ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Ταξινόμηση με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες κινδύνου των μηχανικών ιδιοτήτων από πειραματικές μετρήσεις για τη διάδοση του αορτικού διαχωρισμού τύπου-Α

Ειρήνη Κάρουλλα (Α.Μ. 02114710)

Επιβλέπων: Χρήστος Μανόπουλος, Δρ., Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Ταξινόμηση με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες κινδύνου των μηχανικών ιδιοτήτων από πειραματικές μετρήσεις για τη διάδοση του αορτικού διαχωρισμού τύπου-Α

Ειρήνη Κάρουλλα (Α.Μ. 02114710)

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την……..

(Υπογραφή)	*(Υπογραφή)*	*(Υπογραφή)*
……..	……..	……..
Χρήστος Μανόπουλος	Μαθιουλάκης Δημήτριος	Αλεξόπουλος Λεωνίδας
Δρ., Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ	Καθηγητής	Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

(Υπογραφή)

.....

Ειρήνη Κάρουλλα

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ειρήνη Κάρουλλα 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Ο αορτικός διαχωρισμός αποτελεί μια σπάνια πάθηση της ανιούσας θωρακικής αορτής επηρεάζοντας περίπου τρεις ανθρώπους ανά εκατό χιλιάδες κάθε χρόνο. Η εμφάνιση του διαχωρισμού αρχίζει όταν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από την αρτηριακή πίεση, προκαλέσουν ρωγμή στον έσω χιτώνα της αορτής με αποτέλεσμα να υπάρξει ροή του αίματος μεταξύ των στρωμάτων του αορτικού τοιχώματος. Ο συνδυασμός διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την ελαστικότητα και την αντοχή του συνολικού ή τμήματος του τοιχώματος της αρτηρίας, ευνοούν τη εξάπλωση του διαχωρισμού και δημιουργείται ο κίνδυνος ρήξης, προκαλώντας έτσι το θάνατο του ασθενούς. Το ερώτημα ωστόσο που παραμένει, είναι πως οι ιδιότητες εμφάνισης του διαχωρισμού διαφοροποιούνται ανάλογα με την ανατομική περιοχή και διεύθυνση της αορτής αλλά και ποιοι καρδιαγγειακοί παράγοντες την επηρεάζουν.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των χιτώνων της ανιούσας θωρακικής αορτής και η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αντίστοιχα των παθολογικών χιτώνων που έχουν υποστεί αορτικό διαχωρισμό και η ταξινόμηση τους με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες. Διενεργήθηκαν πειράματα αποφλοίωσης σε 15 μάρτυρες (controls) με φυσιολογική αορτή στο Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών Ακαδημίας Αθηνών (ΙΙΒΕΑΑ). Τα δείγματα των μαρτύρων πάρθηκαν από το νεκροτομείο του Λαϊκού Γενικού Νοσοκομείου Αθηνών και τελικά επεξεργάστηκαν στο Εργαστήριο Βιορευστομηχανικής και Βιοϊατρικής Τεχνολογίας του Τομέα Ρευστών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα 19 ασθενών (ATAD) με διαχωριστικό ανεύρυσμα αορτής, οι οποίοι είχαν υποβληθεί σε επέμβαση στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών Ιπποκράτειο.

Λέξεις κλειδιά: Αορτικός διαχωρισμός, Δύναμη αποφλοίωσης, Καρδιαγγειακοί παράγοντες.

Abstract

Aortic dissection is a rare condition of the ascending thoracic aorta affecting about three people in a hundred thousand each year. The aortic dissection is initiated by the forces exerted by blood pressure on the innermost layer of the aorta, forcing an injury that allows blood to flow between layers in the aortic wall. The combination of the factors that affect the elasticity and the strength of the whole or a part of the artery wall, favour the separation and the risk of rupture, thus causing the death of the patient. However, the question that still remains, is how the properties of the separation vary in regard to the anatomical area and the direction of the aorta and which cardiovascular risk factors influence the mechanical properties of the dissection.

The scope of the dissertation is to study the mechanical properties of the ascending thoracic aorta and to compare these results with the corresponding pathological samples that have undergone an aortic dissection and also examine the classification based on cardiovascular factors. Peeling experiments were performed on 15 control samples with a normal aorta at Biomedical Research Foundation Academy of Athens (BRFAA). The control samples were taken from the morgue of the People's General Hospital of Athens and finally processed in the Laboratory of Bioengineering and Biomedical Technology of the Fluid Department of the School of Mechanical Engineering NTUA. These results were then compared with the results of 19 patients with aortic aneurysm, who had undergone a surgery at the General Hospital of Athens Ippokratio.

Keywords: Aortic dissection, Peel tension, Cardiovascular risk factors.

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου, στον Δρ. Χρήστο Μανόπουλο, Ε.ΔΙ.Π. της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε αναθέτοντας μου την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τη διαρκή καθοδήγηση του, τις χρήσιμες συμβουλές του και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, ώστε να φέρω εις πέρας τη διπλωματική μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και του φίλους μου, για την αμέριστη στήριξη τους και που με ενθάρρυναν διαρκώς με την αγάπη τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή 1

1.1 Εμβιομηχανική 1
1.1.1 Η Εφαρμογή της Εμβιομηχανικής στην Κατανόηση της Καρδιαγγειακής Φυσιολογίας ... 1

1.2 Καρδιαγγειακό Σύστημα 2
1.2.1 Γενικά 2
1.2.2 Η Δομή της Καρδιάς και ο Καρδιακός Κύκλος 3
1.2.3 Αιμοφόρα Αγγεία 4

1.3 Η Αορτή και η Δομή της 6
1.3.1 Δομή και Λειτουργία του Αορτικού Τοιχώματος 6
1.3.2 Αιμοδυναμική Αγγειακού Τοιχώματος 8
1.3.3 Διατμητική Τάση 9
1.3.4 Περιοδική Καταπόνηση 10

1.4 Η Ανιούσα Αορτή και η Δομή της 11
1.4.1 Μετρήσεις Μηχανικών Ιδιοτήτων Ανιούσας Αορτής 12
1.4.2 Αύξηση Αρτηριακής-Αορτικής Δυσκαμψία (Σκληρία) 13
1.4.3 Διαχωρισμός Ανιούσας Αορτής 14
1.4.3.1 Ο ρόλος του κολλαγόνου 16
1.4.3.2 Αιτίες 18
1.4.3.3 Συμπτώματα 19
1.4.3.4 Διάγνωση 19

2 Μεθοδολογία 20

2.1 Σκοπός Πειράματος 20

2.2 Επεξεργασία Δειγμάτων 20

2.3 Περιγραφή Πειράματος 27

2.4 Περιγραφή Μεθόδου Ανάλυσης 29
2.4.1 Αντοχή υλικών 29
2.4.2 Επεξεργασία Δεδομένων Πειραμάτων 30
2.4.3 Ταξινόμηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων 32

3 Αποτελέσματα 35

3.1 Μελέτη των προφίλ διαχωρισμού ανά διεύθυνση και ανατομική θέση για μάρτυρες και ασθενείς 35
3.1.1 Διαγράμματα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης 35

3.2 Μελέτη της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης στους ασθενείς και στους μάρτυρες ανά ανατομική περιοχή και διεύθυνση 39
3.2.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης της Μέση Τάση Αποφλοίωσης 39

3.3 Μελέτη του πάχους του τοιχώματος της αορτής στους ασθενείς και στους μάρτυρες 42

3.3.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης του πάχους των τριών χιτώνων της αορτής για κάθε τεταρτημόριο της 42

3.4 Μελέτη της Μέση Τάσης Αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες 45

3.4.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης ασθενών και μαρτύρων στις δύο διευθύνσεις με βάση τους καρδιαγγειακούς παράγοντες 45

3.5 Μελέτη της συσχέτισης της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης με βάση βιομετρικά χαρακτηριστικά 54

3.5.1 Διαγράμματα Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης συναρτήσει βιομετρικών χαρακτηριστικών ... 55

3.6 Απεικόνιση Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες 61

5. Επίλογος 65

5.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα 65

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις και Έρευνα 67

6. Βιβλιογραφία 68

7. Παράρτημα 70

7.1 Πίνακες μελέτη των προφίλ διαχωρισμού ανά διεύθυνση και ανατομική θέση για μάρτυρες και ασθενείς 70

7.2 Πίνακες μελέτη της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης στους ασθενείς και στους μάρτυρες ανά ανατομική περιοχή και διεύθυνση 70

7.3 Πίνακες μελέτης του πάχους του τοιχώματος της αορτής στους ασθενείς και στους μάρτυρες 71

7.4 Πίνακες μελέτης της Μέση Τάσης Αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες 71

7.5 Πίνακες και γραφήματα μελέτη της συσχέτισης της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης με βάση βιομετρικά χαρακτηριστικά 72

7.6 Πίνακες απεικόνισης Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες 78

7.7 Σύγκριση Συνολικών Αποτελεσμάτων 80

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.2.1: Δομή καρδιάς……..……..3
Εικόνα 1.2.2: Σύσταση τοιχώματος αγγείων……5
Εικόνα 1.3.1: Δομή τοιχώματος αρτηριών και φλεβών…….…...8
Εικόνα 1.4.1: Ανιούσα αορτή…….11
Εικόνα 1.4.2: Απεικόνιση αορτικού διαχωρισμού και εμφάνιση «ψευδό-αυλού»…….……15
Εικόνα 1.4.3: Φωτομικρογραφία αορτικού διαχωρισμού διάσπασης ……...……18
Εικόνα 2.2.1: Τμήμα θωρακικής αορτής από τον 11ο μάρτυρα…….20
Εικόνα 2.2.2: Τμήμα ανιούσα αορτής μετά τον πρώτο καθαρισμό…….21
Εικόνα 2.2.3: Διαμήκης τμήμα αορτής…….……..21
Εικόνα 2.2.4: Διάμηκες τμήμα έπειτα τομής του στις 4 περιοχές……..22
Εικόνα 2.2.5: Χαρτογράφηση δοκιμιών 11ου μάρτυρα…….…22
Εικόνα 2.2.6: Τμήμα ανιούσας αορτής 4ου ασθενή……...23
Εικόνα 2.2.7: Διαμήκες τμήμα ανιούσα αορτής 4ου ασθενή…….…23
Εικόνα 2.2.8: Δείγμα 4ου ασθενή με αορτικό διαχωρισμό…….……24
Εικόνα 2.3.1: Απεικόνιση πάνω μέρους της συσκευής…….…..27
Εικόνα 2.3.2: Απεικόνιση πειράματος αποφλοίωσης…….…29
Εικόνα 2.4.1: Μηχανική παραμόρφωση δοκιμίων…….…30
Εικόνα 2.4.2: Διάγραμμα δοκιμίου 11cpc2……....31

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 3.1.1: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης (circ.) έξω πλάγιου τοιχ……..36
Γράφημα 3.1.2: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης (long.) έξω πλάγιου τοιχ.....36
Γράφημα 3.1.3: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης (circ.) έσω πλάγιου τοιχ……...37
Γράφημα 3.1.4: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης (long.) έσω πλάγιου τοιχώματος..37
Γράφημα 3.2.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων και ασθενών στη περιφερειακή διεύθυνση σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής…...……..40
Γράφημα 3.2.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων και ασθενών στη διαμήκη διεύθυνση σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής…...…….……..40
Γράφημα 3.3.1: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του συνολικού πάχους ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..43
Γράφημα 3.3.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του πάχους του έσω χιτώνα ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..….43
Γράφημα 3.3.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του πάχους του έξω χιτώνα των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής..44
Γράφημα 3.4.1: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση το φύλο……46
Γράφημα 3.4.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση το φύλο…….46
Γράφημα 3.4.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την υπέρταση...47
Γράφημα 3.4.4: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την υπέρταση…….47
Γράφημα 3.4.5: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την εμφάνιση διαβήτη……..…….48
Γράφημα 3.4.6: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την εμφάνιση διαβήτη……...48
Γράφημα 3.4.7: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την εμφάνιση δυσλιπιδαιμίας……49
Γράφημα 3.4.8: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την εμφάνιση δυσλιπιδαιμίας……...49
Γράφημα 3.4.9: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση το κάπνισμα……50
Γράφημα 3.4.10: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση το κάπνισμα…….50
Γράφημα 3.4.11: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση τη κατανάλωση αλκοόλ……...51
Γράφημα 3.4.12: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση τη κατανάλωση αλκοόλ……...51
Γράφημα 3.5.1: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας των ασθενών και των μαρτύρων, στην περιφερειακή διεύθυνση ……...55
Γράφημα 3.5.2: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας των ασθενών και των μαρτύρων, στην διαμήκη διεύθυνση ……..….55
Γράφημα 3.5.3: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους των ασθενών και των μαρτύρων, στην περιφερειακή διεύθυνση ……...56
Γράφημα 3.5.4: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους των ασθενών και των μαρτύρων, στη διαμήκη διεύθυνση …….56

Γράφημα 3.5.5: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους των ασθενών και των μαρτύρων, στη περιφερειακή διεύθυνση ……...…57
Γράφημα 3.5.6: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους των ασθενών και των μαρτύρων, στη διαμήκη διεύθυνση ……..……57
Γράφημα 3.5.7: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του πάχους του έσω και έξω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, στη περιφερειακή διεύθυνση …….58
Γράφημα 3.5.8: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του πάχους του έσω και έξω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, στη διαμήκη διεύθυνση ...……..58
Γράφημα 3.5.9: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου των ασθενών, στη περιφερειακή διεύθυνση ...……..59
Γράφημα 3.5.10: Γράφημα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου των ασθενών, στη διαμήκη διεύθυνση……...……..59
Γράφημα 3.6.1: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……...……62
Γράφημα 3.6.2: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..……62
Γράφημα 3.6.3: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής. ……...……..63
Γράφημα 3.6.4: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής. …….63
Γράφημα 7.5.1: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση …….74
Γράφημα 7.5.2: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση ……..74
Γράφημα 7.5.3: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση …….……75
Γράφημα 7.5.4: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση ...…….……..75
Γράφημα 7.5.5: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση ……..…....76
Γράφημα 7.5.6: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση ...……..…….76
Γράφημα 7.5.7: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου για κάθε ασθενή στην περιφερειακή διεύθυνση ...……..…….77
Γράφημα 7.5.8: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου για κάθε ασθενή στην διαμήκη διεύθυνση ……..…….77

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.2.1: Χαρακτηριστικά Ασθενών…….…25
Πίνακας 2.2.2: Χαρακτηριστικά Μαρτύρων……..26
Πίνακας 2.4.1: Κατηγοριοποίηση δοκιμίων με βάση παθολογία, ανατομική θέση και διεύθυνση…...32
Πίνακας 7.1.1: Μέσες τιμές επιμήκυνσης και τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων ανά διεύθυνση και ανατομική περιοχή……70
Πίνακας 7.1.2: Μέσες τιμές επιμήκυνσης και τάσης αποφλοίωσης ασθενών ανά διεύθυνση και ανατομική περιοχή……70
Πίνακας 7.2.1: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή στη περιφερειακή διεύθυνση ……...…..70
Πίνακας 7.2.2: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή στη διαμήκη διεύθυνση ……..……71
Πίνακας 7.3.1: Μέσες τιμές συνολικού πάχους των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή……..71
Πίνακας 7.3.2: Μέσες τιμές πάχους του έσω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή……...……..71
Πίνακας 7.3.3: Μέσες τιμές πάχους του έξω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή……...……..71
Πίνακας 7.4.1: Μέσες τιμές αποφλοίωσης ασθενών και των μαρτύρων, στην περιφερειακή διεύθυνση……...……71
Πίνακας 7.4.2: Μέσες τιμές αποφλοίωσης ασθενών και των μαρτύρων, στην διαμήκη διεύθυνση διεύθυνση……..……72
Πίνακας 7.5.1: Εξισώσεις και στατιστικά χαρακτηριστικά εξισώσεων ασθενών και μαρτύρων στην περιφερειακή διεύθυνση ……..….72
Πίνακας 7.5.2: Εξισώσεις και στατιστικά χαρακτηριστικά εξισώσεων ασθενών και μαρτύρων, στην διαμήκη διεύθυνση ……...…….73
Πίνακας 7.6.1: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..……78
Πίνακας 7.6.2: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής…….……78
Πίνακας 7.6.3: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..……80
Πίνακας 7.6.4: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής……..80
Πίνακας 7.7.1: Διαγράμματα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης……...……...80
Πίνακας 7.7.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της Μέση Τάση Αποφλοίωσης……80
Πίνακας 7.7.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης του πάχους των τριών χιτώνων της αορτής για κάθε τεταρτημόριο της…….…81
Πίνακας 7.7.4: Ραβδογράμματα απεικόνισης Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης ασθενών και μαρτύρων στις δύο διευθύνσεις με βάση τους καρδιαγγειακούς παράγοντες……...…….82
Πίνακας 7.7.5: Διαγράμματα Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης συναρτήσει βιομετρικών χαρακτηριστικών……..83
Πίνακας 7.7.6: Απεικόνιση Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες…….…84

1. Εισαγωγή

1.1 Εμβιομηχανική

Η Εμβιομηχανική είναι η εφαρμογή των αρχών της μηχανικής στους ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να ερευνηθεί σε διάφορα επίπεδα όπως: στο **κυτταρικό επίπεδο**, (π.χ. η απόκριση κυττάρων όταν τους ασκείται μια εξωτερική δύναμη ή παραμόρφωση), στο **επίπεδο των ιστών** (π.χ. η καταπόνηση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου κατά το περπάτημα) και στο **επίπεδο των αρθρώσεων** (π.χ. οι δυνάμεις επαφής των αρθρώσεων κατά τη διάρκεια καθημερινών δραστηριοτήτων). Χρησιμοποιώντας τις αρχές της μηχανικής μπορεί να ερμηνευτεί η αιτία και η εξέλιξη πολλών ρευματικών παθήσεων και η κατανόηση των εννοιών αυτών είναι επωφελής για τους ιατρούς και για τους επαγγελματίες υγείας γενικότερα. [1] Συνεπώς, η μελέτη της εμβιομηχανικής στον άνθρωπο κυμαίνεται από την λειτουργία ενός κυττάρου, τις μηχανικές ιδιότητες μαλακών και σκληρών ιστών μέχρι και την ανάπτυξη και την κίνηση του νευρομυοσκελετικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού.

Οι ιδιότητες των ζωντανών ιστών επηρεάζονται από τα ασκούμενα φορτία και έτσι η ανάπτυξη και η αναδιαμόρφωση των ιστών από την επιστήμη της εμβιομηχανικής κρίνεται απαραίτητη. Για παράδειγμα, η αυξημένη αρτηριακή πίεση που επηρεάζει τη μηχανική του αρτηριακού τοιχώματος και η συμπεριφορά των καρδιομυοκυττάρων σε καρδία που υπέστη έμφραγμα, έχουν γενικότερα θεωρηθεί περιπτώσεις στις οποίες ο ζωντανός ιστός αναδιαμορφώνεται, ως άμεση συνέπεια των εφαρμοζόμενων φορτίων. Επομένως, η κατανόηση της εμβιομηχανικής είναι χρήσιμη για τη μελέτη της αιτιολογίας των παθήσεων, τη λήψη αποφάσεων για τη θεραπεία του ασθενούς και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της θεραπείας. [2]

1.1.1 Η Εφαρμογή της Εμβιομηχανικής στην Κατανόηση της Καρδιαγγειακής Φυσιολογίας

Η μηχανική, παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση και στον έλεγχο της καρδιακής λειτουργίας τόσο σε κανονικές όσο και σε παθολογικές συνθήκες. Οι βιολογικές διεργασίες του οργανισμού σε συνδυασμό με τις μηχανικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται, βοηθούν στην ρύθμιση της λειτουργίας των μυοκυττάρων και τη δομή της εξωκυττάριας μήτρας, ελέγχοντας έτσι την καρδιακή λειτουργία. Η συγχρονισμένη συστολή του μυοκαρδίου δημιουργεί πίεση η

οποία οδηγεί τη ροή του αίματος στις αρτηρίες και η επαναλαμβανόμενη κίνηση του, βοηθά τη κυκλοφορία του αίματος σ' όλα τα όργανα. Έτσι, η γνώση της μηχανικής λειτουργίας της καρδιάς είναι αναγκαία, για την κατανόηση των αιτιών που προκαλούν τις καρδιακές παθήσεις, αλλά και για την κατανόηση των συνεπειών τους. [3]

1.2 Καρδιαγγειακό Σύστημα

1.2.1 Γενικά

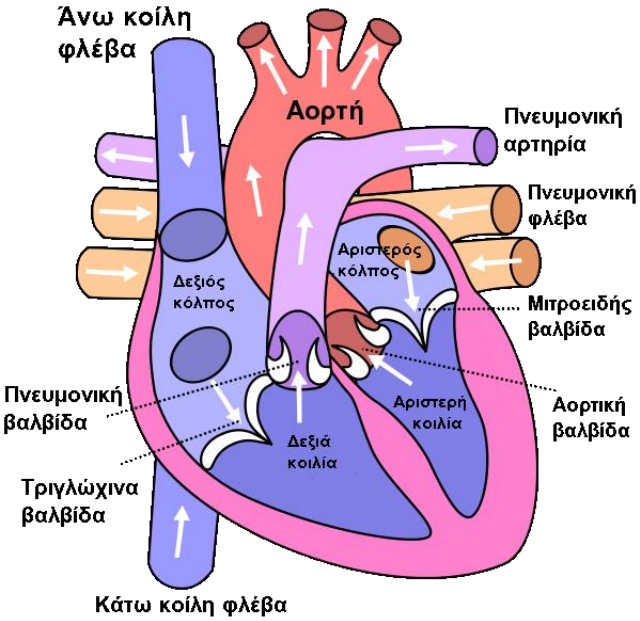
Το κυκλοφορικό σύστημα είναι το σύστημα των οργάνων που επιτρέπει στο αίμα να κυκλοφορεί και να μεταφέρει θρεπτικά συστατικά (αμινοξέα και ηλεκτρολύτες), οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, ορμόνες και αίμα από και προς τα κύτταρα του οργανισμού, ώστε να παρέχεται τροφή για την καταπολέμηση ασθενειών, τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας και του pH του σώματος και για διατήρηση της ομοιόστασης.

Επίσης, περιλαμβάνει το λεμφικό σύστημα, το οποίο μεταφέρει τη λέμφο η οποία είναι ένα διαυγές υγρό που πήζει, όταν εξέρχεται από τα λεμφαγγεία, αφού περιέχει πηκτικούς παράγοντες παρόμοιούς με αυτούς του αίματος. Το λεμφικό σύστημα αποτελείται από τη λέμφο, τους λεμφαδένες και τα λεμφικά αγγεία. Η λέμφος στην ουσία, είναι η περίσσεια ανακυκλωμένου πλάσματος του αίματος που έχει ήδη φιλτραριστεί από το μεσοκυττάριο υγρό και έχει επιστρέφει στο λεμφικό σύστημα.

Το κυκλοφορικό σύστημα του αίματος αποτελείται από την πνευμονική (κεντρική) κυκλοφορία και την συστηματική (περιφερική) κυκλοφορία. Η πνευμονική κυκλοφορία μεταφέρει το αποξυγονωμένο αίμα από τη δεξιά κοιλία της καρδιάς στους πνεύμονες και επιστρέφει οξυγονωμένο στον αριστερό κόλπο της καρδιάς. Η συστηματική κυκλοφορία παρέχει τη κυκλοφορία του αίματος σε όλους τους ιστούς του σώματος. Μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά στα κύτταρα και απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα από αυτά. Το οξυγονωμένο αίμα μεταφέρεται από την αριστερή κοιλία, μέσω των αρτηριών και έπειτα στα τριχοειδή αγγεία, στους ιστούς του σώματος και εισέρχεται στην καρδιά από τον δεξιό κόλπο. [4]

1.2.2 Η Δομή της Καρδιάς και ο Καρδιακός Κύκλος

Η καρδιά είναι ένας σύνθετος μυς, ο οποίος είναι χωρισμένος σε **τέσσερις θαλάμους** αποτελούμενος απο **δύο κοιλίες** και **δύο κόλπους**. Οι κοιλίες με την σύσπαση τους, απωθούν το αίμα σε όλο το σώμα και οι κόλποι δέχονται το αίμα, που επιστρέφει πίσω στην καρδιά. Το οξυγονωμένο αίμα εγκαταλείπει την καρδία, λόγω της σύσπασης της αριστερής κοιλίας και εισέρχεται στην αορτή. Έπειτα από την αορτή, το αίμα διανέμεται σε όλα τα όργανα και ιστούς του σώματος, όπου διαμέσου των τριχοειδών αγγείων, το αίμα εισέρχεται στο φλεβικό σύστημα. Το αίμα, πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα, επιστρέφει στην καρδιά, από την κοίλη φλέβα, στο δεξιό κόλπο. Μέσω της τριγλώχινας βαλβίδας, το αίμα εισέρχεται στην δεξιά κοιλία, όπου μέσω της πνευμονικής βαλβίδας και της πνευμονικής κυκλοφορίας, το αίμα εισέρχεται στους πνεύμονες. Στους πνεύμονες, γίνεται η ανταλλαγή του διοξειδίου του άνθρακα με οξυγόνο και το πλούσιο πλέον σε οξυγόνο αίμα επιστρέφει στον αριστερό κόλπο και μέσω της μιτροειδούς βαλβίδας εισέρχεται στην αριστερή κοιλία ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος. Οι δύο αντλίες πρέπει να είναι απόλυτα συγχρονισμένες για τη σωστή λειτουργία της καρδιάς και ο μηχανισμός που είναι υπεύθυνος για το συγχρονισμό ονομάζεται νόμος του Starling.



Εικόνα 2.2.1: Δομή καρδιάς.

