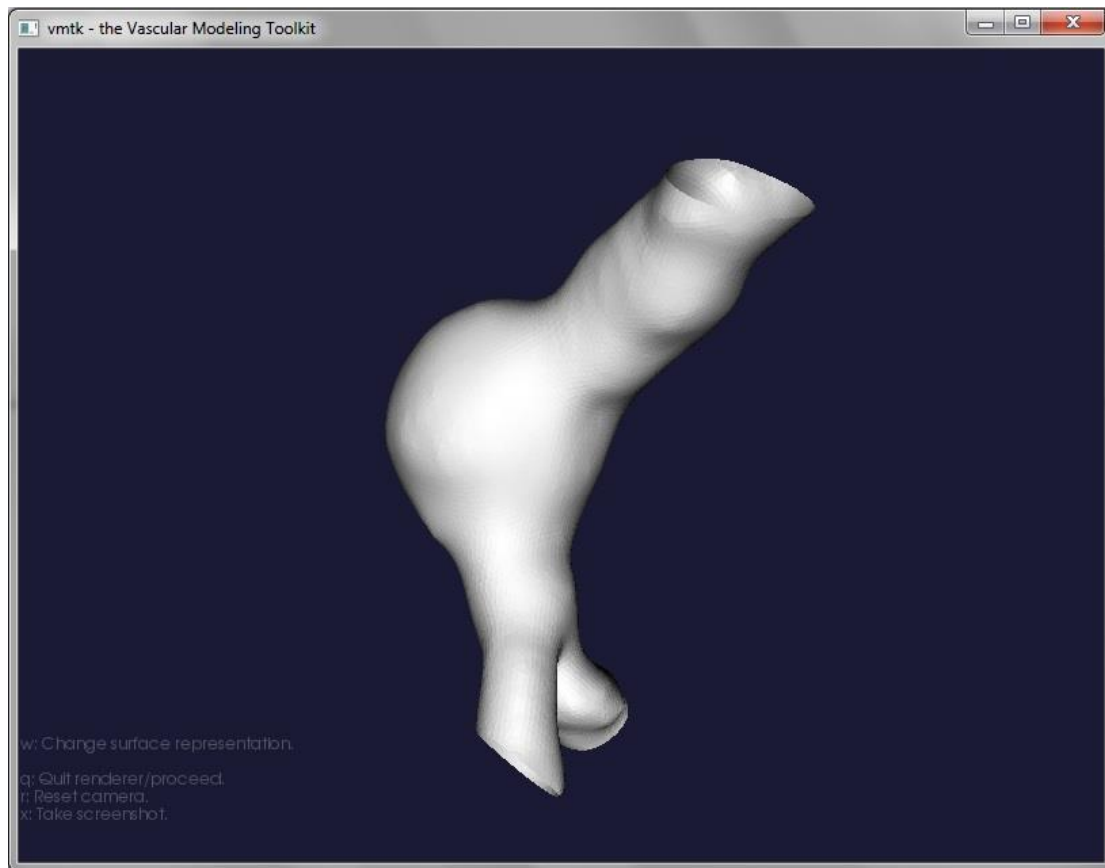
Εικόνα 11: Ταυτόχρονη απεικόνιση της τρισδιάστατης γεωμετρίας της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας του ανευρύσματος.

4.2. VMTK

Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα VMTK (Vascular Modeling Toolkit) για την μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ανευρύσματος. Είναι μια συλλογή από βιβλιοθήκες και εργαλεία για τρισδιάστατη ανακατασκευή, γεωμετρική ανάλυση, δημιουργία πλέγματος και ανάλυση δεδομένων της εικόνας που βασίζεται στην μοντελοποίηση των αιμοφόρων αγγείων.

Με την βοήθεια της καθηγήτριας και του προγράμματος επεξεργαστήκαμε ξεχωριστά για κάθε ασθενή τους αναδομημένους τρισδιάστατους αυλούς των μοντέλων ανευρυσμάτων παρουσία του θρόμβου.

Για κάθε μοντέλο πήραμε την κεντρογραμμή της αορτής, λαμβάνοντας υπόψη το τμήμα του ανευρύσματος από το επίπεδο της χαμηλότερης νεφρικής αρτηρίας έως το περιφερικότερο τμήμα του ανευρυσματικού σάκου.



Εικόνα 12: Η τελική μορφή του ανευρύσματος, που παίρνουμε από το πρόγραμμα VMTK.

Καταγράφηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κεντρογραμμής:

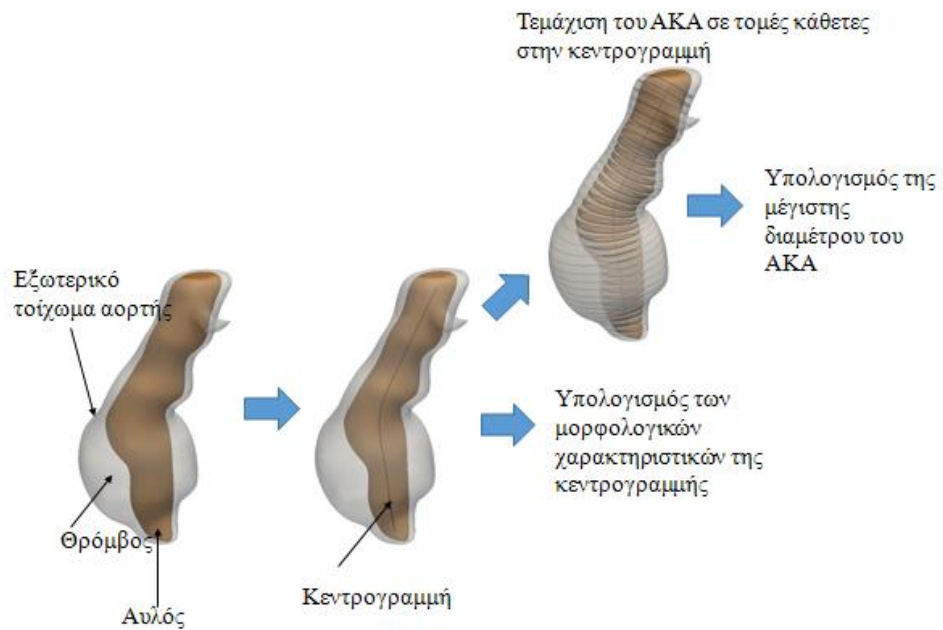
- η μέση και η μέγιστη καμπυλότητα (curvature)
- η μέση στρέψη (torsion)
- και η μέση στρέβλωση (tortuosity)

όπως ορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο στην Εικόνα 6.

Με βάση την κεντρογραμμή, «κόψαμε» εγκάρσια την επιφάνεια του ανευρύσματος και την επιφάνεια του αυλού ανά 1 mm. Κάθε τομή είχε μία μέγιστη διάμετρο. Η μέγιστη διάμετρος του ανευρύσματος ορίστηκε ως η μέγιστη εξ' αυτών.

Τέλος, το εμβαδόν που προκύπτει από την αφαίρεση του εμβαδού της τομής του αυλού από αυτό του τοιχώματος, ορίζει το εγκάρσιο εμβαδόν του θρόμβου. Το μέγιστο εγκάρσιο εμβαδόν θρόμβου του ανευρύσματος καταγράφηκε.

Για κάθε έναν ασθενή, τα παραπάνω γεωμετρικά χαρακτηριστικά καταγράφηκαν σε ένα αρχείο *Excel*, για να γίνουν οι συγκρίσεις μεταξύ μεγάλων και μικρών ανευρυσμάτων, σχετικά με τα γεωμετρικά αυτά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 13: Διάγραμμα απεικόνισης της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των μορφολογικών χαρακτηριστικών του ανευρύσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώσαμε τις τιμές των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κεντρογραμμής του ανευρύσματος που υπολογίσαμε και για τους 19 ασθενείς.

Στην πρώτη στήλη έχουμε την μέγιστη διάμετρο του ανευρύσματος, στην δεύτερη στήλη την μέγιστη εγκάρσια διατομή του θρόμβου, στην τρίτη, τέταρτη και πέμπτη στήλη έχουμε αντίστοιχα τις μέσες τιμές της καμπύλωσης, της στρέψης και της στρέβλωσης για την περιοχή του τοιχώματος και στην έκτη στήλη τις μέγιστες τιμές της καμπύλωσης.

