

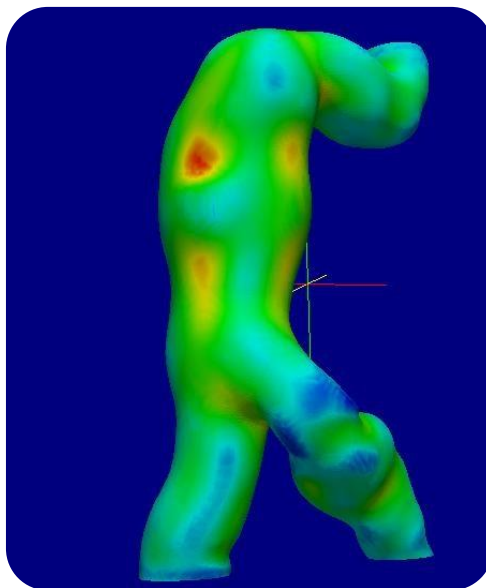


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
Σ.Τ.Ε.Φ. – ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΑΝΕΥΡΥΣΜΑ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΗΣ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΗ Α.Μ. 5311

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΕΛΕΝΗ ΜΕΤΑΞΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην υλοποίηση της, όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πρώτα απ' όλα θέλω να εκφράσω τη χαρά μου που ασχολήθηκα με τόσο ενδιαφέρον θέμα και γι' αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου κ. Μεταξιά Ελένη που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω ένα θέμα που με ενδιέφερε με εμπιστοσύνη, καθοδήγηση και υποστήριξη. Επίσης θα ήθελα να την ευχαριστήσω και για την άπλετη υπομονή που έδειξε όλο αυτό το διάστημα που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της πτυχιακής, αλλά και για τις γνώσεις που μου μετέφερε όσο αφορά τα Ανευρύσματα Κοιλιακής Αορτής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, και ειδικά στη μητέρα μου Ευαγγελία και στον αδερφό μου Θεόφιλο, που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια ηθικά και οικονομικά, δίνοντας μου κουράγιο να υλοποιήσω τους στόχους μου και να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	9
2.1 Αρτηρίες.....	9
2.2 Ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής (ΑΚΑ).....	12
2.2.1 Συμπτώματα.....	13
2.2.2 Αίτια παθογένεσης ανευρύσματος.....	14
2.2.3 Ιατρική αντιμετώπιση ανευρύσματος.....	14
2.2.3.1 Ανοικτή εγχείρηση ανευρύσματος.....	15
2.2.3.2 Τοποθέτηση ενδοαυλικού μοσχεύματος.....	16
2.3 Ιστορική αναδρομή.....	17
2.4 Επιδημιολογικά στοιχεία και αίτια.....	18
2.5 Επικινδυνότητα.....	19
2.6 Ανάγκη για εύρεση επιπλέον δεικτών κινδύνου ρήξης ανευρύσματος	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	21
3.1 Μηχανική ρευστών και Μηχανική στερεών.....	21
3.2 Μηχανική Τάση.....	21
3.3 Σχέση μεταξύ Μέγιστης Τοιχωματικής Τάσης (MTT) και ρήξης ανευρύσματος.....	22
3.4 Υπολογιστική Ανάλυση.....	24
3.5 Υπερτασικοί ασθενείς με ή χωρίς ΑΚΑ.....	25
3.6 Τρισδιάστατα υπολογιστικά μοντέλα και χρησιμότητά τους.....	26
3.7 Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.....	26
3.8 Επίδραση του ενδοαυλικού θρόμβου στην τοιχωματική τάση των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	27
4.1 Γενικά.....	27
4.2 Διαδικασία με την εφαρμογή του προγράμματος ITK SNAP.....	28
4.3 VMTK.....	31
4.4 ANSYS: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.....	34

4.5 Βρίσκοντας το σημείο MTT σε ΑΚΑ με Paraview.....35

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....36

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....44

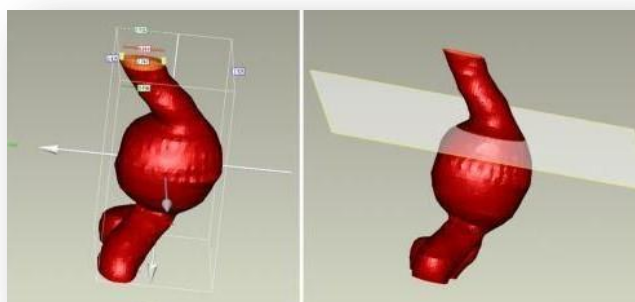
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....45

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής είναι μία διόγκωση του αυλού και του τοιχώματος της αρτηρίας, που οφείλεται σε βλάβη του αρτηριακού τοιχώματος. Με την πάροδο του χρόνου το τοίχωμα μπορεί να εξασθενίσει τόσο που να προκαλέσει διάρρηξη του αγγείου με αποτέλεσμα την εσωτερική αιμορραγία. Στην καθημερινή κλινική πρακτική, η εκτίμηση του κινδύνου ρήξης του ανευρύσματος γίνεται με βάση το μέγεθος και τον ρυθμό αύξησής του. Επειδή όμως έχει αποδειχτεί ότι αυτά τα χαρακτηριστικά δεν επαρκούν για την πρόληψη της ρήξης, περισσότεροι εξατομικευμένοι δείκτες κινδύνου ρήξης είναι απαραίτητο να βρεθούν.

Για την ανάπτυξη αλλά και ρήξη του ανευρύσματος σημαντικό ρόλο παίζουν οι τάσεις που αναπτύσσονται στο εξασθενημένο τοίχωμα εξαιτίας της αρτηριακής πίεσης. Κατά συνέπεια, η εμβιομηχανική μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό δεικτών που σχετίζονται με τις τάσεις και που θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του κινδύνου ρήξης.

Η παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στην βιβλιογραφική και πειραματική μελέτη για τον ρόλο των εμβιομηχανικών παραγόντων στην ανάπτυξη του ανευρύσματος. Στη συνέχεια αναφερόμαστε στην επεξεργασία της τρισδιάστατης ιατρικής απεικόνισης της γεωμετρίας του ανευρύσματος και την ανάλυση της κατανομής των μηχανικών τάσεων που αναπτύσσονται στο αρτηριακό τοίχωμα λόγω της αρτηριακής πίεσης, έχοντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Τέλος εξετάζουμε αν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού αύξησης του ανευρύσματος και της κατανομής των μηχανικών τάσεων, ώστε να προκύψει ένας εμβιομηχανικός δείκτης του κινδύνου ρήξης του ανευρύσματος.



ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Σε αυτό έχουμε την εισαγωγή η οποία αναφέρεται στο πώς ένας μηχανολόγος μπορεί να βοηθήσει στην έρευνα και μελέτη με τη βοήθεια της εμβιομηχανικής. Επίσης θα αναφέρουμε και κάποια στοιχεία που αφορούν την καρδιαγγειακή μηχανική (μηχανική ρευστών και μηχανική στερεών).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η θεωρητική γενική εισαγωγή στα ανευρύσματα της κοιλιακής αορτής. Επίσης θα αναφερθούν και κάποια στοιχεία των αρτηριών και μια ιστορική αναδρομή.

Αναλυτικά:

2.1 Αρτηρίες.

2.2 Ανεύρυσμα Κοιλιακής Αορτής (ΑΚΑ).

2.2.1 Συμπτώματα.

2.2.2 Αίτια παθογένεσης ανευρύσματος.

2.2.3 Ιατρική αντιμετώπιση ανευρύσματος.

2.2.3.1 Ανοικτή εγχείρηση ανευρύσματος.

2.2.3.2 Τοποθέτηση ενδοαυλικού μοσχεύματος.

2.3 Ιστορική αναδρομή.

2.4 Επιδημιολογικά στοιχεία και αίτια.

2.5 Επικινδυνότητα.

2.6 Ανάγκη για εύρεση επιπλέον δεικτών κινδύνου ρήξης ανευρύσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε αναλυτικά στη διαδικασία που ακολουθήσαμε, για την δημιουργία της γεωμετρίας και την εισαγωγή του στο πρόγραμμα ANSYS (υπολογισμός των μηχανικών τάσεων στο τοίχωμα), αλλά και της διαδικασίας που ακολουθήσαμε μετά την λήψη των αποτελεσμάτων. Θα αναφερθούμε γενικά και στην ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis), στη

μοντελοποίηση των ανευρυσμάτων και που χρησιμεύει, την επίδραση του ενδοαυλικού θρόμβου στην τοιχωματική τάση των Ανευρυσμάτων της Κοιλιακής Αορτής (ΑΚΑ). Θα αναφερθούμε στη Μέγιστη Τοιχωματική Τάση (ΜΤΤ) και πως επηρεάζει στη ρήξη ανευρύσματος. Και όλα αυτά χάρη σε αρκετές μελέτες που κατέληξαν σε σημαντικά κλινικά εργαλεία που θα βοηθήσουν στο να βρεθούν οι παράγοντες που φέρνουν ρήξη.

3.1 Μηχανική ρευστών και Μηχανική στερεών.

3.2 Μηχανική Τάση.

3.3 Σχέση μεταξύ Μέγιστης Τοιχωματικής Τάσης (ΜΤΤ) και ρήξης ανευρύσματος.

3.4 Υπολογιστική Ανάλυση.

3.5 Υπερτασικοί ασθενείς με ή χωρίς Ανεύρυσμα Κοιλιακής Αορτής (ΑΚΑ).

3.6 Τρισδιάστατα υπολογιστικά μοντέλα και χρησιμότητά τους.

3.7 Επίδραση του ενδοαυλικού θρόμβου στην τοιχωματική τάση των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε λεπτομερειακά όλη την πειραματική διαδικασία που παρακολουθήσαμε. Θα δούμε εικόνες αναλυτικά και περιγραφικά από τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, τα απεικονιστικά δείγματα ανευρυσμάτων που πήραμε ώστε να μελετήσουμε τις τοιχωματικές τάσεις και τους πίνακες που περιλαμβάνουν τις τιμές του ρυθμού αύξησης των ανευρυσμάτων σε σχέση με τη μέγιστη τοιχωματική τους τάση.

4.1 Γενικά.

4.2 Διαδικασία με την εφαρμογή του προγράμματος ITK SNAP.

4.3 VMTK (vascular modeling tool kit).

4.4 ANSYS: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.

4.5 Βρίσκοντας το σημείο ΜΤΤ σε ΑΚΑ με Paraview

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μηχανολόγοι μηχανικοί δεν ασχολούνται μόνο με κατασκευαστικούς κλάδους, αλλά και με την εμβιομηχανική, χάρη στην οποία έχει εξελιχθεί πολύ η επιστήμη της ιατρικής και της φυσικής. Οι νόμοι της φυσικής που ισχύουν για όλα τα υλικά είναι η βάση στην οποία στηρίζονται οι αρχές της μηχανικής. Σκοπός της εμβιομηχανικής είναι η καλύτερη κατανόηση της μηχανικής των ζωντανών οργανισμών.

Αλλά για να βρεθεί λύση σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα μηχανικής πρέπει να γίνει κατανοητό το σύστημα που εφαρμόζεται.

Στην παρούσα πτυχιακή το σύστημα που εφαρμόζεται είναι ένα βιολογικό υλικό, το οποίο είναι ο ιστός του τοιχώματος και της ανευρυσματικής κοιλιακής αορτής. Ο ιστός αυτός είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στην κατανομή των τοιχωματικών τάσεων.

Οι μαθηματικοί τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μηχανική συμπεριφορά του ανευρύσματος είναι τα απαραίτητα στοιχεία για την αλληλουχία της γεωμετρίας του προβλήματος και της κατανομής των τοιχωματικών τάσεων εντός του ανευρυσματικού ιστού.

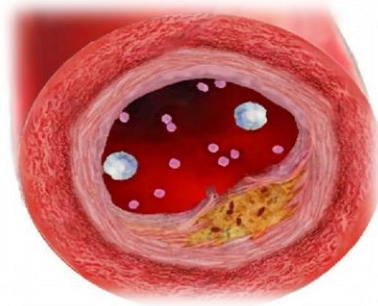
Στη Βιοϊατρική η χρήση μοντέλων για ερευνητικούς σκοπούς είναι πολύ σημαντική, χρήσιμη και καθιερωμένη εδώ και δεκαετίες. Οι επιστήμονες για να αναπαραστήσουν, να μελετήσουν, να αναλύσουν, να σχεδιάσουν και να βγάλουν τα συμπεράσματά τους χρησιμοποιούν τα καταστατικά μοντέλα. Βέβαια βοηθούν πολύ στον να προσδιορίσουμε αιτίες και λύσεις προβλημάτων, αλλά δεν είναι εφικτό να προσομοιωθούν με πραγματική ακρίβεια, οπότε μας ενδιαφέρει να βρούμε όσο γίνεται πιο ικανοποιητική λύση.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των μοντέλων είναι πολλά, γιατί βοηθούν στη λήψη συμπερασμάτων σε υποθέσεις που αφορούν περίπλοκα και σύνθετα βιολογικά συστήματα. Επίσης προβλέπουν και τις λειτουργίες των βιολογικών συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Αρτηρίες.

Αρτηρίες ονομάζονται τα αγγεία του οργανισμού που μεταφέρουν οξυγονωμένο αίμα από την καρδιά προς τα υπόλοιπα όργανα. Όσο απομακρύνονται από την καρδιά διακλαδίζονται και σχηματίζουν όλο και μικρότερα αγγεία, μικρότερες αρτηρίες και αρτηρίδια τα οποία τελικά καταλήγουν στα τριχοειδή αγγεία.



Εικόνα 1: Αρτηρία σε τομή. Παρατηρούμε τα τοιχώματα.