Ο καρδιακός μυς, που περιβάλλει τον κόλπο διαχωρίζεται από αυτόν που περιβάλλει την κοιλία αλλά και οι δύο περιβάλλονται από τον συνδετικό ιστό. Λόγω της διαφοράς πίεσης, η αριστερά κοιλία έχει παχύτερο τοίχωμα σε σύγκριση με την δεξιά κοιλία.

Η τροφοδοσία της καρδιάς με αίμα, γίνεται από τις δύο κύριες στεφανιαίες αρτηρίες, που ξεκινούν από την αορτή και τροφοδοτούν το αριστερό και δεξιό τμήμα της καρδιάς με την περαιτέρω διακλάδωση τους. Επειδή οι διασυνδέσεις, μεταξύ των κλάδων είναι ελάχιστες αυτό έχει ως αποτέλεσμα η οποιαδήποτε διαταραχή στη ροή του αίματος σε οποιαδήποτε από τις δύο στεφανιαίες αρτηρίες, να προκαλέσει ανεπαρκή αιμάτωση συγκεκριμένου τμήματος του καρδιακού μυ και έτσι να προκληθεί έμφραγμα. Το αίμα επιστρέφει από τον καρδιακό μυ μέσω των στεφανιαίων φλεβών στο δεξιό κόλπο της καρδίας.

Το σήμα για τη σύσπαση της καρδίας, δίνεται απο τον προμήκη μυελό, ο οποίος βρίσκεται στο πίσω τμήμα του εγκεφάλου. Το σήμα διαβιβάζεται διαμέσου του εγκεφαλικού νεύρου στο φλεβοκολπικό κόμβο, που είναι ο φυσικός βηματοδότης της καρδιάς. Έπειτα, μεταφέρεται με αγωγιμότητα σε όλα τα τμήματα της καρδιάς και τα κάνει να συσπώνται, προκαλώντας αύξηση της πίεσης στα τέσσερα τμήματα της καρδιάς. Με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζεται η λειτουργία των βαλβίδων (άνοιγμα και κλείσιμο) και επομένως και η ροή αίματος μέσα στην καρδία αλλά και η ροή του αίματος στην συστηματική κυκλοφορία.

Η ισχύς που προσφέρεται από τη καρδιά, μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά της αορτικής και της φλεβικής πίεσης και την καρδιακή παροχή και είναι περίπου της τάξης του 1 Watt, που είναι περίπου το 15-25% της συνολικής καρδιακής ισχύς, που ανέρχεται περίπου στα 4 Watt. Το 60% αυτής της ισχύς καταναλίσκεται στη σύσπαση του καρδιακού μυ και περίπου το 20% χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των καρδιακών κυττάρων. Επομένως, η καρδιά μπορεί να θεωρηθεί μια αντλία ισχύος 4 Watt και απόδοσης 20%.[5]

1.2.3 Αιμοφόρα Αγγεία

Οι τρεις κύριες κατηγορίες από τις οποίες αποτελούνται τα αιμοφόρα αγγεία είναι οι **αρτηρίες**, οι οποίες μεταφέρουν το αίμα από την καρδιά, τα **τριχοειδή αγγεία** στα οποία γίνεται η ανταλλαγή νερού και των χημικών ουσιών μεταξύ του αίματος και των ιστών και οι **φλέβες** οι οποίες μεταφέρουν το αίμα πίσω στην κάρδια.

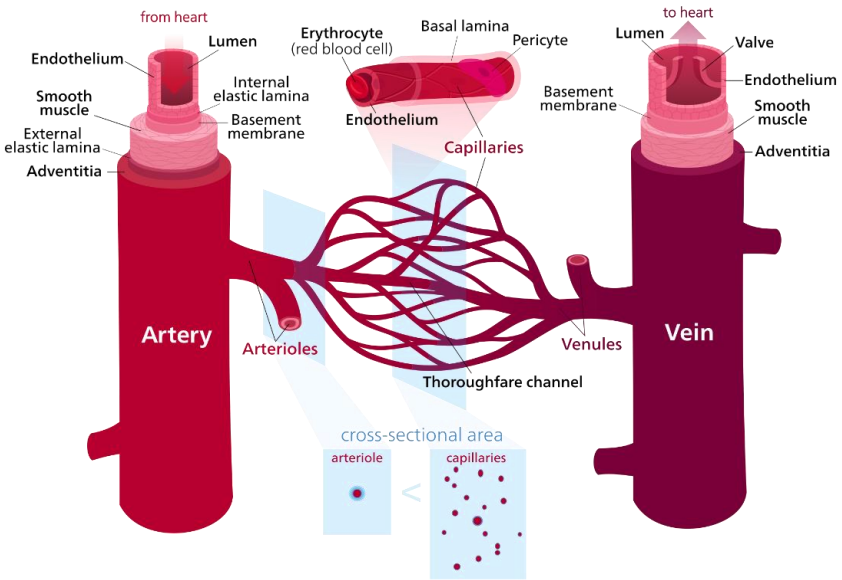
Οι αρτηρίες και οι φλέβες έχουν τρεις χιτώνες:

Ο **εσωτερικός χιτώνας** είναι ο λεπτότερος και αποτελείται από ένα μόνο επίπεδο στρώμα από ενδοθηλιακά κύτταρα, που περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα υποενδοθηλιακού συνδετικού ιστού. Μια λεπτή μεμβράνη από ελαστικές ίνες στο εσωτερικό του χιτώνα «τρέχει» παράλληλα με το αγγείο.

Ο **μεσαίος χιτώνας** στις αρτηρίες είναι παχύτερος από ότι στις φλέβες, αφού στις αρτηρίες παρατηρούνται αγγειακοί λείοι μύες. Αποτελείται από κυκλικά διατεταγμένες ελαστικές ίνες, συνδετικό ιστό και πολυσακχαρίτες. Ο δεύτερος και ο τρίτος χιτώνας διαχωρίζονται από παχύ ελαστικό σύνδεσμο Οι φλέβες δεν έχουν εξωτερικό ελαστικό σύνδεσμό αλλά έχουν μόνο εσωτερικό.

Ο **εξωτερικός χιτώνας**, είναι ο παχύτερος χιτώνας στις φλέβες και αποτελείται εξ ολοκλήρου από συνδετικό ιστό. Επίσης, περιέχει νεύρα που τροφοδοτούν τα αγγεία με θρεπτικά συστατικά. [6]

Το τριχοειδές είναι ένα μικρό αιμοφόρο αγγείο διαμέτρου από 5 μέχρι 10 μm και έχει τοίχωμα ενός ενδοθηλιακού κυττάρου. Είναι τα μικρότερα αιμοφόρα αγγεία στο σώμα και μεταφέρουν αίμα μεταξύ των αρτηριών και των φλεβών. Επίσης, μέσω των τοιχωμάτων τους που αποτελούνται από επιθηλιακά κύτταρα, γίνεται ανταλλαγή πολλών ουσιών όπως το νερό, το οξυγόνο και η γλυκόζη. [7]



Εικόνα 1.3.2: Σύσταση τοιχώματος αγγείων.

1.3 Η Αορτή και η Δομή της

Η αορτή είναι η μεγαλύτερη αρτηρία σε μέγεθος με κατά μέσο όρο 2.5-3.0 cm διάμετρο στο σημείο έκφυσης της καρδιάς. **Υποδιαιρείται σε τρία τμήματα**: την ανιούσα αορτή, το αορτικό τόξο και τη κατιούσα αορτή. Η **ανιούσα αορτή** έχει μήκος περίπου 5 cm και βρίσκεται ανατομικά μεταξύ της πνευμονικής αρτηρίας και της κοίλης φλέβας. Το **αορτικό τόξο** είναι η καμπύλη που σχηματίζει η αορτή μέχρι και 2.5 cm κάτω από το άνω όριο του στέρνου. Από το πάνω μέρος του τόξου, εξέρχονται **τρεις κλάδοι**: η βραχιοκεφαλή, η κοινή καρωτίδα και η υποκλείδια αρτηρία. Το μέσο μήκος του αορτικού τόξου είναι 5 cm. Η κατιούσα αορτή έχει μέσο μήκος 20 cm και έχει δύο βασικές διακλαδώσεις, τις μεσοπλεύριες αρτηρίες, που δίνουν αίμα στο τοίχωμα του θώρακος και τις σπλαχνικές αρτηρίες που εφοδιάζουν με αίμα τα όργανα του σώματος. Ακολούθως βρίσκεται η κατιούσα κοιλιακή αορτή, που διαιρείται επίσης σε **μεσοπλεύριες** και **σπλαχνικές** και καταλήγει μπροστά από τον τέταρτο οσφυϊκό σπόνδυλο που διακλαδίζεται στις δύο λαγόνιες αρτηρίες, που εφοδιάζουν τα κάτω άκρα με αίμα.[5]

1.3.1 Δομή και Λειτουργία του Αορτικού Τοιχώματος

Οι αρτηρίες εκτός από την κατάταξη τους κατά μέγεθος, μπορούν να καταταχθούν και ανάλογα με τη δομή τους. Για παράδειγμα, οι μεγάλες αρτηρίες που εκβάλλουν από την καρδιά ονομάζονται «ελαστικές αρτηρίες», διότι περιέχουν μεγάλο ποσοστό ελαστίνης. Το ποσοστό των μυϊκών κυττάρων που είναι υπό μορφή δακτυλίων γύρω από τον αυλό, αυξάνεται απομακρυνόμενα από την καρδιά και η αρτηριακή δομή πλησιάζει τη δομή των αρτηριών στους μύες.[5]

Το τοίχωμα του αγγείου αποτελείται από πέντε δομές: τον **ενδοθηλιακό ιστό**, τις **ίνες κολλαγόνου**, τις **ίνες ελαστίνης**, τους **λείους μύες** και τη **βασική ουσία**. Τα ποσοστά περιεκτικότητας κάθε δομής μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος του αγγείου και οι μεγαλύτερες μεταβολές παρουσιάζονται στην αναλογία των ινών κολλαγόνου και ελαστίνης, που είναι τα ελαστικά συστατικά του τοιχώματος και των λείων μυών.

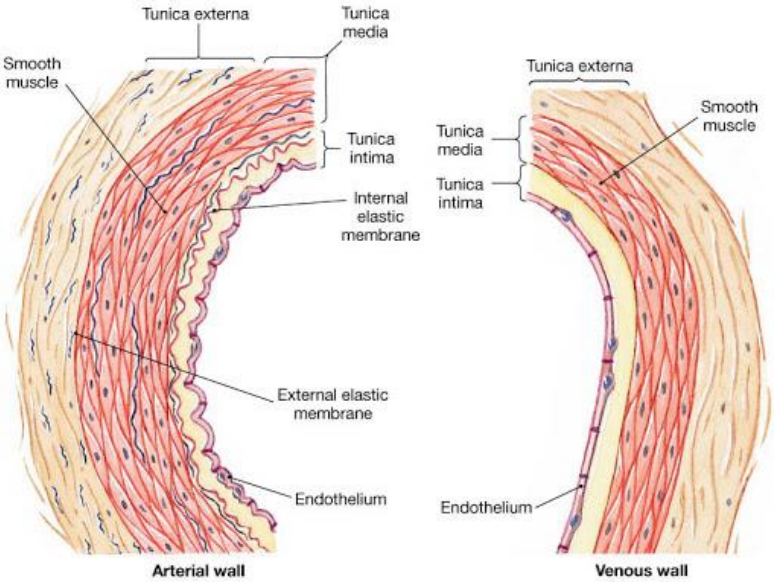
Το αορτικό τοίχωμα αποτελείται από τρία στρώματα ιστού: τον έσω χιτώνα (tunica intima), το μέσο χιτώνα (tunica media) και τον έξω χιτώνα (tunica adventitia).

Ο έσω χιτώνας αποτελείται από ένα στρώμα ενδοθηλιακών κυττάρων, τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με το ροή του αίματος και στο εξωτερικό του τμήμα αποτελείται από την έσω

ελαστική μεμβράνη. Ο **έσω χιτώνας** είναι ένας **λεπτός**, **διαφανής**, **άχρωμος**, είναι εξαιρετικά **ελαστικός** και μετά το θάνατο του ανθρώπου, συνήθως γίνεται κυματοειδές με διαμήκεις ρυτίδες. Η δομή ωστόσο του έσω χιτώνα, εξαρτάται από τον τύπο των αιμοφόρων αγγείων. Για παράδειγμα, στις ελαστικού τύπου αρτηρίες, υπάρχει ένα μόνο στρώμα επιθηλιακών κυττάρων και ένα στρώμα κολλαγόνου πλούσιο σε ελαστίνη. Το στρώμα αυτό, περιέχει ινοβλάστες και κύτταρα λείου μυός. Σε αντίθεση, στις φλέβες, υπάρχουν μόνο ενδοθηλιακά κύτταρα. Αυτός, αποτελείται από ένα στρώμα ενδοθήλιου, τα κύτταρα του οποίου είναι κυρίως πολυγωνικά ή ωοειδής και έχουν πολύ διακριτούς στρογγυλούς ή ωοειδείς πυρήνες. Αποτελείται επίσης από ένα υποενδοθηλιακό στρώμα που είναι από λεπτό συνδετικό ιστό με διακλαδισμένα κύτταρα που βρίσκονται ενδιάμεσα του ιστού. Στις αρτηρίες με διάμετρο μικρότερη των 2 mm, το υποενδοθηλιακό στρώμα αποτελείται, από ένα μόνο στρώμα κυττάρων και ο συνδετικός ιστός αναπτύσσεται μόνο σε μεγάλο βαθμό σε αγγεία μεγαλύτερης διαμέτρου. Τέλος, ο έσω χιτώνας συνιστάται από μια ελαστική ζώνη, η οποία αποτελείται, από μεμβράνη που περιέχει ένα δίκτυο ελαστικών ινών, που έχουν συνήθως διαμήκη διεύθυνση με μικρά επιμήκη ανοίγματα. Η μεμβράνη σχηματίζει το μεγαλύτερο μέρος της εσωτερικής επικάλυψης και μπορεί να διαχωριστεί σε διάφορα στρώματα, μερικά από τα οποία παρουσιάζουν ένα δίκτυο ελαστικών.

Ο **μέσος χιτώνας** βρίσκεται ανάμεσα από τον έσω και έξω χιτώνα και είναι το μεγαλύτερο μέρος του τοιχώματος του αγγείου, αποτελούμενος από κύτταρα λείου μυός, ελαστικό ιστό και κολλαγόνο. Διακρίνεται από το χρώμα του και από τη εγκάρσια διάταξη των ινών του. Στις μικρότερες σε διάμετρο αρτηρίες, συνιστάται κυρίως από ίνες λείου μυός σε λεπτές δέσμες, και διατεταγμένες κυκλικά γύρω από το αγγείο.

Ο **έξω χιτώνας** ενός αιμοφόρου αγγείου περιβάλλει το μέσο χιτώνα και αποτελείται κυρίως από κολλαγόνο και συγκεκριμένα στις αρτηρίες παρατηρείται και ένα εξωτερικό ελαστικό στρώμα. Το κολλαγόνο έχει την ιδιότητα να προσκολλάει τα αιμοφόρα αγγεία στα κοντινά όργανα, προσδίδοντας έτσι σταθερότητα. [8]



Εικόνα 1.4.1: Δομή τοιχώματος αρτηριών και φλεβών.

1.3.2 Αιμοδυναμική Αγγειακού Τοιχώματος

Η **αιμοδυναμική** είναι η δυναμική της ροής του αίματος που με τη βοήθεια ομοιοστατικών μηχανισμών ελέγχεται το κυκλοφορικό σύστημα, ανάλογα με τις συνθήκες του σώματος και του περιβάλλοντος. Το αίμα θεωρείται ως μη-Νευτώνειο ρευστό και το 55% του συνολικού όγκου του το καταλαμβάνει το πλάσμα, το οποίο αποτελείται από 91,5% νερό, 7% πρωτεΐνες και 1,5% άλλες διαλυτές ουσίες. Το υπόλοιπο ποσοστό το καταλαμβάνουν τα αιμοπετάλια, τα λευκά και τα ερυθρά αιμοσφαίρια που με την αλληλεπίδραση τους με το πλάσμα κάνουν το αίμα μη-Νευτώνειο. Σε ένα φυσιολογικό καρδιακό κύκλο, ο όγκος του αίματος που εξέρχεται από την καρδία, παραμένει ο ίδιος όταν επιστρέφει κάθε λεπτό. Για το λόγο αυτό, η ταχύτητα ροής του αίματος σε κάθε μέρος του συστήματος, καθορίζεται κυρίως από τη συνολική επιφάνεια διατομής του εκάστοτε επιπέδου. Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό της ταχύτητας είναι:

$$v = \frac{Q}{A} \tag{1.1}$$

όπου: v: ταχύτητα (cm/sec).

Q: παροχή όγκου (ml/sec).

A: επιφάνεια διατομή (cm^2).

Επιπρόσθετα, η τραχύτητα των αγγείων παίζει σημαντικό ρόλο στην αιμοδυναμική του αίματος, αφού μπορεί να επηρεάσει τη ροή κάνοντας την είτε ομαλή, είτε τυρβώδη (με την εναπόθεση λιπαρών κυττάρων στα εσωτερικά τοιχώματα του αγγείου). Ο αριθμός Reynolds (Re) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τύπου της ροής. Δίνεται από τον τύπο:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \tag{1.2}$$

όπου: ρ: πυκνότητα του αίματος (kg/m^3).

v: μέση ταχύτητα αίματος (m/s).

L: χαρακτηριστική διάμετρος του αγγείου (m).

μ: ιξώδες του αίματος ($\frac{kg}{ms}$).

Όταν η τιμή του Reynolds είναι μικρότερη από 2300, τότε η ροή είναι στρωτή, ενώ όταν η τιμή είναι άνω των 4000, τότε η ροή είναι τυρβώδης. Συνήθως η ροή στα τριχοειδή αγγεία είναι στρωτή, λόγω της μικρής ακτίνας τους αλλά και της χαμηλής ταχύτητας τους.

Η ταχύτητα του αίματος είναι επίσης ένα σημαντικό μέγεθος για την αιμοδυναμική των αγγειακών τοιχωμάτων με την ταχύτητα κατά τη συστολή της καρδίας να είναι μεγαλύτερη σε αντίθεση με τη διαστολή. Επίσης, η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διατομή των αιμοφόρων αγγείων, αλλά επίσης διαφέρει ανά διατομή και σε κανονικές συνθήκες η ροή της είναι στρωτή. Για το λόγο αυτό, η ροή της ταχύτητας στη μέση της διατομής ενός αγγείου είναι πιο γρήγορη από ότι στα τοιχώματα του. [9]

1.3.3 Διατμητική Τάση

Ανεξαρτήτως από τη θέση που βρίσκεται το κάθε αγγείο, η αρτηριακή πίεση εξαρτάται από τη τάση στα τοιχώματα του αγγείου, όπου σύμφωνα με τη εξίσωση Young – Laplace (θεωρείται ότι το πάχος του τοιχώματος του αγγείου είναι πολύ μικρότερο από τη διάμετρο του):

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot r}{t} \tag{1.3}$$

όπου: σ_θ: η τάση που αναπτύσσεται στα τοιχώματα ($\frac{N}{m^2}$).

P: η πίεση του αίματος ($\frac{N}{m^2}$).

t: το πάχος του αγγείου (m).

r: η εσωτερική διάμετρος του αγγείου (m).

Η διατμητική τάση που αναπτύσσεται στα τοιχώματα καθορίζεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1.4}$$

όπου: F: το μέτρο της δύναμης που ασκείται περιφερειακά στο τοίχωμα (N).

A: η επιφάνεια της διατομής τμήματος του τοιχώματος (m^2).

Σε φυσιολογικές συνθήκες, η διατμητική τάση διατηρεί το μέτρο και τη διεύθυνση της μεταξύ επιτρεπτών ορίων, ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση αθηρογένεσης, θρόμβωσης, ο πολλαπλασιασμός των λείων μυών και η απόπτωση του ενδοθηλίου. [9]

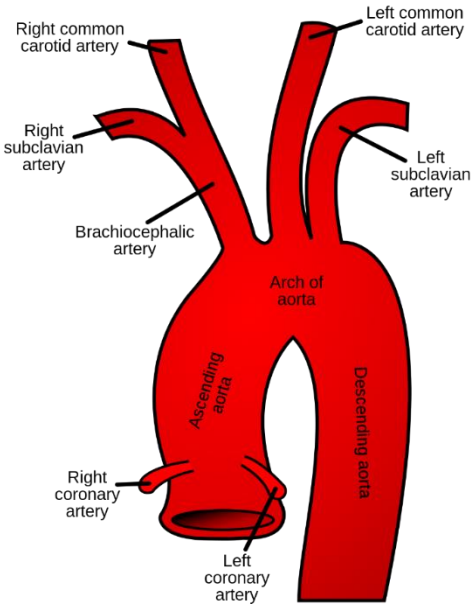
1.3.4 Περιοδική Καταπόνηση

Το αίμα εξέρχεται από την αριστερή κοιλία της καρδιάς με ρυθμικές συσπάσεις και το προστιθέμενο αίμα στην αορτή προκαλεί την ακτινική παραμόρφωση του αρτηριακού τοιχώματος, λόγω της αύξησης της πίεσης και συνεπώς την ροή του αίματος κατά μήκος της αορτής και στη συνέχεια όλου του κυκλοφορικού συστήματος. Έτσι, αναπτύσσονται σφυγμικά κύματα με τη ροή να είναι παλλόμενη.

Η συστολική πίεση, που είναι η μέγιστη πίεση που μπορεί να έχει το αρτηριακό σύστημα, είναι της τάξεως των 120 mm Hg, ενώ η διαστολική πίεση, που είναι η ελάχιστη πίεση, παίρνει τιμή της τάξεως των 70-80 mm Hg. Το κύμα πίεσης μπορεί να αλλάξει μορφή και μέγεθος κατά τη μεταφορά του μέσα στο αρτηριακό σύστημα και παράγοντες, όπως η γεωμετρική λέπτυνση (μείωση διατομής αγγείου), η αύξηση της δυσκαμψίας του τοιχώματος και οι αρτηριακές διακλαδώσεις, μπορούν να μεταβάλουν το κύμα πίεσης και τη περιοδική καταπόνηση στα τοιχώματα. Όταν το κύμα πίεσης συναντά διακλαδώσεις ή αρτηρίες που παρουσιάζουν περιφερειακή αντίσταση, το κύμα ανταναακλάται προς τα πίσω. Το ανακλώμενο κύμα έχει επίδραση στο σχηματισμό και στο πλάτος των προφίλ πίεσης καθώς και στις παραλλαγές τους κατά μήκος του αρτηριακού δέντρου. [5][10]

1.4 Η Ανιούσα Αορτή και η Δομή της

Η ανιούσα αορτή είναι το τμήμα της αορτής, που ξεκινά από το πάνω μέρος της αριστερής κοιλίας της καρδιάς και συνεχίζει λοξά προς τα επάνω σχηματίζοντας ένα μικρό τόξο, βρίσκεται περίπου 6 cm πίσω από τη οπίσθια επιφάνεια του στέρνου και έχει συνολικό μήκος περίπου 5 cm..



Εικόνα 1.5.1: Ανιούσα αορτή.

Η γνώση της μηχανικής της ανιούσας αορτής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη λόγω του σημαντικού ρόλου που έχει στην αιμοδυναμική αλλά και στις κινήσεις της καρδιάς, αφού παίζει σημαντικό ρόλο στην απόσβεση του κύματος πίεσης που εμφανίζεται στο αγγείο, αλλά και στη

διοχέτευση της ροής του αίματος που προέρχεται από την καρδιά. Η κύρια παθολογία που επηρεάζει την ανιούσα αορτή είναι ο διαχωρισμός και τα ανευρύσματα, όπου όταν η διάμετρος της ξεπερνά τα 3.5 cm, θεωρείται διασταλμένη και όταν ξεπεράσει τα 4.5 cm, τότε γενικότερα θεωρείται ότι παρουσίασε ανεύρυσμα. Ωστόσο, η διάμετρος της, διαφέρει στον πληθυσμό ανάλογα με την ηλικία και το φύλο. Γενικότερα, το ανώτερο όριο διαμέτρου της ανιούσας αορτής θεωρούνται τα 4.3 cm. Στην ένωση της ανιούσας αορτής με το αορτικό τόξο, το διαμέτρημα αυξάνεται λόγω της διόγκωσης του δεξιού τοιχώματος και σε εγκάρσια τομή έχει ωοειδές σχήμα. Τέλος, μπορεί τα ανευρύσματα στην ανιούσα αορτή να αντιπροσωπεύουν το ένα δέκατο ανευρυσμάτων της αορτής, ωστόσο η χειρουργική επέμβαση της θεωρείται πολύπλοκη. [10]

1.4.1 Μετρήσεις Μηχανικών Ιδιοτήτων Ανιούσας Αορτής

Η μηχανική συμπεριφορά των ιδιοτήτων της ανιούσας αορτής έχει μελετηθεί εντατικά από πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια, με τα πειράματα κυρίως να γίνονται σε ζώα. Μετά από αρκετές έρευνες, οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα. ότι οι αρτηρίες παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλή μη γραμμική συμπεριφορά.

Σαν πρώτη προσέγγιση των μηχανικών ιδιοτήτων της αορτής, η μακροσκοπική απόκριση του αορτικού τοιχώματος, έχει χαρακτηριστεί μέσω διαφορετικών μονοαξονικών, διαξονικών, αλλά και διαφορετικών φορτίων καταπόνησης, σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Πιο πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί πειραματικές μέθοδοι που συνδυάζουν τις μηχανικές δοκιμές με μικροσκοπία ζωντανών οργανισμών, για την περαιτέρω κατανόηση των μικροδομικών μηχανισμών από τους οποίους εξαρτάται ο μη γραμμικός χαρακτήρας της απόκρισης.

