Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Σχολή Μηχανικών – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

Μοντελοποίηση Ροής σε Αορτικό Διχασμό

Φοιτήτρια: Παπακώστα Δήμητρα
Επιβλέπων Καθηγητής: Τζιράκης Κωνσταντίνος

Ηράκλειο
Σεπτέμβριος 2024

1. Κατάλογος Περιεχομένων

1. Κατάλογος Περιεχομένων 2
2. Στοιχεία Φοιτήτριας 3
3. Στοιχεία Μαθήματος 3
4. Ευχαριστίες 4
5. Περίληψη στα Αγγλικά 5
6. Εισαγωγή 6
   6.1 Επιγραμματική Εξήγηση Αορτικού Διχασμού 6
   6.2 Τι είναι Ανεύρυσμα 7
   6.3 Τρόποι Αντιμετώπισης του Ανευρύσματος 8
   6.4 Τι είναι η Αθηροσκλήρωση 9
   6.5 Τρόποι Αντιμετώπισης Αθηροσκλήρωσης 10
   6.6 Στόχος Εργασίας 11
   6.7 Μέθοδος εκτέλεσης της εργασίας 11
   6.8 Πλεονεκτήματα Μοντελοποίησης με την βοήθεια λογισμικών. 11
   6.9 Ορισμοί και Λειτουργία του Retomo 12
7. Μοντελοποίηση αορτής με την βοήθεια του Retomo 14
   7.1. Εισαγωγή στο Retomo 14
   7.2. Δημιουργία νέου έργου 15
   7.3. Αρχική Επεξεργασία 18
   7.4. Αυτόματη Κατάτμηση των υλικών 20
      7.4.1. Προσαρμογή των ορίων στο Ιστόγραμμα 20
      7.4.2. Αυτόματη Κατάτμηση 21
   7.5. Χειροκίνητη Κατάτμηση των υλικών 22
   7.6. Κατάτμηση με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης 24
   7.7. Μορφολογικό Φίλτρο 27
   7.8. Τρισδιάστατη Αναπαράσταση 28
   7.9. Δημιουργία Πλέγματος (STL) 29
8. Δυσκολίες στο Πρόγραμμα 30
9. Μοντελοποίηση Ροής 31
10. Επίλογος – Συμπεράσματα 36
11. Βιβλιογραφία - Πηγές 37

2. Στοιχεία Φοιτήτριας

Φοιτητής (Πλήρες Ονοματεπώνυμο)	Αριθμός Μητρώου	Ηλεκτρονική Διεύθυνση	Κινητό / Σταθερό Τηλέφωνο
ΠΑΠΑΚΩΣΤΑ ΔΗΜΗΤΡΑ	ΤΜ6824	Dimitrapapak2000@gmail.com	

3. Στοιχεία Μαθήματος

Μάθημα: **Διπλωματική Εργασία**

Διδάσκοντες: **Δρ. Τζιράκης Κωσταντίνος,** Επίκουρος Καθηγητής (ktzirakis@hmu.gr)

4. Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Τζιράκη Κωσταντίνο που μου πρότεινε να αναλάβω αυτό το θέμα της πτυχιακής μου εργασίας και με βοήθησε να την βγάλω εις πέρας. Με την στήριξη του όλες οι δυσκολίες ξεπεράστηκαν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Καράτση Ευάγγελο και την Εμμανουέλα Μπασκιοβά, εκπρόσωποι της BETA CAE SYSTEMS, που αφιέρωσαν χρόνο ώστε να μου εξηγήσουν τις απορίες μου σχετικά με το πρόγραμμα.

5. Περίληψη στα Αγγλικά

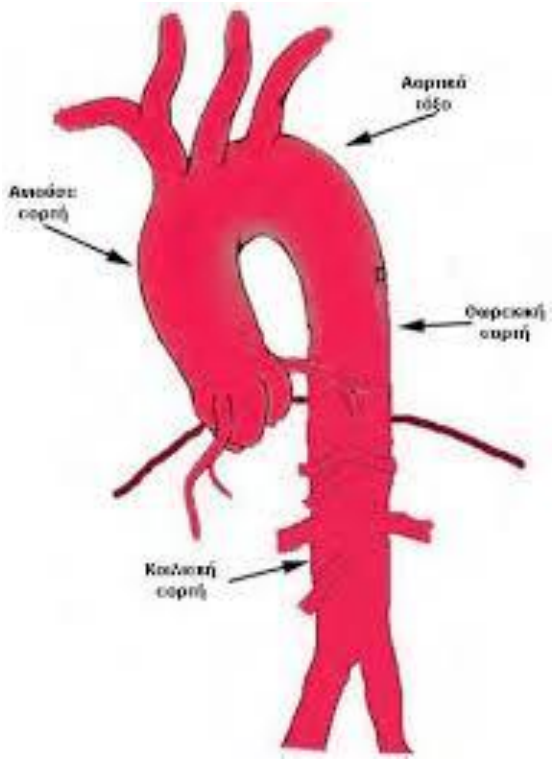
The aorta is the largest vessel in the body, which starts from the heart, passes through the chest and abdomen and ends at the two iliac arteries. The wall of the aorta is thick enough to withstand the high blood pressures, when the heart contracts. Over the years the wall can weaken and at this point an aneurysm can be created with the risk of rupture and internal bleeding. At the same time, it is possible for the aorta to become blocked by lipids carried by the blood and cause thrombosis. In this work, a postoperative aorta will be modeled with the aid of RETOMO. This new software, Retomo, has been introduced to provide the capability of improving CAE (Computer Aided Engineering) based design, by adding CT (Computed Tomography) to the correlation process. The automatic segmentation process is the capacity of the program to classify the voxels in colors and to separate the materials. In order to model the aorta as best as possible Artificial Intelligence Segmentation is used to automate manual modifications in the CT scan. This algorithm is regulated to save time from a very time-consuming process. The final visualization is given by generating a mesh. During mesh generation, the user can proceed with smoothing and simplification of the resulting mesh. Although Retomo is a very high intelligence program, there were some problems during the modeling process. According to accomplish the modeling of the aorta in this program, was needed some online meetings to be arranged with the supervisors.

Keywords: Aorta, Retomo, CT scan, CAE, Artificial Intelligence Segmentation, Mesh

6. Εισαγωγή

6.1 Επιγραμματική Εξήγηση Αορτικού Διχασμού

Η αορτή είναι το μεγαλύτερο αγγείο του σώματος το οποίο ξεκινά από την καρδιά περνά από τον θώρακα και την κοιλιά και τελικά χωρίζεται στις δύο λαγόνιες αρτηρίες. Η αορτή χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα. Την ανιούσα αορτή, το αορτικό τόξο, την θωρακική αορτή και την κοιλιακή αορτή. Το τμήμα της αορτής το οποίο βρίσκεται στην κοιλιά ονομάζεται κοιλιακή αορτή και τροφοδοτεί με αίμα όλα τα όργανα της κοιλιάς και τα δύο κάτω άκρα. Φυσιολογικά η κοιλιακή αορτή έχει διάμετρο από 1,8εκ. – 2,2εκ. (1)

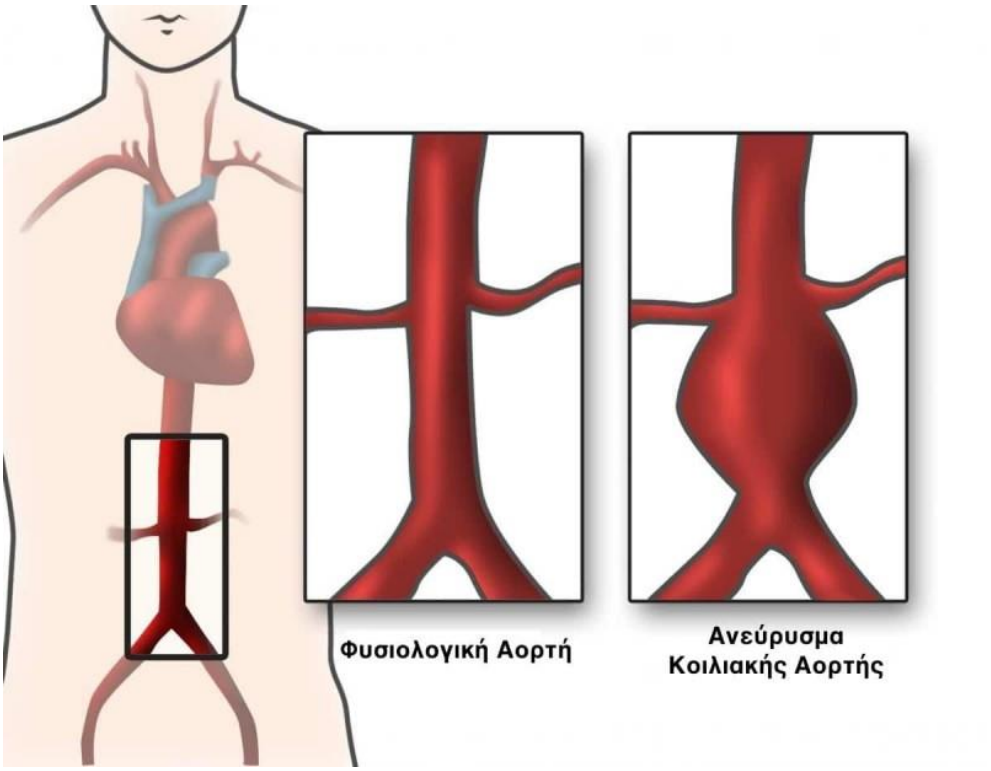


Εικόνα 1 Απεικόνιση αορτής

Οι αρτηρίες έχουν παχύτερα τοιχώματα και μικρότερη εσωτερική διάμετρο από τις φλέβες και περισσότερο μυϊκό ιστό. Το αίμα διοχετεύεται στις αρτηρίες με κάθε συστολή των κοιλιών της καρδιάς. Κάθε φορά που διοχετεύεται μία ποσότητα αίματος στις αρτηρίες, τα τοιχώματά τους διευρύνονται με την πίεση του εισερχόμενου αίματος και η διεύρυνση αυτή ονομάζεται σφυγμός. Κάθε παλμός της καρδιάς προκαλεί ένα σφυγμό στις αρτηρίες, με αποτέλεσμα να έχουν τον ίδιο ρυθμό οι σφυγμοί των αρτηριών και οι παλμοί της καρδιάς. Ο σφυγμός αυτός ανιχνεύεται στον καρπό του χεριού, καθώς και σε άλλα σημεία του σώματος. Το αίμα προωθείται στο εσωτερικό των αρτηριών και με τις συσπάσεις των τοιχωμάτων τους, που συντελούνται με τη βοήθεια του μυϊκού ιστού που περιέχουν. Το αίμα στις αρτηρίες, επειδή κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα, εμφανίζει μεγαλύτερη πίεση απ' ό,τι στις φλέβες.[8]

6.2 Τι είναι Ανεύρυσμα

Με το πέρασμα των χρόνων το τοίχωμα της αορτής μπορεί να αδυνατίσει και η αορτή να αρχίσει να μεγαλώνει σε διάμετρο και έτσι δημιουργείται το λεγόμενο ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής (2). Πιο συγκεκριμένα, το ανεύρυσμα της κοιλιακής αορτής είναι η διάταση της κοιλιακής αορτής πάνω από το 50% του μεγέθους μιας φυσιολογικής κοιλιακής αορτής. (3) Το ανεύρυσμα, συνήθως, με το καιρό μεγαλώνει και κάποια στιγμή, εάν δεν θεραπευθεί, σπάει και έχουμε μια κατακλυσμιαία εσωτερική αιμορραγία με πολλή μεγάλη πιθανότητα θνητότητας. (1)



Εικόνα 2 Απεικόνιση μιας Φυσιολογικής Κοιλιακής Αορτής και μιας Κοιλιακής Αορτής με Ανεύρυσμα

Συχνότερα εμφανίζεται σε ανθρώπους ηλικίας άνω των 50 ετών, και ιδιαίτερα όσοι καπνίζουν, έχουν αρτηριακή υπέρταση, δυσλιπιδαιμία, περιφερειακή αγγειοπάθεια, στεφανιαία νόσο ή κληρονομικότητα. (3) Οι περισσότεροι ασθενείς δεν αισθάνονται κανένα απολύτως σύμπτωμα. Σε σπάνιες περιπτώσεις οι ασθενείς μπορούν να νιώσουν κοιλιακό πόνο ή πόνο στα κάτω άκρα καθώς ο ξαφνικός πόνος στη κοιλιά ή στη μέση, η ζαλάδα και η λιποθυμία είναι συμπτώματα ρήξεως. (1)

Η πρώτη εξέταση που συνήθως γίνεται για να επιβεβαιωθεί η διάγνωση είναι ο υπέρηχος της κοιλιακής αορτής και των λαγονίων αρτηριών. Είναι μία μη επεμβατική εξέταση που σε πεπειραμένα χέρια έχει μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας. Αποτελεί μέθοδο για την παρακολούθηση μικρών ανευρυσμάτων. (2)

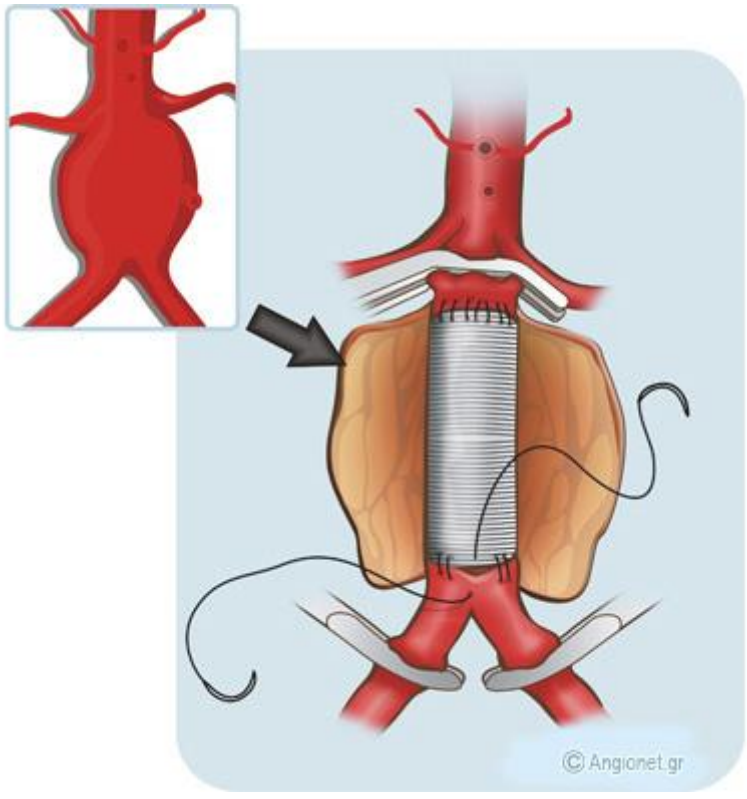
Η αξονική αγγειογραφία δίνει τις περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά την ύπαρξη του ανευρύσματος καθώς και τα χαρακτηριστικά του. Είναι η μέθοδος εκλογής πριν γίνει χειρουργική ή ενδαγγειακή επέμβαση, επιτρέπει τη μέτρηση απαραίτητων ανατομικών δεδομένων και δείχνει την

ύπαρξη θρόμβου και τη σχέση του ανευρύσματος με τα άλλα όργανα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αντικατασταθεί με την μαγνητική τομογραφία. (2)

6.3 Τρόποι Αντιμετώπισης του Ανευρύσματος

Δεν υπάρχει φάρμακο για τη θεραπεία του ανευρύσματος. Τα μικρά ανευρύσματα χρειάζονται τακτική παρακολούθηση, διακοπή του καπνίσματος και έλεγχο της αρτηριακής πίεσης. Εάν το ανεύρυσμα αυξηθεί πάνω από ένα όριο (από 5 έως 5,5 εκ) ή δώσει συμπτώματα χρειάζεται επεμβατική θεραπεία, είτε με ανοικτή χειρουργική επέμβαση είτε με ενδαγγειακή επέμβαση.