		Μέγιστη διάμετρος ανευρύσματος (mm)	Μέγιστο εγκάρσιο εμβαδόν θρόμβου (mm ²)	Μέση Καμπύλωση (mm)	Μέση Στρέψη (mm)	Μέση Στρέβλωση (mm)	Μέγιστη καμπύλωση (mm)
1A		42,542	32,774	0,011	0,042	0,022	0,026
2A		45,705	10,438	0,021	0,002	0,218	0,039
3A		53,256	84,543	0,014	0,012	0,065	0,023
4A		50,330	54,962	0,011	-0,014	0,039	0,018
5A		59,332	75,786	0,015	-0,018	0,057	0,040
6A		44,166	46,729	0,024	-0,015	0,067	0,037
7A		42,458	20,613	0,015	-0,002	0,064	0,031
8A		47,140	48,102	0,021	0,008	0,130	0,045
9A		48,770	6,360	0,013	-0,027	0,116	0,027
10A		61,354	70,660	0,007	-0,006	0,036	0,013
11A		57,737	55,171	0,020	-0,026	0,149	0,038
12A		45,777	49,500	0,008	-0,016	0,019	0,016
13A		52,527	81,648	0,022	-0,022	0,157	0,036
14A		49,790	36,013	0,022	-0,042	0,067	0,036
15A		35,054	7,559	0,018	0,013	0,111	0,035
16A		49,643	40,153	0,017	0,012	0,130	0,034
17A		42,811	21,967	0,027	0,032	0,299	0,052
18A		46,720	71,916	0,016	0,021	0,088	0,039
19A		44,410	31,803	0,011	-0,009	0,050	0,024

Πίνακας 1: Συνολικά αποτελέσματα μορφολογικών χαρακτηριστικών.

Για να έχουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα των αποτελεσμάτων και να είναι και πιο εύκολη η σύγκριση τους, χωρίσαμε τους 19 ασθενείς σε 2 ομάδες – *μικρά και μεγάλα ανευρύσματα* – με βάση την μεσαία τιμή της μέγιστης διαμέτρου του ανευρύσματος (47 mm). Ενώ στη συνέχεια για κάθε ομάδα ξεχωριστά βρήκαμε την μέση τιμή κάθε μορφολογικού χαρακτηριστικού και τα συγκεντρώσαμε σε έναν νέο πίνακα.