Για τη μελέτη των μεταβολών των μηχανικών ιδιοτήτων που προκαλούνται από τις δομικές και λειτουργικές μεταβολές στις παθολογικές αρτηρίες, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες που είναι κυρίως in-vivo πειράματα, για τον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και της αναδιαμόρφωσης του αρτηριακού τοιχώματος. Επίσης, όπου είναι δυνατή η εκτομή δειγμάτων χρησιμοποιείται και η in-vitro πειραματική διαδικασία. Ωστόσο, λόγω της δυσκολίας και της έλλειψης νέων και άθικτων δειγμάτων, οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει με in-vitro μηχανικές δοκιμές σε ζωικά μοντέλα και μέσω των αποτελεσμάτων, εξάγονται συμπεράσματα για ανθρώπινες παθολογικές περιπτώσεις. Με τη χρήση των πιο πάνω δοκιμών, έχει γίνει κατορθωτό η ανάπτυξη θεωρητικών ή και αριθμητικών μοντέλων καθώς επίσης κατέστη

δυνατή και η αναγνώριση των μηχανικών ιδιοτήτων και παραμέτρων των διάφορων τύπων των αρτηριών. [10]

1.4.2 Αύξηση Αρτηριακής-Αορτικής Δυσκαμψία (Σκληρία)

Η αορτική δυσκαμψία είναι μια από τις συνέπειες που προκαλεί η γήρανση και οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το καρδιαγγειακό σύστημα, παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτάχυνση της ανάπτυξης της. Η αυξημένη αρτηριακή σκληρία σε μεγάλες αρτηρίες σχετίζεται με την αύξηση του κίνδυνου εμφάνισης καρδιαγγειακών επεισοδίων όπως το έμφραγμα του μυοκαρδίου, το εγκεφαλικό επεισόδιο και η κολπική μαρμαρυγή, κυρίως σε ηλικιωμένους λόγω υψηλής συστολικής υπέρτασης.

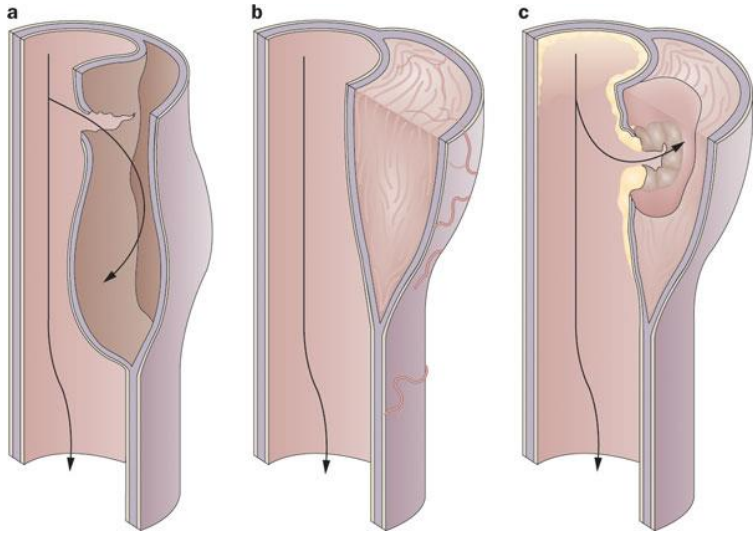
Γενικά, η αρτηριακή δυσκαμψία εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανεξάρτητων αλλά και αλληλεξαρτώμενων παραγόντων, όπως για παράδειγμα οι αιμοδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται στα τοιχώματα, η πρόσληψη αλατιού και η γλυκαιμική κατάσταση του ατόμου, καθώς επίσης και η μείωση της λειτουργίας των κυττάρων.

Η προσαρμοστικότητα των κυττάρων εξαρτάται από τη κατάσταση των δύο κύριων δομικών πρωτεϊνών, δηλαδή του κολλαγόνου και της ελαστίνης, οι οποίες υπάρχουν σε συγκεκριμένες ποσότητες. Σε περίπτωση για παράδειγμα εμφάνισης κάποιας φλεγμονής, το κολλαγόνο παράγεται υπερβολικά και η ελαστικότητα της ελαστίνης υπονομεύεται και η ανισότητα των δύο πρωτεϊνών να συμβάλλει στην εμφάνιση της αρτηριακής σκληρίας. Επίσης, την αύξηση του κολλαγόνου και την μείωση της ελαστίνης ευνοεί η αυξημένη πίεση (όπως στην υπέρταση) στον αυλό του αγγείου. Από ιστολογικές εξετάσεις του αρτηριακού ιστού που έγιναν σε άτομα ηλικίας από είκοσι μέχρι ενενήντα ετών, παρατηρήθηκες ότι το πάχος του μέσου χιτώνα του αρτηριακού τοιχώματος διπλασιάστηκε ή και σε κάποιές περιπτώσεις τριπλασιάστηκε με τη πάροδο του χρόνου. Ακόμα, παρατηρήθηκε περίπου 9% αύξηση της διαμέτρου των αγγείων κάθε δεκαετία, από τα 20 μέχρι τα 60 στην ανιούσα αορτή. Μελετώντας τα αγγεία μικροσκοπικά, παρατηρείται μια σειρά από εντυπωσιακές ιστολογικές αλλαγές. Οι αλλαγές που παρατηρήθηκαν είναι ανωμαλία στο ενδοθήλιο, αύξηση του κολλαγόνου, παρουσιάστηκε κατακερματισμός και μείωση της ελαστίνης, διήθηση του τοιχώματος των λειών μυών, διήθηση μακροφάγων, διήθηση μονοπύρηνων, και αύξηση των μεταλλοπρωτεινασών της μήτρας. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση του μετασχηματιστικού αυξητικού παράγοντα

(TGF-β), του διακυτταρικού μορίου προσκόλλησης (ICAM)s και στις κυτοκίνες του τοιχώματος στο αγγείο. [11]

1.4.3 Διαχωρισμός Ανιούσας Αορτής

Μέσα από μελέτες που έχουν γίνει, παρατηρήθηκαν ότι υπάρχουν δύο μηχανισμοί ανάπτυξης αορτικού διαχωρισμού: ο **πρώτος** περιλαμβάνει μια ρωγμή στο εσωτερικό του μέσου χιτώνα και συμβαίνει, όταν οι αιμοδυναμικές καταπονήσεις ξεπεράσουν τις μέγιστες τάσεις αντοχής σε εφελκυσμό του έσω χιτώνα. Στο **δεύτερο** μηχανισμό αορτικού διαχωρισμού παρατηρήθηκε ότι υπάρχει αποκόλληση των στρωμάτων των τοιχωμάτων, όταν αποδυναμώνονται οι ελκτικές δυνάμεις, που συγκρατούν μαζί τους χιτώνες. Ωστόσο, το ερώτημα που παραμένει, είναι πως οι ιδιότητες αποκόλλησης διαφέρουν ανάλογα με την διεύθυνση και την περιοχή της αποκόλλησης, καθώς συνήθως ξεκινά από το δεξιό πλευρικό χόνδρο, εκατοστά δίπλα από τη στεφανιαία αρτηρία και συνήθως διαδίδεται στην αξονική διεύθυνση καταλαμβάνοντας το μισό της αορτικής περιφέρειας ή και κάποιες φορές ολόκληρη την περιφέρεια. Η εσωτερική ρωγμή που δημιουργείται, λόγω αυξημένης πίεσης, ξεκινά τις περισσότερες φορές από τη περιφερειακή διεύθυνση, επιτρέπει στο αίμα να εισέρχεται μέσα στο τοίχωμα της αορτής διαχωρίζοντάς το μέσο χιτώνα και σταδιακά αποκολλώντας τον, κατά την αξονική, αλλά και την ακτινική διεύθυνση. Έτσι δημιουργείται ένας «ψευδό-αυλός», που η πορεία του μέσα στο τοίχωμα είναι απρόβλεπτη και μπορεί να εξέλθει από το τοίχωμα της αορτής από τον έξω χιτώνα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ρήξη που θα είναι μοιραία για τη ζωή του ασθενούς. Ο «ψευδό-αυλός» χωρίζει ολόκληρο τον έσω χιτώνα μαζί με τα 2/3 του μέσου χιτώνα, από το υπόλοιπο 1/3 του μέσου χιτώνα μαζί με τον έξω χιτώνα. Η δημιουργία του «ψευδό-αυλού» περιορίζει τον αληθή αυλό και έτσι και τη μείωση της παροχής οξυγόνου, που μεταφέρεται προς τους ιστούς, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί απόφραξη της ροής του αίματος που αυτό μπορεί να οδηγήσει είτε σε εγκεφαλικό επεισόδιο, είτε να προκαλέσει ισχαιμία. Σε ορισμένες περιπτώσεις ασθενών που παρουσίασαν αορτικό διαχωρισμό, εμφανίστηκε σταθερή διάδοση αποκόλλησης, που έδειξε ότι αυτό προήλθε από το μηχανισμό κόπωσης, λόγω της παλμικής λειτουργίας της αορτής. [10][12][13][14]



Εικόνα 1.4.2: Απεικόνιση αορτικού διαχωρισμού και εμφάνιση «ψευδό-αυλού».

Η αρχική ρωγμή συνήθως παρατηρείται περίπου μέχρι και 100 mm από τη αορτική βαλβίδα, οπότε σε περίπτωση, που ο διαχωρισμός συνεχίσει, μπορεί να υπάρξει ρήξη μέχρι και το περικάρδιο. Ο αορτικός διαχωρισμός συνήθως εμφανίζεται στην ανιούσα αορτή με ποσοστό 65% των περιπτώσεων που είναι και το συνηθέστερο μέρος με την κατιούσα στεφανιαία αρτηρία, να είναι το δεύτερο συνηθέστερο μέρος με περίπου 20% των περιπτώσεων. Ωστόσο, ο λόγος που οδηγεί στην εμφάνιση της ρωγμής δεν είναι πάντοτε σαφής, όμως τις περισσότερες φορές παρατηρείται εκφυλισμός του κολλαγόνου και της ελαστίνης που αποτελούν το μέσο χιτώνα που είναι γνωστό και ως κυστική νέκρωση και συνήθως εμφανίζεται σε άτομα που πάσχουν από σύνδρομο Marfan και σύνδρομο Ehlers-Danlos.

Ωστόσο, στο 13% των περιπτώσεων του αορτικού διαχωρισμού δεν εμφανίζεται ρωγμή στον εσωτερικό χιτώνα του αγγείου αλλά εσωτερικό αιμάτωμα που προκαλείται από αιμορραγία στον μέσο χιτώνα. Σε αυτή την περίπτωση, η διάγνωση του αορτικού διαχωρισμού παραμένει πολύ δύσκολη, επειδή δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ του πραγματικού αυλού και του «ψευδό-αυλού».[15]

Με τη πάροδο των χρόνων χρησιμοποιήθηκαν αρκετά συστήματα ταξινόμησης της περιγραφής του αορτικού διαχωρισμού. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως βασίζονται είτε στην ανατομία του διαχωρισμού είτε στη διάρκεια που έχουν τα συμπτώματα πριν την έναρξη του. Τα δύο κύρια συστήματα είναι το σύστημα DeBakey και το σύστημα Stanford, το οποίο είναι και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο λόγω του ότι είναι προσαρμοσμένο στην επίβλεψη του ασθενούς.

Το **σύστημα DeBakey** χρησιμοποιείται για την ανατομική περιγραφή του αορτικού διαχωρισμού, κατηγοριοποιώντας τον διαχωρισμό με βάση από που ξεκινά η ρωγμή και την επέκταση της. Χωρίζεται σε **τρεις κατηγορίες**: **τύπου Ι**, **τύπου ΙΙ** και **τύπου ΙΙΙ**. Ο **τύπος Ι** περιγράφει τον αορτικό διαχωρισμό, που ξεκινά από την ανιούσα αορτή και εξαπλώνεται τουλάχιστον μέχρι το αορτικό τόξο και συχνά παρατηρείται σε άτομα κάτω των 65 χρόνων και αποτελεί τον τύπο με τους περισσότερους θανάτους. Ο **τύπους ΙΙ** ξεκινά από τη ανιούσα αορτή, ωστόσο δεν υπάρχει διάδοση του σε άλλα μέρη της αορτής. Ο **τύπος ΙΙΙ** ξεκινά από την κατιούσα αορτή και τις περισσότερες φορές εκτείνεται μέχρι και τις λαγόνιες αρτηρίες. Εμφανίζεται κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα με αθηροσκλήρωση και υπέρταση.

Το **σύστημα Stanford** χωρίζεται σε **δύο κατηγορίες Α** και **Β**, ανάλογα με το εάν υπάρχει διαχωρισμός στην ανιούσα αορτή. Η **κατηγορία Α** περιλαμβάνει την ανιούσα αορτή και το αορτικό τόξο και κάποιο μέρος της κατιούσας αορτής. Περιλαμβάνει τους τύπους DaBakey I και II. Η **κατηγορία Β** περιλαμβάνει το αορτικό τόξο ή την κατιούσα αορτή, χωρίς να περιλαμβάνει την ανιούσα αορτή και περιλαμβάνει τον τύπο DeBakey III. Η ταξινόμηση κατά Stanford είναι πολύ χρήσιμη καθώς οι περιπτώσεις που εμπίπτουν στην κατηγορία Α απαιτούν αρχικά να γίνει χειρουργική επέμβαση ενώ στην κατηγορία Β συνήθως αντιμετωπίζεται με θεραπεία και στην συνέχεια με χειρουργική επέμβαση εφόσον κριθεί αναγκαίο. [15]

1.4.3.1 Ο ρόλος του κολλαγόνου

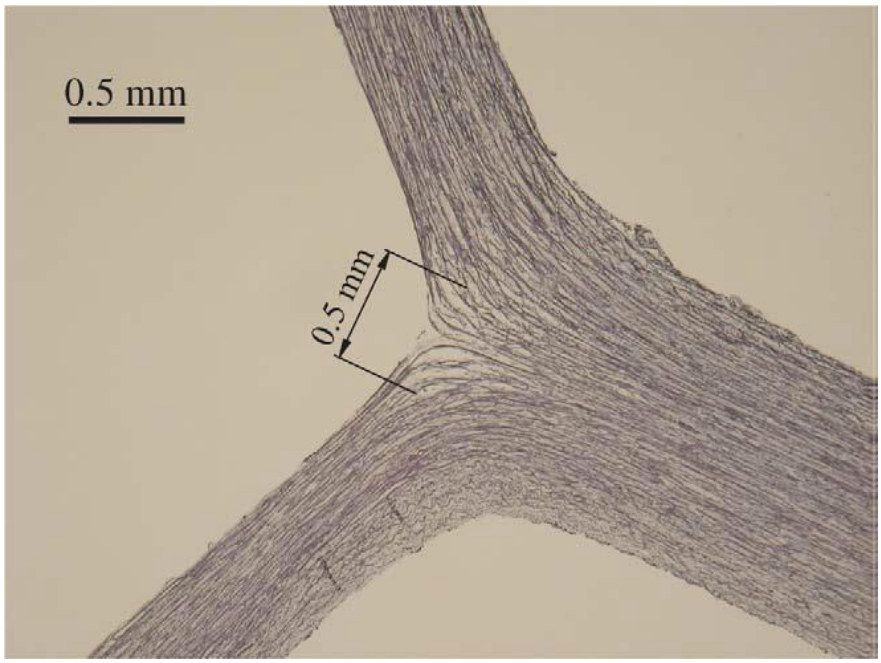
Οι δύο κύριοι τύποι κολλαγόνου που εμφανίζονται στην αορτή είναι οι τύπου Ι και ΙΙΙ, που είναι το 80-90% του συνολικού κολλαγόνου. Τόσο το κολλαγόνο, όσο και η ελαστίνη είναι σημαντικά για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό, αλλά και της ακαμψίας της αορτής, αφού οι μηχανικές ιδιότητες της αορτής δεν εξαρτώνται μόνο από τις μηχανικές αλληλεπιδράσεις των συστατικών του τοιχώματος, αλλά και από τις ποσότητες τους.

Το κολλαγόνο είναι μια ομάδα από διαμήκεις, ινώδεις και δομικές πρωτεΐνες όπου στον έξω χιτώνα του αγγείου (adventitia), σχηματίζεται από κυματιστές ίνες μαζί με ίνες ελαστίνης και ινοβλάστες. Είναι πιθανώς ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά ολόκληρου του τοιχώματος της αορτής. Όταν το κολλαγόνο ευθυγραμμίζεται, μπορεί να αντέξει μεγαλύτερα φορτία αξονικής καταπόνησης και για το λόγο αυτό οι ίνες του με την πάροδο των χρόνων ευθυγραμμίζονται, ώστε να αντέξουν μεγαλύτερα φορτία λόγω της διόγκωσης τμημάτων των αρτηριών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ίνες ελαστίνες και κολλαγόνου να παίζουν σημαντικό

ρόλο στην μηχανική απόκριση των αιμοφόρων αγγείων. [16][17]

Η μελέτη της μικροδομής των αρτηριακών τοιχωμάτων, παίζει καθοριστικό ρόλο στο προσδιορισμό της συμπεριφοράς των αρτηριακών τοιχωμάτων υπό την καταπόνηση φορτίων. Εφόσον, ο διαχωρισμός εμφανίζεται και διαδίδεται κυρίως στο μέσο χιτώνα, απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια, για να υπάρξει ρήξη και να συνεχίσει στο έξω χιτώνα. Επομένως, η οργάνωση της μικροδομής του μέσου χιτώνα, επηρεάζει άμεσα της ιδιότητες ολόκληρου του αρτηριακού τοιχώματος. Η ιστολογία του τοιχώματος, δείχνει ότι ο μέσος χιτώνας είναι ένα σύνθετο τρισδιάστατο δίκτυο που αποτελείται, από κύτταρα λείου μυός που είναι ενσωματωμένα σε εξωτερική μήτρα από ελαστίνη και διαφόρους τύπος κολλαγόνου. Οι μελέτες που έγιναν σε υγιή άτομα, έδειξαν ότι η ελαστίνη, το ινώδες κολλαγόνο και οι λείοι μύες είναι ταξινομημένοι σε ελάσματα πάχους περίπου 10 μm. Οι πολυστρωματικές δομές που σχηματίζονται είναι επιρρεπείς στο διαχωρισμό και το επίπεδο διάσπασης δημιουργείται παράλληλα προς τα ελάσματα, ως αποτέλεσμα στα υγιείς άτομα να παρατηρείται πιο συχνά διαχωρισμός κατά μήκος των στρωμάτων. [18]

Επίσης, από μελέτες που έγιναν με τη χρήση του μικροσκοπίου SEM (Scanning Electron Microscopy), διαπιστώθηκε μέσω των απεικονήσεων ότι οι ανισοτροπικές ιδιότητες του διαχωρισμού παραμένουν σταθερές κατά τη διάδοσή του σε περίπτωση ανιούσας αορτής που δεν εμφάνισε ανεύρυσμα. Στις περιπτώσεις όπου οι αρτηρίες δεν παρουσιάζουν ανεύρυσμα, οι ίνες κολλαγόνου και ελαστίνης είναι προσανατολισμένες κυρίως στην περιφερειακή διεύθυνση του τοιχώματος του αορτικού τοίχος που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη αντοχή σε διαχωρισμό στην διαμήκη διεύθυνση. [14]



Εικόνα 1.4.3: Φωτομικρογραφία αορτικού διαχωρισμού διάσπασης γειτονικών ελαστικών μεμβρανών με γεφύρωση γειτονικών ινών [19]

1.4.3.2 Αιτίες

Οι κύριες αιτίες που προκαλούν αορτικό διαχωρισμό είναι η υπέρταση με ποσοστό περίπου 70-80%, των ατόμων που διαγνώστηκαν να έχουν ιστορικό με υψηλή αρτηριακή πίεση. Επίσης, η αγγειίτιδα και οι διαταραχές στον συνδετικό ιστό μπορούν να προκαλέσουν αορτικό διαχωρισμό, καθώς επίσης και το σύνδρομο Marfan, το σύνδρομο Ehlers-Danlos, Loeys-Dietz, Behcet, Turner και η σύφιλη. Συγκεκριμένα για το σύνδρομο Marfan το ποσοστό ατόμων που εμφάνισαν αορτικό διαχωρισμό ανέρχεται στο 5-9%, των ατόμων που πάσχουν από τη νόσο. Διαπιστώθηκε ακόμα ότι κάποιο τραύμα στο στήθος αλλά και η παράνομη χρήση ναρκωτικών ουσιών, η υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ, το κάπνισμα, ο διαβήτης και η δυσλιπιδαιμία είναι επίσης παράγοντες κινδύνου. Ασθενείς που υποβλήθηκαν σε εγχείρηση ανοιχτής καρδίας, έχουν περισσότερες πιθανότητες εμφάνισης αορτικού διαχωρισμού καθώς από έρευνες που έχουν γίνει, το 18% των ατόμων, που είχαν ιστορικό χειρουργικής επέμβασης ανοιχτής καρδίας, εμφάνισαν οξύ αορτικό διαχωρισμό. Τέλος, αυξημένο κίνδυνο διατρέχουν και τα άτομα που έχουν υποστεί αντικατάσταση αορτικής βαλβίδας, καθώς η αορτική ανεπάρκεια προκαλεί αυξημένη ροή αίματος στην ανιούσα αορτή, με αποτέλεσμα τη διαστολή και την αποδυνάμωση της αορτής. Στους ασθενείς με υπέρταση, παρουσιάστηκαν ενδοτοιχωματικές διατμητικές τάσεις που προέκυψαν από ετερογενείς παράγοντες λόγω της μειωμένης ροής στα

αγγεία των τοιχωμάτων. [15][20]

1.4.3.3 Συμπτώματα

Περίπου το 96% των ατόμων που παρουσίασαν αορτικό διαχωρισμό παρουσίασαν ξαφνικά δυνατό πόνο στο στήθος. Το 17% αυτών των ατόμων, αισθάνθηκαν ότι ο πόνος μεταφέρεται και σε άλλη περιοχή, λόγω της επέκτασης του διαχωρισμού και σε άλλα μέρη της αορτής. Συγκεκριμένα, ο πόνος μπροστά στο στήθος σχετίζεται με το διαχωρισμό στην ανιούσα αορτή ενώ ο πόνος πίσω στην ωμοπλάτη σχετίζεται με διαχωρισμό στη κατιούσα αορτή. Συχνά, ο πόνος μπορεί να συγχέεται με αυτόν της καρδιακής προσβολής, ωστόσο στην περίπτωση του αορτικού διαχωρισμού δεν παρατηρείται καρδιακή ανεπάρκεια και αλλαγές στο ηλεκτροκαρδιογράφημα. Τα λιγότερο συνηθισμένα συμπτώματα που παρατηρούνται είναι η συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια (7%), λιποθυμία (9%), εγκεφαλικό επεισόδιο (6%), ισχαιμική περιφερική νευροπάθεια, παραπληγία και καρδιακή ανακοπή.[15]

1.4.3.4 Διάγνωση

Λόγω των ποικίλων συμπτωμάτων, που εμφανίζουν οι ασθενείς με αορτικό διαχωρισμό, πολλές φορές το ιατρικό ιστορικό δεν είναι αρκετό για τη διάγνωση του. Για το λόγο αυτό, συχνά η διάγνωση γίνεται με οπτικοποίηση της ρωγμής στον έσω χιτώνα του αγγείου. Οι πιο συνήθεις εξετάσεις που γίνονται για διάγνωση του αορτικού διαχωρισμού είναι η αξονική τομογραφία στον θώρακα με ιωδιωμένο μέσο σκιαγραφικής αντίθεσης και ηχοκαρδιογράφημα. Επίσης, μπορούν να γίνει αορτογραφία ή αγγειογραφία μαγνητικού συντονισμού (MRA). Όταν γίνει η διάγνωση, απαιτείται άμεση χειρουργική επέμβαση ανοιχτής καρδίας, όπου θα γίνει αποκοπή του διαχωρισμένου τμήματος και αντικατάσταση του με συνθετικό αγωγό. Στην περίπτωση όπου προκληθεί βλάβη σε αορτική βαλβίδα, τότε γίνεται η αντικατάσταση της, εντός του συνθετικού αγωγού. Συνήθως, πριν τη χειρουργική επέμβαση, χορηγείται στον ασθενή φάρμακα με νιτροπρουσίδη και βήτα αναστολείς, για τη μείωση της αρτηριακής πίεσης και του καρδιακού ρυθμού για αποφυγή της επιδείνωσης της κατάστασης του κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. [21] [15]

2 Μεθοδολογία

2.1 Σκοπός Πειράματος

Ο σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των χιτώνων της ανιούσας θωρακικής αορτής, η σύγκριση τους με τους αντίστοιχους παθολογικούς χιτώνες και η ταξινόμηση τους με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες. Διενεργήθηκαν πειράματα αποφλοίωσης (peeling) σε 15 μάρτυρες (controls) με φυσιολογική αορτή και 19 ασθενών (ATAD) με διαχωριστικό ανεύρυσμα αορτής.

2.2 Επεξεργασία Δειγμάτων

Αρχικά, τα τμήματα της θωρακικής αορτής εξετάζονται για την ύπαρξη τυχόν χαλαρού προσκολλημένου ιστού ή επικαρδιακού στρώματος και στη συνέχεια καθαρίζονται προσεκτικά. Έπειτα, αποκόπτεται μόνο η ανιούσα αορτή και με τομή, το κυλινδρικό της σχήμα μετατρέπεται σε διάμηκες με τη χρήση χειρουργικού νυστεριού, χωρίζοντας το σε τέσσερις ανατομικές περιοχές: το **έσω (left lateral)** και το **έξω (right lateral)** πλάγιο τμήμα, το **πρόσθιο** (**anterior**) και το **οπίσθιο** (**posterior**) ανάλογα με τη θέση του στην αορτή. Τα παραπάνω φαίνονται μέσα από τις φωτογραφίες που πάρθηκαν κατά τη διαδικασία (παράδειγμα 11^{ου} μάρτυρα):

Εικόνα 2.2.1: Τμήμα θωρακικής αορτής από τον 11ο μάρτυρα.