Η ανοιχτή χειρουργική επέμβαση (by pass) συνήθως πραγματοποιείται με μία μέση τομή στην κοιλιά. Μετά από την παρασκευή του μοσχεύματος, διακόπτεται η κυκλοφορία του αίματος με ειδικές αγγειολαβίδες που τοποθετούνται πάνω και κάτω από το ανεύρυσμα. Στην συνέχεια ανοίγεται ο ανευρυσματικός σάκος και ράβεται ένα συνθετικό μόσχευμα που έχει το μέγεθος μιας φυσιολογικής αορτής. Ο ανευρυσματικός σάκος ο οποίος δεν τροφοδοτείται πλέον με αίμα ράβεται σαν καπάκι πάνω από το συνθετικό μόσχευμα για να το απομονώσει από τους γύρω ιστούς. (4)

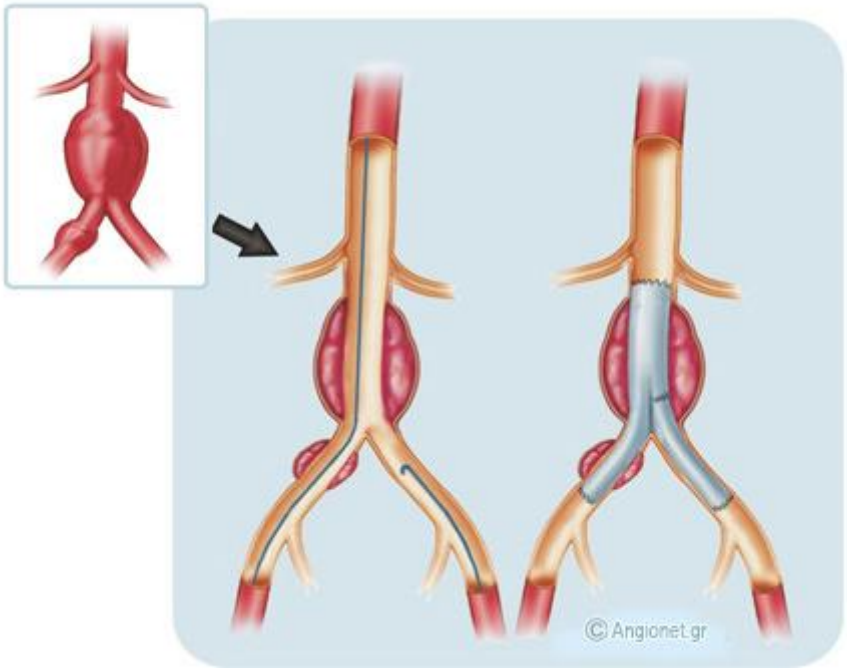


Εικόνα 3 Απεικόνιση του συνθετικού μοσχεύματος με ανοιχτή χειρουργική επέμβαση

Η ενδαγγειακή επέμβαση ξεκινάει με μια μικρή τομή στην βουβωνική χώρα πάνω από την μηριαία αρτηρία. Στην συνέχεια προωθείται ένα ειδικό σύρμα από την μηριαία αρτηρία περνάει μέσα από το ανεύρυσμα και φτάνει μέχρι την θωρακική αορτή. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύρμα σαν οδηγό προωθούμε ένα ειδικό θηκάρι όπου βρίσκεται συμπιεσμένο το μόσχευμα. Υπό ακτινοσκοπική

καθοδήγηση απελευθερώνουμε σταδιακά το ενδαγγειακό μόσχευμα που είναι από ειδικό ύφασμα και μεταλλικά stents. Στην συνέχεια με τον ίδιο τρόπο μπαίνει και το άλλο σκέλος του μοσχεύματος. Όταν τοποθετηθεί το ενδαγγειακό μόσχευμα το αίμα πλέον δεν ασκεί πίεση στον ανευρυσματικό σάκο γιατί περνάει μέσα από το μόσχευμα. (5)

Η ενδαγγειακή θεραπεία ανευρύσματος της κοιλιακής αορτής χρειάζεται μετεγχειρητικά συνεπή ιατρική παρακολούθηση. Μια αξονική αγγειογραφία είναι απαραίτητη τις πρώτες 30 ημέρες μετά την επέμβαση και στη συνέχεια μετά από 6 μήνες, 12 μήνες και ετησίως. Η παρακολούθηση αυτή γίνεται για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει ενδοδιαφυγή, εξέλιξη του ανευρύσματος ή κάποιο πρόβλημα με το μόσχευμα. (2)

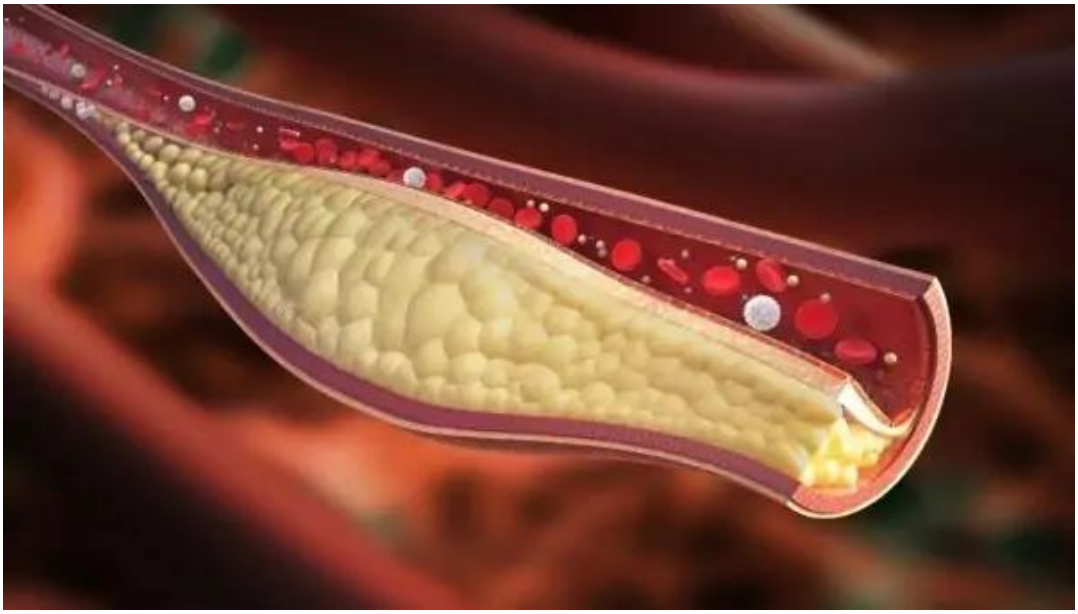


Εικόνα 4 Απεικόνιση του συνθετικού μοσχεύματος με ενδαγγειακή επέμβαση

6.4 Τι είναι η Αθηροσκλήρωση

Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων η Αθηροσκλήρωση δημιουργείται από τη σταδιακή συσσώρευση αθηρωματικού υλικού εντός του αυλού των αρτηριών. Το αθηρωματικό υλικό δημιουργείται από τη συσσώρευση λιπιδίων και ασβεστίου στο εσωτερικό τοίχωμα της αρτηρίας που αιματώνουν την καρδιά, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πλάκας (αθηρωματική πλάκα), η οποία προοδευτικά στενεύει τον αυλό των αγγείων και οδηγεί στην πλήρη απόφραξή τους.[10]

Η αθηροσκλήρωση δεν παρουσιάζει άμεσα συμπτώματα. Τα συμπτώματα εμφανίζονται όταν η αρτηρία έχει ήδη στενέψει υπερβολικά ή έχει δημιουργηθεί θρόμβος. Κάποια από τα συμπτώματα είναι ο πόνος στο στήθος, το μούδιασμα, η αδυναμία, η οξεία θρόμβωση, και η υψηλή πίεση.[9]



Εικόνα 5 Απεικόνιση Αθηρωματικής Πλάκας

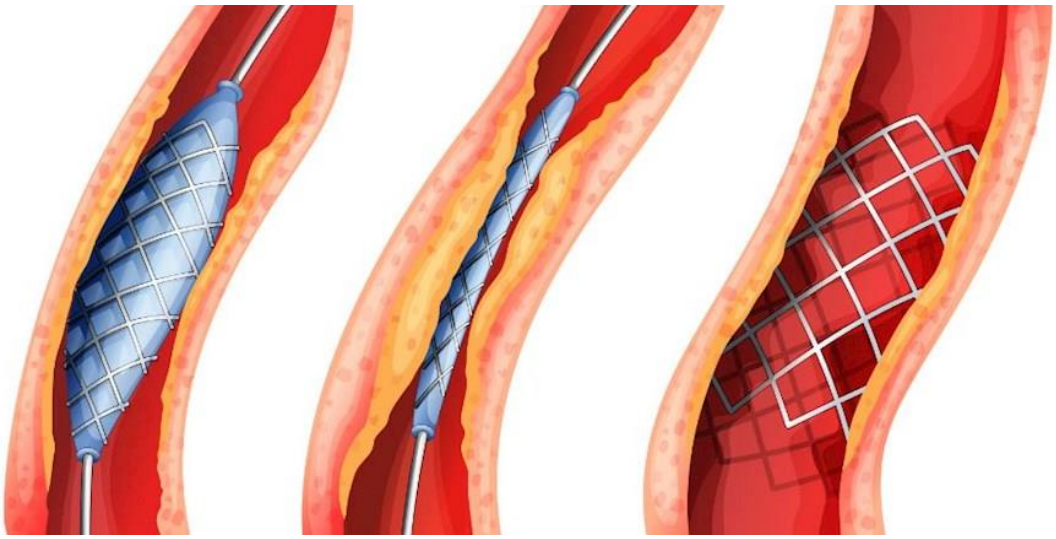
Η εμφάνιση της αθηροσκλήρωσης σχετίζεται κυρίως με την κακή διατροφή (ζωικά λίπη, αυξημένα τριγλυκερίδια), την παχυσαρκία, την καθιστική ζωή και το κάπνισμα. Άλλοι παράγοντες που πιθανόν μπορεί να οδηγήσουν στην αθηροσκλήρωση είναι ο σακχαρώδης διαβήτης, η αυξημένη αρτηριακή πίεση, η αύξηση της ηλικίας, καθώς και το οικογενειακό ιστορικό.[9]

6.5 Τρόποι Αντιμετώπισης Αθηροσκλήρωσης

Η θεραπεία της αθηροσκλήρωσης μπορεί να είναι συντηρητική αλλά συνήθως είναι χειρουργική. Η συντηρητική θεραπεία περιλαμβάνει τη φυσική άσκηση του ατόμου, τον έλεγχο των λιπιδίων του αίματος και τη χορήγηση φαρμακευτικών ουσιών όπως είναι οι αντιαιμοπεταλιακοί παράγοντες ή τα αγγειοδιασταλτικά φάρμακα.

Η χειρουργική παρέμβαση στην αορτή περιλαμβάνει δύο τρόπους αντιμετώπισης της Αθηρωματικής πλάκας. Η πρώτη είναι η αρτηριακή παράκαμψη (by pass) στην οποία χρησιμοποιείται ένα ειδικό συμβατό συνθετικό μόσχευμα, τα οποία αποκαθιστούν τη ροή του αίματος. Η συγκεκριμένη παρέμβαση χρησιμοποιείται όταν η αορτή έχει φράξει ολοκληρωτικά.

Ο δεύτερος τρόπος αντιμετώπισης είναι η αγγειοπλαστική με stent. Το stent είναι ένα μεταλλικό πλέγμα το οποίο τοποθετείται στο σημείο έμφραξης της αρτηρίας με σκοπό το άνοιγμα της αορτής. Χρησιμοποιώντας το σύρμα σαν οδηγό προωθείται ένα ειδικό θηκάρι το οποίο περιλαμβάνει το μεταλλικό πλέγμα και ένα μπαλονάκι. Όταν το θηκάρι φτάσει στο σημείο έμφραξης τότε το μπαλονάκι φουσκώνει και το μεταλλικό πλέγμα ανοίγει.



Εικόνα 6 Απεικόνιση Τοποθέτησης Stent στην Αορτή

6.6 Στόχος Εργασίας

Ο στόχος της εργασίας είναι η τρισδιάστατη μοντελοποίηση μιας μετεγχειρητικής αορτής. Ο ασθενής είχε παρουσιάσει σημαντικό βαθμό έμφραξης της αορτής με αποτέλεσμα να ακολουθηθεί σε χειρουργείο αρτηριακής παράκαμψης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μία νέα οδός ροής του αίματος προς τις λαγόνιες αρτηρίες. Για να αποτυπωθεί η αορτή σε αξονική τομογραφία στον ασθενή χορηγήθηκε σκιαγραφικό μέσο. Τα σκιαγραφικά μέσα χρησιμοποιούνται στις απεικονιστικές διαγνωστικές εξετάσεις με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση της ανατομίας και λειτουργίας των εσωτερικών οργάνων ή περιοχών του ανθρώπινου σώματος.[7]Το σκιαγραφικό μέσο δεν πέρασε μέσα από την παλιά ροή αίματος και για αυτόν τον λόγο δεν θα φανεί στην μοντελοποίηση. Τέλος η μοντελοποίηση ροής πραγματοποιήθηκε επάνω στην τρισδιάστατη αορτή σε χρωματική κλίμακα.

6.7 Μέθοδος εκτέλεσης της εργασίας

Για να γίνει η μοντελοποίηση της ροής του αίματος θα χρειαστεί αρχικά η αορτή να σχεδιαστεί τρισδιάστατα με την βοήθεια του προγράμματος Retomo και έπειτα με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων όγκων ελέγχου να επιλυθούν οι διαφορικές εξισώσεις για τον ακριβή προσδιορισμό της ροής και της μεταφοράς του αίματος.

6.8 Πλεονεκτήματα Μοντελοποίησης ροής με την βοήθεια λογισμικών

Η χρήση προσομοιώσεων με την βοήθεια ειδικών προγραμμάτων για την αξιολόγηση σχεδίων είναι φθηνότερη από τη δημιουργία πολλών φυσικών πρωτοτύπων. Παράλληλα τα λογισμικά σχεδιασμού εξοικονομούν χρόνο, επιτρέποντάς αποτελεσματικότερα σχέδια σε λιγότερο χρόνο

καθώς και η πραγματοποίηση αλλαγών σε ένα σχέδιο είναι γρήγορη και εύκολη, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος.

Επίσης τα λογισμικά προσφέρουν υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας σε σύγκριση με τα χειροκίνητα σχέδια, επιτρέποντάς την αυξημένη ακρίβεια για καλύτερα αποτελέσματα, ενώ παράλληλα τα αρχεία αυτά μπορούν να αποθηκευτούν και να μοιραστούν εύκολα.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα εύκολης προσομοίωσης σε έναν θεωρητικό υπολογισμό των πραγματικών συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα ένα υπολογιστικό πρόγραμμα μπορεί να μιμείται μικρές ή μεγάλες αλλαγές των συνθηκών του μοντέλου ώστε να είναι επιτρεπτή η συλλογή αποτελεσμάτων σε διάφορες συνθήκες.

6.9 Ορισμοί και Λειτουργία του Retomo

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση της κοιλιακής αορτής είναι το RETOMO της BETA CAE SYSTEMS (Θεσσαλονίκη, Ελλάδα). Το Retomo είναι ένα εργαλείο ικανό για ανακατασκευή τρισδιάστατης γεωμετρίας, ξεκινώντας από διάφορα σύνολα δεδομένων τομογραφίας (.DCM, .RAW, κ.λπ.) και προσφέρει μέσα από την υπολογιστική τομογραφία (Computed Tomography) εικόνες υψηλής ανάλυσης μεγάλων αντικειμένων καθώς έχει σχεδιαστεί για να επεξεργάζεται σύνολα εκατοντάδων δεδομένων (gigabyte). Φυσικά το επίπεδο λεπτομέρειας που κάποιος μπορεί να ανιχνεύσει εξαρτάται από την ποιότητα του συνόλου δεδομένων που ο τομογράφος παρέχει το οποίο κατά συνέπεια εξαρτάται από τις δυνατότητες του τομογράφου.

Η κύρια ιδέα πίσω από το εργαλείο Retomo είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της κατάτμησης. Όλες οι ρυθμίσεις μπορούν να είναι αποθηκευμένες σε ένα αρχείο συνεδρίας το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της εργασίας σε λειτουργία δέσμης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ικανότητα επεξεργασίας μεγάλων συνόλων δεδομένων (συνήθης υπόθεση για βιομηχανικές σαρώσεις) καθιστά το Retomo ένα μοναδικό εργαλείο που πληροί τα πρότυπα του κλάδου.