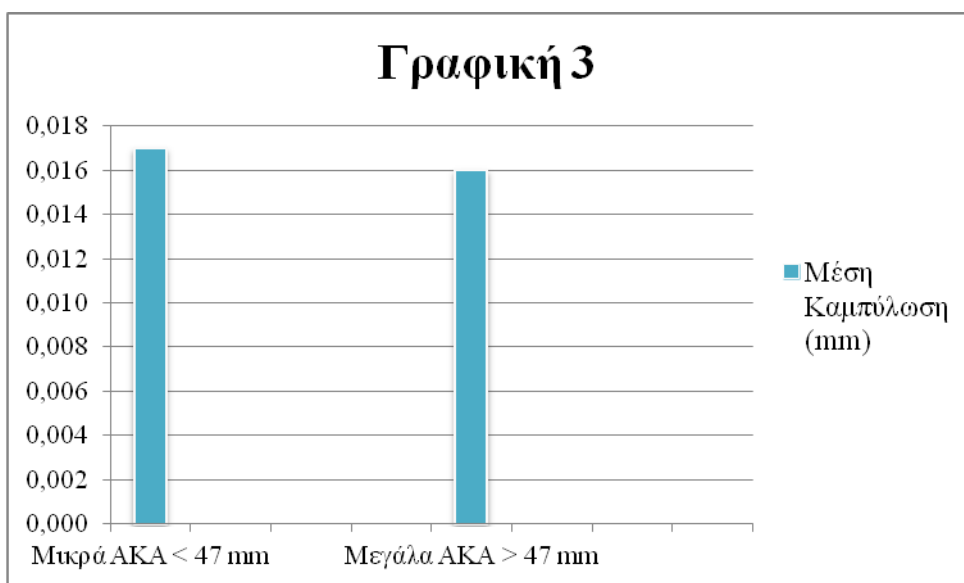
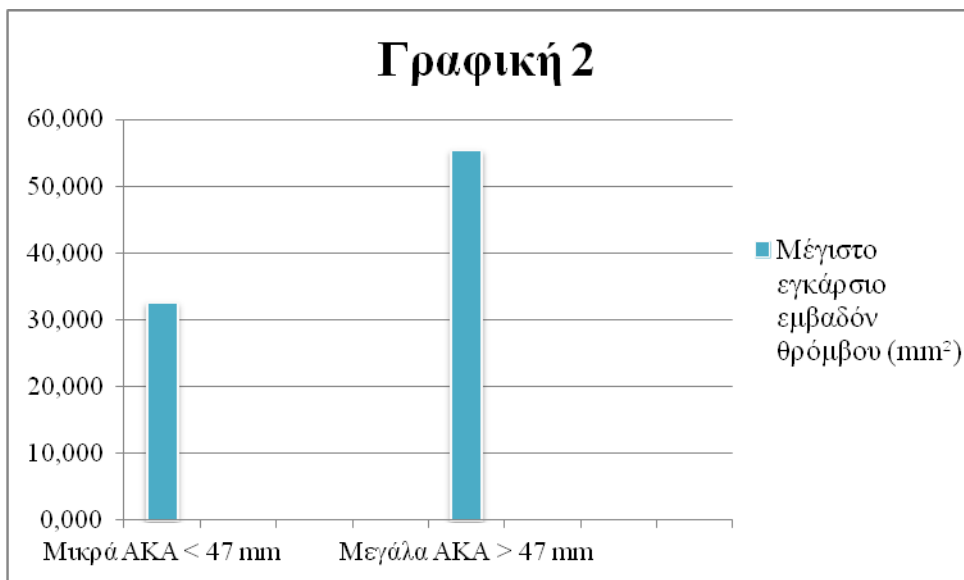
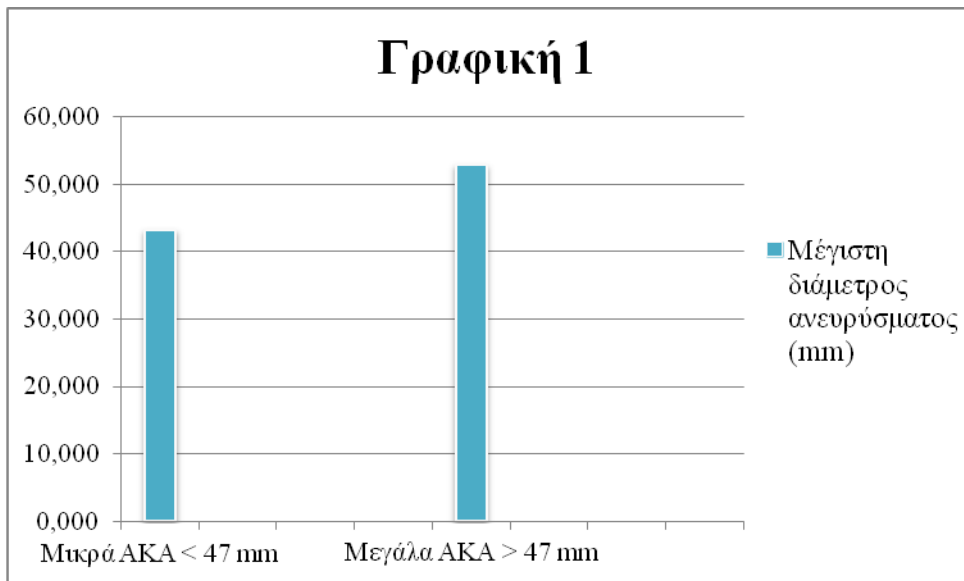
	Μέγιστη διάμετρος ανευρύσματος (mm)	Μέγιστο εγκάρσιο εμβαδόν θρόμβου (mm²)	Μέση Καμπύλωση (mm)	Μέση Στρέψη (mm)	Μέση Στρέβλωση (mm)	Μέγιστη καμπύλωση (mm)
Μικρά ΑΚΑ < 47 mm	43,294	32,589	0,017	0,007	0,104	0,033
Μεγάλα ΑΚΑ > 47 mm	52,988	55,340	0,016	-0,012	0,095	0,031