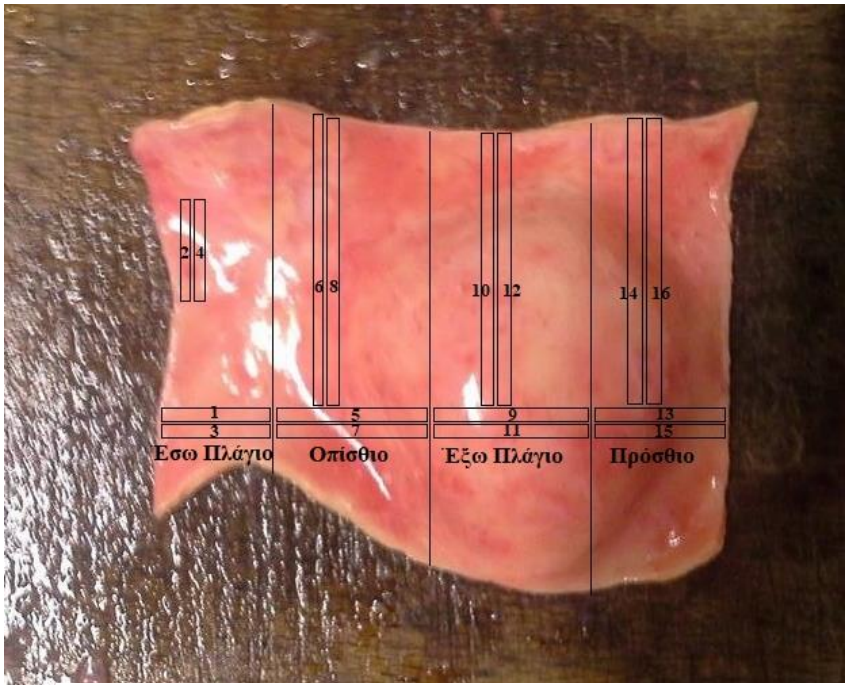
Εικόνα 2.2.2: Τμήμα ανιούσα αορτής μετά τον πρώτο καθαρισμό.

Εικόνα 2.2.3: Διαμήκης τμήμα αορτής.

Έπειτα, κάθε μια από τις παραπάνω περιοχές τεμαχίζεται με τη χρήση χειρουργικού νυστεριού και οι λωρίδες που δημιουργούνται είναι ορθογωνικής διατομής και είναι είτε διαμήκεις είτε εγκάρσιες (longitudinal, circumferential), ανάλογα με την διεύθυνση τους.

Εικόνα 2.2.4: Διάμηκες τμήμα έπειτα τομής του στις 4 περιοχές.

Στη συνέχεια, το κάθε δοκίμιο υποβάλλεται σε πείραμα αποφλοίωσης (peeling), και μετριέται το διάγραμμα τάσης αποφλοίωσης συναρτήσει της επιμήκυνσης και από το διάγραμμα αυτό εξάγονται τα αποτελέσματα. Το παρακάτω παράδειγμα, δείχνει πως χαρτογραφήθηκαν οι λωρίδες του κάθε επιμέρους τμήματος, στα οποία δόθηκε και ένας αύξον αριθμός για καλύτερη ταξινόμηση:

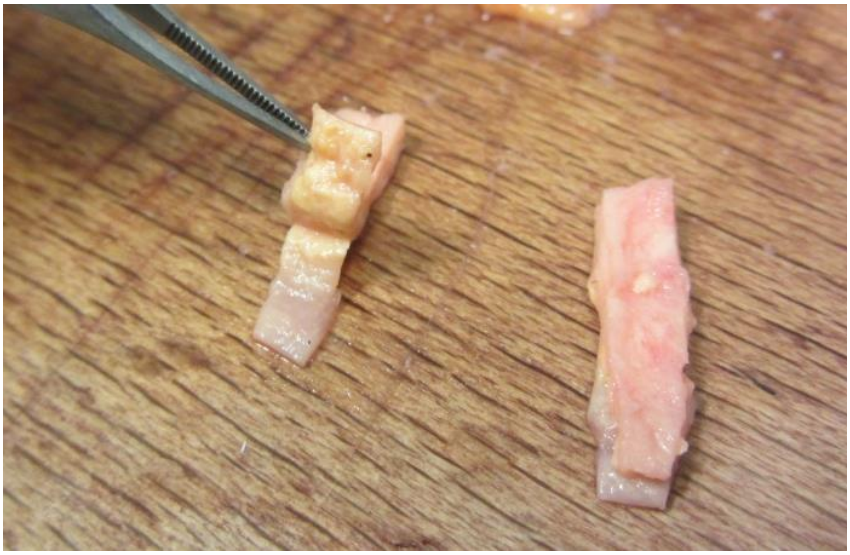


Εικόνα 2.2.5: Χαρτογράφηση δοκιμιών 11ου μάρτυρα.

Η πιο πάνω διαδικασία ακολουθήθηκε αντίστοιχα και για τους ασθενείς που παρουσίασαν αορτικό διαχωρισμό. Στους ασθενείς ωστόσο, εξετάστηκαν μόνο τα σημεία που είχε ξεκινήσει ήδη ο διαχωρισμός ή σε σημεία πολύ κοντινά σε αυτά.

Εικόνα 2.2.6: Τμήμα ανιούσας αορτής 4ου ασθενή.

Εικόνα 2.2.7: Διαμήκες τμήμα ανιούσα αορτής 4ου ασθενή.



Εικόνα 2.2.8: Δείγμα 4ου ασθενή με αορτικό διαχωρισμό.

	Ηλικία (ΧΡΟΝΙΑ)	Φύλο (ΑΡ./ΘΥ.)	Ύψος (m)	Βάρος (kg)	Μέγιστη Αορτική Διάμετρος (cm)	Δίπτυχη Αορτική Βαλβίδα (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Υπέρταση (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Σακχαρώδης Διαβήτης (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Δυσλιπιδαιμία (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Νοσήματα συνδετικού ιστού (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Κάπνισμα (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Κατανάλωση Αλκοόλ (ΝΑΙ/ΟΧΙ)
Ασθενείς												
4	61	ΑΡ.	–	–	–	ΟΧΙ	–	–	–	ΟΧΙ	ΝΑΙ	–
5	85	ΘΥ.	1.65	75	5.8	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
6	69	ΑΡ.	1.78	107	5.3	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
7	61	ΘΥ.	1.76	70	4.5	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
8	35	ΑΡ.	1.87	115	6.3	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	–	ΝΑΙ	ΟΧΙ
9	70	ΑΡ.	1.85	150	5.2	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
11	62	ΑΡ.	1.77	80	5.1	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	–
12	47	ΑΡ.	1.94	107	5.4	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	–	ΝΑΙ	ΝΑΙ	–
15	62	ΑΡ.	1.65	80	5.4	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	–
17	42	ΘΥ.	1.62	56	5.1	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
18	60	ΑΡ.	1.78	70	7.5	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
19	72	ΘΥ.	1.61	65	4	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
20	69	ΘΥ.	1.68	62	-	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
21	68	ΘΥ.	1.66	75	5.5	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
22	72	ΑΡ .	1.68	68	5	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
23	61	ΑΡ.	–	–	–	–	–	ΟΧΙ	–	–	–	–
24	70	ΘΥ.	1.62	79	6	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
25	83	ΑΡ.	1.71	80	5.5	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
26	71	ΘΥ.	1.62	75	4.8	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 2.2.1: Χαρακτηριστικά Ασθενών.

	Ηλικία (ΧΡΟΝΙΑ)	Φύλο (ΑΡ./ΘΥ.)	Ύψος (m)	Βάρος (kg)	Μέγιστη Αορτική Διάμετρος (cm)	Δίπτυχη Αορτική Βαλβίδα (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Υπέρταση (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Σακχαρώδης Διαβήτης (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Δυσλιπιδαιμία (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Νοσήματα συνδετικού ιστού (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Κάπνισμα (ΝΑΙ/ΟΧΙ)	Κατανάλωση Αλκοόλ (ΝΑΙ/ΟΧΙ)
Controls												
1	51	ΑΡ.	1.70	70	–	–	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
2	65	ΑΡ.	1.75	80	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
3	69	ΑΡ.	1.72	78	–	–	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
4	65	ΑΡ.	1.75	70	–	–	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
5	44	ΑΡ.	1.90	93	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
6	52	ΑΡ.	–	–	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
7	81	ΑΡ.	–	–	–	–	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
8	76	ΑΡ.	–	–	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
9	79	ΘΥ.	–	–	–	–	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
10	76	ΘΥ.	–	–	–	–	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
11	64	ΑΡ.	–	–	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
12	56	ΘΥ.	1.70	45	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
13	63	ΑΡ.	1.80	79	–	–	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
14	70	ΘΥ.	1.55	80	–	–	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
15	55	ΘΥ.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Πίνακας 2.2.2: Χαρακτηριστικά Μαρτύρων.

2.3 Περιγραφή Πειράματος

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η πλήρως αυτοματοποιημένη μηχανή Vitrodyne V1000 Universal tester (Liveco Inc, Burlington, VT, USA), για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών (ΙΙΒΕΑΑ), μέχρι και 48 ώρες μετά τη λήψη των δειγμάτων.

Εικόνα 2.3.1: Απεικόνιση πάνω μέρους της συσκευής. Διακρίνεται το έμβολο κίνησης (κάτω μέρος) και η μηχανική διάταξη για τη λήψη και την αποστολή δεδομένων του πειράματος στον Η/Υ. Απεικονίζεται και η διάταξη ρύθμισης της απόστασης ανάμεσα στις δύο αρπαγές.

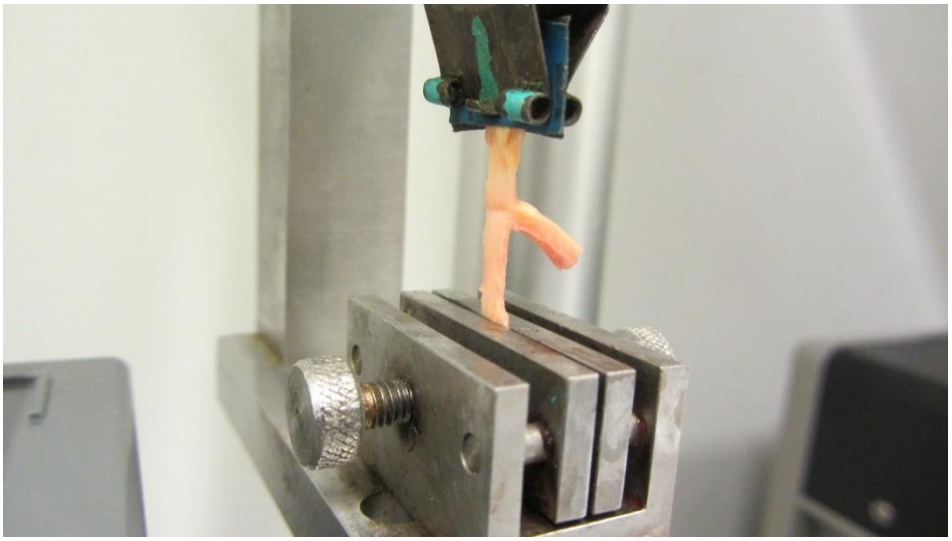
Η **μηχανή** αποτελείται από την **κυρίως μονάδα** και από τη **μονάδα ελέγχου**. Η κυρίως μονάδα αποτελείται από τη βάση στήριξης, από τις δύο βάσεις στήριξης των δοκιμίων (αρπάγες), από το έμβολο κίνησης και από το μετρητή φορτίου και μετατόπισης. Η συσκευή είναι συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό υπολογιστή και με τη χρήση του λογισμικού “Material Witness V2.0.2 Liveco Inc, Burlington, VT, USA” παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων του φορτίου και της μετατόπισης (Force-Position) για περαιτέρω επεξεργασία. Η

συσκευή για την καταγραφή της εντατικής κατάστασης φέρει δυναμοκυψέλη μεγίστου φορτίου 0,5kg, ευαισθησίας 0.25gr και μέγιστης μετατόπισης 20000 μm. Η συχνότητα δειγματοληψίας του μηχανήματος, ορίζεται στα 100 Hz, δηλαδή πραγματοποιείται μια μέτρηση κάθε 0.1 δευτερόλεπτο.

Από τις δύο αρπάγες που φέρει το μηχάνημα, η κάτω αρπάγη παραμένει σταθερή, ενώ η άνω είναι συνδεδεμένη με το έμβολο το οποίο ασκεί φορτίο στα δοκίμια με ταχύτητα 200 μm/sec. Κατά κανόνα οι αρπάγες προκαλούν τοπική διαταραχή της κατανομής των τάσεων στην περιοχή επαφής τους με το δείγμα. Όμως, σε μικρή απόσταση από τις αρπάγες η τάση είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την επιφάνεια της διατομής του δείγματος. Η ομοιόμορφη κατανομή της τάσης στον αορτικό ιστό εξασφαλίζεται με επιλογή μεγάλου λόγου μήκους προς πλάτος των δοκιμίων.

Λόγω της μορφολογίας του φυσικού ιστού, ο οποίος έχει σχεδόν λεία επιφάνεια έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος στήριξης των δοκιμίων προκειμένου να αποφευχθεί η ολίσθηση. Η καθήλωση των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια αντιολισθητικού χαρτιού (γυαλόχαρτο). Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η πιθανή ολίσθηση των δοκιμίων κατά τη διάρκεια της μηχανικής καταπόνησης και η απότομη διακοπή του πειράματος. Τυχόν μικροολισθήσεις που πιθανόν έγιναν, δεν επηρέασαν τις μετρήσεις του πειράματος καθώς τόσο το αρχικό μήκος όσο και οι τελικές παραμορφώσεις των δειγμάτων ήταν πολύ μεγάλες σε σχέση με τις πιθανές μικρές κινήσεις μέσα στις αρπάγες.

Η μεγάλη ευκαμψία των δειγμάτων επιβάλλει την αρχική προετοιμασία του πριν την διεξαγωγή των πειραμάτων. Για αυτό το λόγο, μετά την τοποθέτηση των δοκιμίων στις αρπάγες αυτές απομακρύνονται τόσο, ώστε το δοκίμιο να είναι χαλαρό. Δηλαδή, τα δοκίμια πριν την έναρξη του πειράματος θα πρέπει να είναι αφόρτιστα και να έχουν το φυσικό τους μήκος. Η προετοιμασία αυτή δε λαμβάνεται υπόψη στις μετρήσεις του φορτίου και της μετατόπισης. Επομένως, έχουμε το μηδενισμό των μεγεθών του φορτίου της μετατόπισης (Load, Position) για το αρχικό μήκος του δοκιμίου και οι μετρήσεις καταγράφονται από την τιμή αυτή και μετά.



Εικόνα 2.3.2: Απεικόνιση πειράματος αποφλοίωσης.

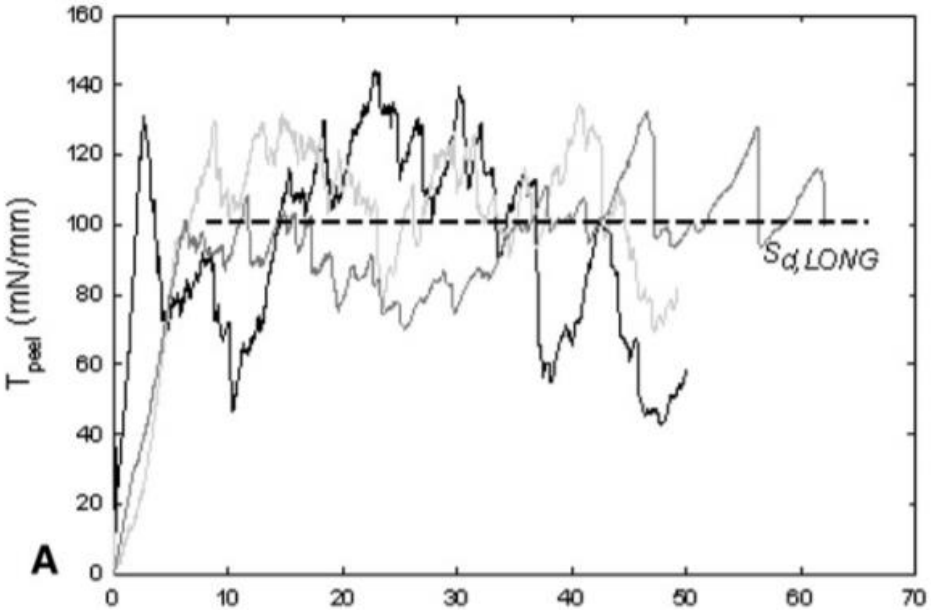
2.4 Περιγραφή Μεθόδου Ανάλυσης

Από τα δοκίμια της ανιούσας αορτής, που υποβλήθηκαν σε αποφλοίωση (peeling) πάρθηκαν με τη χρήση του Η/Υ τα διαγράμματα τάσης αποφλοίωσης (S_d) συναρτήσει της μετατόπισης (ε) και από αυτά εξήχθησαν συμπεράσματα για τις μηχανικές ιδιότητες τους.

2.4.1 Αντοχή υλικών

Η **αντοχή των υλικών** είναι η ικανότητα των υλικών να αντέχουν σε ένα εφαρμοζόμενο φορτίο χωρίς ωστόσο να αστοχούν. Το φορτίο που ασκείται, θα προκαλέσει εσωτερικές πιέσεις που και αυτές με τη σειρά τους θα προκαλέσουν παραμόρφωση του υλικού με διάφορους τρόπους. Τα εφαρμοζόμενα φορτία είναι είτε αξονικά (εφελκυστικά ή θλιπτικά), είτε διατμητικά. Για την πλήρη ανάλυση των πιέσεων που αναπτύσσονται απαιτείται η γνώση της γεωμετρίας, των φορτίων που ασκούνται, του ορίου διαρροής και των ιδιοτήτων του υλικού. Συγκεκριμένα, η αντοχή του υλικού αναφέρεται στην καμπύλη τάσης (σ) – παραμόρφωσης (ε) που σχηματίζεται κατά την καταπόνηση του υλικού, όπου μέχρι ένα επιτρεπτό όριο (yield point) το υλικό βρίσκεται στην ελαστική περιοχή, δηλαδή οι οποιεσδήποτε παραμορφώσεις που προκλήθηκαν δεν επηρέασαν το υλικό και μπορεί να επαναφερθεί στην κανονική του μορφή. Ωστόσο, όταν οι τιμές των πιέσεων περάσουν το όριο διαρροής του υλικού, τότε το υλικό εισέρχεται στην πλαστική περιοχή, όποτε οι παραμορφώσεις δεν μπορούν να

αντιστραφούν ακόμα και με την αφαίρεση της δύναμης καταπόνησης. Στην προκειμένη περίπτωση, όπου υπάρχει αποκόλληση δύο χιτώνων, η δύναμη βρίσκεται στην ελαστική περιοχή και φτάνει μέχρι ένα μέγιστο σημείο (peak) και έπειτα παραμένει σχετικά σταθερή σε όλη τη διάδοση του διαχωρισμού. [22]



Εικόνα 2.4.1: Μηχανική παραμόρφωση δοκιμίων [14]

2.4.2 Επεξεργασία Δεδομένων Πειραμάτων

Αρχικά, πριν την έναρξη των πειραμάτων μετρήθηκαν οι βασικές διαστάσεις για κάθε δοκίμιο (αρχικό μήκος, πλάτος, πάχος και διαρπαγικό μήκος) και από το πείραμα αποφλοίωσης δημιουργήθηκε ένα αρχείο στο οποίο αποθηκεύονται οι τιμές της επιμήκυνσης και της αντίστοιχης δύναμης αποφλοίωσης (peel tension) για κάθε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε. Για την επεξεργασία των δεδομένων έγινε αρχικοποίηση της θέσης και μετατροπή των μονάδων μέτρησης της, ώστε η μετατόπιση (elongation) να μετριέται σε «χιλιοστόμετρα». Σημειώνεται, ότι το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε καταγράφει μια μέτρηση ανά 0.1 sec, ενώ η ταχύτητα κίνησης της άνω αρπάγης είναι 200 μm/sec. Η τάση αποφλοίωσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$T_{peel}(\frac{mN}{mm}) = \frac{F \cdot g}{w} \tag{2.1}$$

όπου F: η δύναμη αποφλοίωσης (gr).

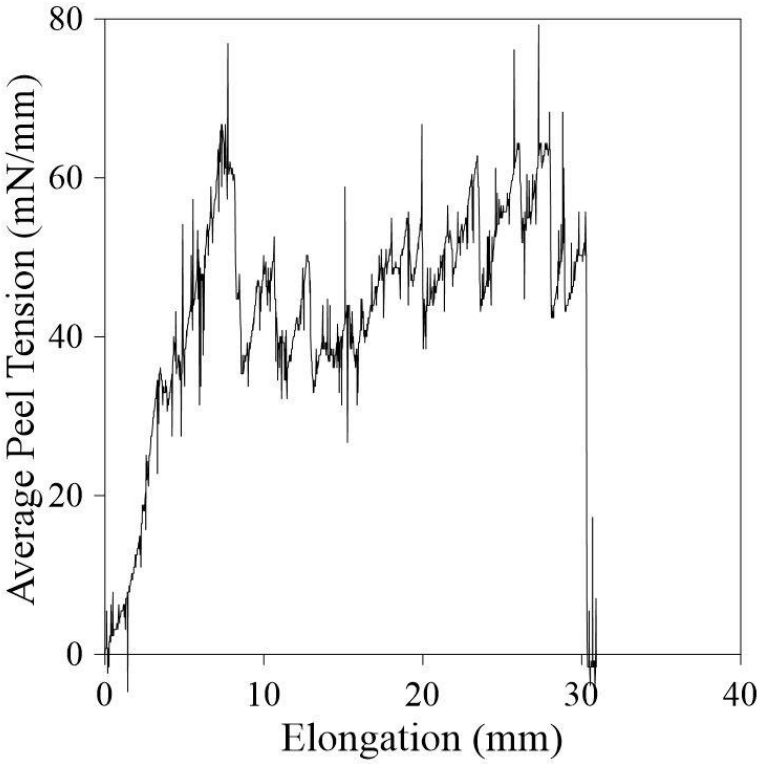
g: ο συντελεστής βαρύτητας που είναι ίσος με -9.79938 ($\frac{m}{s^2}$).

(γεωγραφικό πλάτος = 37.991692448060796, γεωγραφικό μήκος = longitude

και ύψος = 176.00 m)

w: το πλάτος δοκιμίου (mm).

Ο στόχος της ανάλυσης, είναι να επιτευχθεί ο υπολογισμός τεσσάρων βασικών μεγεθών: της μέγιστης τάσης αποφλοίωσης ($T_{peel,peak}$) και της αντίστοιχης μετατόπισης (δηλαδή το σημείο που ξεκινά ο διαχωρισμός), και της τάσης αποφλοίωσης και της αντίστοιχης μετατόπισης μόλις γίνει ο διαχωρισμός. Η επεξεργασία και ο σχηματισμός των γραφικών, έγινε με τη βοήθεια των προγραμμάτων Excel και Grapher 12. Με τη χρήση τον πιο πάνω τιμών, προσδιορίστηκε η μέση τάση αποφλοίωσης (Average Peel Tension, S_d) του κάθε δοκίμου. Για παράδειγμα, για το δοκίμιο «cpc2» (εγκάρσια διεύθυνση) του 11^{ου} μάρτυρα προκύπτει η πιο κάτω γραφική:



Εικόνα 2.4.2: Διάγραμμα δοκιμίου 11cpc2.

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα υπολογίστηκε η $T_{peel,peak}$ = 36.11951 $\frac{mN}{mm}$ με επιμήκυνση ε = 3.497 mm και η μέση τάση αποφλοίωσης S_d = 27.35344 $\frac{mN}{mm}$.

2.4.3 Ταξινόμηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Για κάθε δοκίμιο, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Τα μεγέθη που αποθηκεύτηκαν είναι η τιμή της τάσης αποφλοίωσης ($T_{peel,peak}$), η τιμή της επιμήκυνσης (ε) (αρχή αποφλοίωσης μέχρι αστοχία) και η μέση τιμή της αποφλοίωσης (S_d). Για την ταξινόμηση των δοκιμίων, αρχικά χωρίστηκαν ανάλογα με τον προσανατολισμό τους (circumferential ή longitudinal), και στη συνέχεια ως προς την ανατομική τους θέση στο τοίχωμα της αορτής (πρόσθιο, έσω πλάγιο, οπίσθιο, έξω πλάγιο). Σε μερικά από τα πειράματα που υποβλήθηκαν τα δοκίμια των ασθενών, είχε ήδη αρχίσει ο διαχωρισμός ή βρισκόταν πολύ κοντά στην έναρξη του σε σύγκριση με τα δοκίμια των ασθενών, όπου υποβλήθηκε σε διαχωρισμό όλη η περιοχή της ανιούσας αορτής.

	Πρόσθιο		**Έξω πλάγιο**		**Οπίσθιο**		**Έσω πλάγιο**	
	Ασθενείς	**Control**	**Ασθενείς**	**Control**	**Ασθενείς**	**Control**	**Ασθενείς**	**Control**
Περιφερειακή (circ.)	12	23	19	23	28	24	11	19
Διαμήκης (long.)	21	22	8	22	11	24	11	19

Πίνακας 2.4.1: Κατηγοριοποίηση των δοκιμίων με βάση την παθολογία, τη ανατομική θέση και την διεύθυνση.

Αφού ολοκληρώθηκε η πιο πάνω διαδικασία, για όλα τα αρχεία και με τη χρήση των πιο κάτω τύπων, υπολογίστηκε με τη χρήση στατιστικής η μέση τιμή των δοκιμίων, η τυπική απόκλιση τους και η τυπική απόκλιση της μέσης τιμής τους:

Για τη μέση τιμή:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{2.2}$$

όπου n: ο εκάστοτε αριθμός δοκιμίων.

x_i: η μέση τιμή αποφλοίωσης του κάθε δείγματος, ή ο εκάστοτε αριθμός πάχους.

Για τη τυπική απόκλιση:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}{n}} \tag{2.3}$$

όπου n: ο εκάστοτε αριθμός δοκιμίων.

x_i: η μέση τιμή αποφλοίωσης του κάθε δείγματος, ή ο εκάστοτε αριθμός πάχους.

μ: η μέση τιμή του πληθυσμού.