Οι αρτηρίες της καρδιάς:

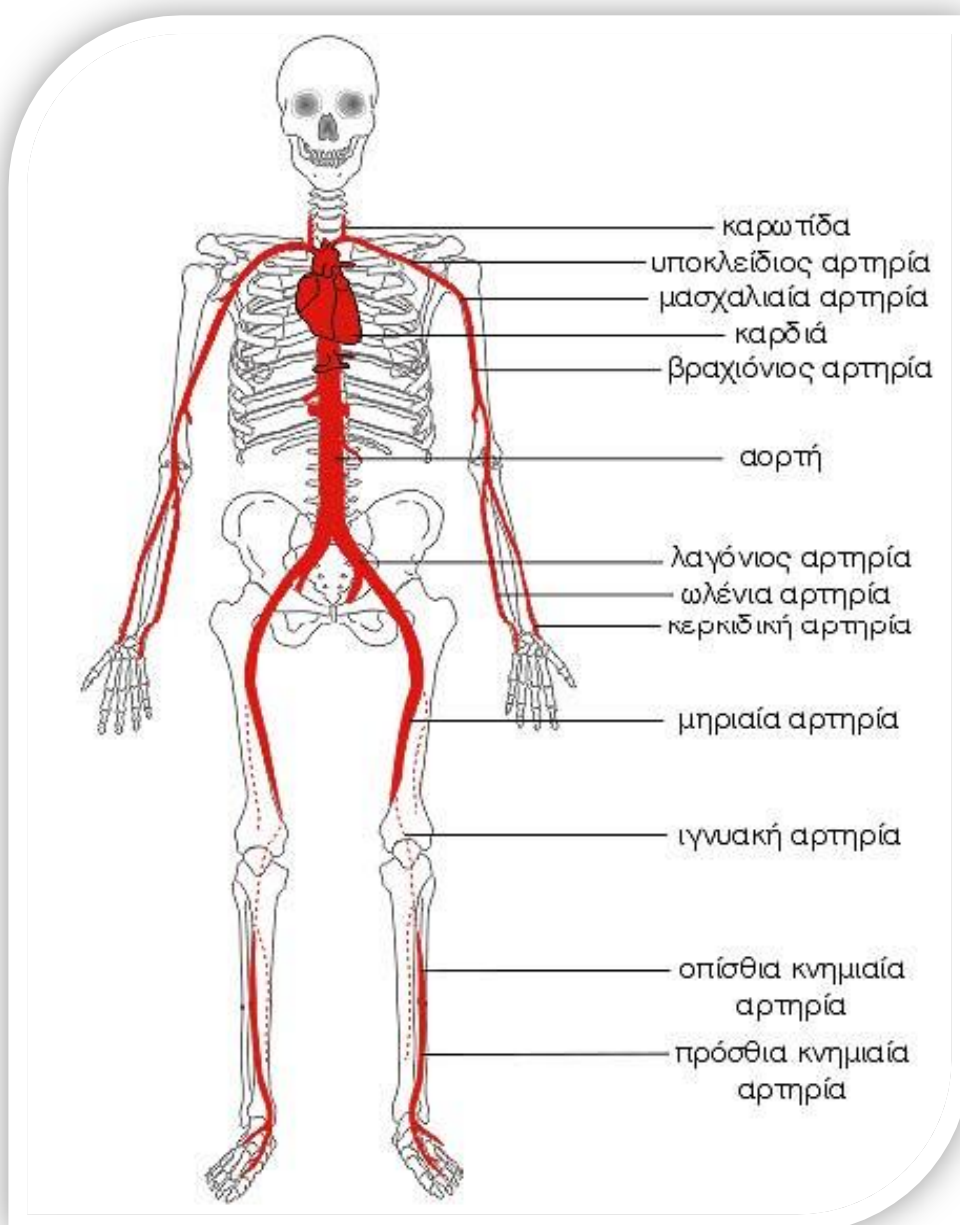
Οι αρτηρίες που τροφοδοτούν με αίμα την καρδιά, την αγκαλιάζουν σαν στεφάνι και ονομάζονται στεφανιαίες αρτηρίες. Αυτές ξεκινούν από την αορτή και αναπτύσσονται στην επιφάνεια της καρδιάς. Η αορτή είναι η κεντρική αρτηρία του σώματος που μεταφέρει το αίμα από την καρδιά σε όλα τα όργανα.



Εικόνα 2: Οι αρτηρίες της καρδιάς.

Οι αρτηρίες του σώματος:

Οι αρτηρίες της σωματικής κυκλοφορίας παρέχουν αίμα σε όλο τον οργανισμό.



Εικόνα 3: Το σώμα με όλες τις αρτηρίες του.

➤ **ΑΟΡΤΗ**

Η αορτή είναι το μεγαλύτερο αρτηριακό στέλεχος, το οποίο παρέχει αίμα σε όλες τις αρτηρίες του σώματος. Εκφύεται από την αριστερή κοιλία της καρδιάς κι ανάλογα με την πορεία της χωρίζεται σε τρία μέρη: την ανιούσα αορτή, το αορτικό τόξο και την κατιούσα αορτή (θωρακική και κοιλιακή)

➤ **ΚΟΙΝΗ ΚΑΡΩΤΙΔΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η αριστερή κοινή καρωτίδα εκφύεται από το αορτικό τόξο, ενώ η δεξιά από την ανώνυμη αρτηρία. Οι αρτηρίες αυτές χορηγούν αίμα στην κεφαλή και στον τράχηλο.

➤ **ΥΠΟΚΛΕΙΔΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η δεξιά υποκλείδια αρτηρία εκφύεται από την ανώνυμη αρτηρία και η αριστερή από το αορτικό τόξο. Η υποκλείδια αρτηρία παρέχει αίμα στην κεφαλή και στο τράχηλο και μεταπίπτει στη μασχαλιαία αρτηρία.

➤ **ΜΑΣΧΑΛΙΑΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η μασχαλιαία αρτηρία αποτελεί τη συνέχεια της υποκλείδιας αρτηρίας στη μασχάλη, παρέχει αίμα στο άνω άκρο και μεταπίπτει στη βραχιόνια αρτηρία.

➤ **ΒΡΑΧΙΟΝΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η βραχιόνια αρτηρία, που είναι η συνέχεια της μασχαλιαίας αρτηρίας στο βραχίονα, διαιρείται στην κερκιδική αρτηρία και στην ωλένια αρτηρία.

➤ **ΩΛΕΝΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η ωλένια αρτηρία αποτελεί το έναν από τους δύο τελικούς κλάδους της βραχιόνιας αρτηρίας και πορεύεται προς τα κάτω.

➤ **ΚΕΡΚΙΔΙΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η κερκιδική αρτηρία αποτελεί τον ένα από τους δύο κλάδους της βραχιόνιας αρτηρίας και πορεύεται προς τα κάτω κι έξω του πήχη.

➤ **ΛΑΓΟΝΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η κοιλιακή αορτή διαιρείται στη δεξιά και την αριστερή κοινή λαγόνια αρτηρία. Η έξω λαγόνια αρτηρία μεταπίπτει στη μηριαία αρτηρία.

➤ **ΜΗΡΙΑΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η μηριαία αρτηρία είναι η συνέχεια της έξω λαγόνιας αρτηρίας, η οποία χωρίζεται σε τρία μέρη: την κοινή μηριαία αρτηρία, την επιπολής μηριαία αρτηρία και τη στο βάθος μηριαία αρτηρία.

➤ **ΙΓΝΥΑΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η ιγνυακή αρτηρία αποτελεί το κύριο αρτηριακό στέλεχος από το οποίο παρέχεται αίμα στην περιοχή του γόνατος και στους μυς της γαστροκνημίας. Είναι η συνέχεια της μηριαίας αρτηρίας στην ιγνυακή χώρα και διαιρείται στους τελικούς κλάδους της: την πρόσθια και την οπίσθια κνημιαία αρτηρία.

➤ **ΠΡΟΣΘΙΑ ΚΝΗΜΙΑΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η πρόσθια κνημιαία αρτηρία αφορά έναν από τους τελικούς κλάδους της ιγνυακής αρτηρίας, συνεχίζει προς την κνήμη και μεταπίπτει στη ραχιαία αρτηρία του ποδιού.

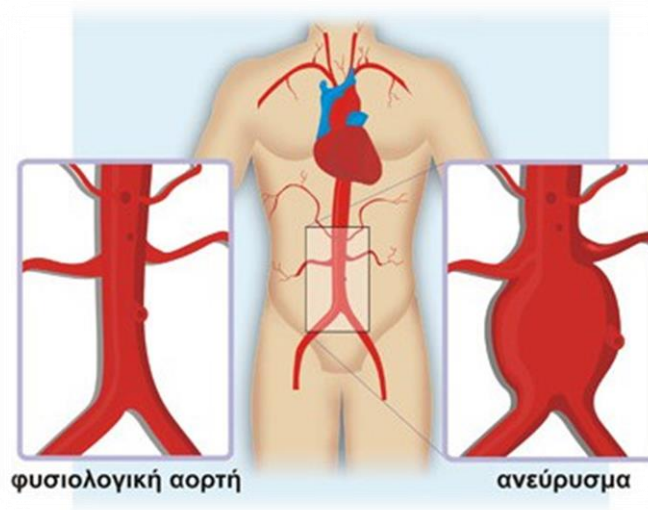
➤ **ΟΠΙΣΘΙΑ ΚΝΗΜΙΑΙΑ ΑΡΤΗΡΙΑ**

Η οπίσθια κνημιαία αρτηρία είναι μεγαλύτερη από την πρόσθια και είναι το κύριο αρτηριακό στέλεχος το οποίο παρέχει αίμα στα οπίσθια ανατομικά μέρη της κνήμης.

2.2 Ανεύρυσμα Κοιλιακής Αορτής (ΑΚΑ)

Το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής αποτελεί μια όχι και τόσο σπάνια και αρκετά απειλητική για τη ζωή κατάσταση. Η αορτή είναι η μεγαλύτερη αρτηρία του σώματος και φυσιολογικά έχει διάμετρο μέχρι 28mm στο θώρακα και γύρω στα 20mm στην κοιλιά. Ανεύρυσμα σχηματίζεται όταν η διάμετρος της αορτής ξεπεράσει κατά 1,5 με 2 φορές το φυσιολογικό.

Το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής είναι μια διεύρυνση σαν εξόγκωμα που δημιουργείται σε μια εξασθενημένη περιοχή της αορτής στην κοιλιά. Η πίεση του αίματος σε κάθε χτύπημα της καρδιάς πιέζει το εξασθενημένο τοίχωμα της αορτής κάνοντας το ανεύρυσμα να διευρύνεται βαθμιαία περισσότερο.



Εικόνα 4: Πως είναι η αορτή πριν και μετά το ανεύρυσμα.

Αν το ανεύρυσμα δε γίνει αντιληπτό, το τοίχωμα της αορτής συνεχίζει να εξασθενεί και το ανεύρυσμα συνεχίζει να μεγαλώνει. Τελικά, το ανεύρυσμα γίνεται τόσο μεγάλο και το τοίχωμα του τόσο ανίσχυρο ώστε συμβαίνει ρήξη (σκάσιμο). Όταν συμβεί αυτό, προκαλείται σοβαρή εσωτερική αιμορραγία, μια κατάσταση που είναι μοιραία στις περισσότερες περιπτώσεις.

2.2.1 Συμπτώματα

Οι περισσότεροι ασθενείς δεν έχουν συμπτώματα, και το ανεύρυσμα συνήθως διαπιστώνεται από εξετάσεις που έγιναν για άσχετους λόγους. Αυτά μπορεί να είναι:

- ✚ Αίσθημα παλμών στη κοιλιά σε συγχρονισμό με τους παλμούς της καρδιάς.
- ✚ Πόνος στην κοιλιά ή στην μέση. Αν ο πόνος είναι ξαφνικός και σοβαρός, μπορεί να ετοιμάζεται να συμβεί ή να έχει συμβεί ρήξη ανευρύσματος.
- ✚ Σε σπάνιες περιπτώσεις, στα πόδια και τα δάχτυλα μπορεί να εμφανιστούν περιοχές με μπλε χρώμα και πόνο λόγω εμβολής (διασκόρπισης) συντριμμάτων αθηροθρομβωτικού υλικού από το ανεύρυσμα προς τα κάτω (σύνδρομο κυανών δαχτύλων).

Αν υπάρξει ρήξη ανευρύσματος, μπορεί ο ασθενής να αισθανθεί σοβαρή αδυναμία, ζάλη ή πόνο και μπορεί τελικά να χάσει τις αισθήσεις του. Αυτή είναι μια πάρα πολύ επείγουσα κατάσταση και πρέπει αμέσως να ζητηθεί ιατρική βοήθεια.