Παράλληλα, το Retomo εισάγει την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) ως ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να βελτιώσει την κατάτμηση των υλικών. Η δυνατότητα αυτή δίνει την ευκαιρία να πραγματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό οποιαδήποτε χειροκίνητη επιδιόρθωση στην απεικόνιση. (6)



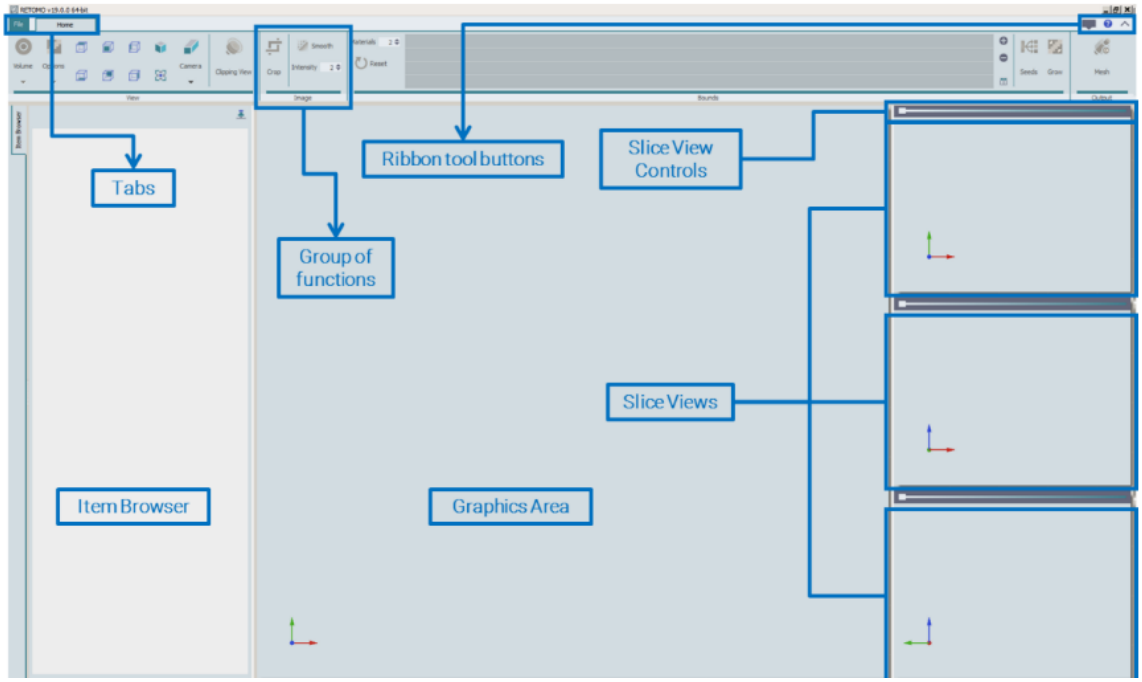
Εικόνα 7 RETOMO

7. Μοντελοποίηση αορτής με την βοήθεια του Retomo

7.1. Εισαγωγή στο Retomo

Ανοίγοντας το πρόγραμμα του Retomo απεικονίζονται οι κύριες λειτουργίες του.

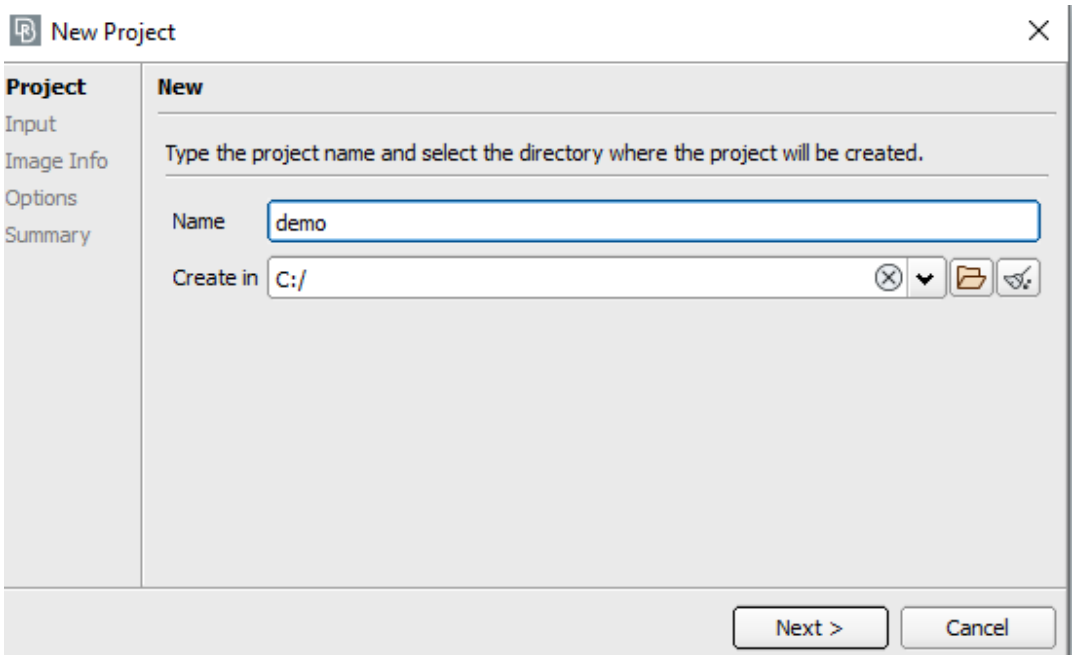
- Δεξιά απεικονίζονται οι τομές του μοντέλου (slice views) στους τρεις άξονες (x,y,z). Με αυτόν τον τρόπο, ρυθμίζοντας το χειριστήριο προβολής της τομής (slice view controls), ορίζεται η τομή που εμφανίζεται στην κεντρική οθόνη (graphics area) για επεξεργασία.
- Αριστερά βρίσκεται το πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων (item browser). Σε αυτό αποθηκεύεται κάθε βήμα επεξεργασίας του μοντέλου σε μορφή διαγράμματος. Το όνομα του αρχείου στην αρχική του μορφή ορίζεται με το όνομα Αυθεντική Εικόνα (Original Image) και έπειτα από την κάθε επεξεργασία ορίζεται και ένα διαφορετικό όνομα. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εύκολη η αναδρομή στα αρχικά στάδια επεξεργασίας.
- Στην πάνω σειρά της οθόνης είναι η ομάδα λειτουργιών (group of functions). Εκεί βρίσκονται κάποιες βασικές εντολές για την επεξεργασία του μοντέλου όπως η περικοπή και η λείανση. Παράλληλα υποδεικνύει κάποια βασικά χαρακτηριστικά της εικόνας που βρίσκεται στην κεντρική οθόνη όπως το εύρος τιμών αντίθεσης των ογκοστοιχείων εικόνας (voxels). Τις τιμές αυτές το πρόγραμμα τις καθορίζει αυτόματα.
- Τέλος, στην πάνω σειρά της οθόνης απεικονίζονται οι καρτέλες (tabs). Πατώντας το δίνει κάποιες επιλογές για το αρχείο καθώς περιέχει λειτουργίες για την εξαγωγή ή εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα.



Εικόνα 8 Απεικόνιση της Αρχικής Οθόνης του Προγράμματος

7.2. Δημιουργία νέου έργου

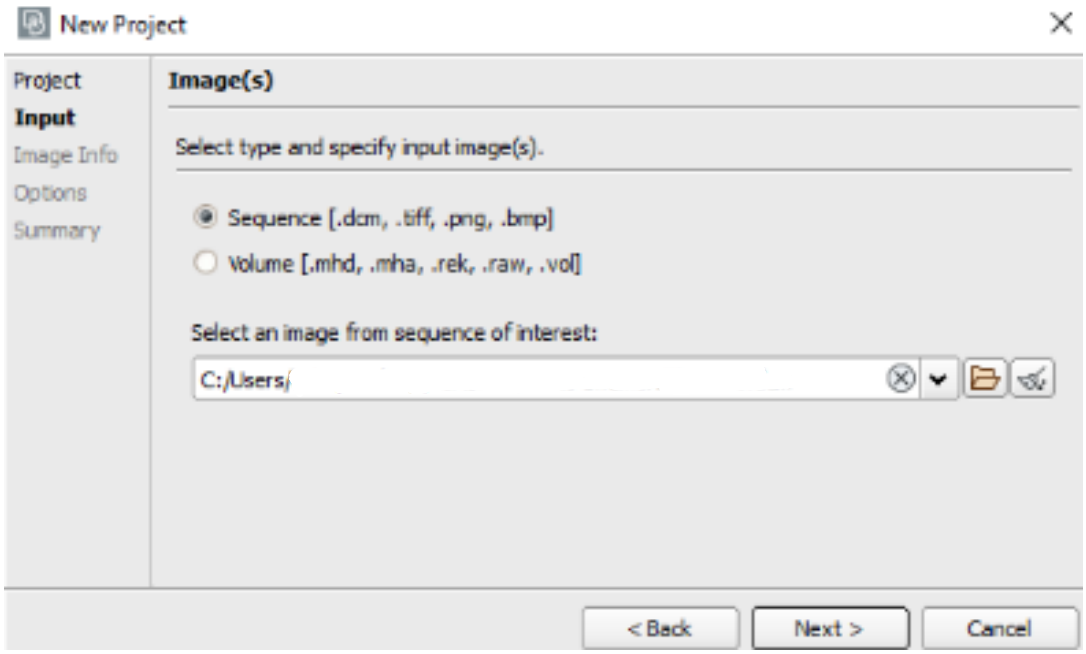
Το σημείο εκκίνησης στο Retomo είναι η δημιουργία ενός νέου έργου (New Project) από το Αρχείο (File). Στο παράθυρο το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη θα πρέπει να συμπληρωθεί το όνομα του αρχείου καθώς και το χώρο στο οποίο θα αποθηκευτεί το αρχείο. Το κύριο πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας έργα, είναι ότι ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να αποθηκεύσει το έργο και να συνεχίσει τη δουλειά του από το σημείο που σταμάτησε ανοίγοντας ξανά το έργο. Μόλις οριστούν και τα δύο συνεχίζεται η διαδικασία δημιουργίας έργου πατώντας επόμενο (Next).



Εικόνα 9 Δημιουργία Έργου

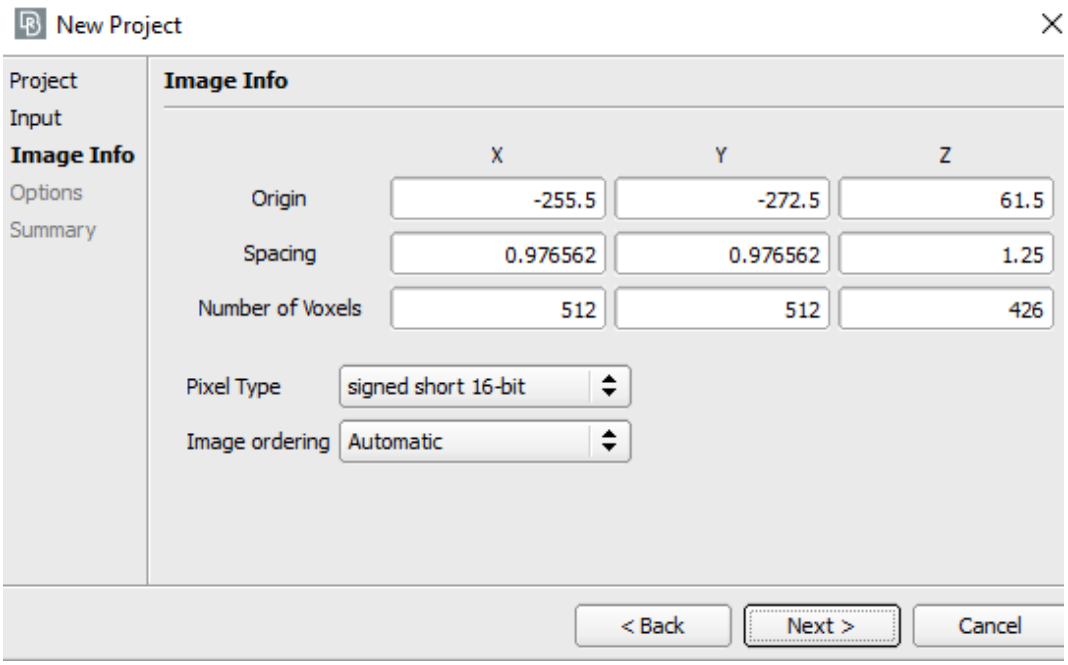
Στην συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει τον τύπο του συνόλου δεδομένων που θα εισάγει στο πρόγραμμα και να προσδιορίσει τον φάκελο στον οποίο θα εισαχθούν τα δεδομένα. Τα δεδομένα τα οποία θα μοντελοποιηθούν είναι από αξονικό τομογράφο και αποθηκεύονται σε Ψηφιακή

Απεικόνιση και Επικοινωνία στη Ιατρική (.dcm). Μόλις οριστούν και τα δύο κελιά τότε μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία δημιουργίας έργου πατώντας το επόμενο.



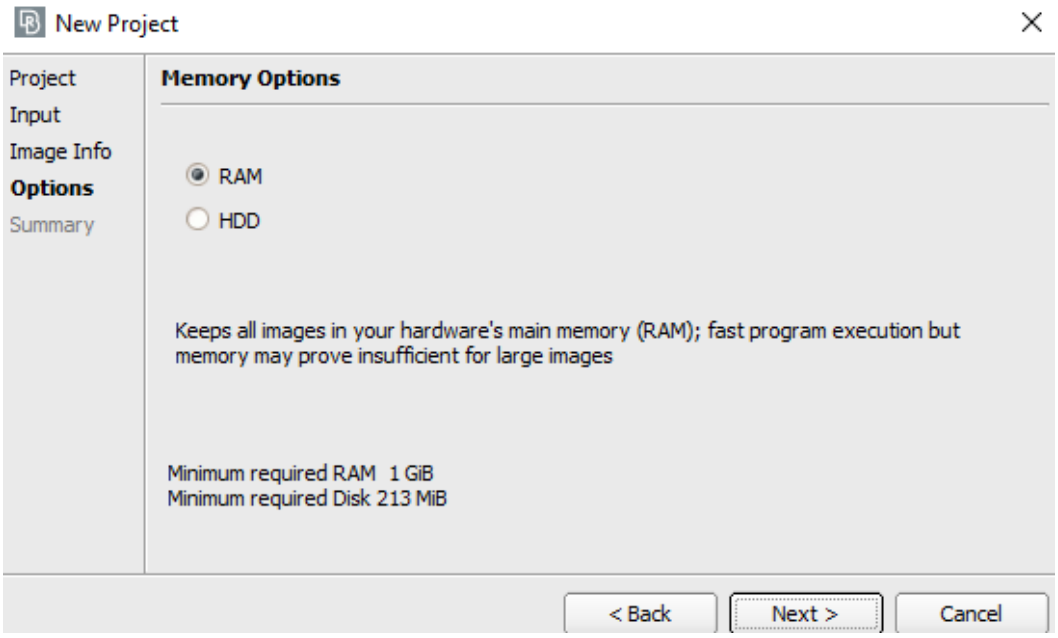
Εικόνα 10 Δημιουργία Έργου

Το νέο παράθυρο για την δημιουργία ενός έργου περιέχει κάποιες αυτοματοποιημένες τιμές που αναφέρονται στην προέλευση (origin), την απόσταση (spacing) και τον αριθμό των ογκοστοιχείων εικόνας (Number of Voxels). Σε περίπτωση που τα κελιά δεν είναι συμπληρωμένα σημαίνει πως οι πληροφορίες δεν είναι αποθηκευμένες στο αρχείο και θα πρέπει οι τιμές αυτές να συμπληρωθούν χειροκίνητα. Εφόσον διαπιστωθεί πως οι τιμές είναι συμπληρωμένες στα κελιά τότε συνεχίζεται η δημιουργία του έργου πατώντας το επόμενο.