Για τη συνολική μέση τιμή δειγμάτων με διαφορετικό αριθμό δοκιμίων:

$$\bar{x} = \frac{n_i x_i}{N} \tag{2.4}$$

όπου n_i: ο εκάστοτε αριθμός δοκιμίων.

x_i: η μέση τιμή αποφλοίωσης του κάθε δείγματος, ή ο εκάστοτε αριθμός πάχους.

N: ο συνολικός αριθμός των δοκιμίων.

Για τη τυπική απόκλιση μέσης τιμής με διαφορετικό αριθμό δοκιμίων:

$$s = \sqrt{\frac{(n_i-1)s_i^2+n_i\bar{x}_i^2}{N-1}} \tag{2.5}$$

όπου n_i: ο εκάστοτε αριθμός δοκιμίων.

s_i: η τυπική απόκλιση των εκάστοτε δειγμάτων.

x_i: η μέση τιμή αποφλοίωσης του κάθε δείγματος, ή ο εκάστοτε αριθμός πάχους.

N: ο συνολικός αριθμός των δοκιμίων.

Επίσης, με τη χρήση της στατικής και συγκεκριμένα των στατιστικών τεστ (Student's t-test και Tukey-test), έγινε η σύγκριση των μέσων όρων των συνόλων (παράγοντες κινδύνου, παθολογία και ανατομική περιοχή) για την εξακρίβωση τους εάν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ως προς το χαρακτηριστικό που εξετάζονται. Ως μηδενική υπόθεση (H_0), θεωρείται ότι οι μέσοι όροι των δύο ομάδων των δύο συνόλων δεν διαφέρουν στατικά μεταξύ τους και ως εναλλακτική υπόθεση (H_1) θεωρείται ότι οι μέσοι όροι διαφέρουν μεταξύ τους. Επίπεδο σημαντικότητας ορίζεται το α=0.05 και στην περίπτωση του στατιστικού ελέγχου όταν:

- το p-value < α: απορρίπτεται η H_0
- το p-value ≥ α: δεν απορρίπτεται η H_0

Με βάση τα πιο πάνω, συμπεραίνεται ότι στην περίπτωση που το p-value είναι μικρότερο του 5%, τότε τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, δηλαδή υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές των δεδομένων που εξετάζονται, άρα οι παράγοντες επηρεάζουν τα αποτελέσματα και έτσι δεν προέκυψαν τυχαία.

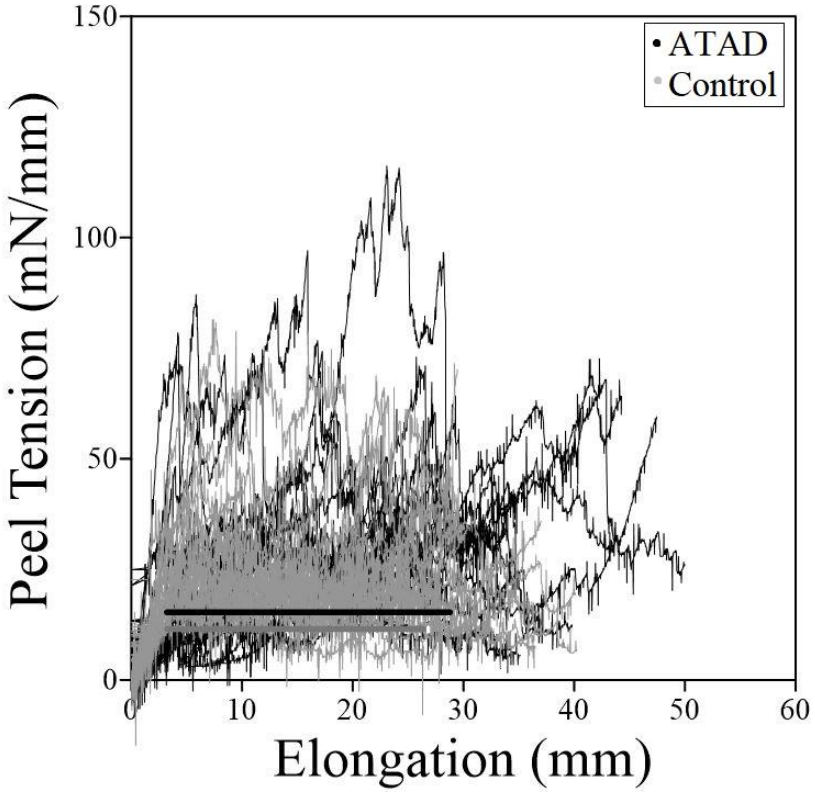
3 Αποτελέσματα

3.1 Μελέτη των προφίλ διαχωρισμού ανά διεύθυνση και ανατομική θέση για μάρτυρες και ασθενείς

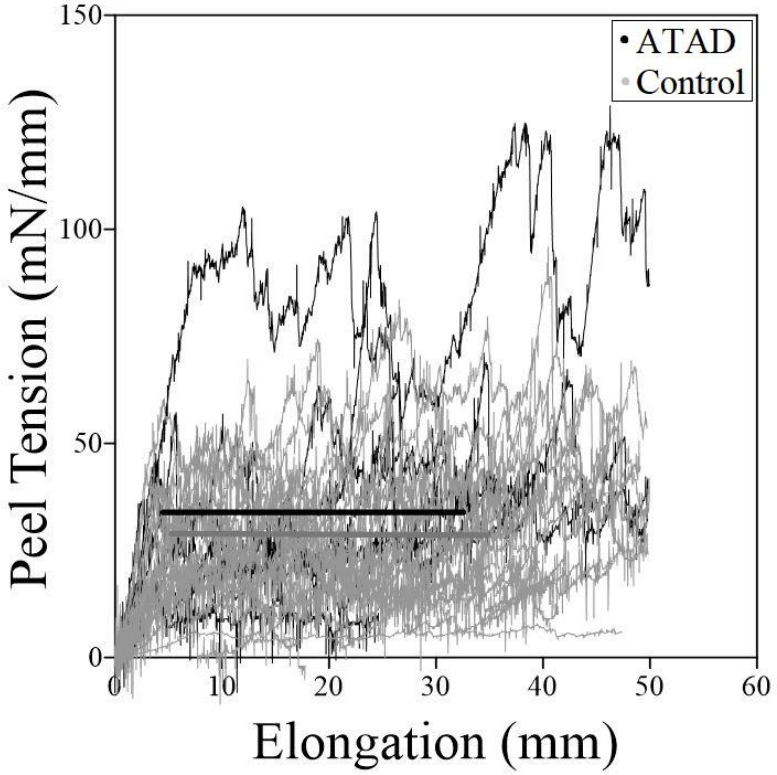
Με τη χρήση του *Πίνακα 2.4.1* και των δεδομένων που επεξεργάστηκαν με τη μεθοδολογία που περιεγράφηκε πιο πάνω, χαράσσονται τα πιο κάτω διαγράμματα. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των ασθενών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μαρτύρων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων, φαίνονται στους *Πίνακες 7.1.1, 7.1.2* .

3.1.1 Διαγράμματα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης

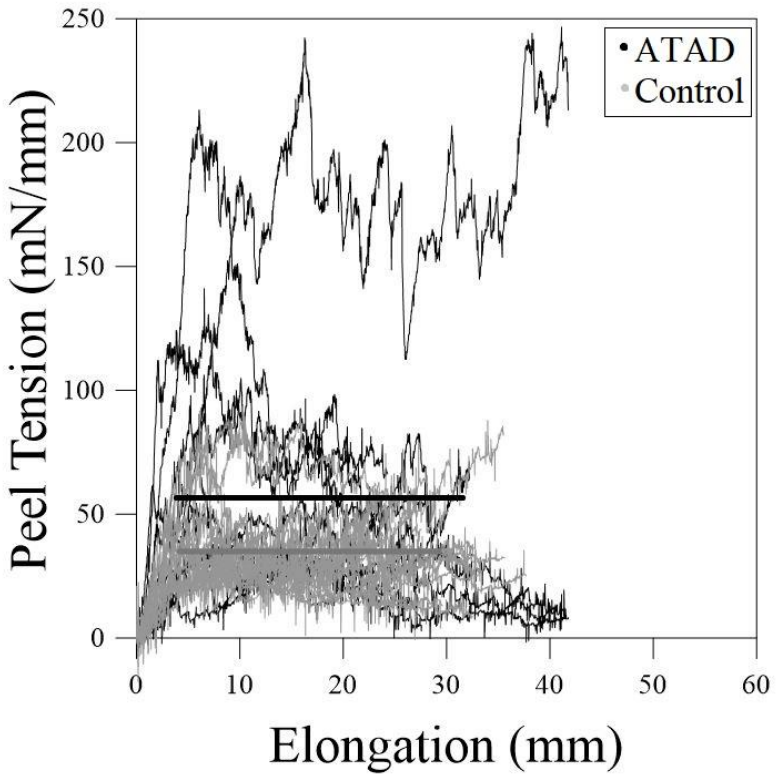
Παρουσιάζονται 4 διαγράμματα (Τάσης Αποφλοίωσης (Peel Tension) – Επιμήκυνσης (Elongation)) που προκύπτουν από τα πειράματα αποφλοίωσης, και κατατάσσονται ανάλογα με τη διεύθυνση της τομής (περιφερειακή και διαμήκης) αλλά και δύο ανατομικές περιοχές των δοκιμίων (Έξω και Έσω Πλάγιο τμήμα). Οι τιμές της επιμήκυνσης ξεκινούν με την αρχή του διαχωρισμού και τελειώνουν μέχρι και την τελευταία τιμή πριν γίνει η αποκόλληση. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των ασθενών χρησιμοποιήθηκαν 34 δοκίμια από την περιφερειακή διεύθυνση και 20 από τη διαμήκη διεύθυνση. Αντίστοιχα, για τους μάρτυρες, χρησιμοποιήθηκαν 42 δοκίμια από την περιφερειακή διεύθυνση και 41 δοκίμια από τη διαμήκη διεύθυνση.



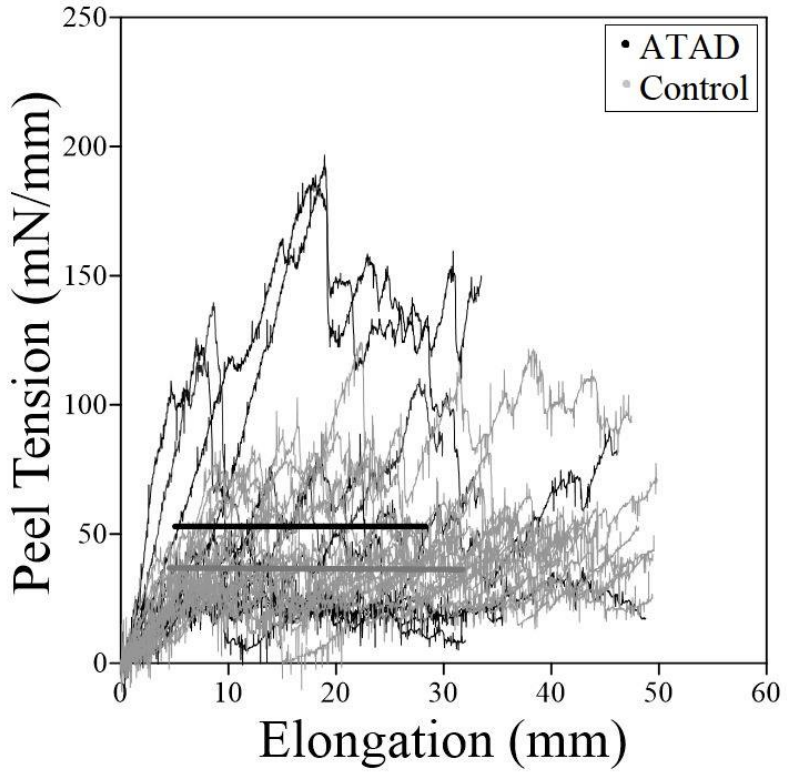
Γράφημα 3.1.1: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης στην περιφερειακή διεύθυνση (circ.) του έξω πλάγιου τοιχώματος (right lateral region) της αορτής.



Γράφημα 3.1.2: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης στην διαμήκη διεύθυνση (long.) του έξω πλάγιου τοιχώματος (right lateral region) της αορτής.



Γράφημα 3.1.3: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης στην περιφερειακή διεύθυνση (circ.) του έσω πλάγιου τοιχώματος (left lateral region) της αορτής.



Γράφημα 3.1.4: Διάγραμμα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης στην διαμήκη διεύθυνση (long.) του έσω πλάγιου τοιχώματος (left lateral region) της αορτής.

Από τις πάνω γραφικές παραστάσεις υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές της τάσης αποφλοίωσης που προκύπτουν στα παρακάτω διαγράμματα των ασθενών και μαρτύρων.

Παρατηρώντας αρχικά τα αποτελέσματα των ασθενών, στη περιφερειακή διεύθυνση το έξω πλάγιο τμήμα παρουσιάζει μικρότερη μέση τάση αποφλοίωσης από ότι στη διαμήκη διεύθυνση, ενώ στο έσω πλάγιο τμήμα προέκυψε το αντίθετο, δηλαδή στην περιφερειακή διεύθυνση προκύπτει για το έξω πλάγιο μεγαλύτερη μέση τάση αποφλοίωσης από ότι στη διαμήκη διεύθυνση.

Από τα αποτελέσματα των μαρτύρων, προκύπτει ότι αρχικά, στη περιφερειακή διεύθυνση του έξω πλάγιου τμήματος της αορτής αναπτύσσεται μικρότερη μέση τάση αποφλοίωσης σε σχέση με τη διαμήκη διεύθυνση. Το ίδιο ισχύει και για το έσω πλάγιο τμήμα.

Από τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις και πίνακες, παρατηρείται μεγαλύτερη μέση τάση αποφλοίωσης στους ασθενείς από ότι στους μάρτυρες και στις δύο ανατομικές περιοχές αλλά και στις δύο διευθύνσεις.

Με μια πρώτη ματιά, διαπιστώνεται μια τάση των ασθενών να έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε διαχωρισμό σε σχέση με τους μάρτυρες συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ανά ανατομική περιοχή.

Με βάση πρόσφατες έρευνες, οι τάσεις διαχωρισμού του τοιχώματος της αορτής είναι μικρότερες στην περιφερειακή διεύθυνση παρά στη διαμήκη και έτσι ο διαχωρισμός μπορεί να ξεκινήσει ευκολότερα από εκεί. Αυτό επιβεβαιώνεται και εδώ από τη χαμηλότερη μέση τάση αποφλοίωσης που ανάπτυξαν οι μάρτυρες και οι ασθενείς στη περιφερειακή διεύθυνση.

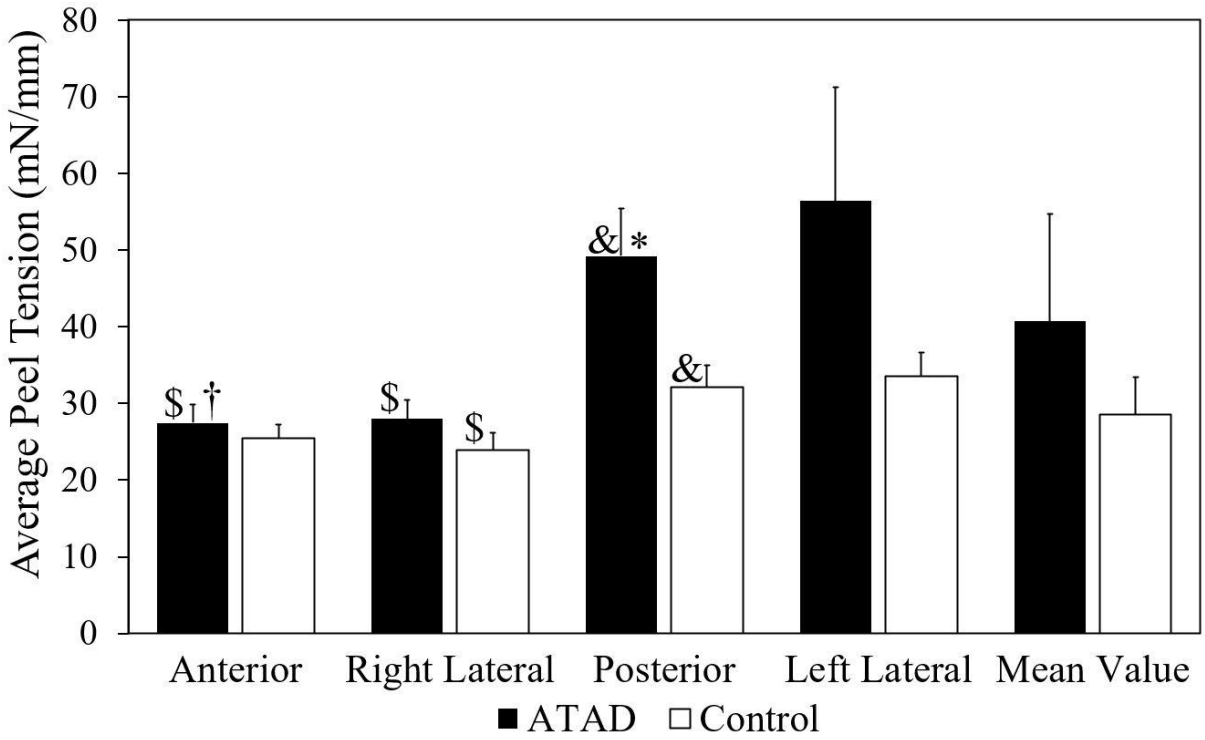
Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι ενδεχομένως οι ασθενείς μπορούν να αναπτύξουν ένα μηχανισμό αντοχής σε διαχωρισμό τόσο στην περιφερειακή όσο και στη διαμήκη διεύθυνση και έτσι απαιτείται μεγαλύτερη τάση αποφλοίωσης για να διαδοθεί ο διαχωρισμός στην αορτή.

3.2 Μελέτη της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης στους ασθενείς και στους μάρτυρες ανά ανατομική περιοχή και διεύθυνση

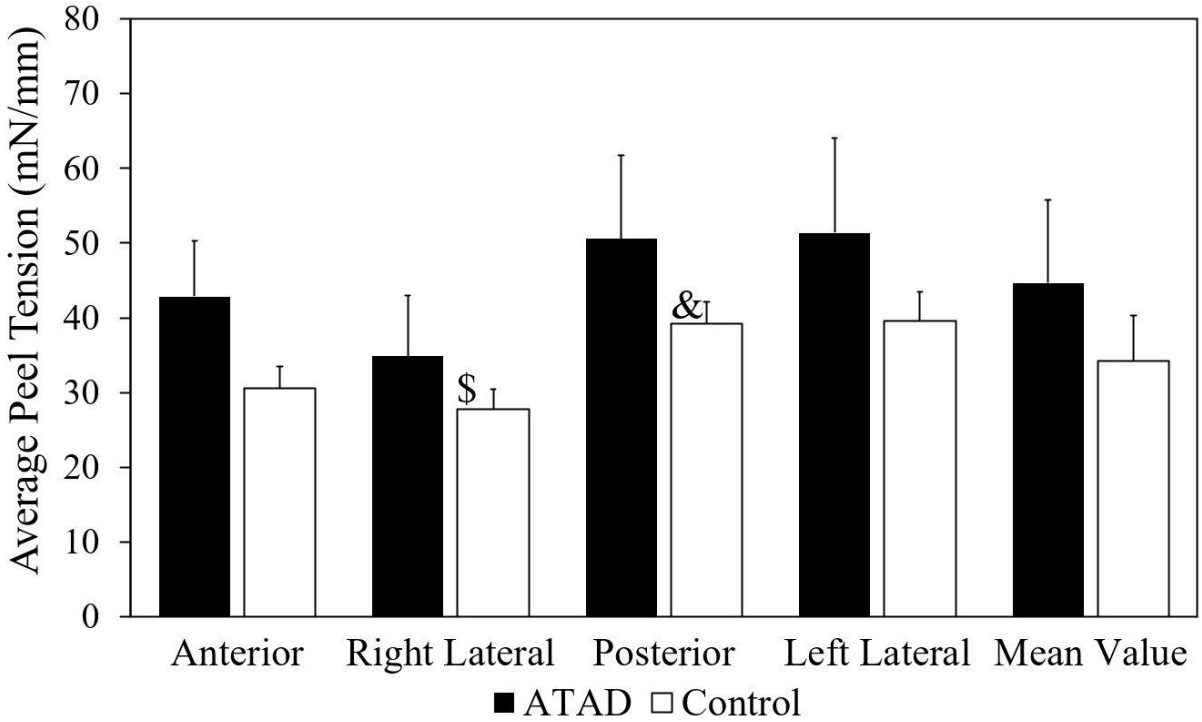
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έγιναν, ταξινομήθηκαν με βάση την ανατομική περιοχή και τη διεύθυνση. Υπολογίστηκε η μέση τιμή αποφλοίωσης για την κάθε περίπτωση και υπολογίστηκε η μέση τυπική απόκλιση τους όπως περιεγράφηκε στη *Ενότητα 2.4.3*. Έπειτα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα, σε ραβδογράμματα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών, φαίνονται στους *Πίνακες 7.2.1* και *7.2.2*.

3.2.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης της Μέση Τάση Αποφλοίωσης

Παρακάτω παρατίθενται 2 γραφικές παραστάσεις απεικόνισης της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης (Average Peel Tension) που παρουσίασαν ασθενείς και μάρτυρες, συναρτήσει της διεύθυνσης ανάπτυξής της και γίνεται σύγκριση τους ανά ανατομική περιοχή. Επίσης, έγινε *τεστ Student* και *τεστ Tukey* για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει σημαντικά στατιστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων μαρτύρων – ασθενών, περιφερειακής – διαμήκους διεύθυνσης και μεταξύ ανατομικών περιοχών, αντίστοιχα. Τα σύμβολα * και † υποδηλώνουν σημαντικές στατιστικές διαφορές σε σχέση με τις αορτές μαρτύρων και ασθενών και περιφερειακής με τη διαμήκη διεύθυνση αντίστοιχα, ενώ τα σύμβολα & και $ υποδηλώνουν την σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ του έξω πλάγιου τμήματος (right lateral) και του έσω πλάγιου τμήματος (left lateral), αντίστοιχα.



Γράφημα 3.2.1: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων και ασθενών περιφερειακών λωρίδων ιστού από όλα τα τεταρτημόρια των αορτών των ασθενών (ATAD: anterior †: p = 0.06032, posterior *: p = 0.017302) και των μαρτύρων (control).



Γράφημα 3.2.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων και ασθενών διαμήκων λωρίδων ιστού από όλα τα τεταρτημόρια των αορτών των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control).

Μελετώντας τα αποτελέσματα για τη περιφερειακή διεύθυνση διατομής και από τα στατιστικά αποτελέσματα του *τεστ-Student*, φαίνεται ότι συγκριτικά οι ασθενείς και οι μάρτυρες παρουσιάζουν σημαντικά στατιστική διαφορά στο οπίσθιο τμήμα της αορτής. Επίσης, από το *τεστ – Tukey* προκύπτει ότι, στους ασθενείς, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ του πρόσθιου και του έξω πλάγιου τμήματος με το έσω πλάγιο τμήμα και του οπίσθιου με το έξω πλάγιο τμήμα. Στους μάρτυρες, παρατηρείται επίσης, σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ του έξω πλάγιου τμήματος με το έσω πλάγιο και του οπίσθιου με το έξω πλάγιο τμήμα.

Μελετώντας τη διαμήκη διεύθυνση, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ ασθενών και μαρτύρων, ωστόσο, από το *τεστ – Tukey*, μεταξύ των μαρτύρων, παρατηρείται διαφορά μεταξύ του έξω πλάγιου τμήματος με το έσω πλάγιο και του οπίσθιου τμήματος με το έξω πλάγιο τμήμα.

Επιπρόσθετα, συγκρίνοντας τις δύο διευθύνσεις της διατομής, η διαμήκης διατομή παρουσιάζει κατά μέσο όρο, μεγαλύτερη μέση τιμή αποφλοίωσης, σε ασθενείς και μάρτυρες. Το ίδιο ισχύει συγκριτικά και για τις εκάστοτε περιοχές. Από τα στατιστικά τεστ που έγιναν για να διαπιστωθεί κατά πόσον υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των περιοχών στην περιφερειακή και στη διαμήκη διεύθυνση, προέκυψε στατιστική διαφορά στο πρόσθιο τμήμα της αορτής των μαρτύρων.