2.2.2 Αίτια παθογένεσης ανευρύσματος

Οι ερευνητές δεν έχουν καταλήξει ακόμη στα ακριβή αίτια που προκαλούν το ανεύρυσμα. Η αρτηριοσκλήρυνση είναι μια πιθανή αιτία καθώς πιστεύεται ότι μέσω της φλεγμονής που προκαλεί στο τοίχωμα οδηγεί στην εξασθένησή του. Παράγοντες που σχετίζονται με την αθηροσκλήρωση είναι το κάπνισμα, η αρτηριακή πίεση και η υψηλή χοληστερίνη. Άλλοι παράγοντες κινδύνου για την ανάπτυξη ΑΚΑ είναι:

- ✚ Το αντρικό φύλο και μάλιστα ηλικίας άνω των 60 ετών
- ✚ Θετικό οικογενειακό ιστορικό (συγγενής α' βαθμού με ΑΚΑ)
- ✚ Η υψηλή αρτηριακή πίεση
- ✚ Το κάπνισμα

2.2.3 Ιατρική αντιμετώπιση ανευρύσματος

Η θεραπευτική προσέγγιση μπορεί να είναι μια από τις παρακάτω:

- ✚ Προσεκτική παρακολούθηση. Τα ανευρύσματα που είναι μικρότερα από 50mm, πρέπει να παρακολουθούνται ανά τακτά διαστήματα για σημεία αλλαγής τους. Η παρακολούθηση γίνεται με υπερηχογράφημα triplex ή αξονική τομογραφία (CT).
- ✚ Ανοικτή εγχείρηση ανευρύσματος. Για ανευρύσματα με διάμετρο που ξεπερνά τα 50-55mm ή αν ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου ενός ανευρύσματος είναι

γρήγορος άσχετα από το μέγεθός του ή αν εμφανιστούν συμπτώματα (όπως πόνος στην κοιλιά ή στην οσφύ) μπορεί να απαιτηθεί επέμβαση.

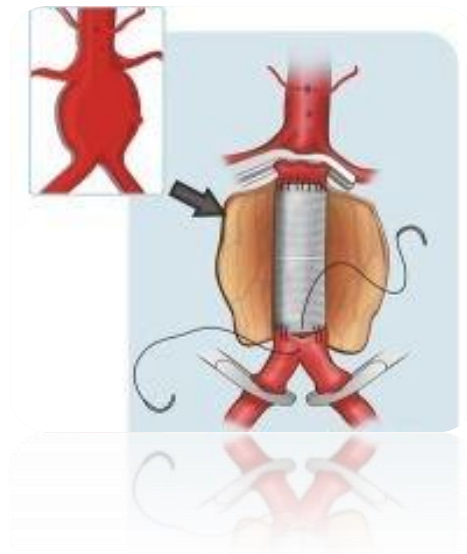
- ✚ [Τοποθέτηση ενδονλικού μόσχευματος.](#) Μερικά ανευρύσματα είναι κατάλληλα για θεραπεία με τη νέα μέθοδο, κατά την οποία το μόσχευμα εισάγεται μέσα στο ανεύρυσμα της αορτής διαμέσου μιας μικρής τομής σε κάθε βουβωνική περιοχή.

2.2.3.1 Άνοικτή εγγείρηση ανευρύσματος:

Η ανοικτή χειρουργική επέμβαση υπήρξε για πολλά χρόνια η μόνη θεραπεία με καλά αποτελέσματα. Η εγγείρηση αυτή γίνεται με γενική αναισθησία.

Κατά την ανοικτή εγγείρηση, με μια τομή στην κοιλιά γίνεται αντικατάσταση του αδύναμου τμήματος της αορτής με ένα πλαστικό σωλήνα που λέγεται αορτικό μόσχευμα και επιτρέπει να γίνεται η κυκλοφορία του αίματος διαμέσου του.

Πιο συγκεκριμένα ο αγγειοχειρουργός τοποθετεί λαβίδες αποκλεισμού πάνω και κάτω από το ανεύρυσμα, ώστε να αποκλείσει την κυκλοφορία του αίματος. Μετά τον αποκλεισμό, ο ανευρυσματικός σάκος ανοίγεται και γίνεται συρραφή των αρτηριών που εκφύονται από τον σάκο. Στη συνέχεια ένα ειδικό συνθετικό μόσχευμα ράβεται στην αορτή και αφαιρούνται οι λαβίδες αποκλεισμού.



Εικόνα 5: Άνοικτή εγγείρηση με πλαστικό σωλήνα.

Το μόσχευμα είναι από πολύ ισχυρό συνθετικό υλικό είτε πολυεστέρας (Dacron) είτε πολυτετραφλουοραιθυλένιο (PTFE) στο μέγεθος της φυσιολογικής αορτής. Το μόσχευμα αυτό είναι πάρα πολύ απίθανο να χρειαστεί να αντικατασταθεί. Η επέμβαση αυτή έχει επιτυχία στο 90-98% των περιπτώσεων. Η ανοικτή επέμβαση ουσιαστικά εξαλείφει τον κίνδυνο μελλοντικής ρήξης του ανευρύσματος.

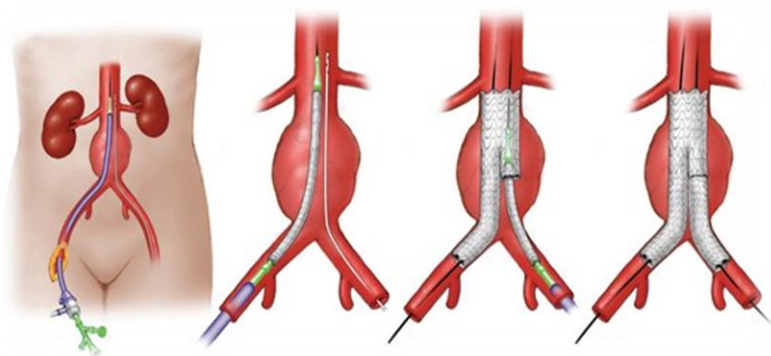
Μετά την επέμβαση οι ασθενείς συνήθως μένουν ένα βράδυ στη μονάδα εντατικής θεραπείας για παρακολούθηση και μετά νοσηλεύονται στο δωμάτιό τους για 4-5 μέρες.

Όταν η επέμβαση γίνεται από έμπειρη αγγειοχειρουργική ομάδα, το ποσοστό θνησιμότητας είναι <5%.

Η πιθανότητα επιπλοκών αυξάνεται σε περίπτωση προϋπάρχουσας νεφρικής ανεπάρκειας, καρδιακής ή αναπνευστικής ανεπάρκειας.

2.2.3.2 Τοποθέτηση ενδαυλικού μοσχεύματος:

Ενδαυλική σημαίνει ότι η επέμβαση γίνεται μέσα στον αυλό των αγγείων χρησιμοποιώντας λεπτούς και μακριούς σωλήνες, που λέγονται καθετήρες, και περνούν διαμέσου των αρτηριών. Η επέμβαση αυτή είναι μικρότερης βαρύτητας και συνήθως γίνεται με περιοχική αναισθησία.

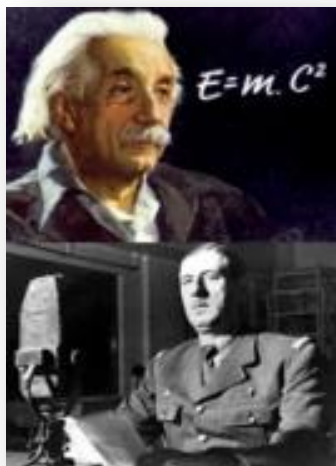


Εικόνα 6: Εγχείρηση με τοποθέτηση μοσχεύματος.

Αρχικά γίνεται μια μικρή τομή σε κάθε βουβωνική περιοχή. Στη συνέχεια με ακτινοσκοπικό έλεγχο προωθείται στη θέση του ανευρύσματος ένας σωλήνας (που αποτελείται από πλαστικό και μεταλλικό υλικό), το ονομαζόμενο «μόσχευμα επικαλυμμένο με ενδονάρθηκα» ή «κενδομόσχευμα». Αυτή η επέμβαση όμως, απαιτεί παρακολούθηση εφ'όρου ζωής με περιοδική εξέταση με αξονική τομογραφία – αρτηριογραφία (CTA) για να επιβεβαιωθεί ότι εξακολουθεί να λειτουργεί καλά, επειδή υπάρχει πιθανότητα να χρειαστεί κάποια νέα επέμβαση.

2.3 Ιστορική αναδρομή

Ο Έλληνας χειρουργός Αντύλλος ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να αποκαταστήσει ένα ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής τον 2^ο αιώνα μ.Χ. Αλλά αυτές οι χειρουργικές προσπάθειες δεν είχαν επιτυχία μέχρι το 1923. Τότε ήρθε ο Rudolph Matas να εκτελέσει την πρώτη επιτυχημένη αποκατάσταση αορτής σε άνθρωπο. Ο ίδιος μάλιστα εφάρμοσε αυτήν την τεχνική του στον Albert Einstein ο οποίος επιβίωσε άλλα πέντε χρόνια μετά την επέμβαση.



Εικόνα 7:

*Ο Albert Einstein
και ο Charles De
Gaulle απεβίωσαν
από ρήξη
ανευρύσματος
κοιλιακής αορτής.*

Μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα γινόταν αρκετές προσπάθειες αποκατάστασης ανευρύσματος, δίχως όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι Schafer και Hardin εφάρμοσαν επιτυχή επέμβαση εκτομής ανευρύσματος της κοιλιακής αορτής και αποκατάσταση της συνέχειας του αγγείου με αορτικό ομοιομόσχευμα . Την ίδια εποχή έγιναν παρόμοιες επιτυχημένες επεμβάσεις οι οποίες επέβαλλαν την ίδρυση τραπεζών για τη συντήρηση των μοσχευμάτων.

Από το 1980 που εκτελέστηκε για πρώτη φορά η ενδοαγγειακή αποκατάσταση του ανευρύσματος εδραίωσε την αποδοχή της κατά τις επόμενες δεκαετίες.

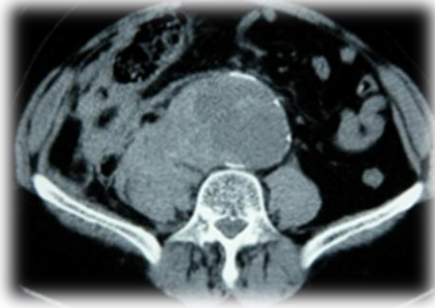
2.4 Επιδημιολογικά στοιχεία και αίτια

Τα ανευρύσματα συντελούν στο 1 - 3 % των θανάτων των ανδρών άνω των 65 ετών στις ανεπτυγμένες χώρες και είναι η 10^η αιτία θανάτου παγκοσμίως. Συνήθως δεν υπάρχουν συμπτώματα μέχρι το τελικό στάδιο, της ρήξης τους. Η θνησιμότητα είναι 70% - 95%. Το 65% - 75% των ασθενών πεθαίνουν πριν φτάσουν στο νοσοκομείο και το 90% δεν καταφέρνει να φτάσει μέχρι το χειρουργείο. Όσο αφήνεται το ανεύρσμα και δε θεραπεύεται τότε αυξάνεται ο κίνδυνος ρήξης του.

Το 95% των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής εντοπίζεται κάτω από τις νεφρικές αρτηρίες, ενώ μόνο το 5% αφορά την υπόλοιπη κοιλιακή αορτή.

Το κάπνισμα θεωρείται ο πλέον ισχυρός παράγων κινδύνου για την εμφάνιση ανευρυσμάτων. Η παθογένεση των ανευρυσμάτων δεν είναι απόλυτα διευκρινισμένη. Τα αίτια είναι διάφορα και οι παράγοντες πολλοί. Σε αυτό συμβάλλουν γενετικοί παράγοντες, κυτταρικοί μηχανισμοί που προάγουν τη φλεγμονώδη αντίδραση και άλλα.

Πολλά ανευρύσματα εντοπίζονται τυχαία σε υπερηχογραφικούς ή ακτινολογικούς ελέγχους. Σε ρήξη ή επικείμενη ρήξη προκαλούν έντονο άλγος στην κοιλιά. Η αξονική τομογραφία κοιλιάς θεωρείται μία από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών ενός ανευρύσματος.



Εικόνα 8:

*Αξονική
τομογραφία ρήξης
ανευρύσματος στην
κοιλιακή αορτή.*

2.5 Επικινδυνότητα

Δυστυχώς μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιος αξιόπιστος παράγοντας που να βοηθάει στην πρόβλεψη κινδύνου ρήξης των ΑΚΑ. Αυτό μας δυσκολεύει πολύ στη λήψη αποφάσεων για θεραπεία.

Με τη ρήξη του τοιχώματος της αορτής προκαλείται σημαντική αιμορραγία.

Πρόκειται για μια πολύ σοβαρή επιπλοκή, όπου η ολική θνητότητα μπορεί να φτάσει το 90%. Η καλύτερη θεραπεία ενός ΑΚΑ με κίνδυνο ρήξης είναι η προληπτική επέμβαση πριν επέλθει ρήξη.



Εικόνα 9: Ανεύρυσμα σε ρήξη.

Η επικινδυνότητα ρήξης σχετίζεται άμεσα με τη 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 6-7cm, ο κίνδυνος ρήξης σε 1 έτος είναι 10-20%.
- ✚ Για ένα ανεύρυσμα με διάμετρο >cm, ο κίνδυνος ρήξης σε 1 έτος ξεπερνάει το 20%.

Το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής μπορεί επίσης να προκαλέσει οξεία ισχαιμία των κάτω άκρων ή να μολυνθεί (πιο σπάνια).

2.6 Ανάγκη για εύρεση επιπλέον δεικτών κινδύνου ρήξης ανευρύσματος

Το να λάβουμε όμως ως βασικό κριτήριο τη μέγιστη διάμετρο ως πιο πιθανή αιτία έχει ως αποτέλεσμα την εξαίρεση χειρουργικής επέμβασης σε μικρότερης διαμέτρου ΑΚΑ. Κάτι που είναι λάθος, γιατί διαπιστώθηκαν ανευρύσματα πολύ μικρής διαμέτρου τα οποία υπέστησαν ρήξη διότι δεν είχαν την κατάλληλη χειρουργική επέμβαση, και κάποια αρκετά μεγάλης διαμέτρου που βρέθηκαν σε βιοψίες και τα οποία δεν είχαν ραγεί.