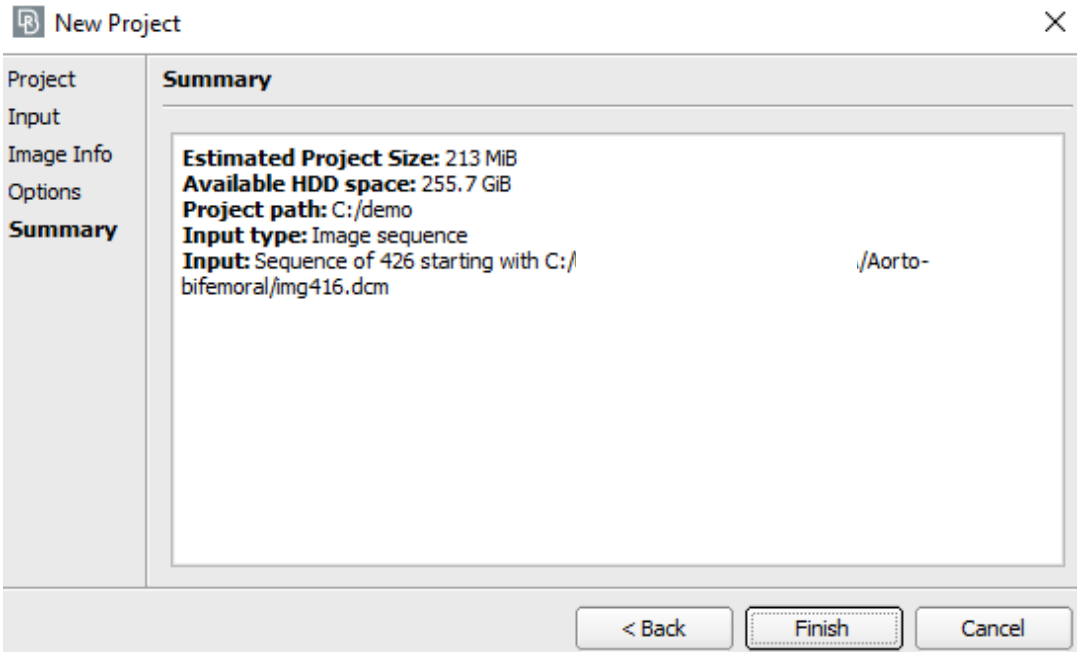
Εικόνα 11 Δημιουργία Έργου

Στο τελευταίο βήμα συμπλήρωσης στοιχείων πρέπει να επιλεχθεί αν θα εκτελεστεί η εργασία του προγράμματος στην μνήμη ή στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Αν το μέγεθος των δεδομένων προς επεξεργασία είναι σχετικά μικρά (σε σύγκριση με τη διαθέσιμη μνήμη) συνιστάται η εργασία στη μνήμη για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του Retomo. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως η επιλογή αυτή δεν μπορεί να αλλάξει από την στιγμή που θα ολοκληρωθεί η διαδικασία δημιουργίας έργου. Για αυτόν τον λόγο αναφέρει στο παράθυρο την ελάχιστη χωρητικότητα του αρχείου που απαιτείται. Πατώντας το επόμενο ολοκληρώνεται η διαδικασία συμπλήρωση στοιχείων.



Εικόνα 12 Δημιουργία Έργου

Το τελευταίο παράθυρο δείχνει ανακεφαλαιωτικά κάποιες πληροφορίες για το αρχείο. Με αυτόν τον τρόπο δίνει την δυνατότητα για οποιαδήποτε αλλαγή. Η διαδικασία δημιουργίας έργου ολοκληρώνεται πατώντας το Τέλος (Finish).



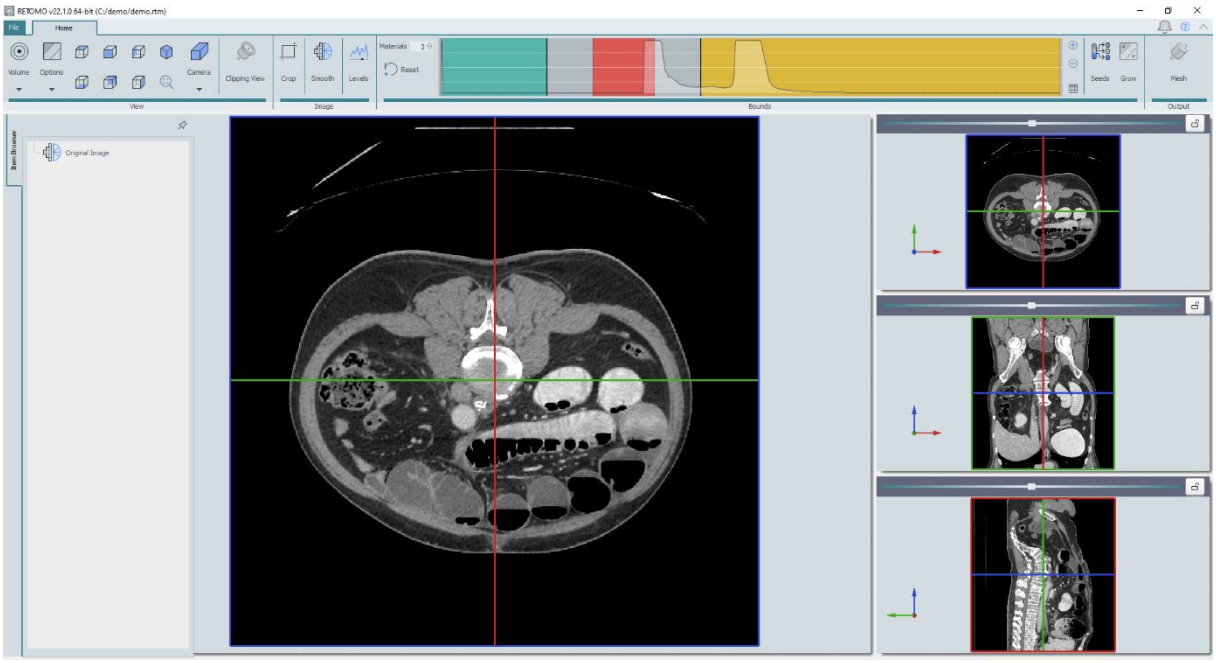
Εικόνα 13 Δημιουργία Έργου

7.3. Αρχική Επεξεργασία

Ολοκληρώνοντας την διαδικασία εισαγωγής δεδομένων στο πρόγραμμα, το μοντέλο απεικονίζεται τρισδιάστατα στην κεντρική οθόνη. Το μοντέλο της κεντρικής οθόνης μπορεί να μετακινηθεί με τους παρακάτω τρόπους.

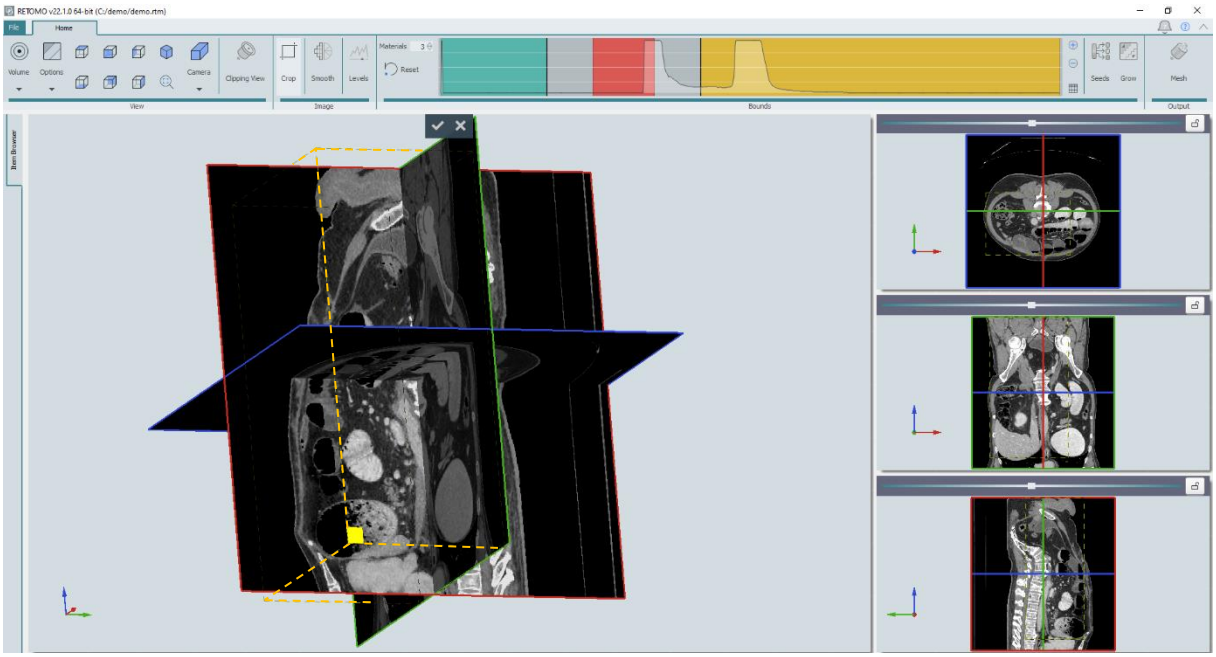
- Τρισδιάστατη Περιστροφή: Πατώντας το πλήκτρο Έλεγχο (Ctrl) και το αριστερό κουμπί του ποντικιού το μοντέλο περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, ο οποίος είναι κάθετος προς την κίνηση του ποντικιού που βρίσκεται στο επίπεδο της οθόνης.
- Περιστροφή: Πατώντας το πλήκτρο Έλεγχο (Ctrl) και το δεξί κουμπί του ποντικιού το μοντέλο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα, ο οποίος είναι κάθετος προς την κίνηση του ποντικιού.
- Μεταφορά: Πατώντας το πλήκτρο Έλεγχο (Ctrl) και το μεσαίο κουμπί του ποντικιού το μοντέλο μεταφέρεται με την κίνηση του ποντικιού.
- Μεγέθυνση/Σμίκρυνση: Κυλώντας το μεσαίο κουμπί του ποντικιού το μοντέλο μεγεθύνεται ή αντίστοιχα σμικρύνεται.

Με την βοήθεια του χειριστηρίου προβολής της τομής και ρυθμίζοντας τους άξονες είναι εύκολο να εντοπιστεί η αορτή. Η αορτή εντοπίστηκε σε όλες τις όψεις του μοντέλου καθώς το ανθρώπινο σώμα δεν είναι συμμετρικό.



Εικόνα 14 Η Αρχική Εικόνα της Αξονικής Τομογραφίας μέσα από το πρόγραμμα

Αφού εντοπιστεί η αορτή και οριστεί το τμήμα που θα μοντελοποιηθεί, με την βοήθεια του εργαλείου περικοπής (Crop) η περιοχή αυτή απομονώνεται. Επειδή η περικοπή γίνεται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, υπάρχει η δυνατότητα ,γυρίζοντας το μοντέλο κατά την διάρκεια της περικοπής, να περισκοπούν όλες οι όψεις ταυτόχρονα. Η περικοπή μπορεί να επαναληφθεί μέχρι το μοντέλο να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο. Σε περίπτωση που η περικοπή θα πρέπει να αναιρεθεί, θα πρέπει να διαγραφεί η Περικομμένη Εικόνα (Cropped Image) από το πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων.



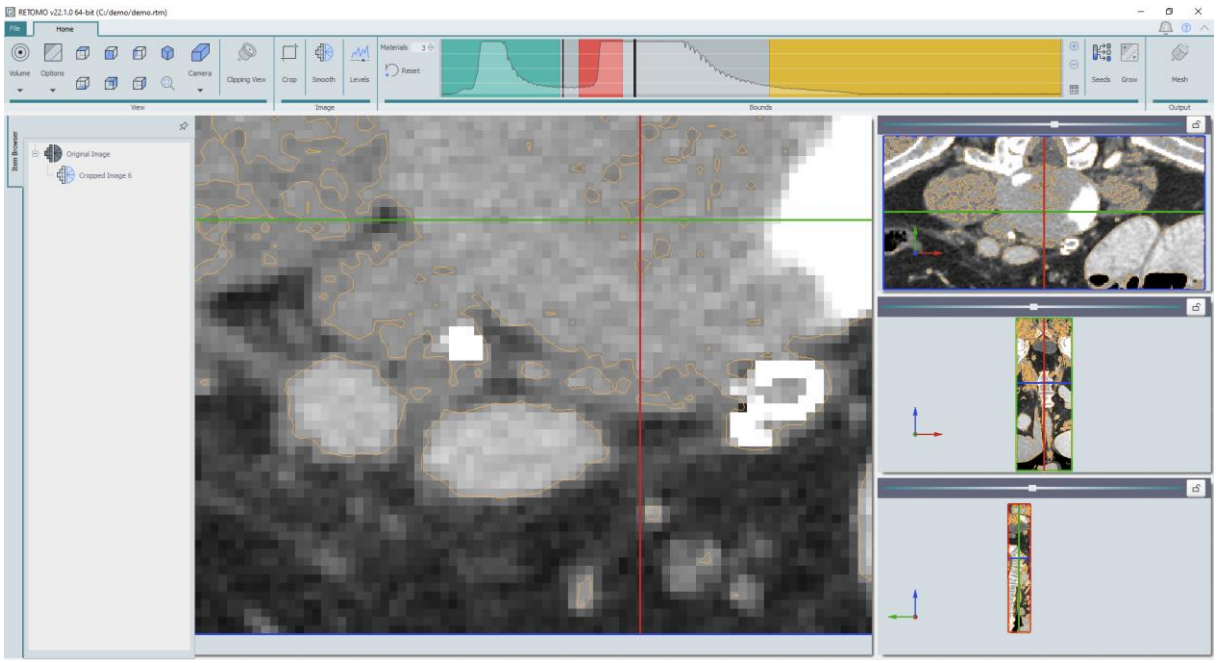
Εικόνα 15 Απομόνωση Αορτής με την βοήθεια της Περικοπής

7.4. Αυτόματη Κατάτμηση των υλικών

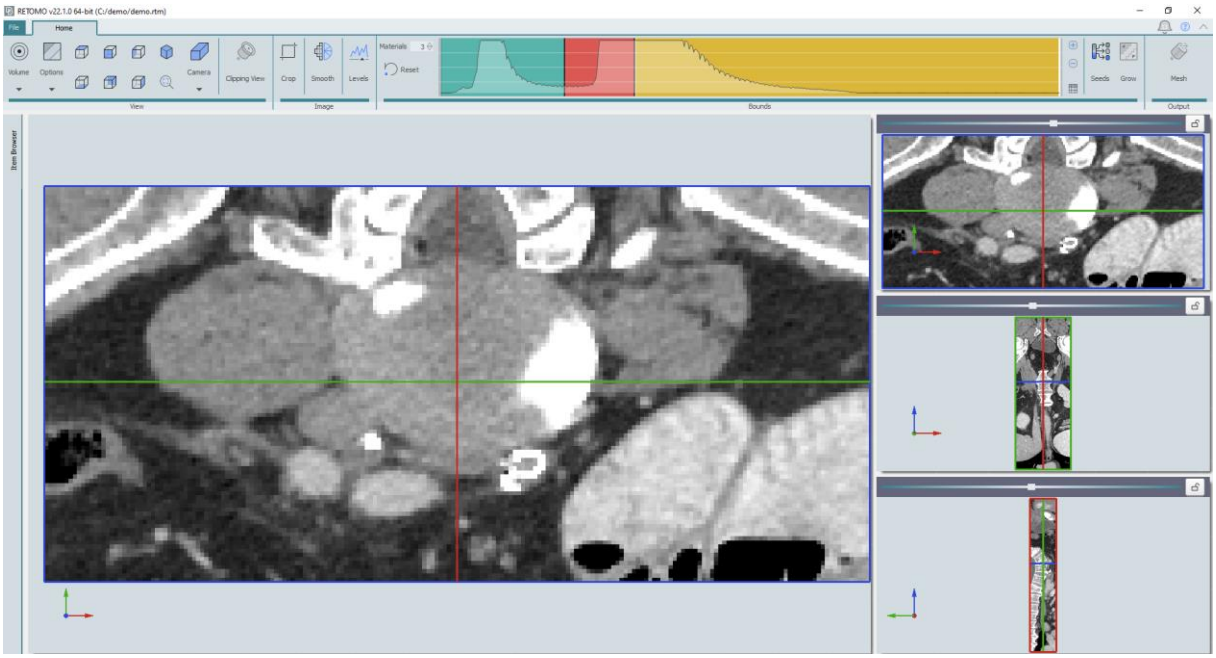
7.4.1. Προσαρμογή των ορίων στο Ιστόγραμμα

Για την κατάτμηση των υλικών (materials) θα πρέπει να προσδιοριστούν τα όρια (thresholds) στο Ιστόγραμμα (Histogram). Έπειτα από την εισαγωγή δεδομένων, το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται τα υλικά με βάση την φωτεινότητα τους. Στο συγκεκριμένο μοντέλο το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται τρία διαφορετικά υλικά. Στο ιστόγραμμα το μπλε αντιστοιχεί στα σκούρα ογκοστοιχεία εικόνας, το κόκκινο στα λιγότερο σκούρα, και το κίτρινο στα φωτεινά.

Για να οριστούν τα όρια θα πρέπει να μετακινηθούν οι δύο μαύρες γραμμές του Ιστογράμματος. Καλό είναι να έχουν ρυθμιστεί οι χειριστές προβολής των τομών σε κάποιο σημείο που φαίνεται καθαρά η αορτή ώστε τα όρια να προσαρμοστούν πάνω στην αορτή. Η αριστερή μαύρη γραμμή θα πρέπει να ορίζει τα σκούρα τμήματα και η δεξιά τα πιο φωτεινά. Στην ουσία σε αυτό το σημείο ορίζεται η αυστηρότητα των ορίων ανάμεσα στα υλικά.