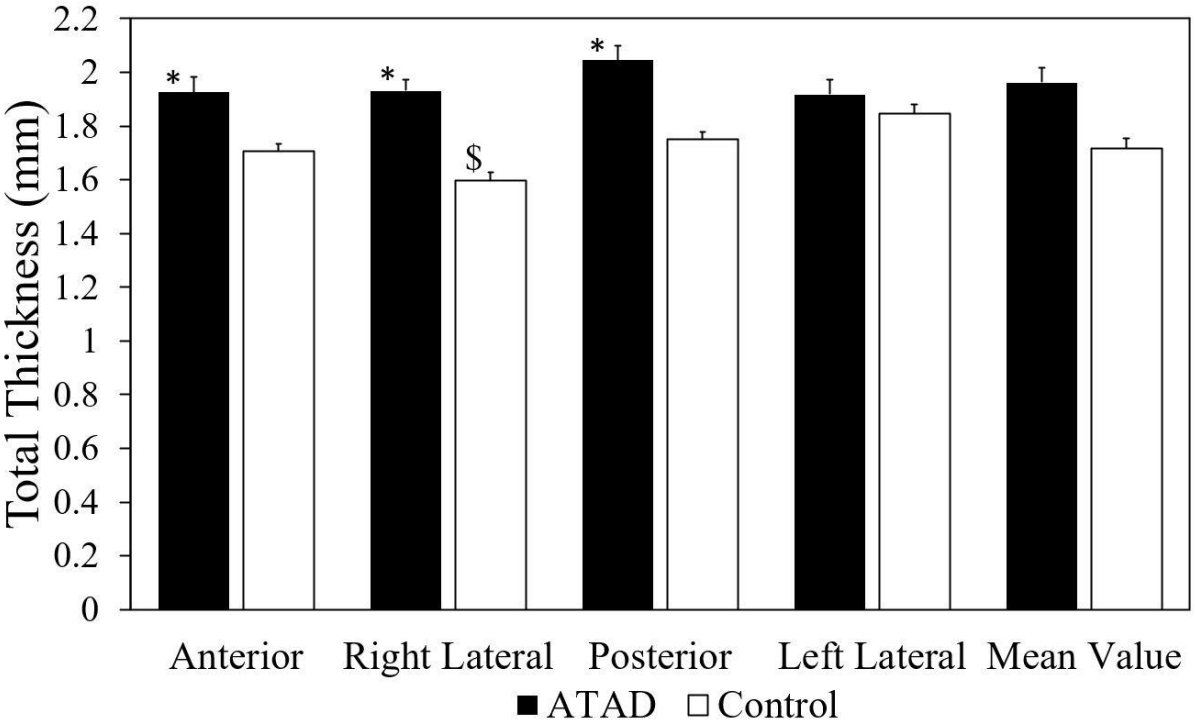
Επίσης, επαληθεύονται και τα προηγούμενα αποτελέσματα της *Ενότητας 3.1*, όπου προέκυψε ότι οι ασθενείς αναπτύσσουν μεγαλύτερη μέση τιμή αποφλοίωσης σε σχέση με τους μάρτυρες ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο να υποστεί ρήξη η αορτή και εν τέλει να επέλθει ο θάνατος. Τέλος, όπως φαίνεται και από τα δύο γραφήματα, τα τεταρτημόρια της αορτής παρουσιάζουν ένα συγκεκριμένο μοτίβο κατανομής της μέσης τάσης αποφλοίωσης τόσο στους ασθενείς όσο και στους μάρτυρες, με το έσω πλάγιο τμήμα (left lateral) να αναπτύσσει τη μεγαλύτερη μέση τιμή (αλλά και τη μεγαλύτερη απόκλιση) και το έξω πλάγιο (right lateral) τη μικρότερη. Από τα πιο πάνω συμπεραίνεται ότι, το έσω πλάγιο τμήμα της αορτής είναι το λιγότερο πιθανόν να υποστεί αορτικό διαχωρισμό, σε σχέση με το έξω πλάγιο τμήμα που είναι το πιο επιρρεπές.

3.3 Μελέτη του πάχους του τοιχώματος της αορτής στους ασθενείς και στους μάρτυρες

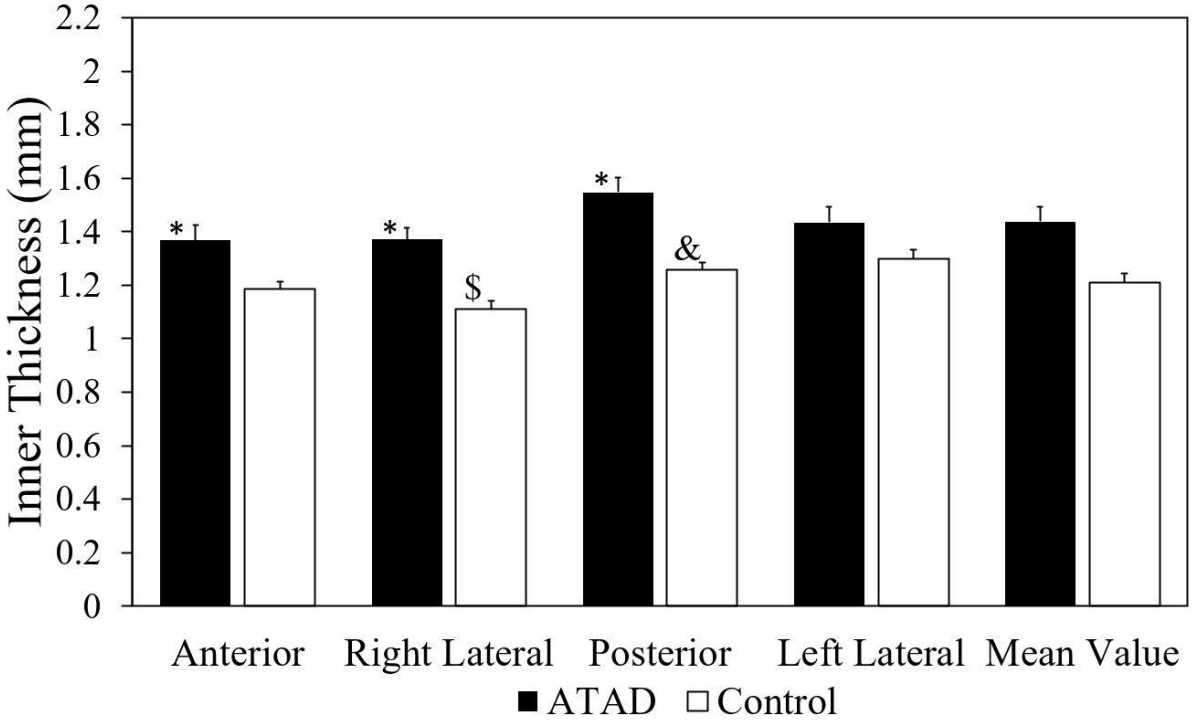
Αφού έγινε η ταξινόμηση των αποτελεσμάτων των τεταρτημόριων της αορτής, έπειτα έγινε ο υπολογισμός των μέσων τιμών του πάχους της αορτής για τον **συνολικό**, τον **έσω** και τον **έξω** χιτώνα της, καθώς επίσης και ο υπολογισμός της μέσης τυπικής απόκλισης τους αντίστοιχα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε επεξηγείται στην *Ενότητα 2.4.3*, και έπειτα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων, φαίνονται στους *Πίνακες 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3*.

3.3.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης του πάχους των τριών χιτώνων της αορτής για κάθε τεταρτημόριο της

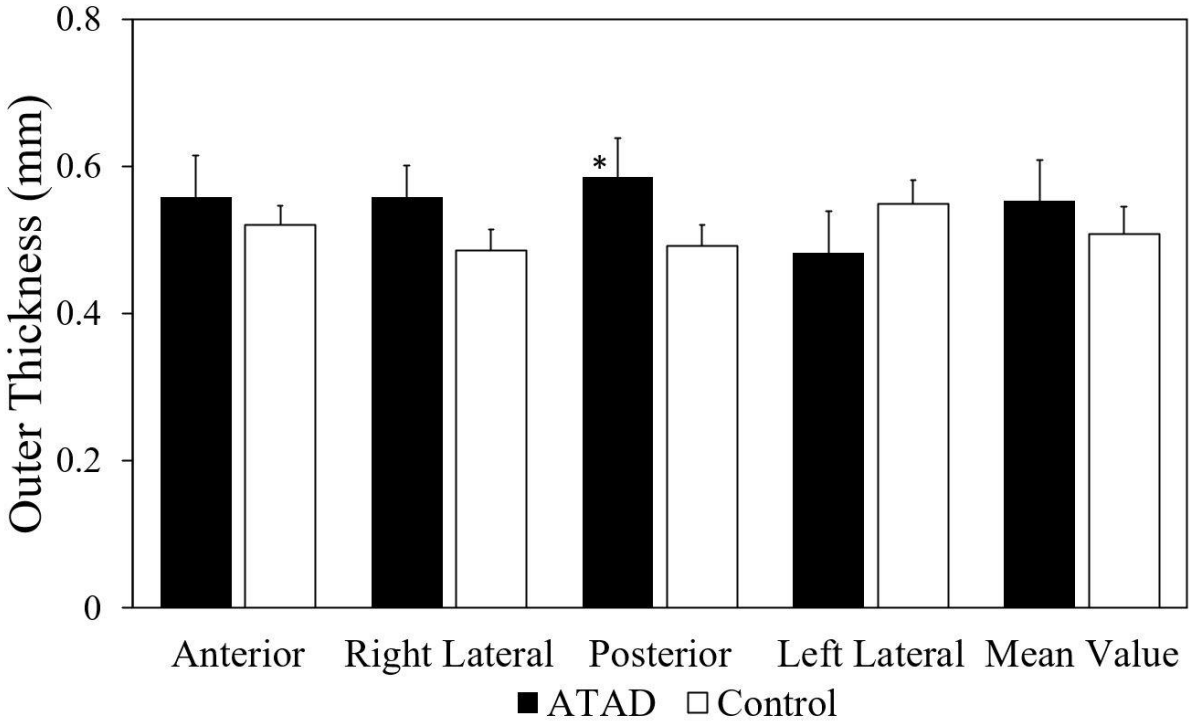
Παρατίθενται 3 γραφικές παραστάσεις απεικόνισης του μέσου πάχους (thickness) του συνολικού, έσω και έξω χιτώνα, που παρουσίασαν ασθενείς και μάρτυρες, συναρτήσει της ανατομικής τους περιοχής. Επίσης, έγινε τεστ-Student και τεστ-Tukey για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων μαρτύρων και ασθενών και η ανά μεταξύ τους εξάρτηση, αντίστοιχα. Το σύμβολο * υποδηλώνει την σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ανατομικών περιοχών των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (Control), και τα σύμβολα & και $ υποδηλώνουν την σημαντική στατιστική διαφορά συναρτήσει του έξω πλάγιου τμήματος (right lateral) και του έσω πλάγιου τμήματος (left lateral), αντίστοιχα.



Γράφημα 3.3.1: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του συνολικού πάχους των ασθενών (ATAD: anterior: p = 0.013193, right lateral: p = 0.008271, posterior: p = 0.0005) και των μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.



Γράφημα 3.3.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του πάχους του έσω χιτώνα των ασθενών (ATAD: anterior: p = 0.006974, right lateral: p = 0.002492, posterior: p = 0.003676) και των μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.



Γράφημα 3.3.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής του πάχους του έξω χιτώνα των ασθενών (ATAD: posterior: p = 0.033079) και των μαρτύρων (control) σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

Αρχικά, εξετάζοντας το *Γράφημα 3.3.1*, που απεικονίζει τη μέση τιμή του συνολικού πάχους για κάθε ανατομική περιοχή, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ασθενών και των μαρτύρων στο πρόσθιο, στο έξω πλάγιο και στο οπίσθιο τμήμα της αορτής. Επίσης, από το *τεστ-Tukey* διαπιστώθηκε ότι μόνο στους μάρτυρες, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά για το έξω πλάγιο τμήμα.

Παρατηρώντας το *Γράφημα 3.3.2*, από το στατιστικό *τεστ-Student* που πραγματοποιήθηκε, προκύπτει ότι, στις 3 από τις 4 ανατομικές περιοχές της αορτής (πρόσθιο, έξω πλάγιο και οπίσθιο τμήμα) υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά των τιμών του πάχους μεταξύ των ασθενών και των μαρτύρων.

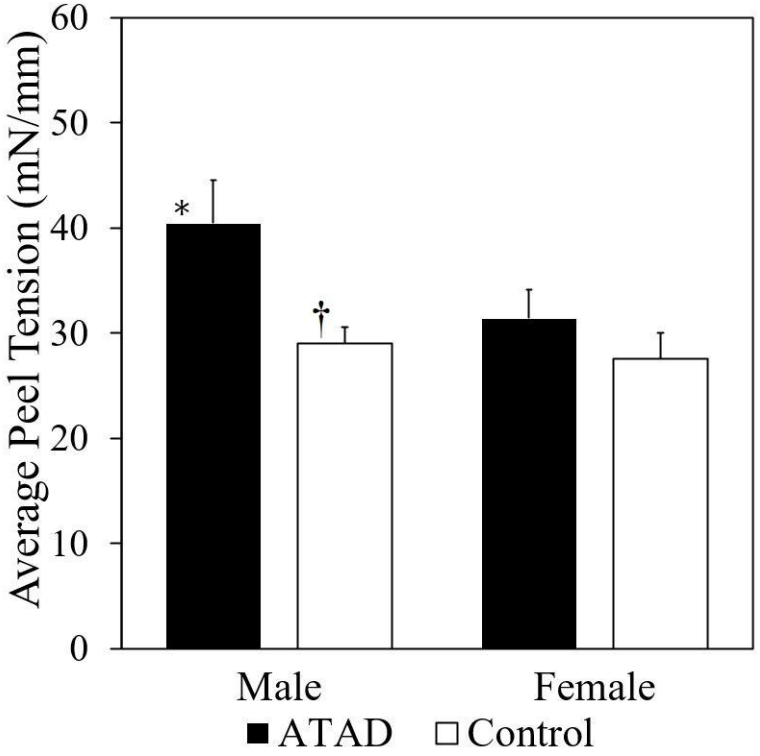
Όσον αφορά το πάχος του έξω χιτώνα, των τεταρτημόριων της αορτής, διαπιστώνεται ότι μόνο στο οπίσθιο τμήμα της αορτής προκύπτει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ασθενών και των μαρτύρων.

3.4 Μελέτη της Μέση Τάσης Αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες

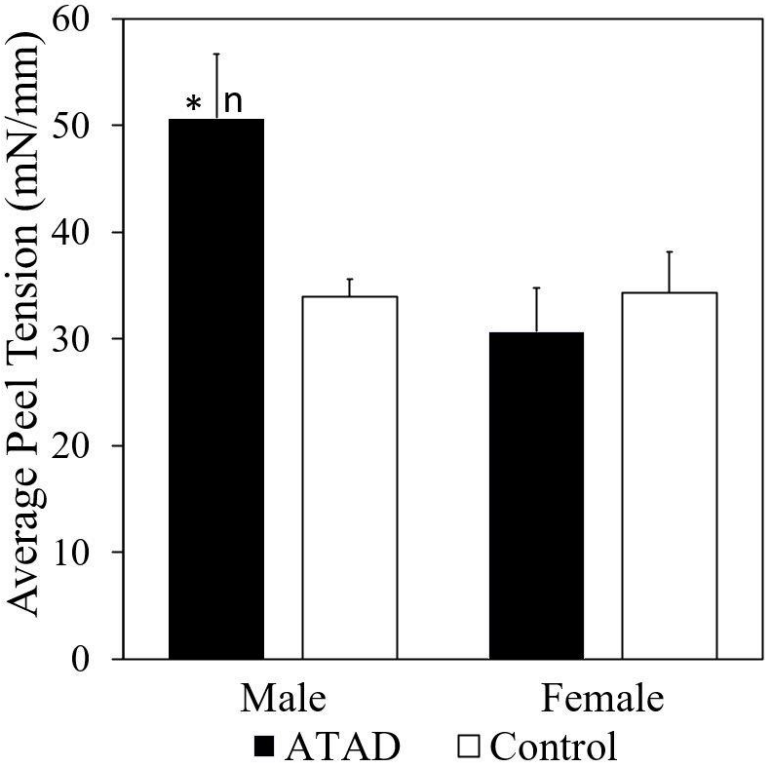
Οι καρδιαγγειακοί παράγοντες που εξετάστηκαν είναι το φύλο (sex), η υπέρταση (hypertension), ο διαβήτης (diabetes), η υπερλιπιδαιμία (hyperlipidemia), το κάπνισμα (smoking) και ο αλκοολισμός (alcoholism). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε επεξηγείται στην *Ενότητα 2.4.3*, και έπειτα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών, φαίνονται στους *Πίνακες 7.4.1* και *7.4.2*.

3.4.1 Ραβδογράμματα απεικόνισης Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης ασθενών και μαρτύρων στις δύο διευθύνσεις με βάση τους καρδιαγγειακούς παράγοντες

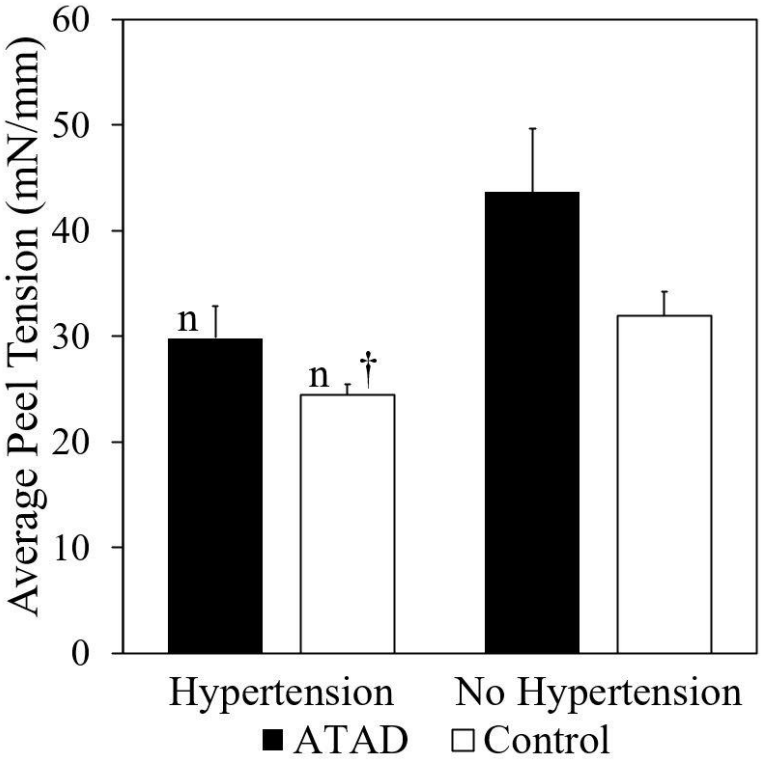
Έγιναν *τεστ-Student* για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (Control) αλλά και η εξάρτηση τους ανά διεύθυνση. Παρατίθενται παρακάτω 12 διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται η μέση τιμή αποφλοίωσης ασθενών και μαρτύρων με βάση τους πιο πάνω καρδιαγγειακούς παράγοντες. Τα διαγράμματα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την διεύθυνση, 6 για την περιφερειακή και 6 για την διαμήκη διεύθυνση. Τα σύμβολα * και † υποδηλώνουν σημαντικές στατιστικές διαφορές σε σχέση με τις αορτές μαρτύρων και ασθενών και της περιφερειακή με τη διαμήκη διεύθυνση αντίστοιχα, ενώ το γράμμα «n» υποδηλώνει σημαντικές στατιστικές διαφορές σε μια συγκεκριμένη κατηγορία. Στις περιπτώσεις όπου εξετάζεται ο διαβήτης και ο αλκοολισμός, δεν υπήρξαν δεδομένα για τους ασθενείς που είχαν διαβήτη και για τους μάρτυρες που είχαν αλκοολισμό, αντίστοιχα.



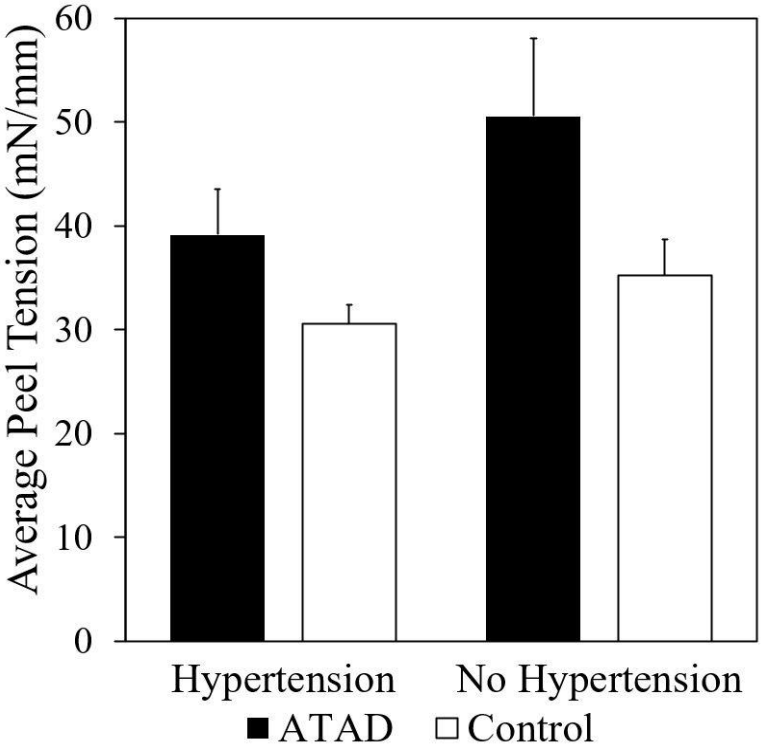
Γράφημα 3.4.1: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD male: p = 0.01146) και των μαρτύρων (control male: p = 0.031468) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση το φύλο.



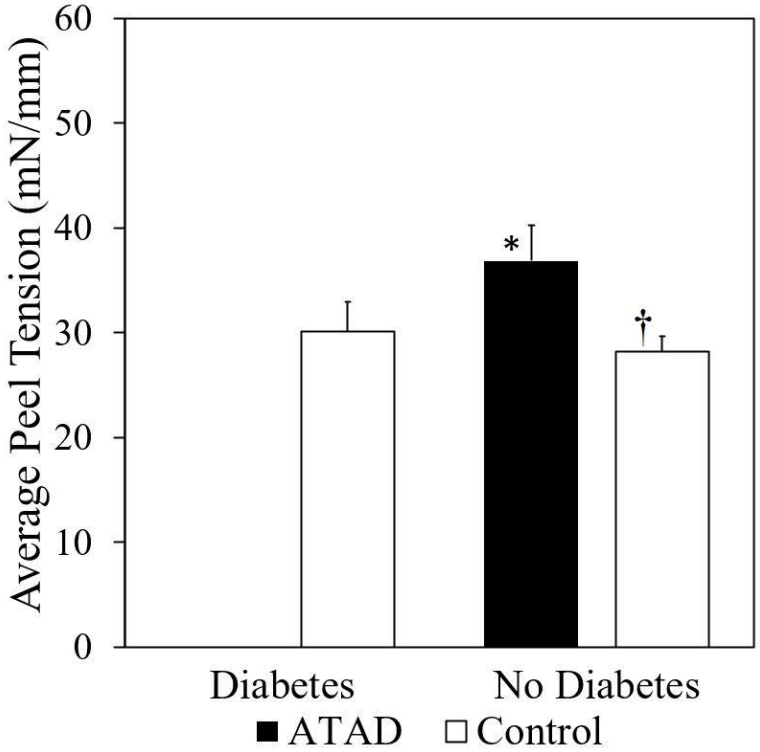
Γράφημα 3.4.2: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: male *: p = 0.011026, male n: p = 0.008634) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση το φύλο.



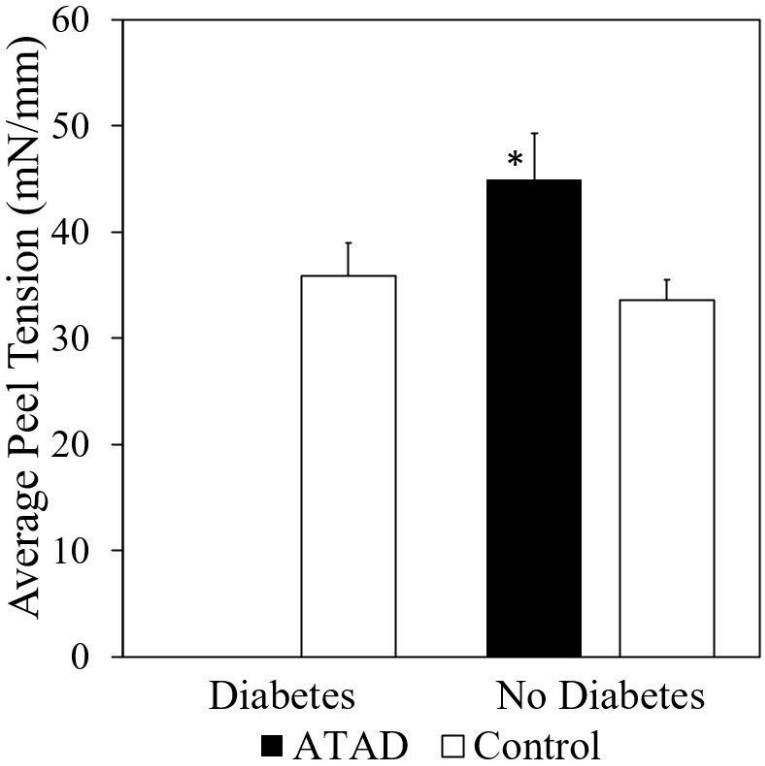
Γράφημα 3.4.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: hypertension: p = 0.042163) και των μαρτύρων (control: hypertension n: p = 0.003217, hypertension †: p = 0.005642) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την υπέρταση.



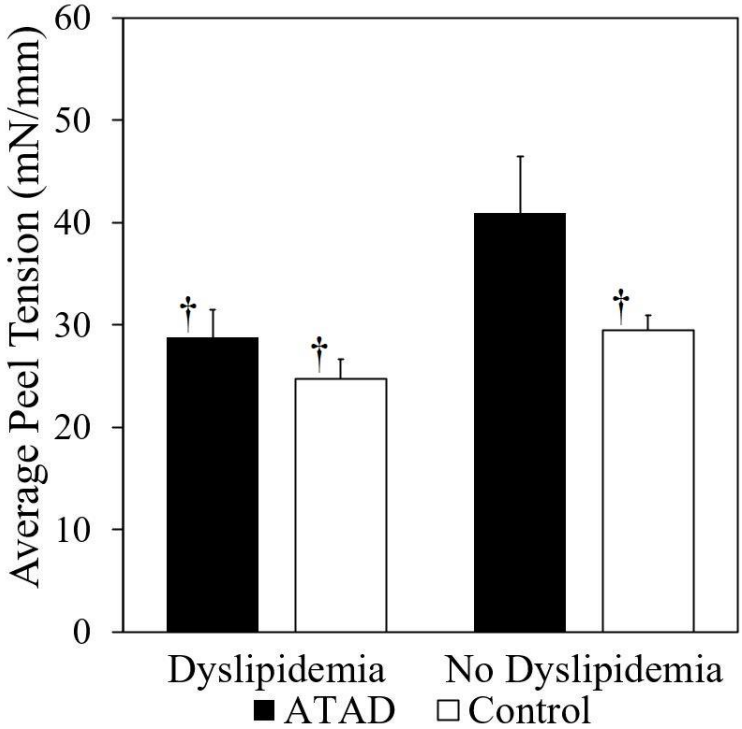
Γράφημα 3.4.4: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την υπέρταση.