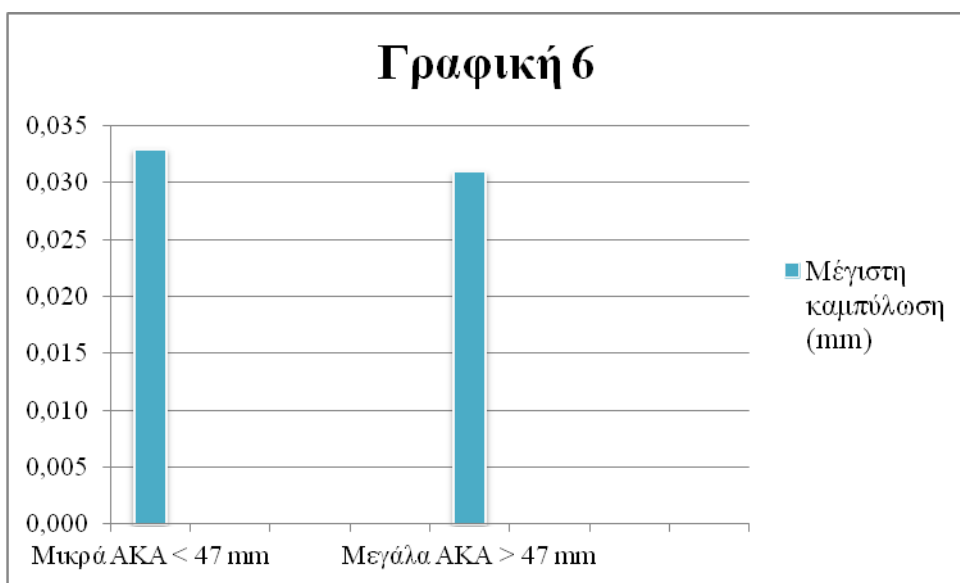
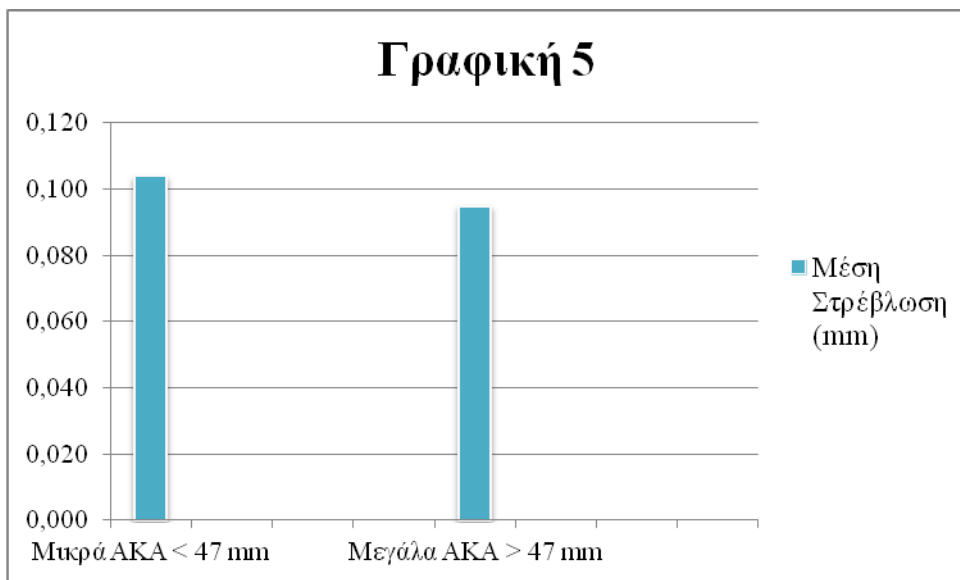
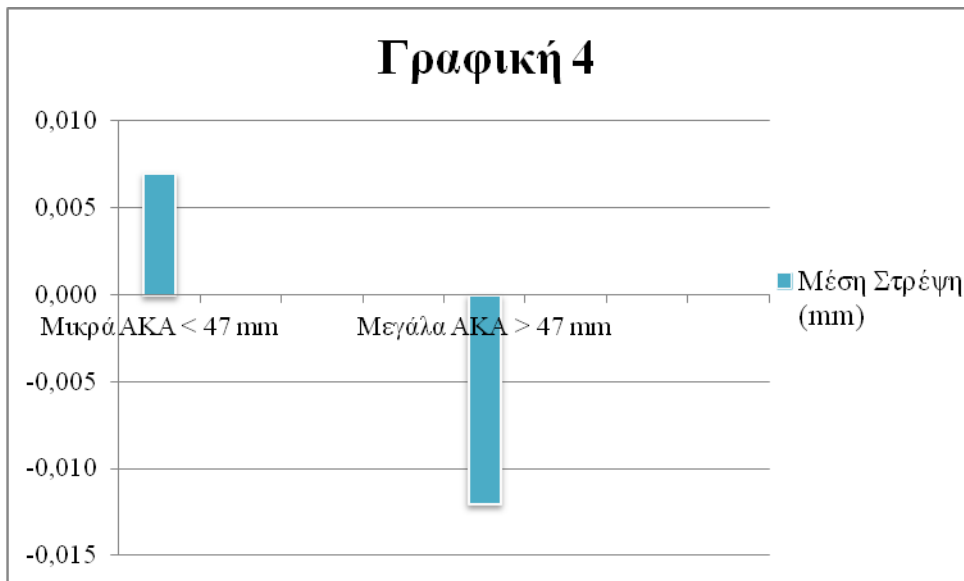
Πίνακας 2: Μέσες τιμές μορφολογικών χαρακτηριστικών για την κάθε ομάδα.