Αν καταφέρουμε να προβλέψουμε το κριτήριο που οφείλεται η πιθανότητα ρήξης, θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στην αντιμετώπιση ασθενών με ΑΚΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΕΡΕΩΝ

Το καρδιαγγειακό σύστημα μπορεί να μελετηθεί επιστημονικά από δύο εκδοχές: την Μηχανική των ρευστών και τη Μηχανική των στερεών. Όσο αφορά την Μηχανική των ρευστών, αναφερόμαστε για τη μέριμνα της ροής του αίματος, δηλαδή πως η ροή επηρεάζει το αίμα και τα αγγεία. Ενώ η Μηχανική των στερεών ασχολείται με τη συμπεριφορά των ιστών, συγκεκριμένα μελετά την κίνηση, την αντοχή και τις δυνάμεις που εφαρμόζονται στους βιολογικούς ιστούς. Οι δύο αυτές Μηχανικές αποτελούν τον όρο της Εμβιομηχανικής και πιο συγκεκριμένα την Καρδιαγγειακή Μηχανική.

Η Εμβιομηχανική αποτελεί τον πιο βασικό παράγοντα όσο αφορά την εξέλιξη της ιατρικής, γιατί επηρεάζει την ανάπτυξη της τεχνογνωσίας που αφορά τις μεταμοσχεύσεις καρδιάς, την ανάλυση της αρτηριακής κυματομορφής του αίματος και φυσικά στην αντίληψη και θεραπεία ασθενειών όπως η αθηροσκλήρυνση και τα ανευρύσματα.

3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΣΗ

Η ρήξη του ΑΚΑ συμβαίνει όταν οι μηχανικές τάσεις που εφαρμόζονται σε αυτό ξεπεράσουν το όριο της αντοχής του ιστού του τοιχώματος. Με αυτό το κριτήριο και υπολογίζοντας την κατανομή των τάσεων που εφαρμόζονται στο τοίχωμα του ΑΚΑ, θα μπορούσαμε να το χρησιμοποιήσουμε ως αξιόπιστο δείκτη του κινδύνου ρήξης.

Η τάση στη Φυσική είναι το μέτρο των εσωτερικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε ένα σώμα λόγω των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό.

Στα τρισδιάστατα μοντέλα (με τα οποία ασχοληθήκαμε εμείς στην παρούσα πτυχιακή) η τάση σε κάθε σημείο διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο και τη διεύθυνση

που μελετάται. Έχει αποδειχθεί ότι η τάση κατά von Mises είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος παρουσίασης της αντοχής ενός υλικού στη ρήξη.

Οι κύριες τάσεις που ασκούνται κάθετα ονομάζονται εφελκυστικές και αυτές που ασκούνται παράλληλα λέγονται διατμητικές. Στην περίπτωση μας (ΑΚΑ) η εφελκυστική τάση είναι αυτή που ασκεί η πίεση του αίματος στα τοιχώματα των αγγείων, ενώ οι διατμητικές είναι αυτές που ασκούνται από την ταχύτητα της ροής του αίματος. Θεωρητικά όμως, ο νόμος του Laplace συμπεραίνει ότι όσο αυξάνεται η διάμετρος του ΑΚΑ και η αρτηριακή πίεση, τόσο αυξάνεται και η τοιχωματική τάση και ο κίνδυνος ρήξης του ΑΚΑ. Επίσης και η μείωση της αντοχής του τοιχώματος μπορεί να φέρει κίνδυνο ρήξης του ΑΚΑ.

Σ' όλα τα κύτταρα και τους ιστούς εφαρμόστηκαν in vivo μηχανικές τάσεις και ανταποκρίνονται στο εμβιομηχανικό περιβάλλον με προσαρμογή και μια σειρά κυτταρικών μεταβολών που στοχεύουν στη φυσιολογική λειτουργία.

Η μηχανική τάση έχει κυρίαρχο ρόλο στις διάφορες λειτουργίες του οργανισμού, έτσι η ανάλυσή της είναι χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της φυσιολογίας και της παθολογίας των ιστών και των συστημάτων του οργανισμού.

Ως μηχανικοί γνωρίζουμε ότι το τοίχωμα της αορτής έρχεται σε ρήξη όταν η τοιχωματική τάση ξεπεράσει την οριακή τιμή της αντοχής του υλικού του αρτηριακού τοιχώματος. Οι τοιχωματικές τάσεις είναι συνάρτηση της αρτηριακής πίεσης, της γεωμετρίας της αορτής, των χαρακτηριστικών υλικών του τοιχώματός της και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του στερεού τοιχώματος και της ροής του αίματος.

3.3 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ (ΜΤΤ) ΚΑΙ ΡΗΞΗΣ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΟΣ

Σε μια κλινική μελέτη υπολογίστηκε η Μέγιστη Τοιχωματική Τάση σε ΑΚΑ το οποίο οδηγήθηκε σε ρήξη. Παρατηρήθηκε ότι στα ΑΚΑ που είχαν ήδη υποστεί ρήξη, ασκούνταν υψηλότερες τοιχωματικές τάσεις κι αν είχαν παρόμοιες ή μικρότερες διαμέτρους από τα ΑΚΑ που δεν υπέστησαν ρήξη.

Σε μία άλλη μελέτη που έγινε με 103 ασθενείς με ΑΚΑ που δε χειρουργήθηκαν λόγω μικρής διαμέτρου ή αυξημένου διεγχειρητικού κινδύνου, παρατηρήθηκε ότι η αρχική ΜΤΤ αλλά και η αρχική διάμετρος του ΑΚΑ ήταν οι δύο καθοριστικοί παράγοντες οι οποίοι ώθησαν σε χειρουργική αντιμετώπιση. Ήταν, επίσης, και οι κύριοι παράγοντες για τους οποίους ένα ΑΚΑ ερχόταν σε ρήξη. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης ήταν πραγματικά αξιόλογο, διότι το 23% των ΑΚΑ που υπέστησαν ρήξη είναι της διαμέτρου μικρότερης των 5 cm, αλλά οι Μέγιστες Τοιχωματικές Τάσεις που ασκούσαν ήταν πάνω από 45 N/cm².

Άρα συμπεράναμε ότι οι υψηλές τιμές μέγιστων τοιχωματικών τάσεων φανέρωναν τον υψηλό κίνδυνο ρήξης ανεξάρτητα από την αρχική διάμετρο. Το συμπέρασμα αυτής της έρευνας είναι αξιόλογο, γιατί παρατηρήθηκε ότι το 23% των ΑΚΑ που υπέστησαν ρήξη είχαν μέγιστη διάμετρο μικρότερη των 5cm, αλλά οι μέγιστες τοιχωματικές τάσεις ήταν μεγαλύτερες των 45 N/cm². Δηλαδή οι μέγιστες τοιχωματικές τάσεις που ξεπερνούσαν τα 45 N/cm² εμφάνιζαν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο ρήξης ανεξάρτητα από την αρχική διάμετρο των ΑΚΑ.

Παλαιότερα μελέτες που υπολόγιζαν τις τοιχωματικές τάσεις, είτε χρησιμοποιούσαν το νόμο του Laplace είτε μελετούσαν με βάση τις συμμετρικές γεωμετρίες. Όμως, επειδή ο νόμος του Laplace εφαρμόζεται μόνο σε ιδεώδης κυλίνδρους ή σφαίρες, είναι λάθος να χρησιμοποιείται σε ΑΚΑ, γιατί σε μία από αυτές τις μελέτες που πραγματοποιήθηκε από τους Voip και συν οι οποίοι χρησιμοποίησαν υποθετικά γεωμετρικά μοντέλα ΑΚΑ, συμπέραναν ότι εκτός από τη διάμετρο, η συνολική γεωμετρία (ειδικά το έκκεντρο σχήμα του αυλού) σχετίζεται με την περίπλοκη κατανομή των τάσεων στο τοίχωμα των ΑΚΑ. Παρατηρήθηκε ότι η περιοχή της μέγιστης τοιχωματικής τάσης εντοπιζόταν στο σημείο όπου η καμπυλότητα του ΑΚΑ μεταβάλλεται απότομα. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι υποθετικά μοντέλα με απλές γεωμετρίες δεν μπορούν να αποδώσουν με ακρίβεια την πραγματική τρισδιάστατη γεωμετρία των ΑΚΑ.

Άξια αναφοράς είναι και μια μετέπειτα μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους ίδιους ερευνητές, και συσχετίζεται με τη παρούσα πτυχιακή. Υπολόγισαν την κατανομή των τάσεων σε τρισδιάστατα μοντέλα ασθενών με ΑΚΑ, που πήραν από αξονικές τομογραφίες 6 ασθενών. Αν και ήταν μόνο τόσοι, παρατηρήσανε έντονα το

φαινόμενο της πολυπλοκότητας της κατανομής των τοιχωματικών τάσεων και τη συσχέτιση του όγκου των ΑΚΑ με τη μέγιστη τοιχωματική τάση.

Το πιο σημαντικό συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι στα ΑΚΑ, που έχουν την ίδια διάμετρο, ασκούνται διαφορετικές μέγιστες τοιχωματικές τάσεις λόγω της ασυμμετρίας και της ανωμαλίας των σχημάτων τους.

Μία άλλη μελέτη στην οποία χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα σακοειδών ΑΚΑ έδειξε ότι η πιθανότητα ρήξης τους πρέπει να επικεντρώνεται στις καμπυλότητες του τοιχώματος κι όχι στη μέγιστη διάμετρό τους. Οι Γιάννογλου και συν. έδειξαν σε μια εργασία τους ότι οι υψηλότερες τιμές τοιχωματικής που εφαρμόζονταν σε ένα πραγματικό τρισδιάστατο μοντέλο ΑΚΑ, εμφανίζονταν σε περιοχές με μεγάλη καμπυλότητα του Gaussian και το συμπέρασμα ήταν ότι αυτή η καμπυλότητα θα ήταν ένα πολύ χρήσιμο ως κλινικό εργαλείο για την πρόβλεψη του κινδύνου ρήξης.

Μια άλλη τρισδιάστατη υπολογιστική μελέτη συμπέρανε ότι η ρήξη και η αύξηση της διαμέτρου του όγκου των ΑΚΑ μπορεί να προβλεφθεί καλύτερα όταν συνδυάζονται πολλοί παράγοντες αντί για έναν. Οι παράγοντες που οφείλονταν στην ρήξη των ΑΚΑ ήταν ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου και η αρτηριακή πίεση (διαστολική). Τώρα, οι παράγοντες που είναι υπαίτιοι για την αύξηση της διαμέτρου ήταν η επιφάνεια των εγκάρσιων τομών στην αξονική τομογραφία, το κάπνισμα και η στρέψη. Επίσης όσο αφορά στην αύξηση του όγκου των ΑΚΑ οι παράγοντες ήταν ο αρχικός όγκος και τα επίπεδα της ουρίας στο αίμα των ασθενών.

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η χαρτογράφηση της τοιχωματικής τάσης σε όλο το μήκος του ΑΚΑ, είναι δυνατή με τη βοήθεια της υπολογιστικής ανάλυσης. Η ικανότητα αναγνώρισης ευαίσθητων περιοχών στα ΑΚΑ είναι μία σημαντική κλινική βοήθεια στους χειρουργούς όταν αφορά μια προγραμματισμένη χειρουργική θεραπεία ασθενών με ΑΚΑ. Μελετώντας την κατανομή της τάσης σε τοίχωμα πραγματικών ανευρυσμάτων δημιουργούνται και προεκτάσεις στο ερευνητικό πεδίο με την ευρύτερη έρευνα των βιολογικών αποτελεσμάτων των μηχανικών τάσεων. Θεωρητικά οι περιοχές του ΑΚΑ με την

υψηλότερη τοιχωματική τάση θα μπορούσαν να υφίστανται σταδιακή μηχανική καταπόνηση.

Μεγάλο ερευνητικό πεδίο διανοίγεται όσο αφορά τα stent (μόσχευμα που τοποθετείται στην εγχείρηση ΑΚΑ) για την αντιμετώπιση των ΑΚΑ. Βέβαια πολλές φορές έχει υποστεί ρήξη ένα ανεύρυσμα κι ας έχει τοποθετηθεί stent. Πρόσφατα σε τρισδιάστατα μοντέλα ΑΚΑ με stent, διεξάγονται υπολογιστικές μελέτες που αφορούν τη ροή και την αλληλεπίδραση ρευστού – στερεού. Όσο αφορά την αντιμετώπιση των ΑΚΑ τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την τρέχουσα πρακτική με την οποία αποφεύγεται τόσο η συρραφή στην ανοικτή χειρουργική αντιμετώπιση, όσο και η τοποθέτηση ενδοαυλικού μοσχεύματος στην περιοχή της αλλαγής της καμπυλότητας. Χαμηλότερες μέγιστες τοιχωματικές τάσεις ασκούνται στον αυχένα του ΑΚΑ και για αυτό το λόγο είναι η μηχανικά καταλληλότερη περιοχή για τα stent και τα ράμματα.

3.5 ΥΠΕΡΤΑΣΙΚΟΙ ΑΣΘΕΝΕΙΣ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΑΚΑ

Πολύ βασικό να αναφέρουμε ότι η κατανομή των τάσεων στην αορτή των υπερτασικών ασθενών με ή χωρίς ΑΚΑ έχει μεγάλη σημασία. Ο υπολογισμός των μέγιστων τοιχωματικών τάσεων είναι σημαντικός, στους ασθενείς αυτούς, για τη βιολογική συμπεριφορά του ιστού του αορτικού τοιχώματος. Μετά από πειραματικές διαδικασίες που έγιναν, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της αρτηριακής πίεσης στη φυσιολογική αορτή και στην ανευρυσματική αορτή, προκαλεί αύξηση των τοιχωματικών τάσεων. Η υπέρταση στους ασθενείς έχουν πολύ σημαντικό ρόλο όσο αφορά τη μεταβολή των τοιχωματικών τάσεων σε σχέση με τα φυσιολογικά άτομα, γιατί είναι υπαίτια στη προσαρμογή του αορτικού τοιχώματος, μορφολογικά και μηχανικά.