Εικόνα 16 Η προσαρμογή των ορίων στο Ιστόγραμμα

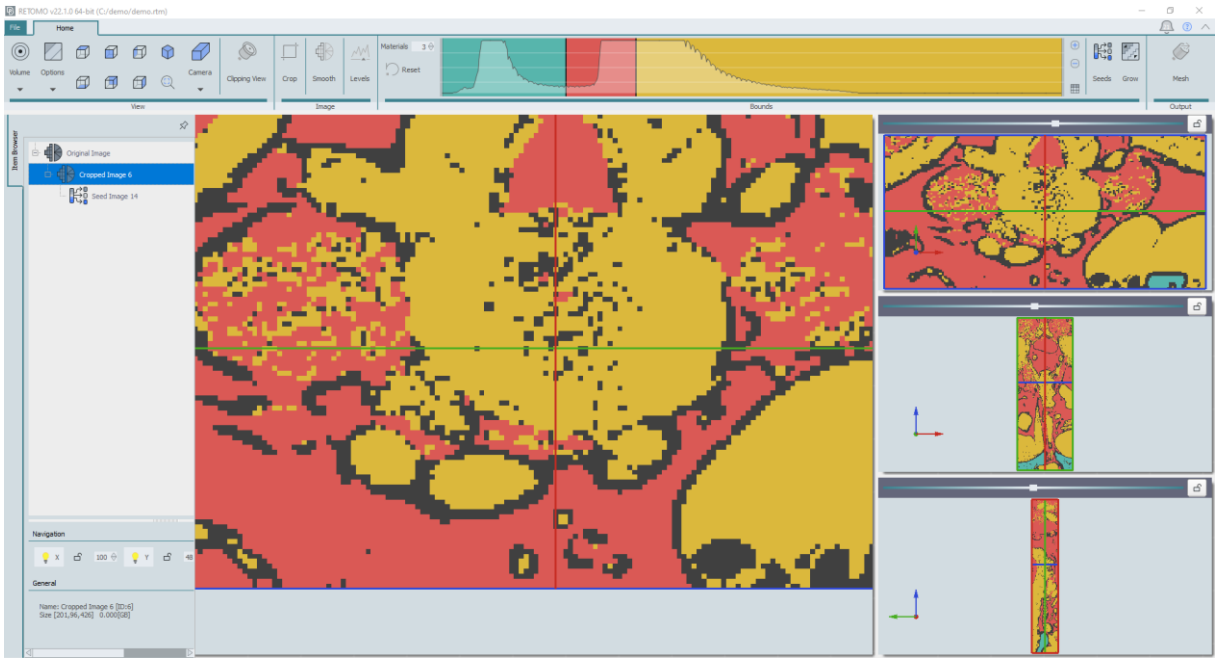


Εικόνα 17 Το Ιστόγραμμα με διευρυμένο το εύρος ανάπτυξης

Τέλος πρέπει να διευρυνθεί το εύρος ανάπτυξης (seed ranges) έως τις δύο γραμμές.

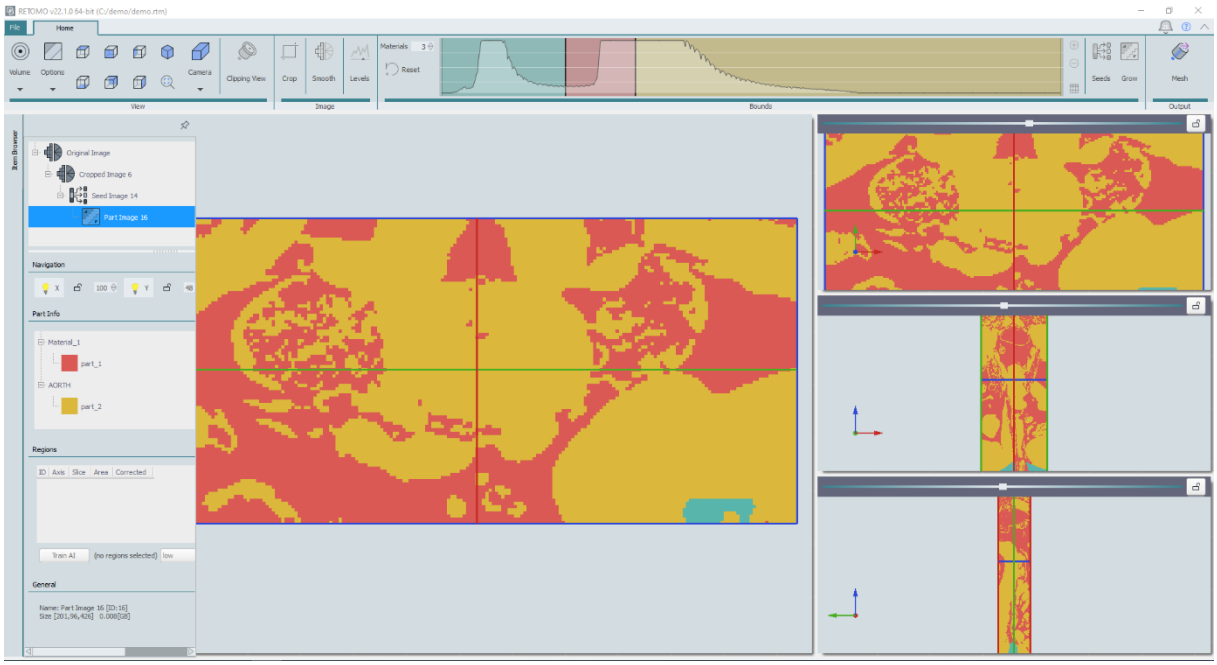
7.4.2. Αυτόματη Κατάτμηση

Πατώντας την εντολή Σπόροι (Seeds) ενεργοποιείται ένας αλγόριθμος για την ταυτοποίηση των υλικών. Ο αλγόριθμος αυτός στηρίζεται στο προσαρμοσμένο πλέον Ιστόγραμμα και μετατρέπει όλα τα ογκοστοιχεία εικόνας σε μπλε κόκκινο και κίτρινο χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ευκολότερη η παρατήρηση κάθε ογκοστοιχείου και των ορίων ανάμεσα στα υλικά. Παρατηρείται ότι η αορτή περιλαμβάνεται στα ογκοστοιχεία με το κίτρινο χρώμα.



Εικόνα 18 Η πρώτη κατάτμηση των υλικών από το πρόγραμμα

Όπως φαίνεται στην κεντρική οθόνη υπάρχουν κάποια ογκοστοιχεία εικόνας τα οποία είναι σε μαύρο χρώμα. Αυτό συμβαίνει διότι το πρόγραμμα δεν κατάφερε να τα ταξινομήσει. Πατώντας την εντολή Ανάπτυξη (Grow) το πρόγραμμα επεκτείνει την κατάτμηση των υλικών και ταυτοποιεί όλα τα ογκοστοιχεία προσεγγιστικά.

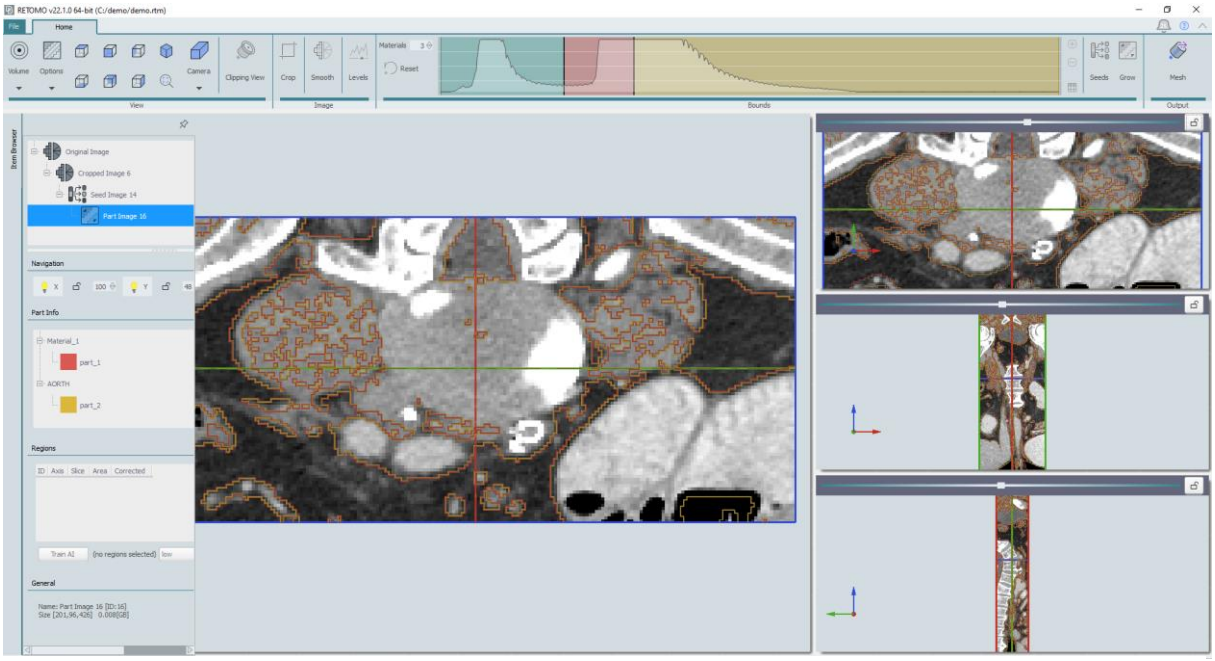


Εικόνα 19 Τελικό Αποτέλεσμα της Αυτόματης Κατάτμησης

Ολοκληρώνοντας την διαδικασία της Αυτόματης Κατάτμησης των υλικών, στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων έχουν δημιουργηθεί σε μορφή διαγράμματος όλα τα βήματα της επεξεργασίας καθώς και καρτέλες για τα υλικά στις Πληροφορίες των Υλικών (Part Info). Επειδή η αορτή απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα υπάρχει η δυνατότητα η καρτέλα αυτή να ονομαστεί με όνομα ‘’ΑΟΡΤΗ’’.

7.5. Χειροκίνητη Κατάτμηση των υλικών

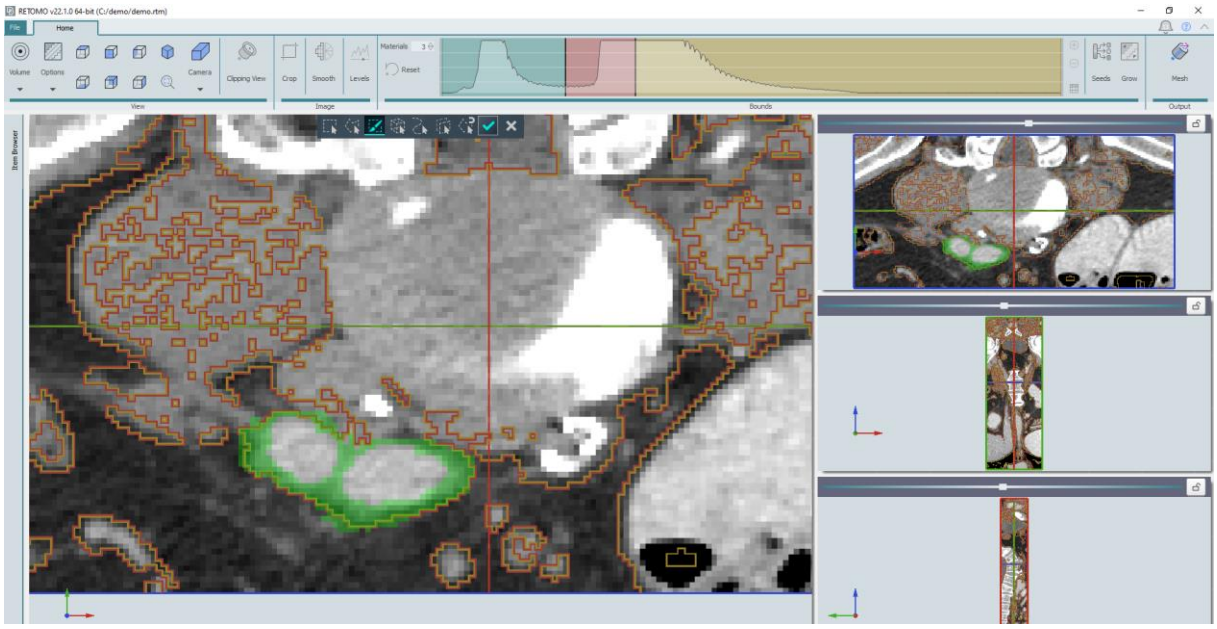
Για να ελεγχθεί η Αυτόματη Κατάτμηση πρέπει να επιλεχθεί η εντολή από τις Επιλογές (Options) το Περίγραμμα (Outline). Με την εντολή αυτή φαίνονται τα όρια των ταξινομημένων στοιχείων πάνω στην αξονική τομογραφία. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα το πρόγραμμα έχει αρκετές αστοχίες στην κατάτμηση των ογκοστοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, τα όρια των δύο λαγόνιων είναι αρκετά διευρυμένα.



Εικόνα 20 Απεικόνιση Περιγράμματος Ορίων

Μέσα από τις καρτέλες των υλικών στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων υπάρχει η δυνατότητα τα ογκοστοιχεία εικόνας να ''αλλάξουν'' καρτέλα δηλαδή να μετατραπούν σε άλλο υλικό. Πιο συγκεκριμένα, κάνοντας δεξί κλικ την κίτρινη καρτέλα και επιλέγοντας την εντολή Νέο από τα Επιλεγμένα (New from selected) υπάρχει η δυνατότητα συλλογής των ογκοστοιχείων και συγχώνευσης τους με κάποια άλλη καρτέλα. Η διαδικασία αυτή γίνεται στην κίτρινη καρτέλα καθώς υπάρχουν περιττά ογκοστοιχεία στα όρια της αορτής.

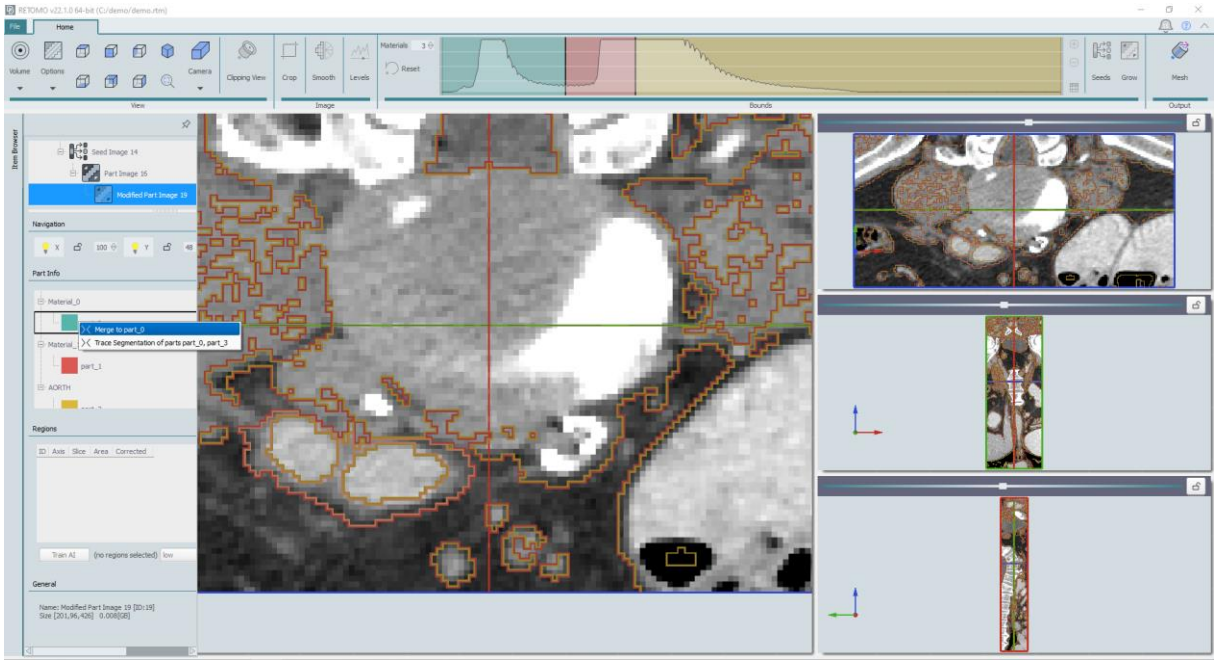
Έπειτα από την επιλογή αυτής της εντολής, το πρόγραμμα δίνει κάποιες επιλογές για τον τρόπο συλλογής των ογκοστοιχείων εικόνας. Επειδή η συλλογή των ογκοστοιχείων, τα οποία δεν είναι μέρος της αορτής, βρίσκονται περιμετρικά των λαγονίων συνιστάται η συλλογή των ογκοστοιχείων μεμονωμένα και όχι μαζικά.