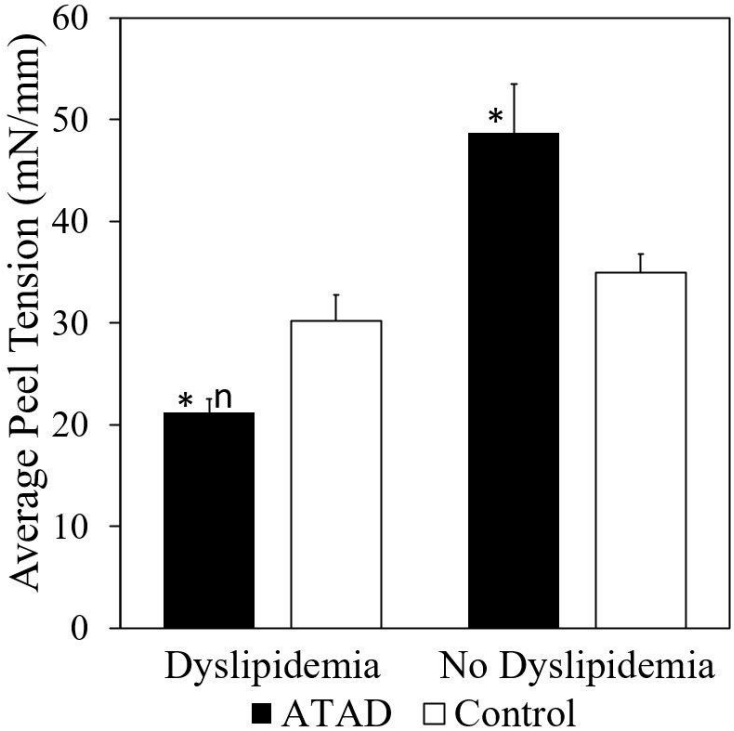
Γράφημα 3.4.5: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD no diabetes: p = 0.023038) και των μαρτύρων (control no diabetes: p = 0.0245335), στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την εμφάνιση διαβήτη.



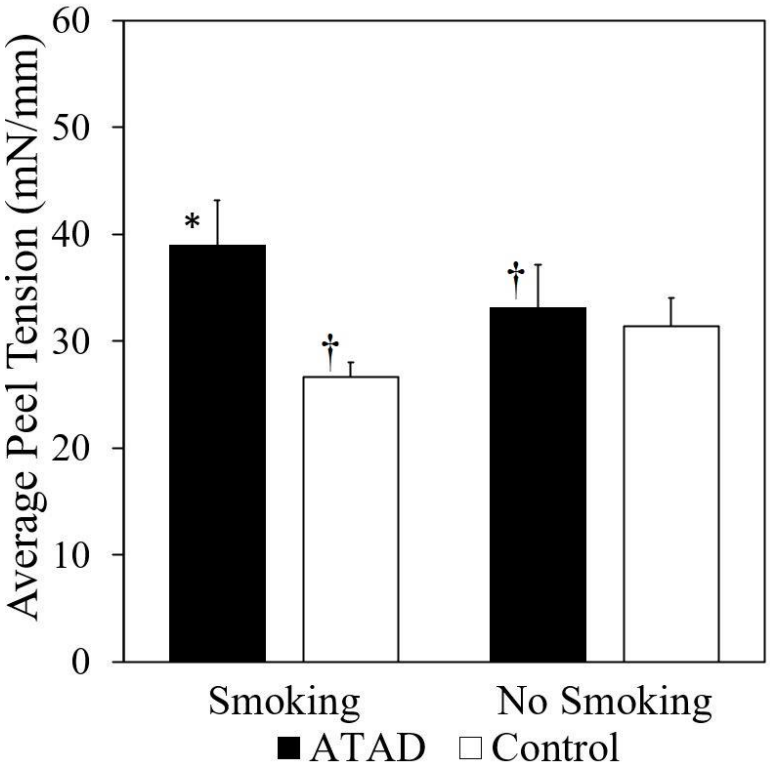
Γράφημα 3.4.6: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD no diabetes: p = 0.019638504) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την εμφάνιση διαβήτη.



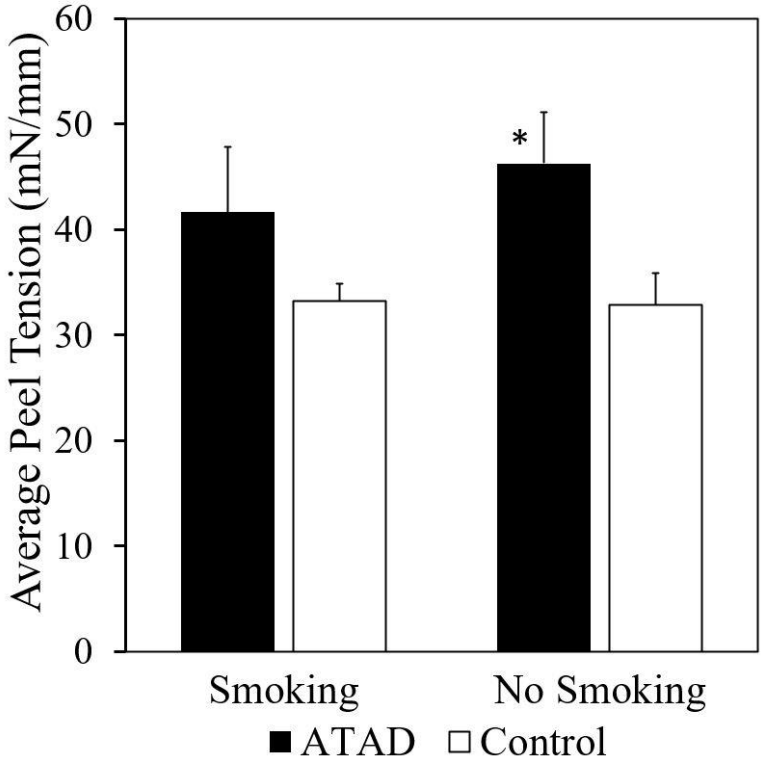
Γράφημα 3.4.7: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: dyslipedemia p =0.018469) και των μαρτύρων (control: dyslipidemia: p = 0.096574, no dyslipidemia: p = 0.024793), στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση την εμφάνιση δυσλιπιδαιμίας.



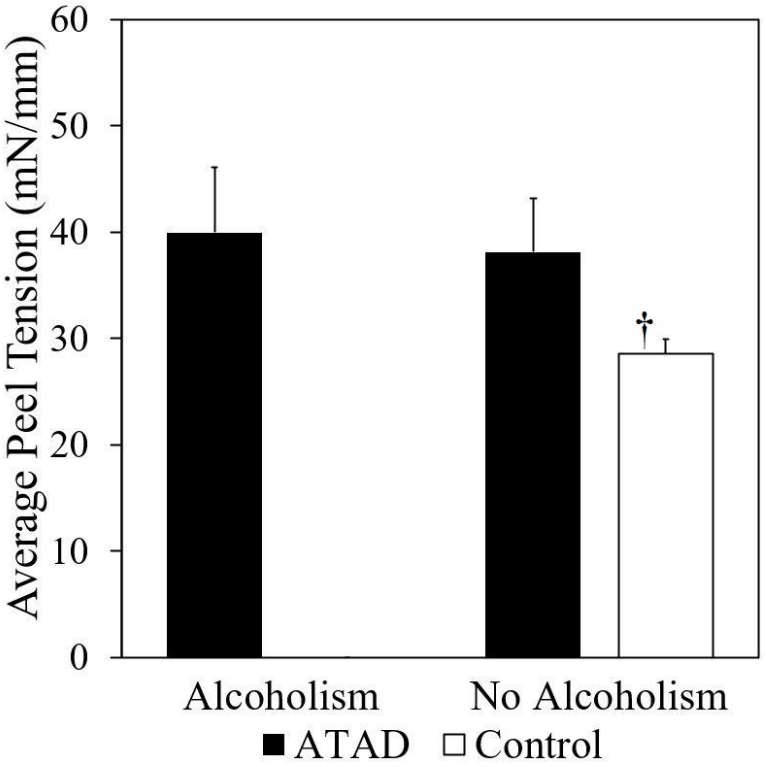
Γράφημα 3.4.8: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: dyslipedemia *: p = 1.17285E-06, dyslipidemia n: p = 0.005333, no dyslipidemia: p = 0.010389) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση την εμφάνιση δυσλιπιδαιμίας.



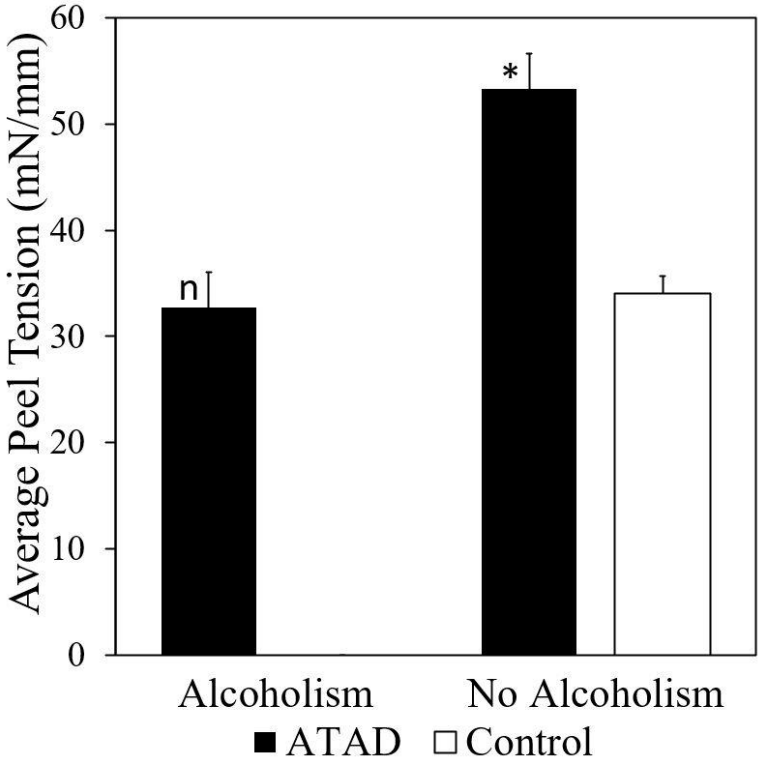
Γράφημα 3.4.9: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: smoking: p = 0.026243764, no smoking: p = 0.045579) και των μαρτύρων (control: smoking: p = 0.002117) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση το κάπνισμα.



Γράφημα 3.4.10: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: no smoking: p = 0.026243764) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση το κάπνισμα.



Γράφημα 3.4.11: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD) και των μαρτύρων (control: no alcoholism: p = 0.009049) στην περιφερειακή διεύθυνση με βάση τη κατανάλωση αλκοόλ.



Γράφημα 3.4.12: Ραβδογράμματα απεικόνισης της μέσης τιμής αποφλοίωσης των ασθενών (ATAD: alcoholism: p = 0.007822, no alcoholism: p = 0.007614) και των μαρτύρων (control) στην διαμήκη διεύθυνση με βάση τη κατανάλωση αλκοόλ.

Αρχικά, παρατηρώντας τα διαγράμματα της μέσης τάσης αποφλοίωσης συναρτήσει του φύλου, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μόνο στους ασθενείς, στη διαμήκη διεύθυνση. (Γράφημα 3.4.1). Παρουσιάζεται σημαντική στατιστική διαφορά επίσης, κατά διαμήκη διεύθυνση στους φυσιολογικούς άντρες και μεταξύ ασθενών και μαρτύρων αντρών και στις δύο διευθύνσεις (Γραφήματα 3.4.1 & 3.4.2).

Τα διαγράμματα που δείχνουν την παρουσία υπέρτασης, φανερώνουν ότι στην περιφερειακή διεύθυνση υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, τόσο στους μάρτυρες όσο και στους ασθενείς που έχουν υπέρταση με τα άτομα που δεν έχουν, αντίστοιχα (Γράφημα 3.4.3). Επίσης, προκύπτει σημαντική στατιστική διαφορά, μεταξύ των δειγμάτων των μαρτύρων με υπέρταση στην περιφερειακή διεύθυνση με τη διαμήκη διεύθυνση (Γραφήματα 3.4.3 & 3.4.4).

Όσον αφορά την περίπτωση που ελέγχεται η μέση τιμή τάσης αποφλοίωσης όταν υπάρχει ή όχι διαβήτης, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, μεταξύ ασθενών και μαρτύρων, μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαβήτης (Γραφήματα 3.4.5 & 3.4.6). Επίσης, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, μεταξύ της περιφερειακής και της διαμήκης διεύθυνσης μόνο στους μάρτυρες που δεν εμφανίζουν διαβήτη (Γραφήματα 3.4.5 & 3.4.6).

Από τα διαγράμματα που παρουσιάζουν την ύπαρξη ή όχι δυσλιπιδαιμίας, φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ασθενών και των μαρτύρων στην περίπτωση μόνο της διαμήκης διεύθυνσης (Γράφημα 3.4.8). Επίσης, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μόνο μεταξύ των ασθενών στη διαμήκη διεύθυνση, που αναπτύσσουν δυσλιπιδαιμία και μη (Γράφημα 3.4.8). Ακόμα, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των τιμών της περιφερειακής διεύθυνσης, με τη διαμήκη διεύθυνση, (εκτός των ασθενών που δεν παρουσιάζουν δυσλιπιδαιμία), με τη διαμήκη διεύθυνση (Γραφήματα 3.4.7 & 3.4.8).

Όσον αφορά το κάπνισμα, δεν επηρεάζει τη μέση τιμή της τάσης αποφλοίωσης. Υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ ασθενών και μαρτύρων μόνο στους καπνίζοντες κατά την περιφερειακή διεύθυνση και στους μη καπνίζοντες στη διαμήκη διεύθυνση (Γραφήματα 3.4.9 & 3.4.10). Η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ περιφερειακής και διαμήκους διεύθυνσης υφίστανται μόνο στους καπνίζοντες μάρτυρες και στους μη καπνίζοντες ασθενείς (Γραφήματα 3.4.9 & 3.4.10).

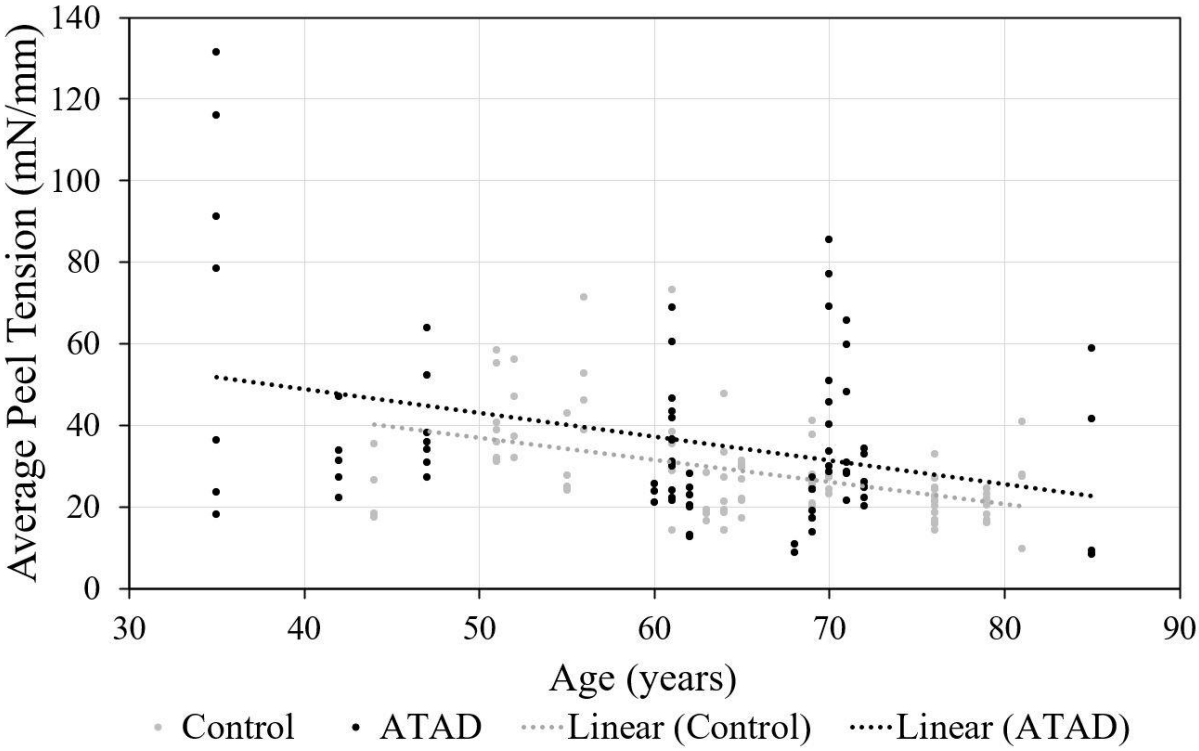
Τέλος, στατιστικά σημαντική εξάρτηση υπάρχει μεταξύ αλκοολικών και μη μόνο στους ασθενείς κατά την διαμήκη διεύθυνση (Γράφημα 3.4.12). Επίσης, κατά τη ίδια διεύθυνση, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ μη αλκοολικών ασθενών και μαρτύρων

(Γράφημα 3.4.12), ενώ κατά διεύθυνση υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο για τους μάρτυρες που δεν είναι αλκοολικοί (Γράφημα 3.4.11 & 3.4.12).

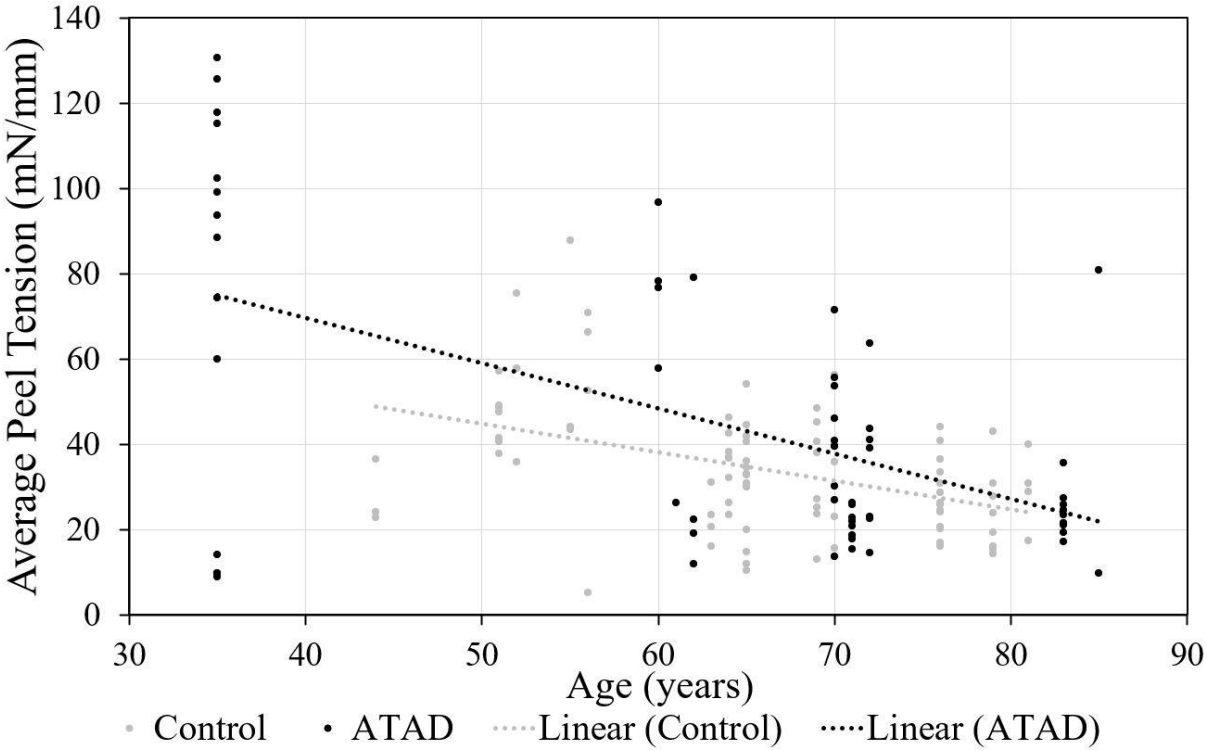
3.5 Μελέτη της συσχέτισης της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης με βάση βιομετρικά χαρακτηριστικά

Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν είναι η ηλικία (age), το βάρος (weight), το ύψος (height), το πάχος (thickness) τοιχώματος του έσω και του έξω χιτώνα και στην περίπτωση των ασθενών, η μέγιστη ανευρυσματική διάμετρος (aortic diameter). Τα αποτελέσματα παριστάνονται σε διαγράμματα και υπολογίζεται ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient), ο συντελεστής προσδιορισμού (regression R^2) και το αντίστοιχο *p-value*. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών, φαίνονται στους *Πίνακες 7.5.1* και *7.5.2*, για τη περιφερειακή και τη διαμήκη κατεύθυνση, αντίστοιχα. Τέλος, στο *Παράρτημα*, προστέθηκαν τα ίδια διαγράμματα συναρτήσει των ίδιων παραγόντων, τα οποία ωστόσο, υπολογίστηκαν με διαφορετικό τρόπο: υπολογίστηκε η μέση τιμή, για κάθε ασθενή και μάρτυρα αντίστοιχα και έπειτα έγινε ο προσδιορισμός της εξίσωσης και των αντίστοιχων στατιστικών μεγεθών.

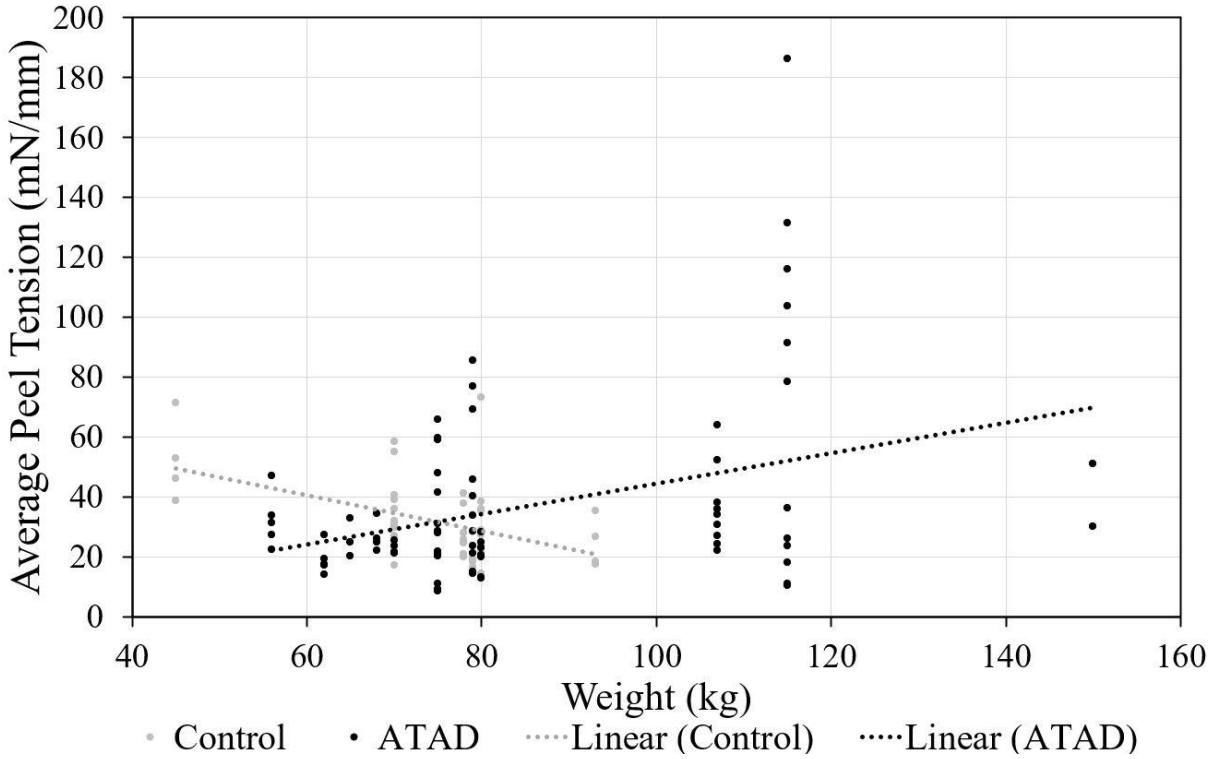
3.5.1 Διαγράμματα Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης συναρτήσει βιομετρικών χαρακτηριστικών



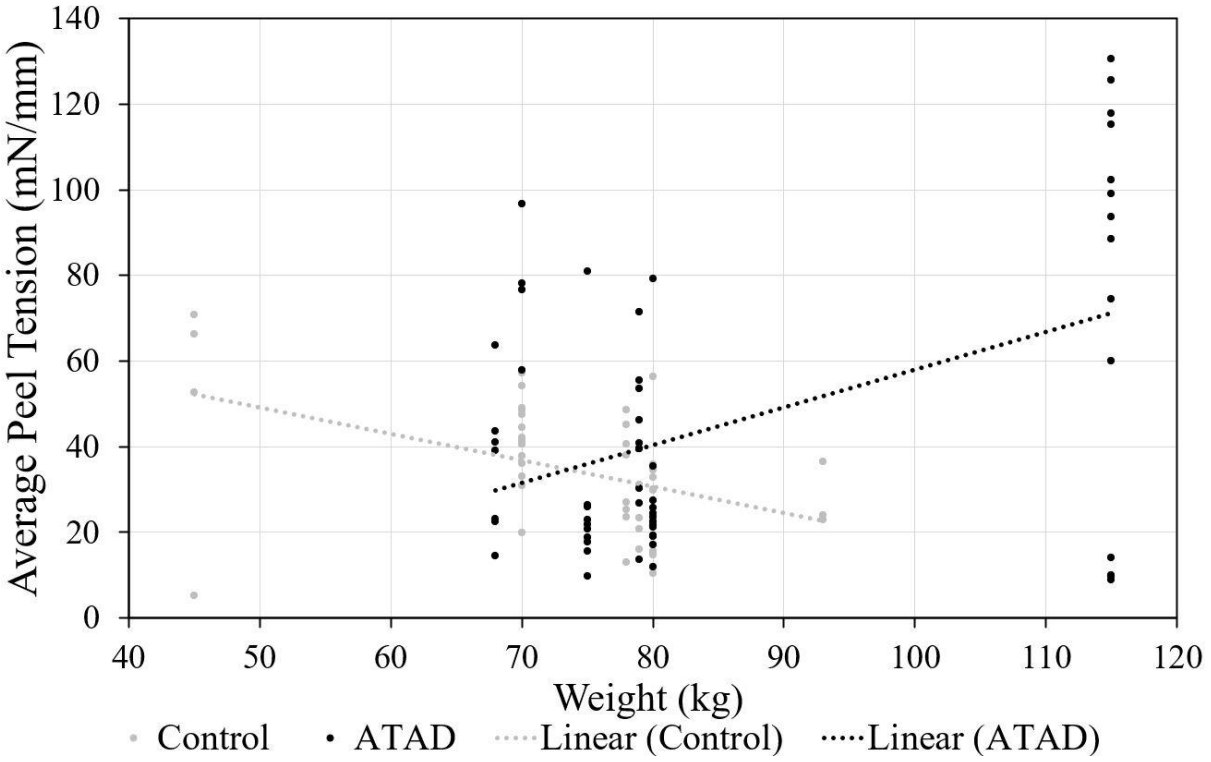
Γράφημα 3.5.1: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας των ασθενών (Linear ATAD: r = -0.26581, p = 4.98E-08) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.44963, p = 6.36E-13), στην περιφερειακή διεύθυνση.