Για παράδειγμα, ένας ασθενής με ΑΚΑ ο οποίος σε φυσιολογικές τιμές αρτηριακής πίεσης εμφανίζει τιμές μέγιστης τοιχωματικής τάσης άνευ κινδύνου, σε υψηλές τιμές συστολικής αρτηριακής πίεσης μπορεί να έχει οριακή τιμή αντοχής του τοιχώματος, που είναι 65 N/cm^2 . Έτσι αυτοί οι ασθενείς πρέπει να θεραπεύονται χειρουργικά, ανεξάρτητα από τη διάμετρο του ΑΚΑ.

3.6 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ

Με τη χρήση τρισδιάστατων υπολογιστικών μοντέλων και την ανάλυση των τάσεων, μπορούμε να εκτιμήσουμε την μηχανική καταπόνηση του τοιχώματος ενός ΑΚΑ και να βοηθήσουμε τους αγγειοχειρουργούς να αποφασίσουν πότε ένας ασθενής θα οδηγηθεί σε προγραμματισμένο χειρουργείο. Ακόμα κι αν οι ασθενείς με μικρής διαμέτρου ΑΚΑ και χαμηλού κινδύνου ρήξης, που παρακολουθούνται συχνά με υπερηχογραφήματα κοιλίας, μπορεί να έχουν αυξημένη τοιχωματική καταπόνηση και να καταλήξουν σε ρήξη.

3.7 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΝΔΟΑΥΛΙΚΟΥ ΘΡΟΜΒΟΥ ΣΤΗΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΥΡΥΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΛΙΑΚΗΣ ΑΟΡΤΗΣ

Σε πρόσφατες έρευνες έχει διατυπωθεί η άποψη ότι η ΜΤΤ είναι το καλύτερο κριτήριο στη διαφοροποίηση των ασθενών με ΑΚΑ που πρόκειται να υποστούν ρήξη.





Η ανάλυση των Τάσεων έχει τρία κύρια χαρακτηριστικά: τη γεωμετρία των ανευρυσματικών μοντέλων, το μοντέλο που περιγράφει τις μηχανικές ιδιότητες του ανευρυσματικού τοιχώματος και τις περιοριστικές συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η μελέτη (πχ. τη συστολική πίεση). Η ανάλυση των Πεπερασμένων Στοιχείων (ΑΠΣ) αρχικά υλοποιήθηκε για τον καθορισμό των Τοιχωματικών Τάσεων σε εξιδανικευμένα, δισδιάστατα μοντέλα ανευρυσμάτων. Η μέθοδος εξελίχθηκε επιπλέον για να συμπεριληφθούν τρισδιάστατες (3-D) γεωμετρίες από ρεαλιστικά μοντέλα βάσει στοιχείων από Αξονικές Τομογραφίες (CT). Αυτό έγινε αναπόφευκτο καθώς προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι τα απλά γεωμετρικά χαρακτηριστικά (πχ. ο όγκος του ΑΚΑ, η μέγιστη ακτίνα, η μέγιστη τοιχωματική διάταση και ο λόγος της μέγιστης προσθοπίσθιας διαμέτρου προς την εγκάρσια διάμετρο) είναι ανυπόληπτα για την πρόβλεψη των τιμών της τάσης των ΑΚΑ. Επιπλέον, φαίνεται ότι τα δεδομένα από την τρισδιάστατη γεωμετρία μπορούν να έχουν ισχυρή θετική προγνωστική αξία όσον αφορά τη διάταση και τη ρήξη των ΑΚΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

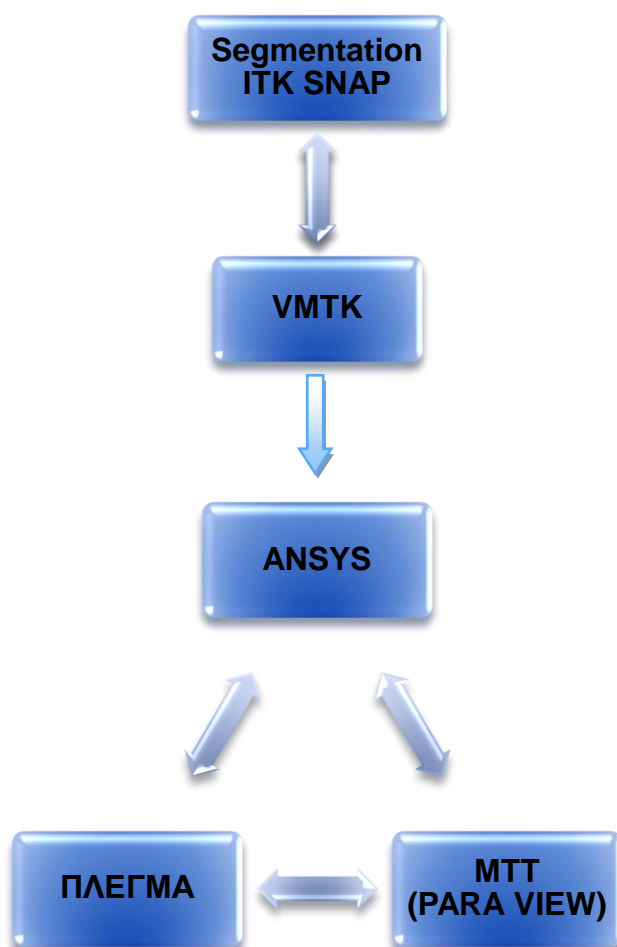
Στο πειραματικό μέρος συμπεριλάβαμε αξονικές τομογραφίες **19 ασθενών** με όλων των ειδών υπονεφρικά ΑΚΑ. Τα προγράμματα τα οποία χρησιμοποιήσαμε σε όλη την πειραματική διαδικασία είναι:

-  ITK SNAP
-  Vascular Modeling Tool Kit
-  ANSYS
-  PARAVIEW

Αναλυτικά το κάθε πρόγραμμα:

- Το **ITK SNAP** είναι μια διαδραστική εφαρμογή λογισμικού που επιτρέπει στους χρήστες να περιηγηθούν τρισδιάστατες ιατρικές εικόνες, να οριοθετούν με το χέρι ανατομικές περιοχές που τους ενδιαφέρει και να εκτελέσουν αυτόματη κατάτμηση εικόνας.
- Το **Vascular Modeling Tool Kit** είναι μια συλλογή από βιβλιοθήκες και εργαλεία για τρισδιάστατη ανακατασκευή, γεωμετρική ανάλυση, δημιουργία πλέγματος και την ανάλυση των δεδομένων της επιφάνειας για την εικόνα που βασίζεται στην μοντελοποίηση των αιμοφόρων αγγείων. Στην παρούσα εργασία το χρησιμοποιήσαμε για να λειάνουμε την επιφάνεια του ανευρύσματος και να αφαιρέσουμε τυχόν ατέλειες.
- Το **ANSYS** παρέχει τη λύση της μηχανικής προσομοίωσης.
- Το **Para View** είναι μια εφαρμογή σχεδιασμένη για τον παραλληλισμό δεδομένων σε κοινές μνήμες ή για τη διανομή μνήμης σε πολύ-υπολογιστές και συσπειρώσεις. Μπορεί επίσης να τρέξει και ως ενιαίου υπολογιστή εφαρμογή. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

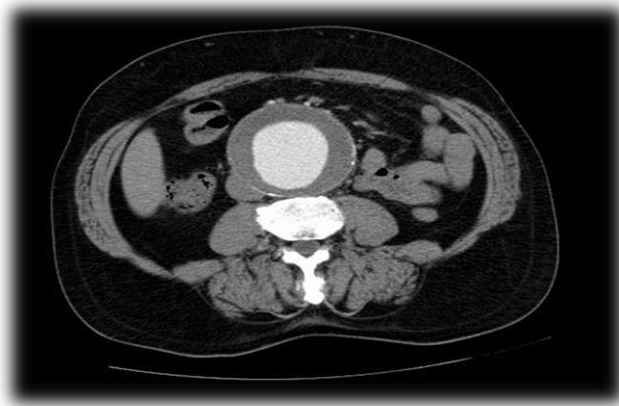
Περιγραφικά η όλη πειραματική διαδικασία που έλαβε μέρος:



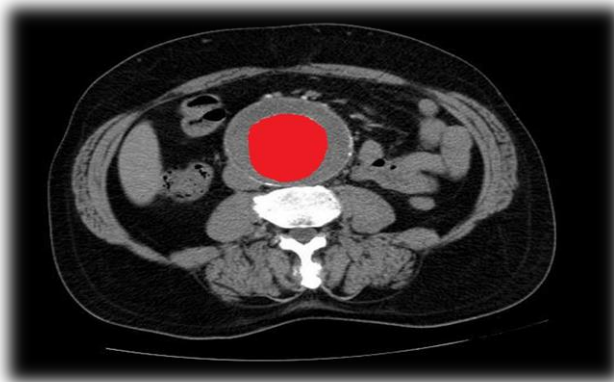
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΙTK SNAP

Με το πρόγραμμα ΙTK SNAP μελετήσαμε τις αξονικές τομογραφίες (segmentation). Οι τομογραφίες αυτές σαρώνουν το σώμα «κόβοντάς το» σε πολλές τομές που απέχουν κάποια χιλιοστά η μία με την άλλη. Εμείς πήραμε τις αξονικές οι οποίες είχαν τη λιγότερη απόσταση (σε χιλιοστά) μεταξύ τους, για μεγαλύτερη ακρίβεια. Σε κάθε τομή (στις αξονικές) σημειώναμε το περίγραμμα του ανευρύσματος αλλά και του ενδοαυλικού θρόμβου, έτσι ώστε μετά με μια εντολή του προγράμματος να εμφανίζουμε το ανεύρυσμα σε τρισδιάστατη μορφή που είναι κι αυτή που χρειαζόμαστε. Πιο κατανοητά τα βήματα στις παρακάτω εικόνες:

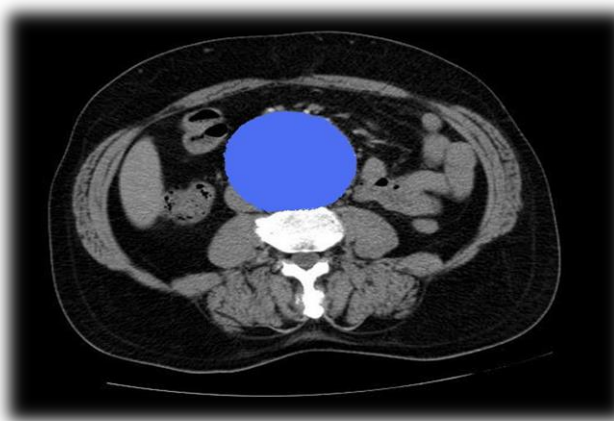
- ✚ **Βήμα 1^ο** Αρχικά οι αξονικές τομογραφίες έτσι όπως μας τις παρείχαν οι γιατροί. (Εικόνα 10)



- ✚ **Βήμα 2^ο** Το περίγραμμα του ανευρύσματος και του ενδοαυλικού θρόμβου που σημειώναμε.

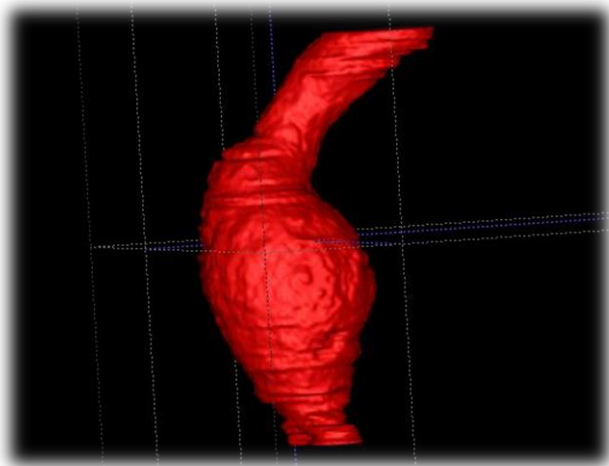


Εικόνα 11:
Περίγραμμα
ανευρύσματος.