Εικόνα 21 Συλλογή Ογκοστοιχείων Εικόνας

Επίσης σημαντικό είναι να σημειωθεί πως την στιγμή της συλλογής των ογκοστοιχείων εικόνας θα πρέπει οι δύο άξονες να είναι απομακρυσμένοι από το σημείο αυτό καθώς μπορεί να γίνει είτε εκ παραδρομής η επιλογή λανθασμένων ογκοστοιχείων εικόνας είτε να υπάρξει δυσκολία επιλογής επάνω στους άξονες.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία συλλογής των ογκοστοιχείων δημιουργείται ένα νέο υλικό παράγωγο της καρτέλας με το όνομα ΑΟΡΤΗ. Το υλικό αυτό για να συγχωνευτεί σε κάποιο άλλο θα πρέπει να επιλεχθεί και έπειτα να μεταφερθεί σε κάποια άλλη καρτέλα. Τέλος επιλέγεται η εντολή Συγχώνευση (Merge) και το νέο υλικό απεικονίζεται πλέον με το χρώμα μπλε.



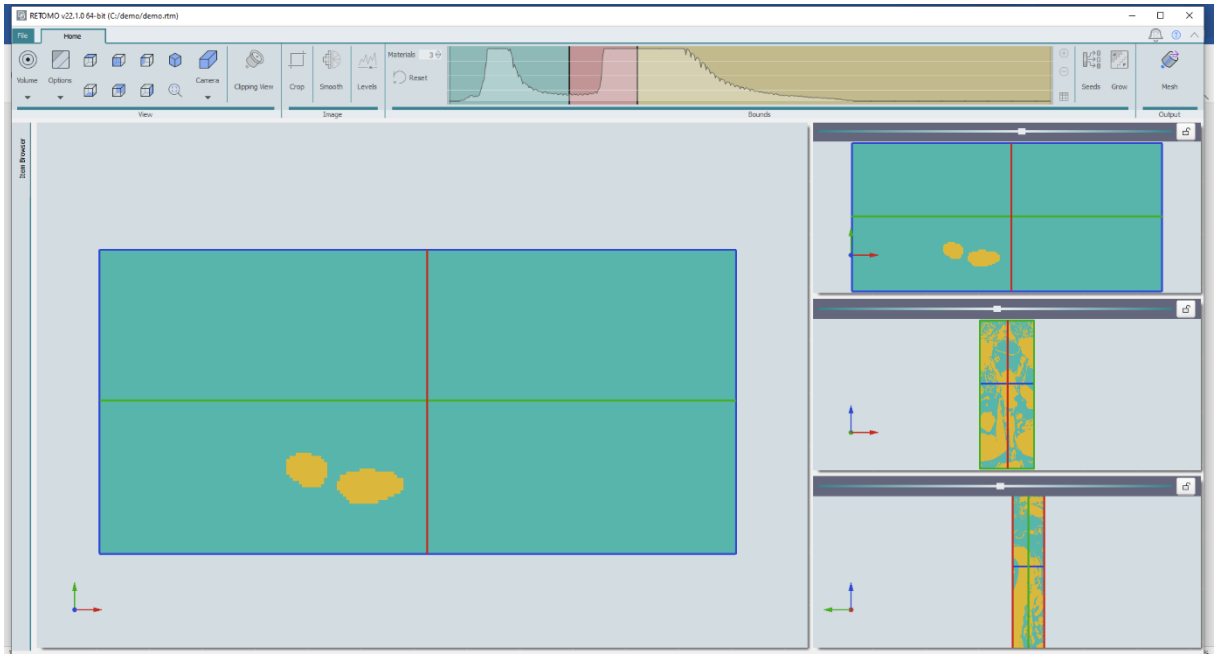
Εικόνα 22 Συγχώνευση του νέου υλικού στην μπλε καρτέλα

Η διαδικασία αυτή είναι μια αρκετά χρονοβόρα καθώς θα πρέπει να επαναληφθεί σε όλες τις αξονικές τομές του μοντέλου.

Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα της συγχώνευσης της κόκκινης καρτέλας στην μπλε ώστε ο χρήστης να κάνει πιο απλή την διαδικασία της επεξεργασίας. Με αυτόν το τρόπο ο χρήστης θα περιορίσει την αορτή στα κίτρινα ογκοστοιχεία και το υπόλοιπο περιβάλλον στο μπλε.

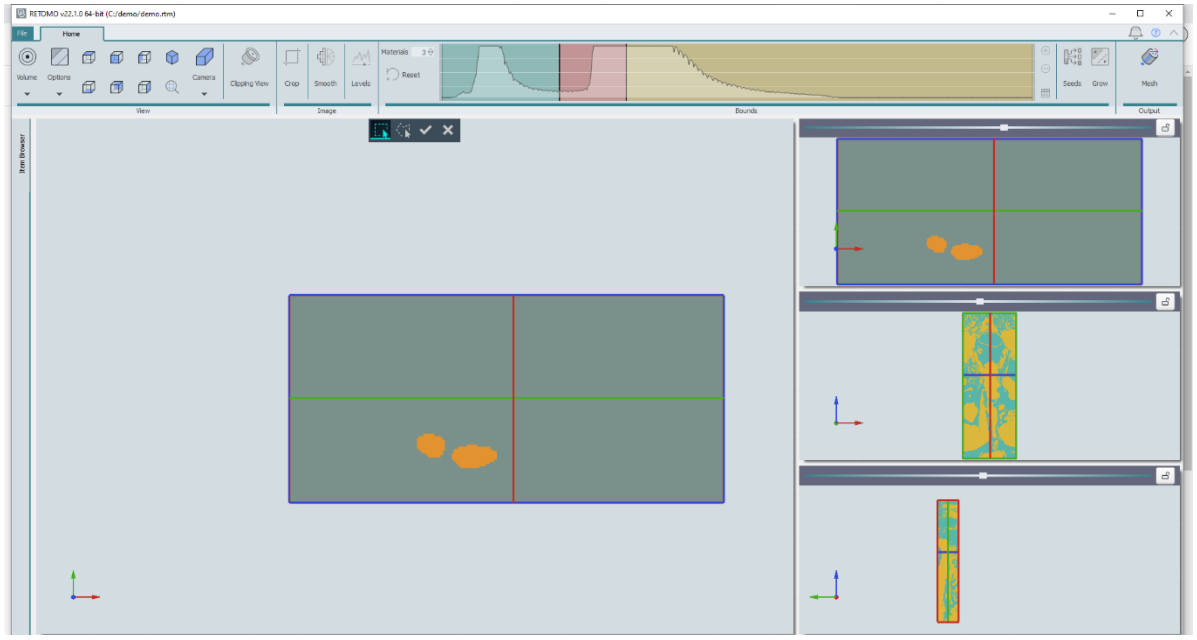
7.6. Κατάτμηση με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης

Για να γίνει η διαδικασία της κατάτμησης γρηγορότερη το πρόγραμμα χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για να αυτοματοποιήσει την χειροκίνητη κατάτμηση. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει τις αλλαγές των υλικών που έχει κάνει χειροκίνητα και το πρόγραμμα να τις περάσει και στις άλλες εικόνες αυτόματα. Το πρώτο στάδιο για την κατάτμηση των ογκοστοιχείων με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι η κατάτμηση των ογκοστοιχείων του μοντέλου χειροκίνητα σε μία αξονική τομή.



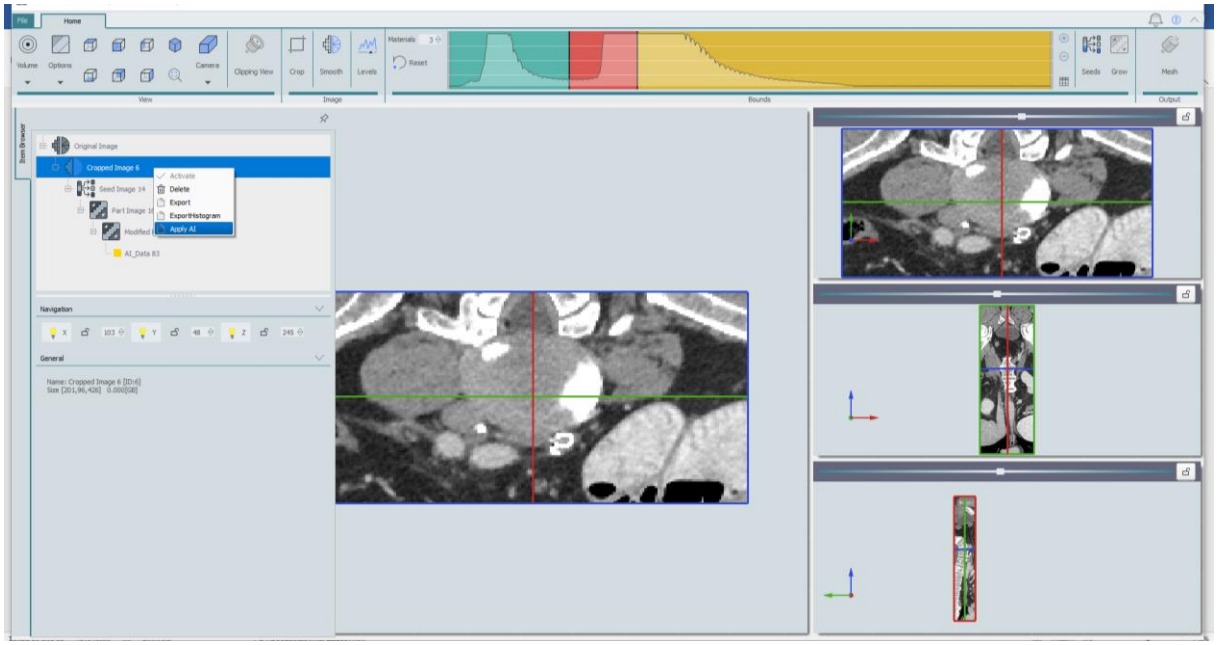
Εικόνα 23 Χειροκίνητη Κατάτμηση των ογκοστοιχείων

Έπειτα, θα πρέπει στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων και πιο συγκεκριμένα στην Περιοχή (Region) να επιλεχθεί κάνοντας δεξί κλικ η εντολή Νέα Περιοχή (New Region). Μέσα από αυτήν την εντολή θα πρέπει να συλλεχθούν τα ογκοστοιχεία εικόνας ώστε να εφαρμοστούν στην Αυθεντική Εικόνα ή στην Περικομμένη Εικόνα στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα επιλέγονται όλα τα ογκοστοιχεία εικόνας. Αυτό συμβαίνει διότι θα πρέπει και τα ογκοστοιχεία της αορτής αλλά και του περιβάλλοντος να κατατμηθούν ανάλογα. Με αυτόν τον τρόπο ο αλγόριθμος θα προσπαθήσει να επαναλάβει τις αλλαγές που επιλέχθηκαν και να τις μεταφέρει αυτόματα και στις υπόλοιπες τομές.



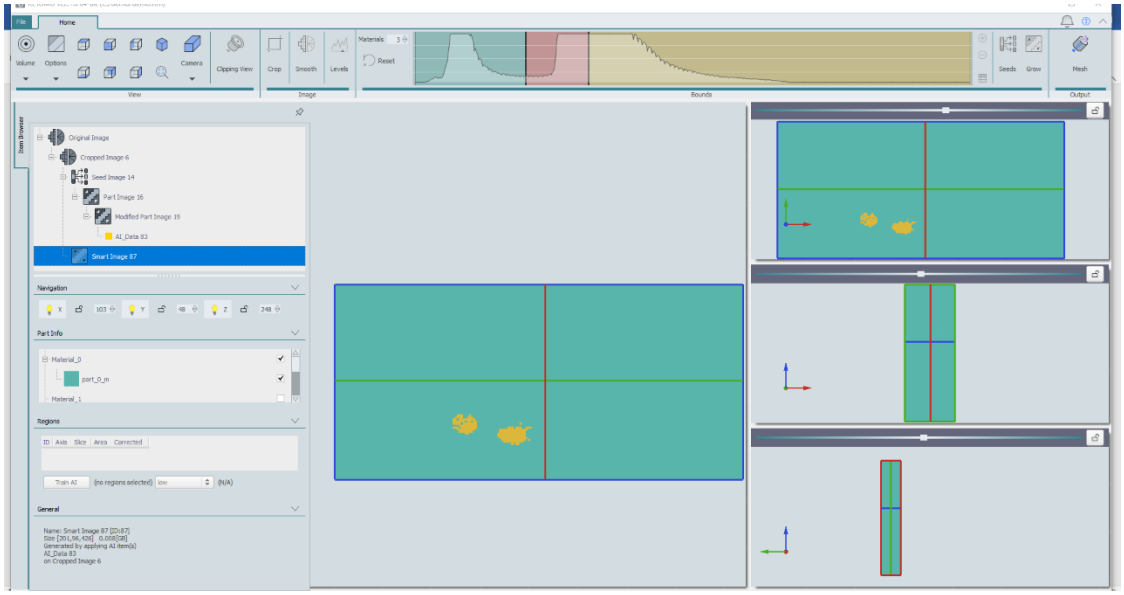
Εικόνα 24 Επιλογή Εικόνας για την Αυτόματη Κατάτμηση

Αφού πατηθεί το κουμπί επιβεβαίωσης και επιλεχθούν οι νέες περιοχές στην Περιοχή, θα πρέπει να επιλεχθεί η εντολή Άσκηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (Train AI). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα νέο στοιχείο στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων. Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή πρέπει στην Περικομμένη Εικόνα να επιλεχθεί η Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης (Apply AI).



Εικόνα 25 Εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να διορθωθούν τα όρια της αορτής και το περιβάλλον σε όλες τις εικόνες αυτόματα. Παρ ’όλα αυτά χρειάζεται αρκετή επεξεργασία ακόμα καθώς στο τέλος της επεξεργασίας θα πρέπει τα κίτρινα ογκοστοιχεία να αντιστοιχούν αποκλειστικά στην αναπαράσταση της αορτής. Για αυτόν τον λόγο η χειροκίνητη κατάτμηση και η κατάτμηση με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης θα πρέπει να επαναληφθούν αρκετές φορές.

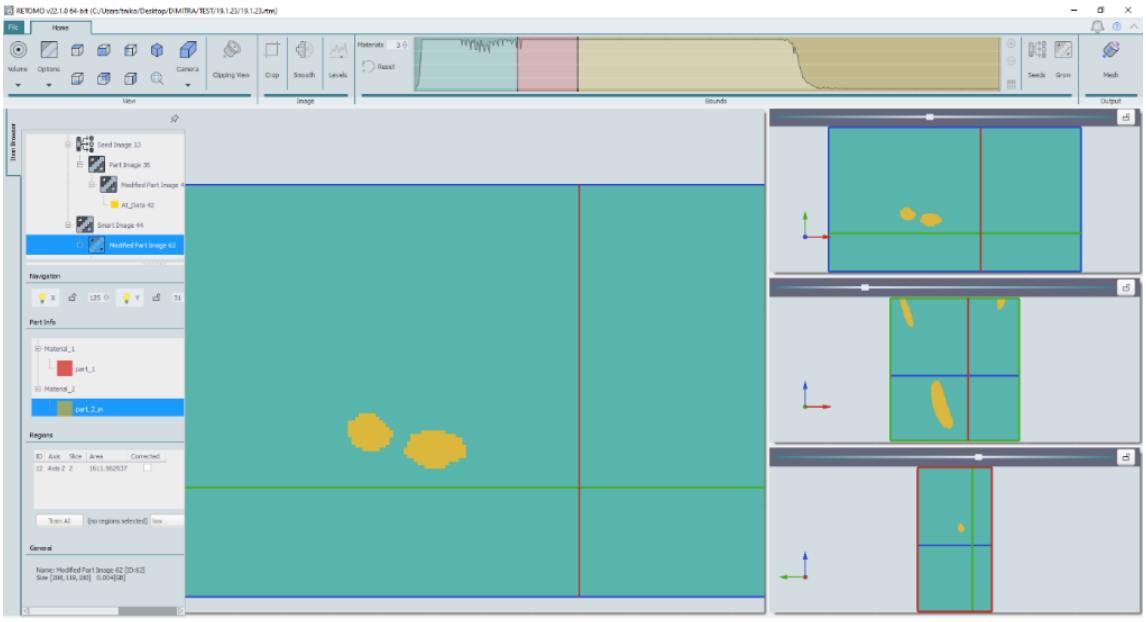


Εικόνα 26 Αποτέλεσμα Εφαρμογής Τεχνητής Νοημοσύνης

7.7. Μορφολογικό Φίλτρο

Το μορφολογικό φίλτρο είναι μια αυτόματη λειτουργία του προγράμματος η οποία επιδιορθώνει σχηματικά τα ογκοστοιχεία εικόνας. Η λειτουργία αυτή συνιστάται να γίνει αφού ολοκληρωθεί η χειροκίνητη κατάτμηση και η κατάτμηση με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης.