Τέλος πήραμε τις τιμές από τον Πίνακα 2 και φτιάξαμε τις γραφικές παραστάσεις.

Για κάθε μία από τις 6 γραφικές παραστάσεις, βάλαμε στον άξονα **x** τα μικρά και τα μεγάλα ανευρύσματα και στον άξονα **y**:

- την μέγιστη διάμετρο του ανευρύσματος (Γραφική 1)
- το μέγιστο εγκάρσιο εμβαδόν θρόμβου (Γραφική 2)
- την μέση καμπύλωση (Γραφική 3)
- την μέση στρέψη (Γραφική 4)
- την μέση στρέβλωση (Γραφική 5)
- την μέγιστη καμπύλωση (Γραφική 6)





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα και τις γραφικές παραστάσεις τα οποία παραθέσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο βλέπουμε ότι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με το μέγεθος του ανευρύσματος.

Το εγκάρσιο εμβαδόν του θρόμβου είναι εκείνο το οποίο σχετίζεται πιο πολύ με το μέγεθος του ανευρύσματος. Παρατηρείται δηλαδή, ότι ο θρόμβος αυξάνεται καθώς μεγαλώνει το ανεύρυσμα.

Αντιθέτως τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της κεντρογραμμής, παρόλο που μερικά από αυτά έχουν συσχετιστεί με την μέγιστη τοιχωματική τάση, δε φαίνεται να έχουν διαφορετική τιμή μεταξύ των μικρών και των μεγάλων ανευρυσμάτων.

Είναι βέβαια πιθανόν τα μικρά ανευρύσματα που μελετήσαμε να βρίσκονται σε μεγάλο κίνδυνο ρήξης (παρόλο το μέγεθός τους) και μία επόμενη μελέτη που θα συσχετίζει τα γεωμετρικά μεγέθη με τον ρυθμό αύξησης, να δείξει μία συσχέτιση αυτών των γεωμετρικών χαρακτηριστικών με τον ρυθμό αύξησης και κατά συνέπεια με τον κίνδυνο ρήξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AE>
- http://www.incardiology.gr/pathiseis_aggeiaka/pathiseis_aortis.htm
- http://www.incardiology.gr/pathiseis_aggeiaka/koiliaki_aorti.htm
- <http://www.angioparevasi.gr/aggeiakas-pathiseis/aneurysma-koiliakis-aortis/#1>
- <http://www.angiochirurgos.gr/aneurisma-koiliakis-aortis.php>
- <http://www.aggeiopathia.gr/aneurisma-kiliakis-aortis/>
- <http://www.doctorshospital.gr/medical-library-diseases/abdominal-aortic-aneurysm.html>
- <http://www.iatropedia.gr/medical/malady/4>
- <http://www.iatropedia.gr/articles/read/3897>
- <http://www.angiochrist.gr/aneurisma.htm>
- http://www.iatronet.gr/article.asp?art_id=12114
- <http://www.dr-paraskevas.com>
- <http://www.healthview.gr>
- http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/5382/3/fragkoud_fluent.pdf
- <http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php>
- <http://www.vmtk.org>
- Διδακτορική διατριβή του Αγγειοχειρουργού Ε. Γεωργακαράκου, *Κλινική και υπολογιστική μελέτη της εξέλιξης της αιμοδυναμικής συμπεριφοράς των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής*, Ηράκλειο 2009
- Βιβλιογραφική μελέτη του Γ. Γιαννόγλου, *Εκτίμηση του κινδύνου ρήξης των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής με υπολογιστική μηχανική. Επίδραση της αρτηριακής πίεσης στην τοιχωματική τάση.*, 2006