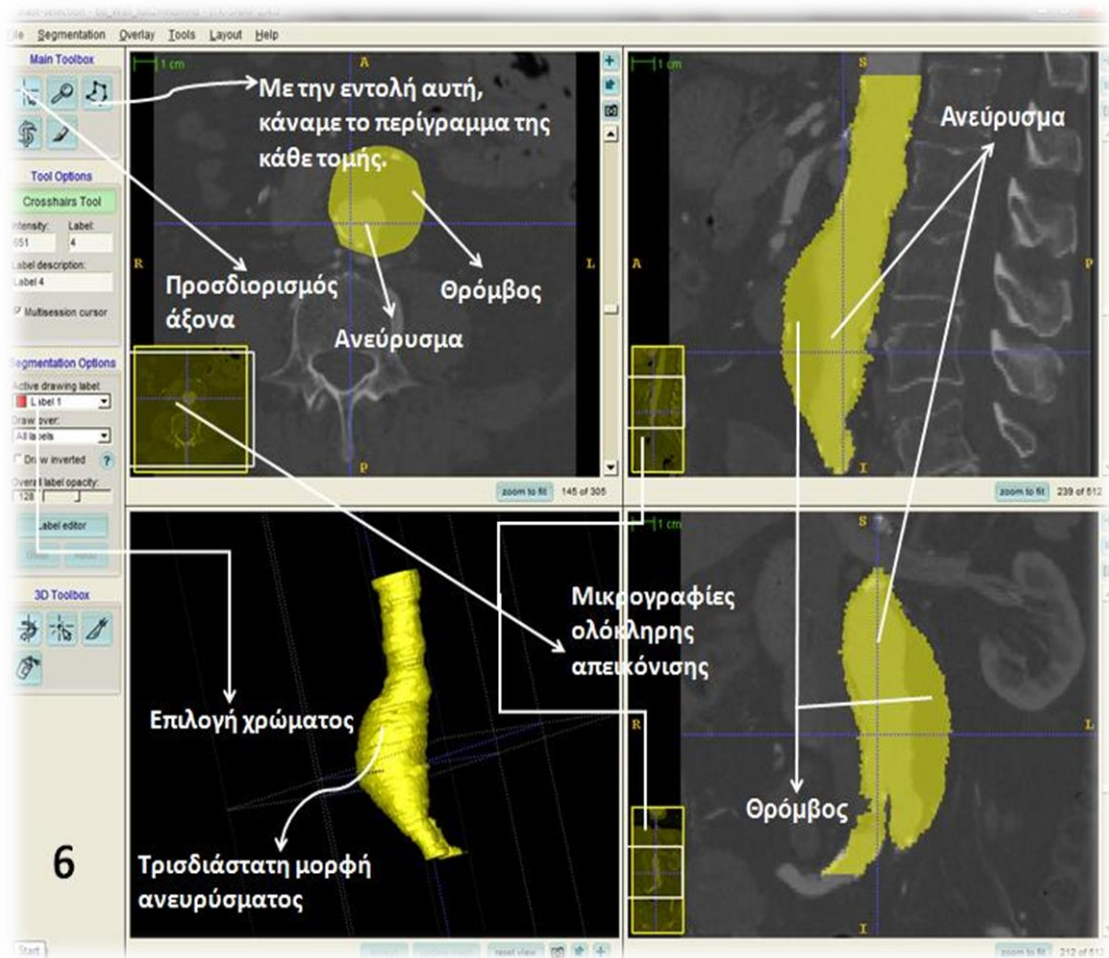
Εικόνα 12:
Περίγραμμα
ενδοαυλικού θρόμβου.

- ✚ **Βήμα 3^ο** Η τρισδιάστατη μορφή του ανευρύσματος. (Εικόνα 13)



Εικόνα 13:
Τρισδιάστατη μορφή
ανευρύσματος.

Αναλυτικά οι εντολές του ITK SNAP περιγράφονται στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 14**):



Εικόνα 14: περιγραφική απεικόνιση του προγράμματος ITK SNAP

4.3 VMTK

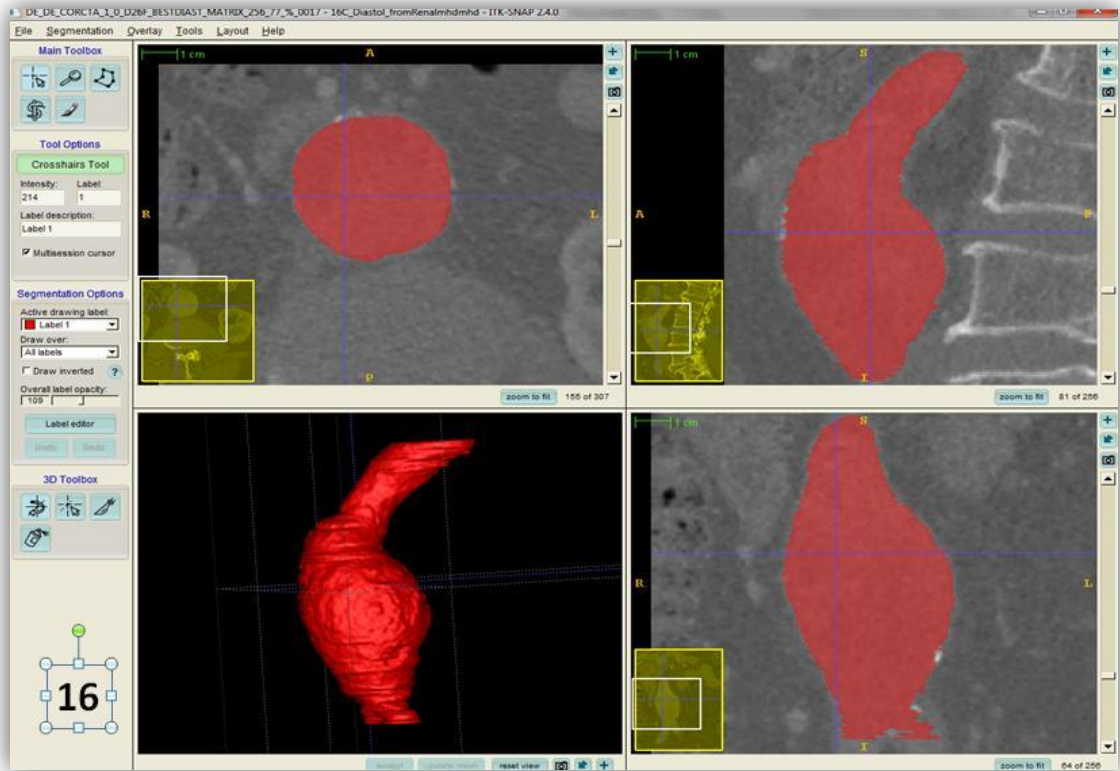
Αφού ολοκληρώσαμε το στάδιο με τα segmentation στο ITK SNAP:

Πήραμε τα τρισδιάστατα ανευρύσματα από τα segmentation και τα μεταφέραμε σε ένα άλλο πρόγραμμα το Vascular Modeling Tool Kit με το οποίο επεξεργαστήκαμε την εικόνα που πήραμε από το ITK SNAP λειαιίνοντας την επιφάνεια και αφαιρώντας τον θόρυβο που προέκυψε κατά την κατάτμηση των εικόνων.

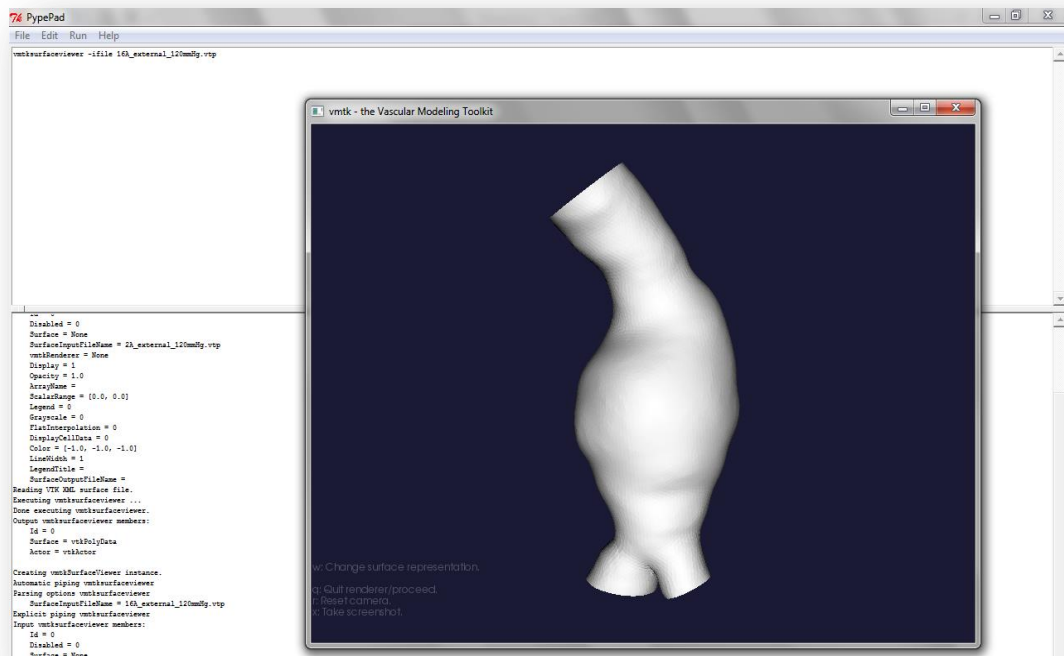
Αφού ολοκληρώνεται η διαδικασία στο ITK SNAP, παίρνουμε την τελική μορφή του ανευρύσματος, δηλαδή την τρισδιάστατη μορφή (**Εικόνα 13** και **Εικόνα 14**), και την επεξεργαστήκαμε σε ένα άλλο πρόγραμμα, το VMTK.

Όπως είπαμε και προηγουμένως αυτό το πρόγραμμα είναι μια συλλογή από βιβλιοθήκες και εργαλεία για τρισδιάστατη ανακατασκευή, γεωμετρική ανάλυση, δημιουργία πλέγματος και την ανάλυση των δεδομένων της επιφάνειας για την εικόνα που βασίζεται στην μοντελοποίηση των αιμοφόρων αγγείων. Έτσι μας βοήθησε να επεξεργαστούμε την επιφάνεια των τρισδιάστατων ανευρυσμάτων και των 19 ασθενών και να την κάνουμε πιο λεία (smooth), ούτως ώστε να μπορέσουμε με καλύτερη ακρίβεια να αναλύσουμε τις Μέγιστες Τοιχωματικές Τάσεις (που είναι το επόμενο βήμα της διαδικασίας του πειράματος).

Στις εικόνες παρακάτω παρατηρούμε πως ήταν το τρισδιάστατο ανεύρυσμα πριν και μετά τη διαδικασία του VMTK:

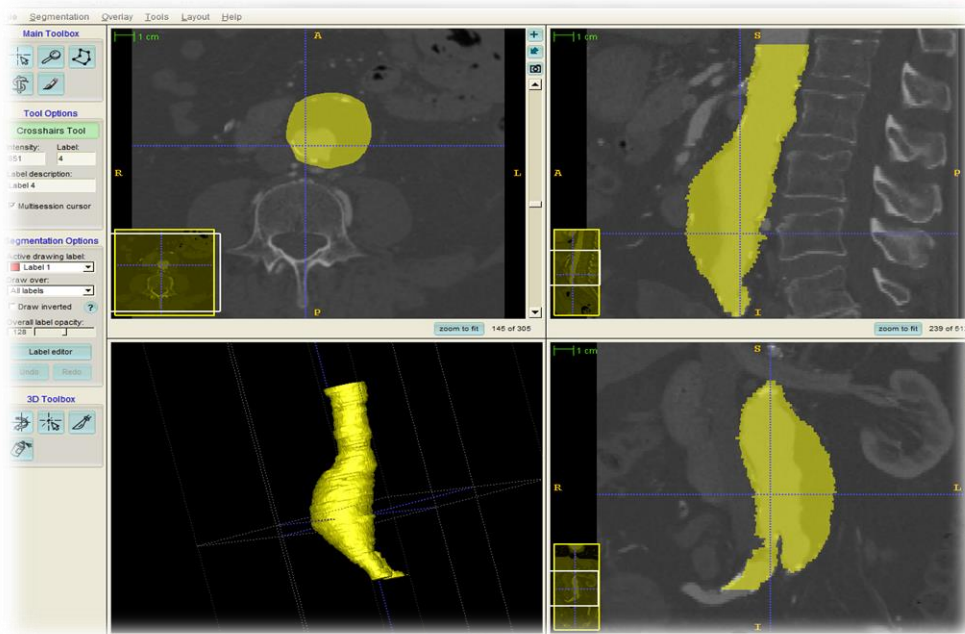


Εικόνα 15: Η τρισδιάστατη μορφή του ανευρύσματος του ασθενή 16 πριν την επεξεργασία σε smooth μορφή.

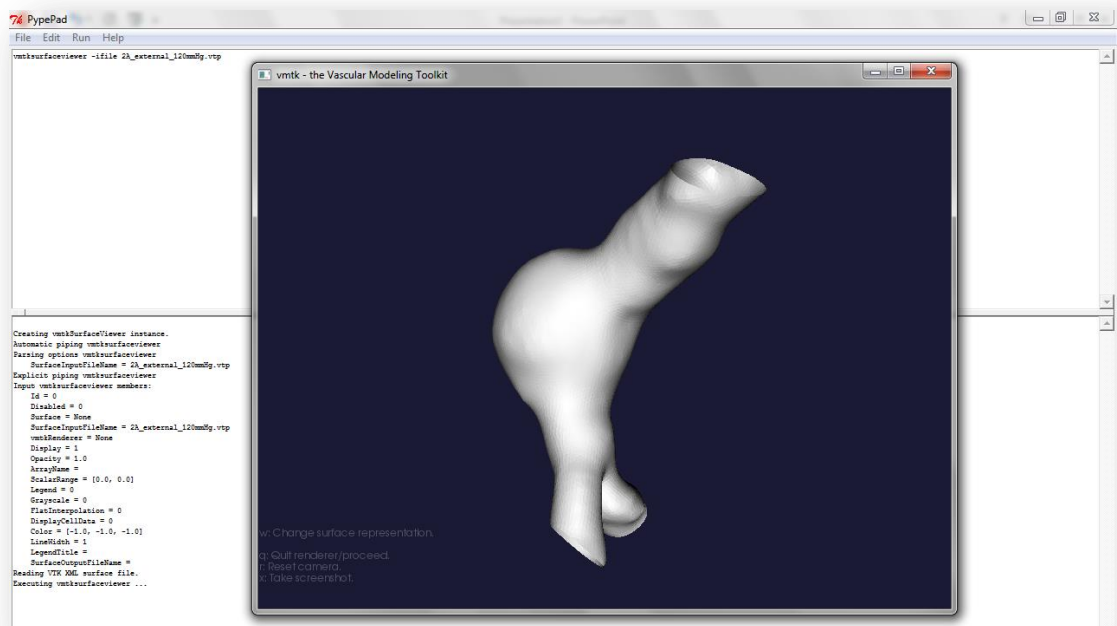


Εικόνα 16: Η τρισδιάστατη μορφή σε smooth μετά την επεξεργασία του αρχικού μοντέλου σε vmtk

Άλλο παράδειγμα μ' ένα διαφορετικού σχήματος ανεύρυσμα, είναι κι ο ασθενής 6:



← **Εικόνα 17:**
Αρχική μορφή του ανευρύσματος κι εδώ.