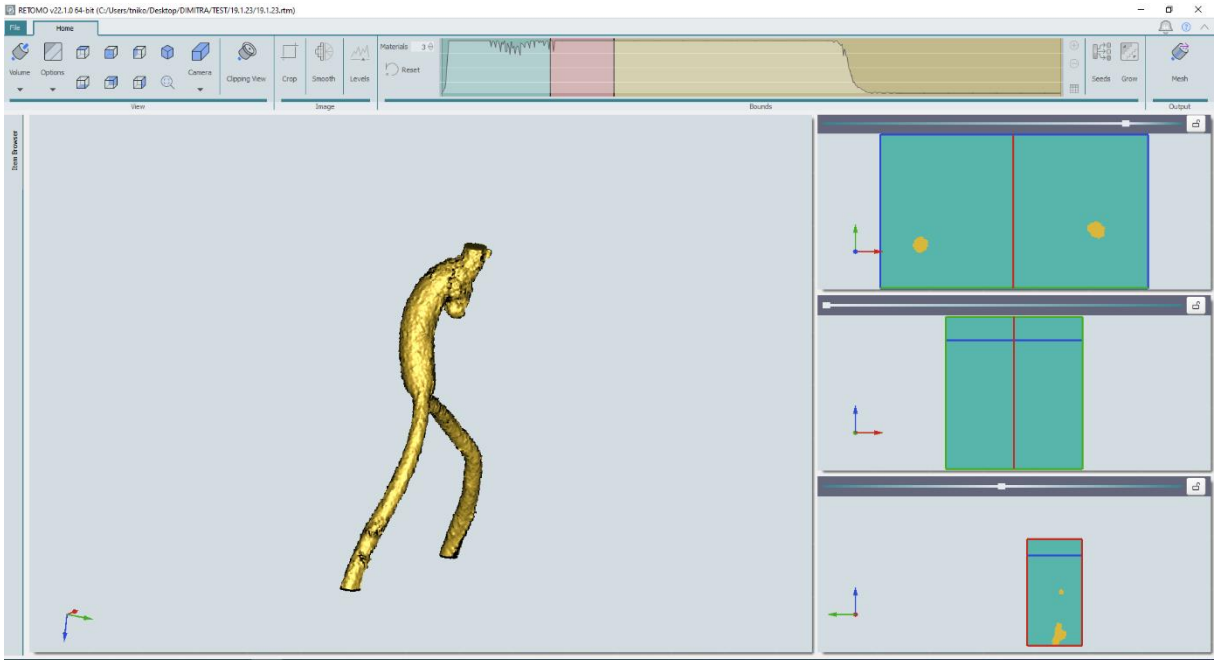
Για να ενεργοποιηθεί το μορφολογικό φίλτρο πρέπει στην επιλογή της κίτρινης καρτέλας, να επιλεχθεί η εντολή Μορφολογικό Φίλτρο (Morphological Filtering). Στο παράθυρο το οποίο ανοίγει το πρόγραμμα θα πρέπει να ρυθμιστεί Κλειστός Τύπος Λειτουργίας (Closing Operation Type) με ακτίνα ένα. Πατώντας το κουμπί επιβεβαίωσης η επεξεργασία κατάτμησης των υλικών έχει ολοκληρωθεί.



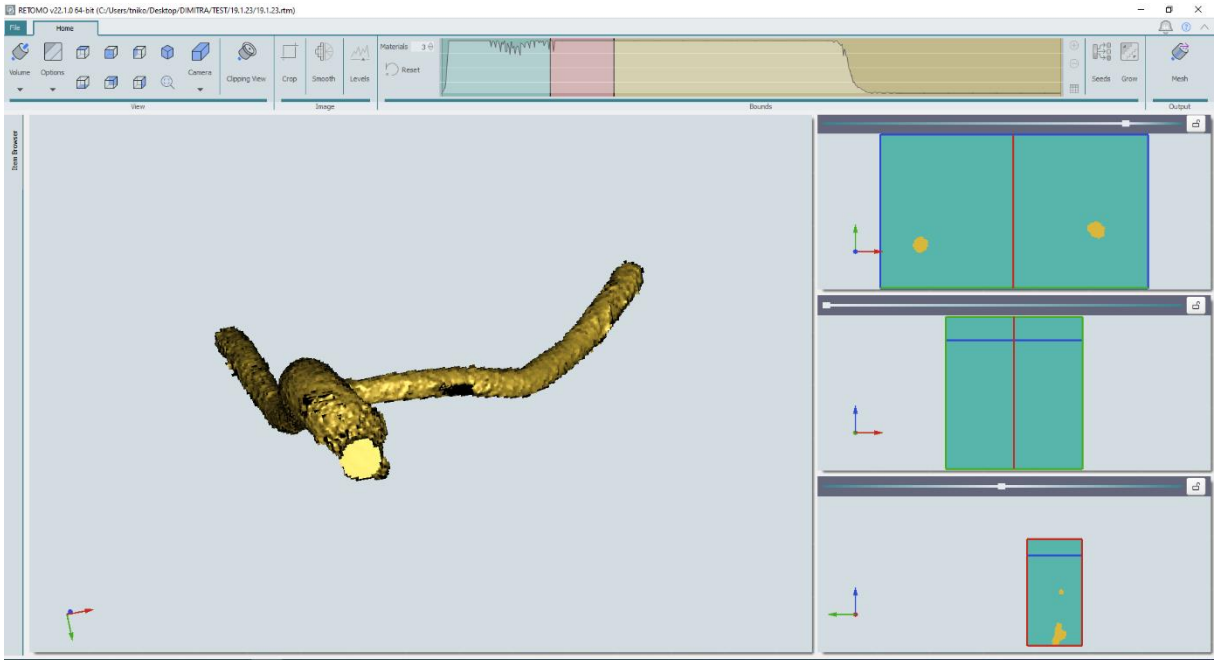
Εικόνα 27 Απεικόνιση Αορτής Μετά από Επεξεργασία

7.8. Τρισδιάστατη Αναπαράσταση

Για να αναπαρασταθεί η αορτή τρισδιάστατα θα πρέπει να επιλεχθεί το εικονίδιο Όγκος (Volume) και μία από τις επιλογές αναπαράστασης. Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα να αποκρυφθούν οι άξονες επιλέγοντας το εικονίδιο της λάμπας στην Πλοήγηση (Navigation). Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες φωτογραφίες σε αυτό το στάδιο.



Εικόνα 298 Πρώτη Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση (α)

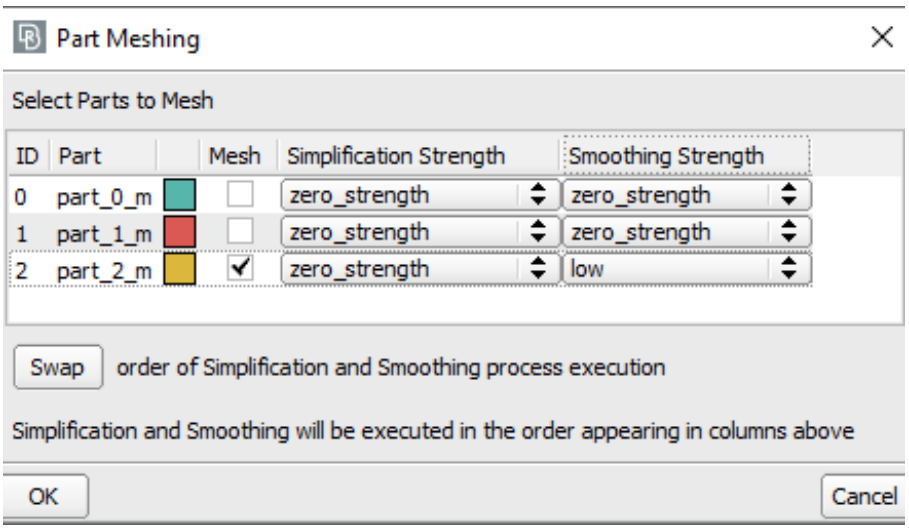


Εικόνα 289 Πρώτη Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση (β)

Το στάδιο αυτό δίνει την δυνατότητα για την διόρθωση τυχόν αστοχιών μέσα από την συνολική εικόνα.

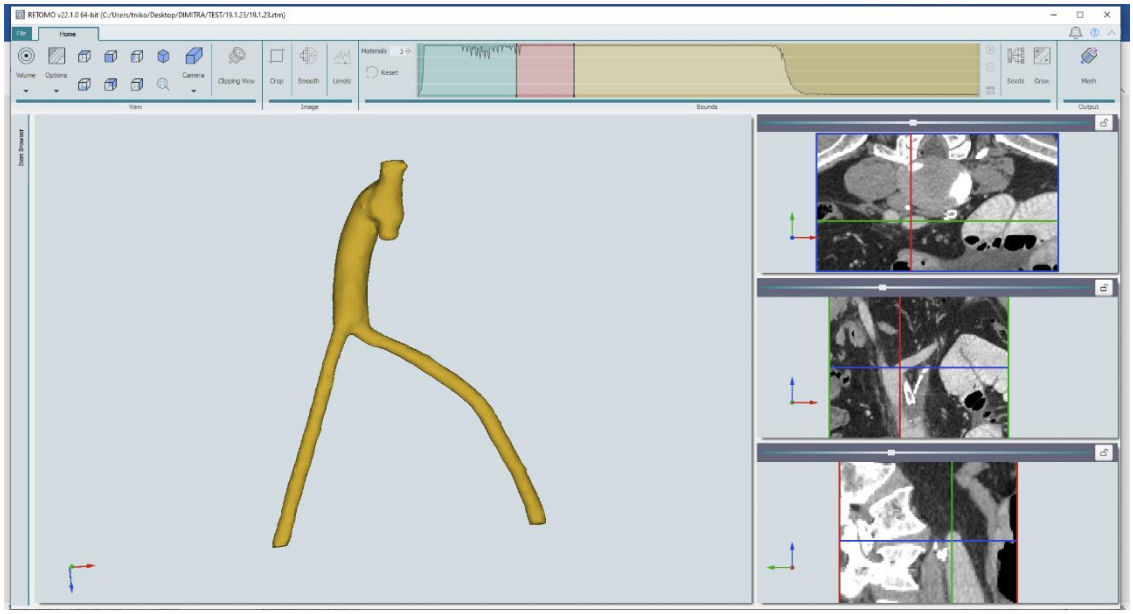
7.9. Δημιουργία Πλέγματος (STL)

Αφού τελειοποιηθεί το στάδιο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, μπορεί να υλοποιηθεί η δημιουργία του πλέγματος. Πατώντας την εντολή Πλέγμα (Mesh) εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο. Το παράθυρο αυτό δίνει την δυνατότητα επιλογής για το ποιο από τα τρία υλικά θα δημιουργηθεί πλέγμα, το ποσοστό της απλοποίησης και της λείανσης. Σε αυτό το στάδιο έχουν επιλεχθεί μόνο τα κίτρινα ογκοστοιχεία τα οποία αντιστοιχούν στα ογκοστοιχεία της αορτής και ένα χαμηλό ποσοστό λείανσης της αορτής.

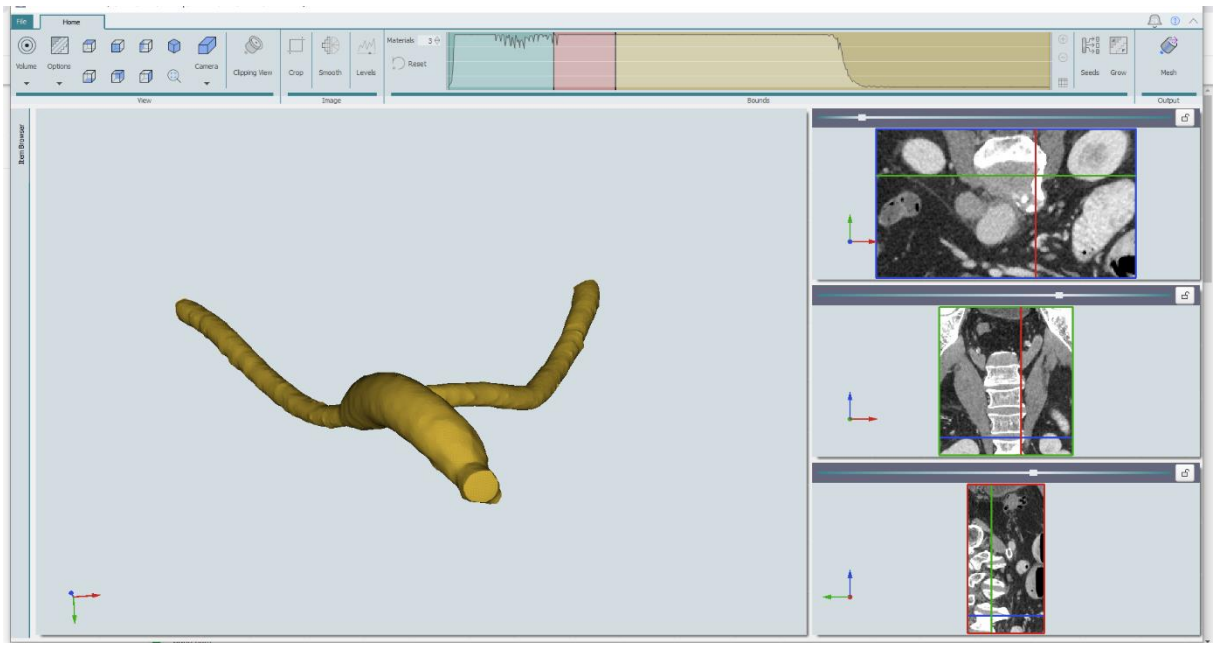


Εικόνα 30 Παράθυρο ρυθμίσεων Πλέγματος

Πατώντας το κουμπί επιβεβαίωσης αναπαρίσταται το τελικό αποτέλεσμα της μοντελοποίησης της αορτής.



Εικόνα 31 Τελικό Αποτέλεσμα Αορτής (α)



Εικόνα 32 Τελικό Αποτέλεσμα Αορτής (β)

8. Δυσκολίες στο Πρόγραμμα

Το πρώτο πρόβλημα που προέκυψε κατά την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας είναι ότι ο υπολογιστής δεν μπορούσε να αντέξει την επεξεργασία του αρχείου. Στην δημιουργία του Έργου το πρόγραμμα αναγράφει την χωρητικότητα της μνήμης και του Σκληρού Δίσκου που προαπαιτεί το αρχείο ώστε να έχει την μέγιστη απόδοση σε όλο το φάσμα της επεξεργασίας. Ο φορητός υπολογιστής στον οποίο ξεκίνησε η επεξεργασία του αρχείου πληρούσε τις προϋποθέσεις αυτές και το αρχείο άνοιγε με σχετική ευκολία. Παρόλα αυτά σε κάθε εντολή το πρόγραμμα ανταποκρινόταν με μεγάλη δυσκολία και πολλές φορές έκλεινε. Κατά την επικοινωνία με του υπεύθυνους του Προγράμματος, αναφέρθηκε πως ο υπολογιστής οριακά μπορεί να τρέξει όλες τις λειτουργίες του RETOMO και για αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε η εγκατάσταση του προγράμματος σε σταθερό υπολογιστή με καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Ένα δεύτερο πρόβλημα παρουσιάστηκε όταν, μετά από την φόρτωση του αποθηκευμένου αρχείου, τα επίπεδα φωτεινότητας ήταν απορυθμισμένα. Η ρύθμιση της φωτεινότητας του αρχείου δεν είναι κάτι το οποίο ο χρήστης πρέπει να ρυθμίσει καθώς γίνεται αυτόματα κατά την δημιουργία του Έργου. Η αλλαγή στα επίπεδα της φωτεινότητας προκαλούσε μεγάλο πρόβλημα στην κατάτμηση των ογκοστοιχείων εικόνας διότι μέσα από την φωτεινότητα και την αντίθεση μεταξύ τους πραγματοποιείται η σωστή οριοθέτηση της αορτής. Σε επικοινωνία μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου οι υπεύθυνοι ζητούν τα ακριβή στοιχεία της έκδοσης του προγράμματος και το αποθηκευμένο αρχείο. Αφού πέρασε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα κανονίστηκε μία διαδικτυακή συνάντηση στην οποία διαπιστώθηκε ότι η έκδοση αυτή απορυθμίζει τα επίπεδα φωτεινότητας και δεν είχε υποπέσει στην

αντίληψη τους. Για το αρχείο λοιπόν μου προτάθηκε, με επιφύλαξη, η χειροκίνητη ρύθμιση της φωτεινότητας σε κάθε ένα στάδιο της αρχικής επεξεργασίας. Αναλυτικότερα, πρέπει σε κάθε φόρτωση του αποθηκευμένου αρχείου να γίνεται ανασκόπηση στο πρόγραμμα περιήγησης στοιχείων και να ρυθμίζεται η φωτεινότητα σε κάθε ένα στάδιο της Αρχικής επεξεργασίας. Η ρύθμιση αυτή βρίσκεται στην ομάδα λειτουργιών πατώντας την εντολή Επίπεδα (Levels). Οι τιμές που συμπληρώνονται στα κελιά είναι οι αρχικές τιμές με τις οποίες το πρόγραμμα άνοιξε για πρώτη φορά το αρχείο.

9. Μοντελοποίηση Ροής

Για την μοντελοποίηση ροής θα εισαχθεί το πλέγμα (CFD) του αορτικού διχασμού και έπειτα με το πρόγραμμα Tecplot 360 θα γίνουν οι υπολογισμοί για την στατική πίεση (Pa), TAWSS (Pa), OSI, RRT (Pa^{-1})

9.1 Εισαγωγή στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Η μοντελοποίηση ροής χρησιμοποιεί την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ώστε να αναλύσει με ακρίβεια, τις δυνάμεις και τις πιέσεις σε κάθε σημείο του αορτικού διχασμού. Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη βασική έννοια των μεθόδων υπολογιστικής μηχανικής, αριθμητικής ανάλυσης και υπολογιστικού σχεδιασμού (Computer Aided Engineering).

Το χαρακτηριστικό της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι η χρήση δισδιάστατων και τρισδιάστατων στοιχείων για την προσομοίωση συνεχών μέσων. Μια από τις πρώτες δημοσιεύσεις στις οποίες παρουσιάσθηκε η ιδέα αυτή είναι των Turner, Clough, Martin, και Topp (1956), ορισμένα όμως χαρακτηριστικά της είχαν ήδη περιγράφει από τους Courant (1943), Hrenikoff (1941), McHenry (1943) και άλλους. Ακολούθησαν πολλές δημοσιεύσεις την περίοδο 1954-60.[(12)]

9.2 Εφαρμογή των πεπερασμένων στοιχείων

Αφού ολοκληρωθεί η δημιουργία της γεωμετρίας και του πλέγματος του αορτικού διχασμού θα πρέπει να εισαχθούν και κάποια στοιχεία επίλυσης όπως οι διαφορικές εξισώσεις που απαιτούνται και οι συνοριακές συνθήκες.

Η μοντελοποίηση ροής θα πραγματοποιηθεί σε μορφή χρωματικής κλίμακας επάνω στο μόσχευμα. Στην χρωματική κλίμακα χρησιμοποιείται με μπλε χρώμα οι μικρότερες τιμές πίεσης του αίματος και με κόκκινο οι μεγαλύτερες.

Το αίμα διαμορφώνεται ως ομοιογενές, ασυμπίεστο και μη νευτώνειο ρευστό. Όλες οι προσομοιώσεις εκτελούνται με την επίλυση των τρισδιάστατων εξισώσεων Navier-Stokes και συνέχειας.[(11)]

$$\rho\left[\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U\right] = -\nabla p + \nabla \cdot \tau,$$

$$\nabla \cdot U = 0,$$

όπου τα *U*, p, *ρ* αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα, την πίεση και την πυκνότητα του ρευστού αντίστοιχα. Για τα μη νευτώνεια ρευστά που εξετάζονται εδώ, ο τανυστής τάσης εξαρτάται γραμμικά από τον τανυστή ταχύτητας παραμόρφωσης $D = [\nabla U + (\nabla U)^T]/2$[(11)]

$$\text{όπου } \tau = 2\mu(\dot{\gamma})D.$$

Επιπλέον, το ιξώδες του αίματος που εξαρτάται από την ταχύτητα διάτμησης προσδιορίζεται από το δεύτερο αμετάβλητο του τανυστή ρυθμού παραμόρφωσης, αφού[(11)]

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2}D \otimes D}$$

Οι αγγειακές ροές μπορούν στη συνέχεια να αναλυθούν ως προς τις αιμοδυναμικές παραμέτρους του πλησίον τοιχώματος σε ολόκληρο τον καρδιακό κύκλο, T, όπως η διατμητική τάση τοιχώματος (WSS) και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μετρήσεις της, η μέση χρονική διατμητική τάση τοιχώματος (TAWSS, Pa), η ταλαντωτική διάτμηση δείκτης (OSI) και ο σχετικός χρόνος παραμονής (RRT, Pa^{-1}). Έστω ότι το WSS αντιπροσωπεύει το διάνυσμα WSS, που ορίζεται ως το γινόμενο κουκίδων του κανονικού διανύσματος προς τα έξω μονάδα σε μια επιφάνεια με τον τανυστή τάσης. τότε, το TAWSS εκφράζεται ως εξής[(11)]

$$TAWSS = \frac{1}{T}\int_0^T |WSS| dt.$$

Παρόλο που το TAWSS ποσοτικοποιεί την εφαπτομενική δύναμη στο τοίχωμα του μοσχεύματος λόγω της ροής του αίματος ως το μέσο μέγεθος της διατμητικής τάσης, δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με τη μεταβαλλόμενη συχνότητα της διεύθυνς ης WSS. Για να περιγράψει την ταλαντωτική φύση των ροών, εισάχθηκε το μη διαστατικό OSI, το οποίο έχει διατυπωθεί ως[(11)]

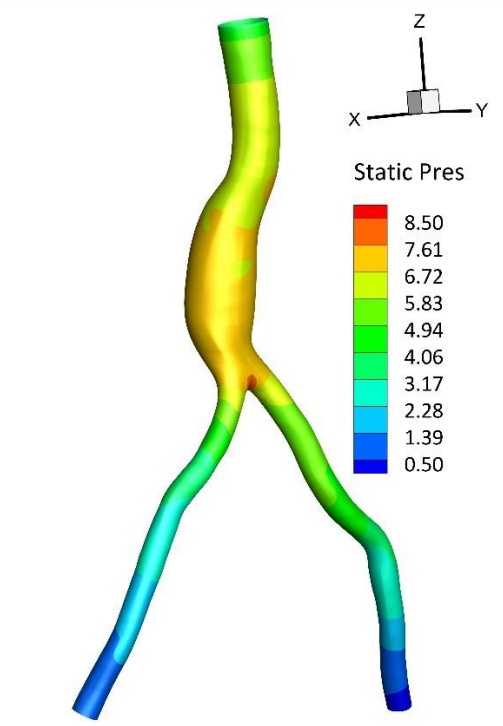
$$OSI = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\left|\int_0^T WSS\, dt\right|}{\int_0^T |WSS| dt}\right),$$

με 0 ≤ OSI ≤ 0,5. Οι ροές που χαρακτηρίζονται από μη κυκλική διακύμανση στο WSS, όπως οι μονοαξονικές ροές, αντιστοιχούν σε OSI = 0, ενώ οι ροές χωρίς προτιμώμενη κατεύθυνση, όπου ο μέσος όρος χρόνου του στιγμιαίου WSS εξαφανίζεται, αποδίδουν OSI = 0,5. Τέλος, ο Himburg εισήγαγε το RRT ως προς τους δύο προηγούμενους αιμοδυναμικούς δείκτες όπως[(11)]

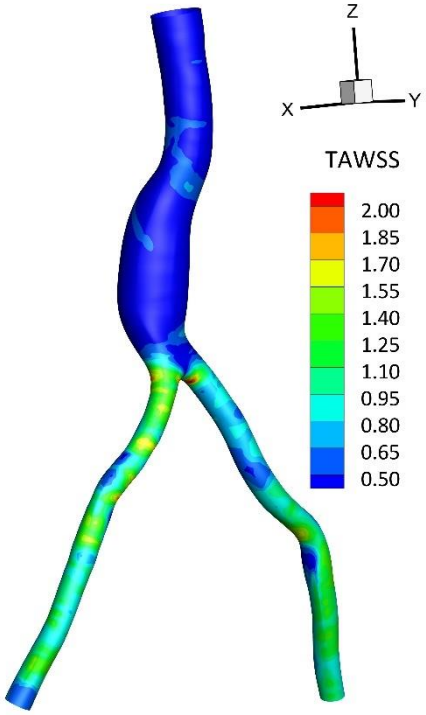
$$RRT = \frac{1}{(1 - 2 \cdot OSI) \cdot TAWSS}.$$

Το RRT προσδιορίζει περιοχές υψηλού χρόνου παραμονής σωματιδίων εντός της περιοχής ρευστού. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προαναφερθείσες μετρήσεις έχουν συσχετιστεί με διάφορες νοσηρές καταστάσεις, όπως περιβάλλοντα θρομβογόνου διέγερσης για TAWSS < 0,4 Pa, OSI > 0,3 και RRT > 10 Pa^{-1}.[(11)]

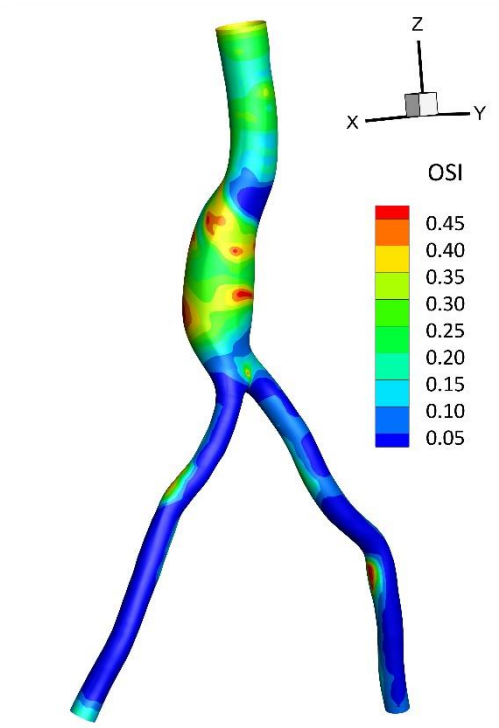
Παρακάτω αναπαρίστανται εικόνες από τα διαγράμματα της στατικής πίεσης, TAWSS, OSI και RRT αντίστοιχα.



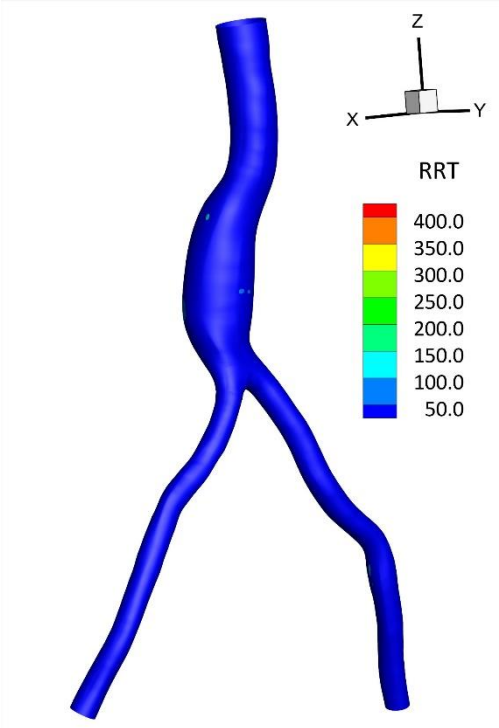
Εικόνα 33 Μοντελοποίηση ροής της στατικής πίεσης του μοσχεύματος



Εικόνα 34 Μοντελοποίηση ροής TAWSS του μοσχεύματος



Εικόνα 35 Μοντελοποίηση ροής OSI του μοσχεύματος



Εικόνα 36 Μοντελοποίηση ροής RRT του μοσχεύματος

10. Επίλογος – Συμπεράσματα

Η αορτή είναι ένα από τα μεγαλύτερα αγγεία στο σώμα καθώς ξεκινάει από την καρδιά, περνάει από τον θώρακα και το στομάχι και στο τέλος διαχωρίζεται καταλήγοντας στα δύο κάτω άκρα. Ο ασθενής του οποίου, η αορτή μοντελοποιήθηκε, έχει διαγνωστεί με αθηροσκλήρωση στο τμήμα της κοιλιακής αορτής και χειρουργηθεί. Το χειρουργείο στο οποίο υποβλήθηκε ο ασθενής ακολούθησε την διαδικασία αρτηριακής παράκαμψης με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί, με την βοήθεια ενός μοσχεύματος, μία νέα οδό ροής αίματος.

Για να εκτιμηθεί το αποτέλεσμα του χειρουργείο ο ασθενής υποβλήθηκε σε αξονική τομογραφία αφού πρώτα του χορηγήθηκε σκιαγραφικό μέσο. Καθώς το σκιαγραφικό, μέσω του αίματος έφτασε στην αορτή, δεν κατάφερε να διαπεράσει μέσα από την παλιά ροή αίματος. Για αυτόν τον λόγο αναπαρίσταται μόνο η καινούρια οδό ροής αίματος δηλαδή το μόσχευμα.

Το Retomo κατάφερε να εισάγει τις αξονικές τομογραφίες και να απομονώσει την αρτηρία από το υπόλοιπο σώμα. Η κύρια μέθοδο ώστε να το επιτύχει είναι η μέθοδος της κατάτμησης των ογκοστοιχείων εικόνας. Μέσα από την φωτεινότητα των ογκοστοιχείων το πρόγραμμα χωρίζει σε τμήματα τα υλικά και τα τμηματοποιεί αυτόματα. Παράλληλα ο χρήστης μπορεί χειροκίνητα να επιδιορθώσει την κατάτμηση ρυθμίζοντας το κάθε ογκοστοιχείο εικόνας σε κάθε αξονική τομογραφία. Με την βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης η διαδικασία αυτή αυτοματοποιείται και η επεξεργασία γίνεται σε πολύ λιγότερο χρόνο.

Συμπερασματικά το Retomo κατάφερε όχι μόνο να εισάγει τα δεδομένα μεγάλης χωρητικότητας αλλά και να τα ερμηνεύσει. Το πρόγραμμα παρέχει αλληλεπίδραση ροής εργασιών και σταδιακή παρακολούθηση διαθέτοντας το διάγραμμα περιήγησης στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να επέμβει με διορθωτικές ενέργειες σε όλα στα στάδια της επεξεργασίας και συγκρίνει εύκολα πολλά αποτελέσματα. Τέλος αυτό που καθορίζει καινοτόμο το πρόγραμμα, είναι η αύξηση της παραγωγικότητας. Το Retomo μπορεί να εξοικονομεί πολύτιμο χρόνο από την επεξεργασία χωρίς όμως να μειώνει την αποτελεσματικότητα του.

Η μοντελοποίηση ροής χρησιμοποιεί την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ώστε να αναλύσει με ακρίβεια, τις δυνάμεις και τις πιέσεις σε κάθε σημείο του αορτικού διχασμού. Εντάσσοντας στο πρόγραμμα Tecplot 360 τις συνοριακές συνθήκες αλλά και τις διαφορικές εξισώσεις που απαιτούνται, υπολογίστηκε και απεικονίσθηκε η μοντελοποίηση της ροής του αορτικού διχασμού.

Τέλος η μοντελοποίηση ροής πραγματοποιήθηκε επάνω στο τρισδιάστατο μόσχευμα σε χρωματική κλίμακα. Στην χρωματική κλίμακα χρησιμοποιείται με μπλε χρώμα οι μικρότερες τιμές και με κόκκινο οι μεγαλύτερες. Τα διαγράμματα αναφέρονται στην στατική πίεση, TAWSS, OSI και RRT του μοσχεύματος.

11. Βιβλιογραφία - Πηγές

1.https://www.hygeia.gr/aneyrysma-koiliakis-aortis/.

2.https://nikosparaskevas.gr/artiriakes-pathiseis/aneyrisma-koiliakis-aortis/.

3.https://www.nikosfountas.gr/blog/article.php?aid=42&article=%CE%A4%CE%B9%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%BF%20%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8D%CF%81%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CF%82.

4.https://www.youtube.com/watch?v=VRSiBkFGZIA&t=36s&ab_channel=NikolaosParaskevas.

5.https://www.youtube.com/watch?v=qtRfM7y1v7s&t=38s&ab_channel=NikolaosParaskevas.

6.file:///C:/Users/tniko/AppData/Local/Apps/BETA_CAE_Systems/retomo_v22.1.0/documentation/assets/users_guides/RETOMO_users_guide.pdf.

7.https://leriva.com/el/products-2/imaging-amp-contrast-media-2.

8.http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index3.html.

9.https://aggeiopathia.gr/el/pathiseis/pathiseis-artirion/athirosklirwsi.html.

10.https://www.hygeia.gr/sygxroni-xeiroyrgiki-antimetopisi-tis-stefaniaias-nosoy/.

11.https://www.mdpi.com/2073-8994/15/3/630.

12.http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf. 12.