Εικόνα 18: Τελική μορφή του τρισδιάστατου μοντέλου μετά την επεξεργασία του με το VMTK.

Παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι εμφανής και πολλές τοιχωματικές ανωμαλίες έχουν ελαττωθεί.

Ανοίγοντας το αρχείο, που περιλαμβάνει το ανεύρυσμα σε μορφή mhd του προγράμματος ITK SNAP, στο VMTK πρόγραμμα και γράφοντας μια εντολή, μας δίνεται ο αλγόριθμος ο οποίος εκτελεί τις εντολές και μας δίνει την τελική μορφή του ανευρύσματος όπως **Εικόνα 16** και **Εικόνα 18**.

4.4 ANSYS: ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι τιμές της Μέγιστης Τοιχωματικής Τάσης εκτιμήθηκαν με το κατάλληλο πρόγραμμα ANSYS.

Το ANSYS είναι ένα πρωτοπόρο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων σε ολόκληρο τον κόσμο. Είναι ένα πρόγραμμα που φορτίζει υπό ορισμένες συνθήκες τη δεδομένη γεωμετρία με πίεση στο εσωτερικό τοίχωμα. Με βάση τις συνθήκες φόρτισης υπολογίζονται στο σημείο ισορροπίας η τάση και η παραμόρφωση στο τοίχωμα και η κατανομή των τάσεων.

Το αποτέλεσμα είναι μια λεπτομερής χαρτογράφηση των τιμών της τοιχωματικής τάσης σε όλο το ΑΚΑ.

Η αρχική τιμή της MTT, όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων σε μια κλινική έρευνα που έγινε από τους Fillinger και συν ήταν:

- ✚ 38 N/cm² για ΑΚΑ που παρέμειναν σταθερά κατά τη διάρκεια παρακολούθησής τους
- ✚ 42 N/cm² για ΑΚΑ με ταχεία αύξηση της διαμέτρου
- ✚ 58 N/cm² για ΑΚΑ που υπέστησαν ρήξη.

Έτσι παρατηρούμε ότι η ανάλυση της MTT είναι πολύ πιο αξιόπιστη μέθοδος πρόβλεψης πιθανής ρήξης ενός ΑΚΑ, από την αρχική διάμετρο.

Το πρόγραμμα ANSYS χρησιμοποιήθηκε από εξειδικευμένο προσωπικό του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας για την χαρτογράφηση των von Mises

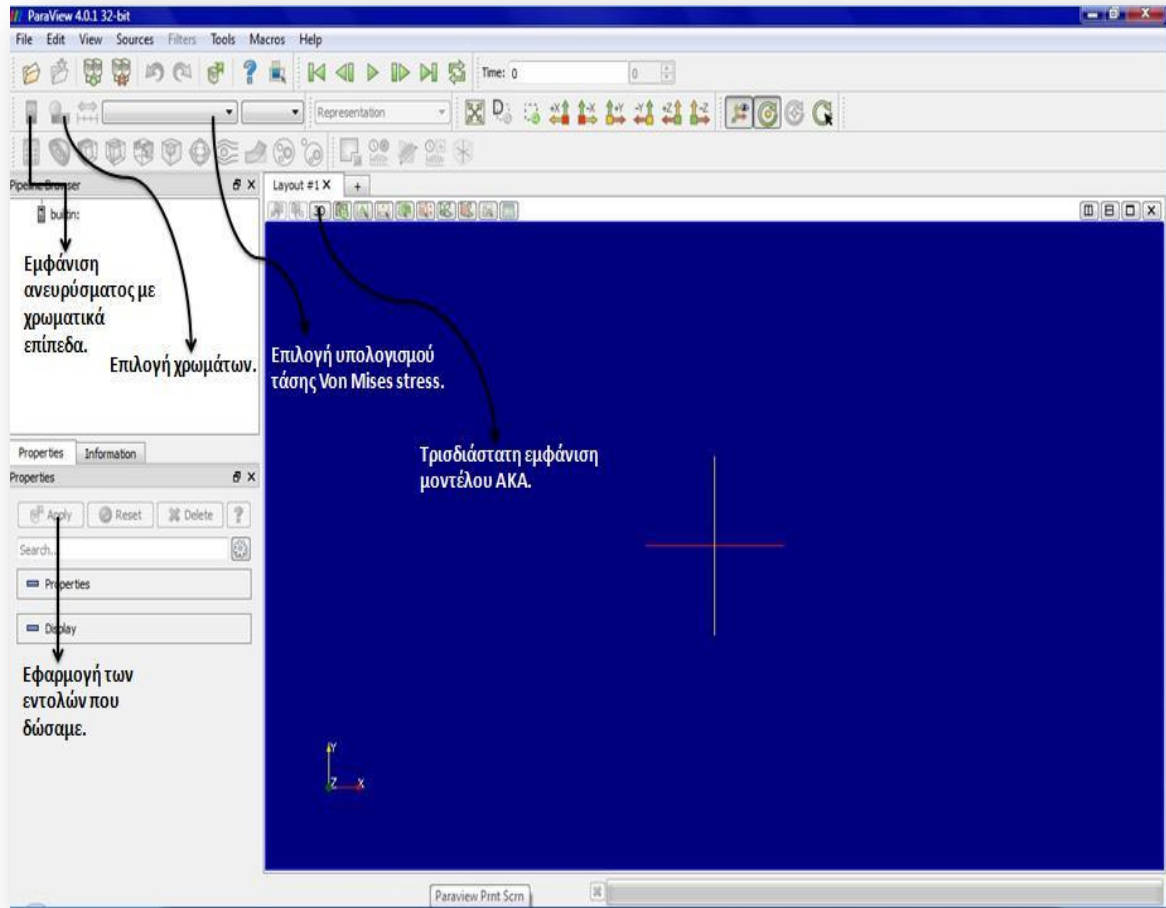
τάσεων στο τοίχωμα του ανευρύσματος όταν στην επιφάνεια του αυλού ασκείται ομοιόμορφη πίεση ίση με 120 mmHg, που είναι και η φυσιολογική συστολική πίεση.

4.5 ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ MTT ΣΕ ΑΚΑ ΜΕ PARAVIEW

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία με το ANSYS, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα Paraview, το οποίο απεικονίζει το σημείο εφαρμογής της Μέγιστης Τοιχωματικής Τάσης αλλά και τη τιμή της (σε MPa.)

Συνήθως η Μέγιστη Τοιχωματική Τάση εμφανίζεται συχνά σε τρία σημεία: στο λαιμό, στο μπροστινό μέρος και στο πίσω μέρος του ΑΚΑ. Αλλά όπως αναφέραμε στο 3^ο κεφάλαιο, το σημείο εμφάνισης MTT επηρεάζεται από τη καμπυλότητα του τοιχώματος. Παρακάτω θα δούμε σε εικόνες ΑΚΑ τα οποία εμφανίζουν MTT σε σημεία που δεν είναι συνηθισμένα κι αυτό λόγω της καμπυλότητας του ΑΚΑ.

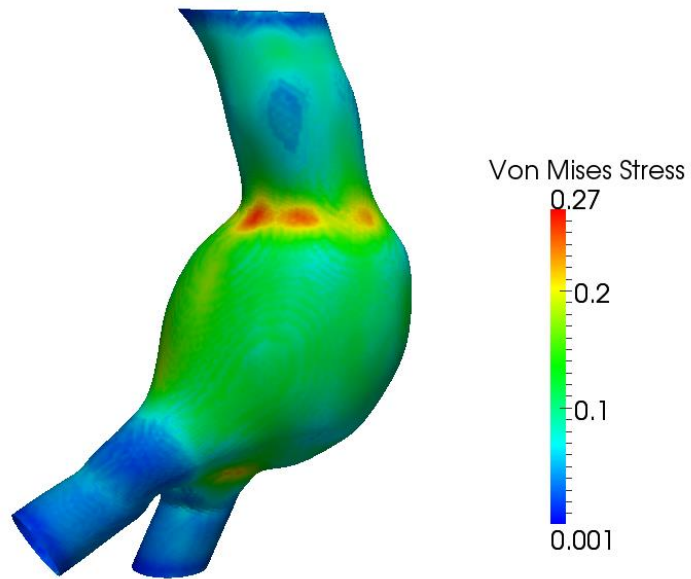
Στο Paraview μπορούμε να δούμε διαφόρων ειδών τάσεις που υπολογίστηκαν με το ANSYS, αλλά εμείς μελετάμε την τάση κατά von Mises stress. Στην εικόνα που ακολουθεί θα δούμε πως επεξεργαζόμαστε το τρισδιάστατο μοντέλο σε αυτό το πρόγραμμα.



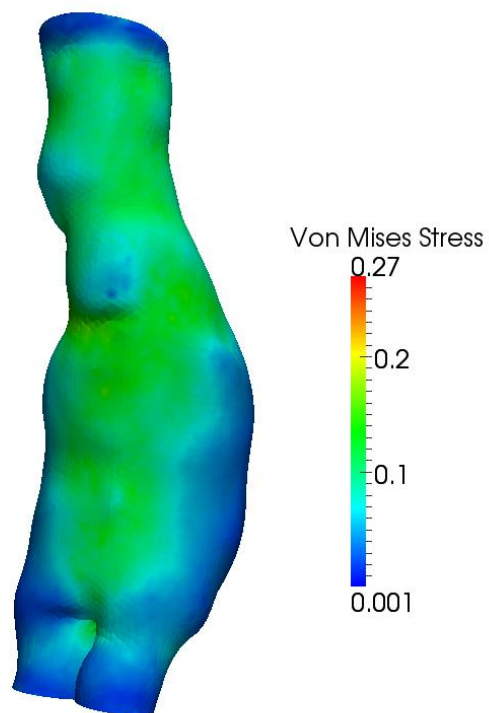
Εικόνα 19: Γενική περιγραφή των εντολών του προγράμματος Paraview για τον υπολογισμό και την εύρεση σημείου εφαρμογής της ΜΤΤ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

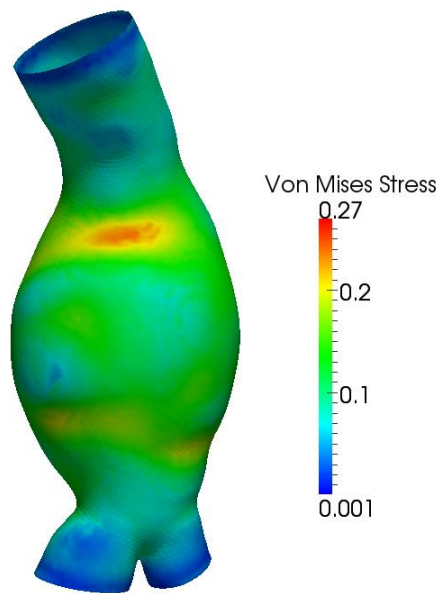
Παρακάτω θα δούμε εικόνες τρισδιάστατων ΑΚΑ στα οποία έχει βρεθεί το σημείο εφαρμογής ΜΤΤ κι έχει υπολογιστεί. Θα δούμε παραδείγματα διαφόρων ειδών ΑΚΑ και με διαφορετική δομή ανευρυσματικού τοιχώματος.



Εικόνα 20: Παρατηρούμε ότι η MTT εφαρμόζεται στο λαιμό του ΑΚΑ και είναι 0.233 MPa.

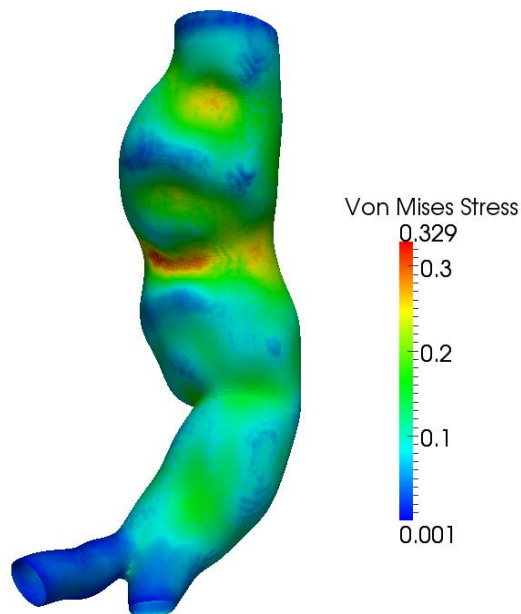


Εικόνα 21: Εδώ η MTT βρίσκεται στο πίσω μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.

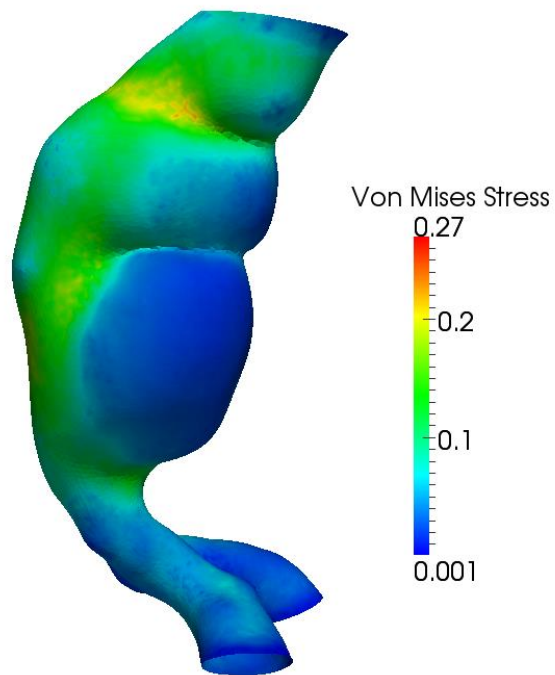


Εικόνα 22: Η MTT σ' αυτό βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του τοιχώματος.

Στις εικόνες παραπάνω, παρατηρήσαμε τα διαφορετικού είδους ανευρυσματικά τοιχώματα. Σε αυτά ήταν εμφανή τα σημεία εφαρμογής MTT, αλλά υπάρχουν και ΑΚΑ με πολύπλοκη δομή ανευρυσματικού τοιχώματος. Μερικά από αυτά είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 23: Πολύπλοκο ανευρυσματικό τοίχωμα με πολλά σημεία καμπυλότητας.



Εικόνα 24: Άλλο ένα πολύπλοκο ΑΚΑ.

Μόλις ολοκληρώσαμε την διαδικασία αυτή, παρατηρώντας τα σημεία εφαρμογής MTT και υπολογίζοντας την τιμή της MTT για κάθε έναν από τους 19 ασθενείς (οι οποίοι βοήθησαν στην παρούσα πτυχιακή), συγκεντρώσαμε τις τιμές των MTT και με τις τιμές του ρυθμού αύξησης των ΑΚΑ που πήραμε από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων.

Με βάση αυτές τις τιμές, του ρυθμού αύξησης, της Μέγιστης Τοιχωματικής Τάσης και του σημείου εφαρμογής MTT, μπορούμε να μελετήσουμε ποιοι είναι οι παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο ρήξης ενός ΑΚΑ.

Case	GR/year	Von Mises Stress (Mpa)	ΘΕΣΗ MTT
1	1,50	0,27	μπροστά
2	20,00	0,233	λαιμός
3	6,40	0,27	λαιμός
4	1,41	0,27	μπροστά, λαιμός
5	2,25	0,27	λαιμός, πίσω
6	3,43	0,27	πίσω
7	1,00	0,27	πίσω
8	4,40	0,27	μπροστά
9	2,67	0,27	λαιμός
10	2,40	0,27	λαιμός
11	1,71	0,27	λαιμός
12	4,00	0,27	πίσω
13	2,00	0,27	μπροστά
14	3,00	0,27	πίσω
15	2,07	0,329	πίσω
16	3,00	0,329	πίσω
17	3,43	0,329	πίσω και μπροστά
18	2,00	0,329	μπροστά και λαιμός
19	4,50	0,329	μπροστά
MEDIAN	2,67	0,27	

Πίνακας 1: Όλες οι τιμές των 19 ασθενών.

Ακολουθούν οι πίνακες που αφορούν τα σημεία εφαρμογής MTT. Θα δούμε το πλήθος των ασθενών με MTT σε λαιμό, στο μπροστά και στο πίσω μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.

ΛΑΙΜΟΣ	
Πλήθος τιμών	Gr/year
1	1,41
2	1,71
3	2,00
4	2,25
5	2,40
6	2,67
7	6,40

Πίνακας 2: MTT σε λαιμό.

ΠΙΣΩ	
Πλήθος τιμών	Gr/year
1	1,00
2	2,07
3	2,25
4	2,67
5	3,00
6	3,00
7	3,43
8	3,43
9	4,00

Πίνακας 3: MTT στο πίσω μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.

ΜΠΡΟΣΤΑ	
Πλήθος τιμών	Gr/year
1	1,50
2	1,41
3	2,00
4	2,00
5	3,43
6	4,50

Πίνακας 4: MTT στο μπροστινό μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.

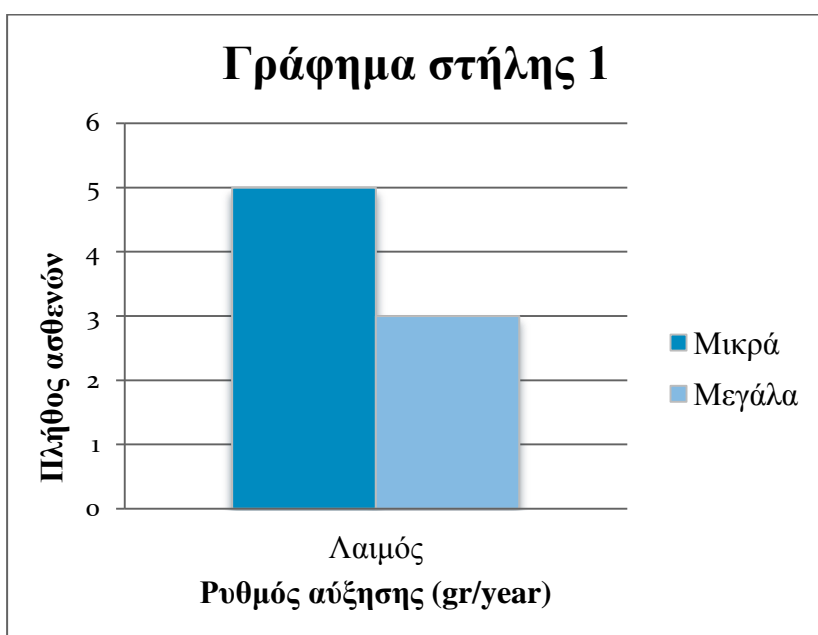
Έχοντας τα στοιχεία που χρειαζόμαστε από τους 19 ασθενείς, και με τη βοήθεια των παραπάνω πινάκων, δημιουργήσαμε γραφήματα στήλης στα οποία θα παρατηρήσουμε κατά πόσο επηρεάζει ο ρυθμός αύξησης ενός ΑΚΑ ανάλογα το σημείο εφαρμογής MTT, σε σχέση με το πλήθος των ασθενών.

Διαχωρίσαμε τα ΑΚΑ που η MTT τους εντοπίζεται στο λαιμό σε ανευρύσματα με μεγάλο και μικρό ρυθμό αύξησης. Το ίδιο κάναμε και με τα ΑΚΑ που η MTT βρίσκεται στο πίσω και στο μπροστά μέρος.

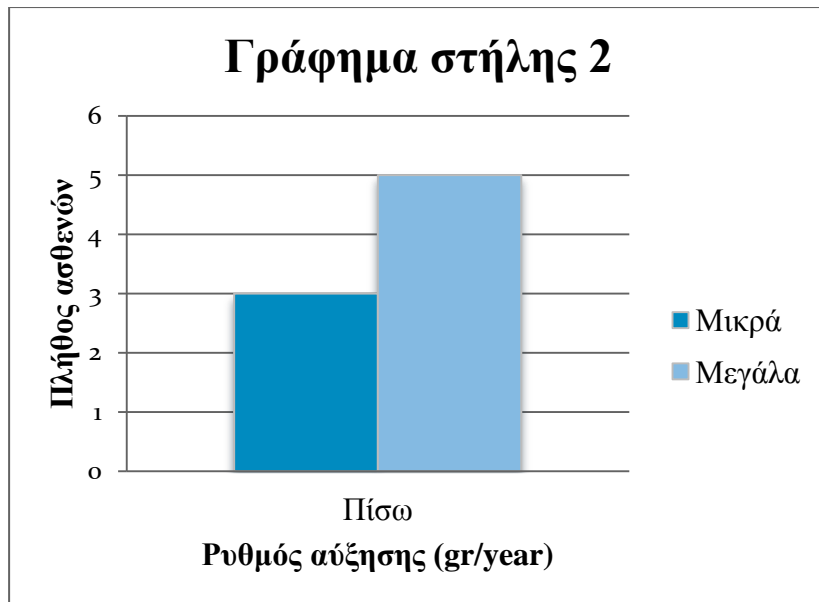
Στο γράφημα στήλης 1 (**Πίνακας 5**) παρατηρούμε ότι οι ασθενείς με τα ανευρύσματα που εμφανίζουν MTT στο λαιμό, με μικρό ρυθμό αύξησης είναι περισσότερα από τα μεγάλου ρυθμού αύξησης.

Στο γράφημα στήλης 2 (**Πίνακας 6**) παρατηρούμε ότι οι ασθενείς με τα ανευρύσματα που εμφανίζουν MTT στο πίσω μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος, με μικρό ρυθμό αύξησης είναι λιγότερα από τα μεγάλου ρυθμού αύξησης.

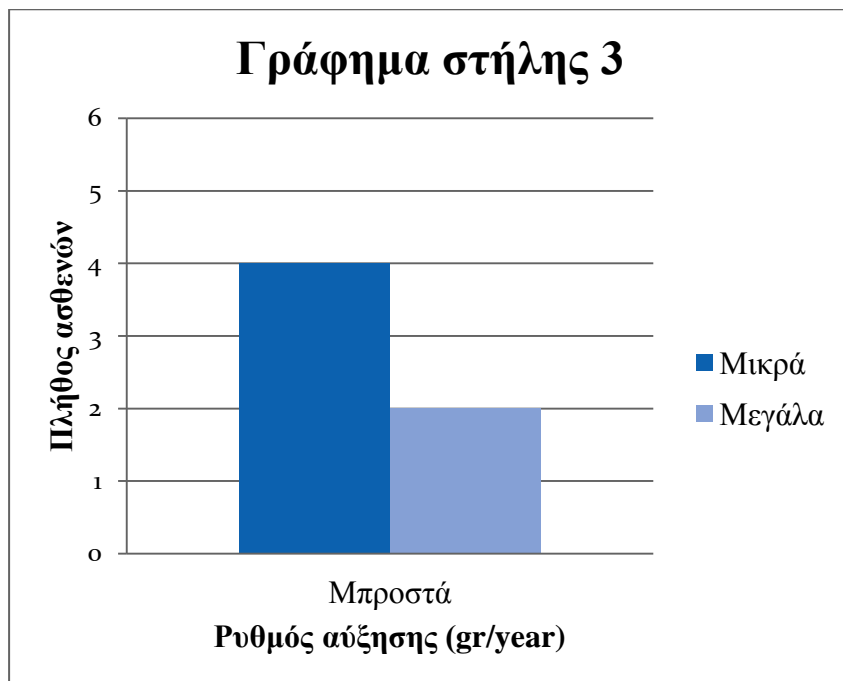
Στο γράφημα στήλης 3 (**Πίνακας 7**) παρατηρούμε ότι οι ασθενείς με τα ανευρύσματα που εμφανίζουν MTT στο μπροστινό μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος, με μικρό ρυθμό αύξησης είναι περισσότερα από τα μεγάλου ρυθμού αύξησης.



Πίνακας 5: Ανευρύσματα με εμφάνιση MTT στο λαιμό.



Πίνακας 6: Ανευρύσματα με εμφάνιση MTT στο πίσω μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.



Πίνακας 7: Ανευρύσματα με εμφάνιση MTT στο μπροστινό μέρος του ανευρυσματικού τοιχώματος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτό που παρατηρήσαμε κατά τη διάρκεια του ερευνητικού μέρους, της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι ότι οι τιμές της MTT ελαττώνονται αναλογικά σε σχέση με το ποσό το θρόμβου σε ανευρύσματα μικρότερα των 7 cm, σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα των 7 cm. Αυτή η παρατήρηση θα μπορούσε να τονίσει τη σημασία της γεωμετρίας των ΑΚΑ μεταξύ των άλλων παραγόντων.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν ΑΚΑ με μεγάλο ρυθμό αύξησης χωρίς να έχουν την MTT στο λαιμό, και όταν είναι στο λαιμό συνήθως έχουν μεγάλο ρυθμό αύξησης. Επομένως η θέση της MTT δεν είναι μοναδικός παράγοντας για να εκτιμήσει κανείς τον ρυθμό αύξησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.angioparevasi.gr/aggeiakes-pathiseis/aneurysma-koiliakis-aortis/>

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/17418#page/104/mode/2up>

<http://www.aggeiopathia.gr/anebrisma-kiliakis-aortis/>

http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3592/3/xenakisa_cfd.pdf

<http://www.eelia.gr/>

<http://www.dr-paraskevas.com>

http://www.incardiology.gr/pathiseis_aggeiaka/koiliaki_aorti.htm

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%AF%CE%B1>

<http://mathetinkardiasou.gr/>

<http://www.pelmasoft.com/article.php?id=222>

<https://www.google.com>

<http://www.or-live.com/gore/1519/event/webcast.cfm>

http://www.hypertasi.gr.asp1-20.dfw1-1.websitetestlink.com/UsersFiles/admin/documents/tomos15_2-3_2006/ahj15p101.pdf

- Κλινική και Υπολογιστική Μελέτη της εξέλιξης της Αιμοδυναμικής Συμπεριφοράς των Ανευρυσμάτων της Κοιλιακής Αορτής (*Διδακτορική Διατριβή του Αγγειοχειρουργού Ευστράτιου Ι. Γεωργακαράκου, ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2009*)
- Εκτίμηση του κινδύνου ρήξης των ανευρυσμάτων της κοιλιακής αορτής με υπολογιστική μηχανική και επίδραση της αρτηριακής πίεσης στην τοιχωματική τάση (*Βιβλιογραφική μελέτη των Γ. Γιαννόγλου, Γ. Γιαννακούλας, Α.Ι. Χατζητόλιος, 2006*)