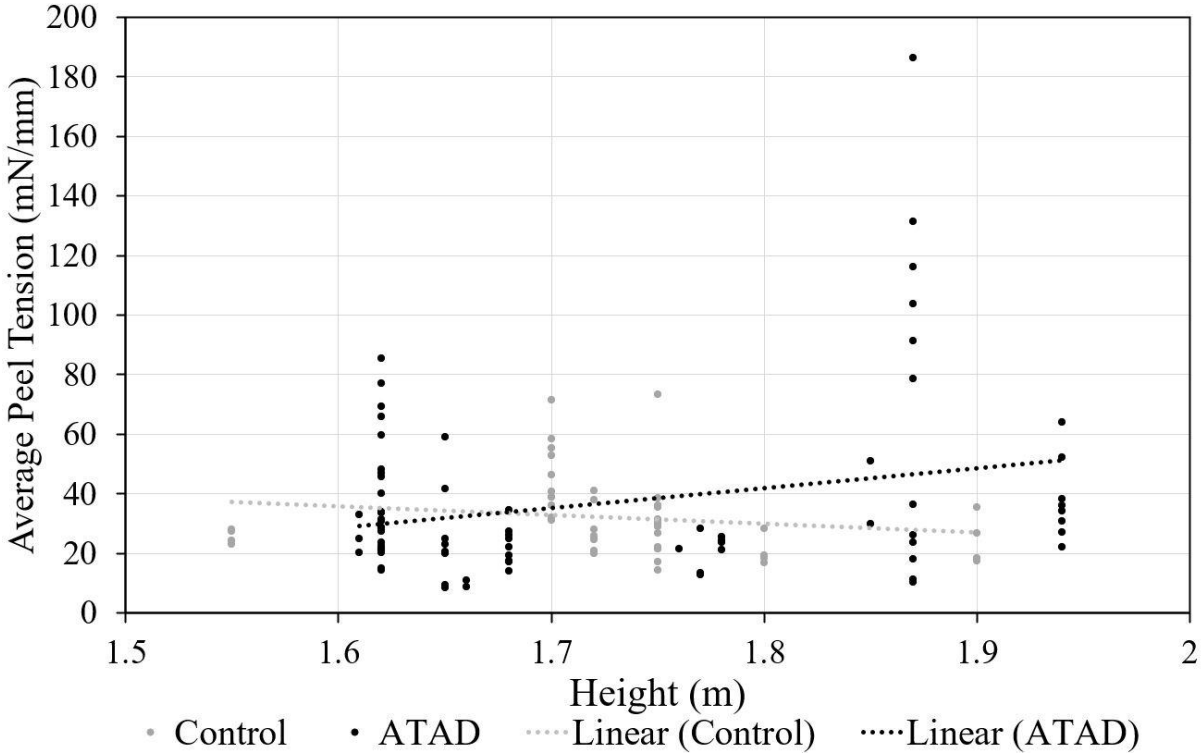
Γράφημα 3.5.2: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας των ασθενών (Linear ATAD: r = -0.54891, p = 5.61E-11) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.44374, p = 4.59E-12), στην διαμήκη διεύθυνση.



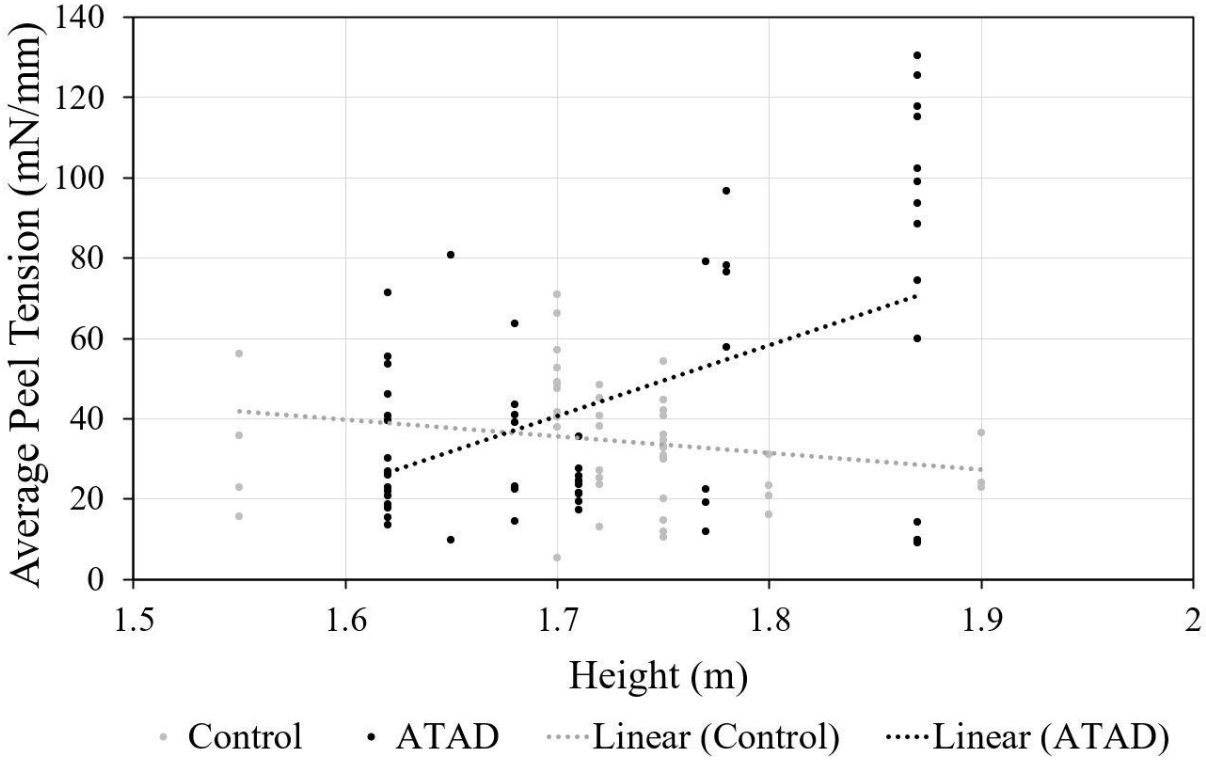
Γράφημα 3.5.3: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.365866, p = 0.632957) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.49991, p = 5.96E-08), στην περιφερειακή διεύθυνση.



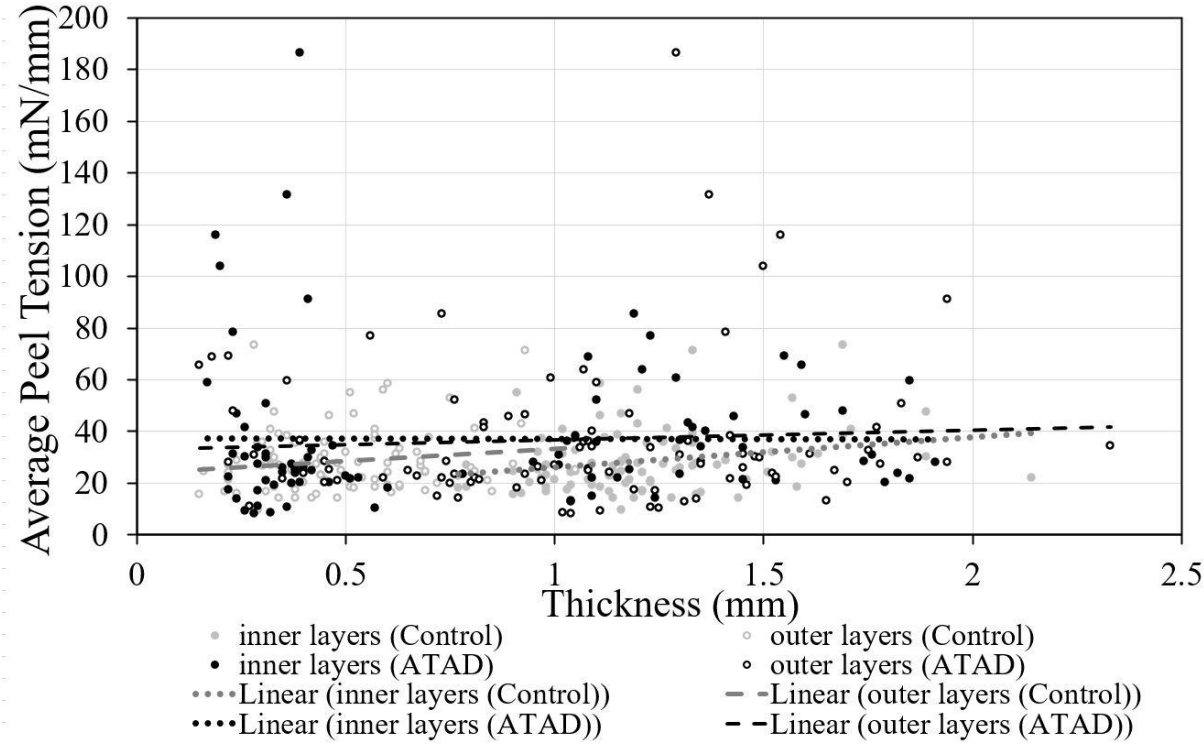
Γράφημα 3.5.4: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.452608, p = 0.136871) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.44673, p = 1E-06), στη διαμήκη διεύθυνση.



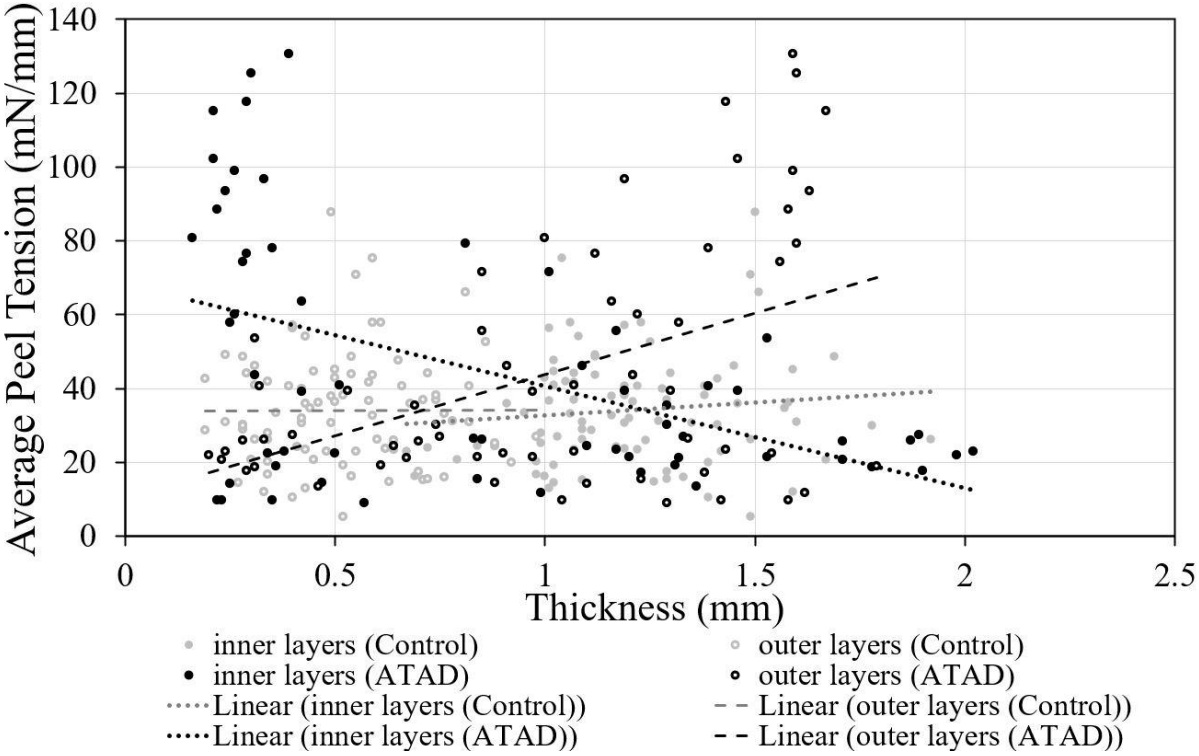
Γράφημα 3.5.5: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.264013, p = 0.110483) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.17349, p = 0.064093), στη περιφερειακή διεύθυνση.



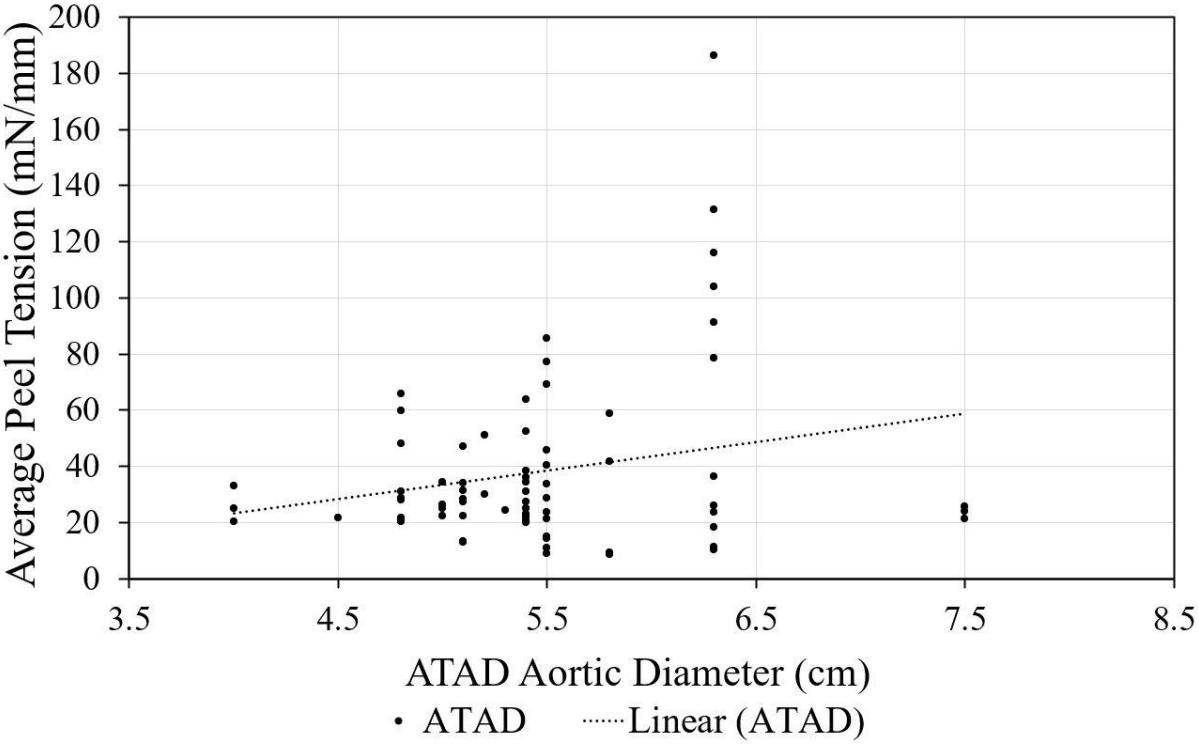
Γράφημα 3.5.6: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.452608, p = 0.000373) και των μαρτύρων (Linear Control: r = -0.44673, p = 1E-06), στη διαμήκη διεύθυνση.



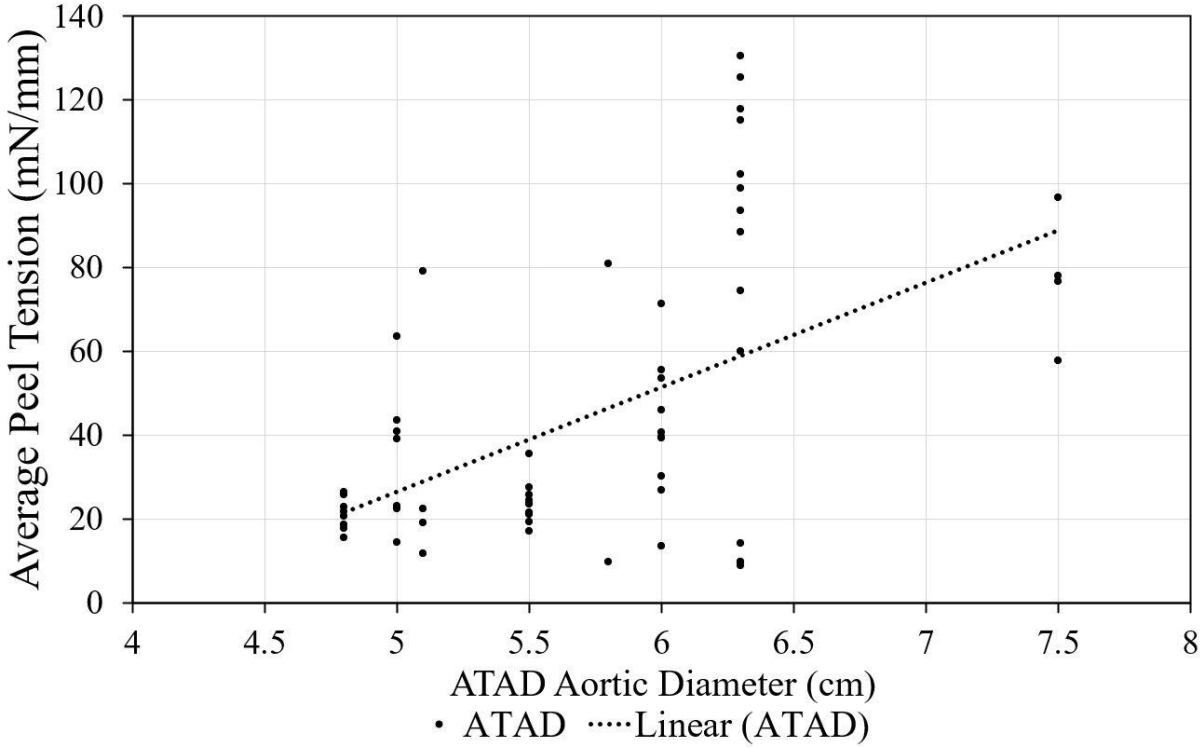
Γράφημα 3.5.7: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του πάχους του έσω χιτώνα (Linear ATAD: r = -0.00388, p = 9.39E-10, Linear Control: r = 0.247588, p = 0.023594) και έξω χιτώνα (Linear ATAD: r = 0.061434, p = 1.75E-05, Linear Control: r = 0.153502, p = 2.02E-09) ασθενών και μαρτύρων, στη περιφερειακή διεύθυνση.



Γράφημα 3.5.8: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει του πάχους του έσω χιτώνα (Linear ATAD: r = -0.48373, p = 2.51E-14, Linear Control: r = 0.109581, p = 0.002567) και έξω χιτώνα (Linear ATAD: r = 0.458935, p = 0.262227, Linear Control: r = 0.000845, p = 7.56E-10) ασθενών και μαρτύρων, στη διαμήκη διεύθυνση.



Γράφημα 3.5.9: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.230628, p = 0.539561), στη περιφερειακή διεύθυνση.



Γράφημα 3.5.10: Διάγραμμα της μέσης τιμής αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου των ασθενών (Linear ATAD: r = 0.540329, p = 0.001658), στη διαμήκη διεύθυνση.

Αρχικά, με βάση τα διαγράμματα της μέσης τάσης αποφλοίωσης συναρτήσει της ηλικίας, προκύπτει ότι τόσο στην περιφερειακή διεύθυνση, όσο και στη διαμήκη, στους ασθενείς και στους μάρτυρες, υπάρχει εξάρτηση. Οπότε, η ηλικία παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής της μέσης τάσης αποφλοίωσης και συνεπώς και στη διάδοση του αορτικού διαχωρισμού.

Όσον αφορά το κατά πόσον επηρεάζει το βάρος την διάδοση του αορτικού διαχωρισμού, από τα διαγράμματα των γραφημάτων 3.5.3 & 3.5.4 και τα αποτελέσματα που φαίνονται στον *Πίνακα 7.5.1*, παρατηρείται ότι το βάρος επηρεάζει μόνο τους μάρτυρες και όχι τους ασθενείς. Έτσι, τα υγιή άτομα που έχουν παραπάνω βάρος, είναι πιο πιθανόν να αναπτύξουν αορτικό διαχωρισμό.

Εξετάζοντας τα διαγράμματα των γραφημάτων 3.5.5 & 3.5.6 του ύψους και με βάση τους αντίστοιχους πίνακες στο *Παράρτημα*, παρατηρείται, ότι το ύψος επηρεάζει τη μέση τάση αποφλοίωσης, άρα και την διάδοση του αορτικού διαχωρισμού μόνο διαμήκη διεύθυνση.

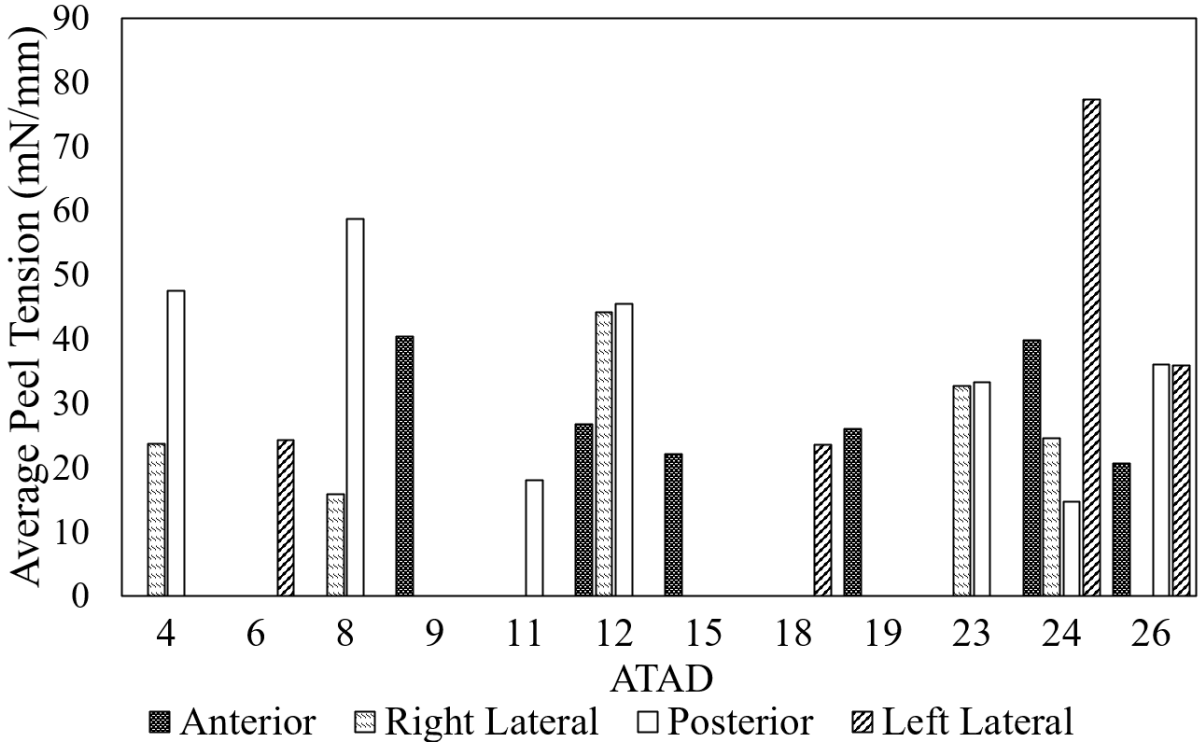
Από τα διαγράμματα των γραφημάτων 3.5.7 & 3.5.8, που παρουσιάζουν την εξάρτηση του πάχους του έσω και του έξω χιτώνα της αορτής, φαίνεται ότι, υπάρχει εξάρτηση του πάχους με τη μέση τιμή της τάσης αποφλοίωσης, τόσο στους ασθενείς, όσο και στους μάρτυρες, και για τις δύο διευθύνσεις εκτός του έξω χιτώνα των ασθενών, στη διαμήκη κατεύθυνση.

Τέλος, όσον αφορά τη μέγιστη αορτική διάμετρο ανευρύσματος, που εμφανίζουν οι ασθενείς, παρατηρείται ότι μόνο στη διαμήκη διεύθυνσης, υπάρχει εξάρτηση των μεγεθών της αορτικής διαμέτρου με τη μέση τάση αποφλοίωσης.

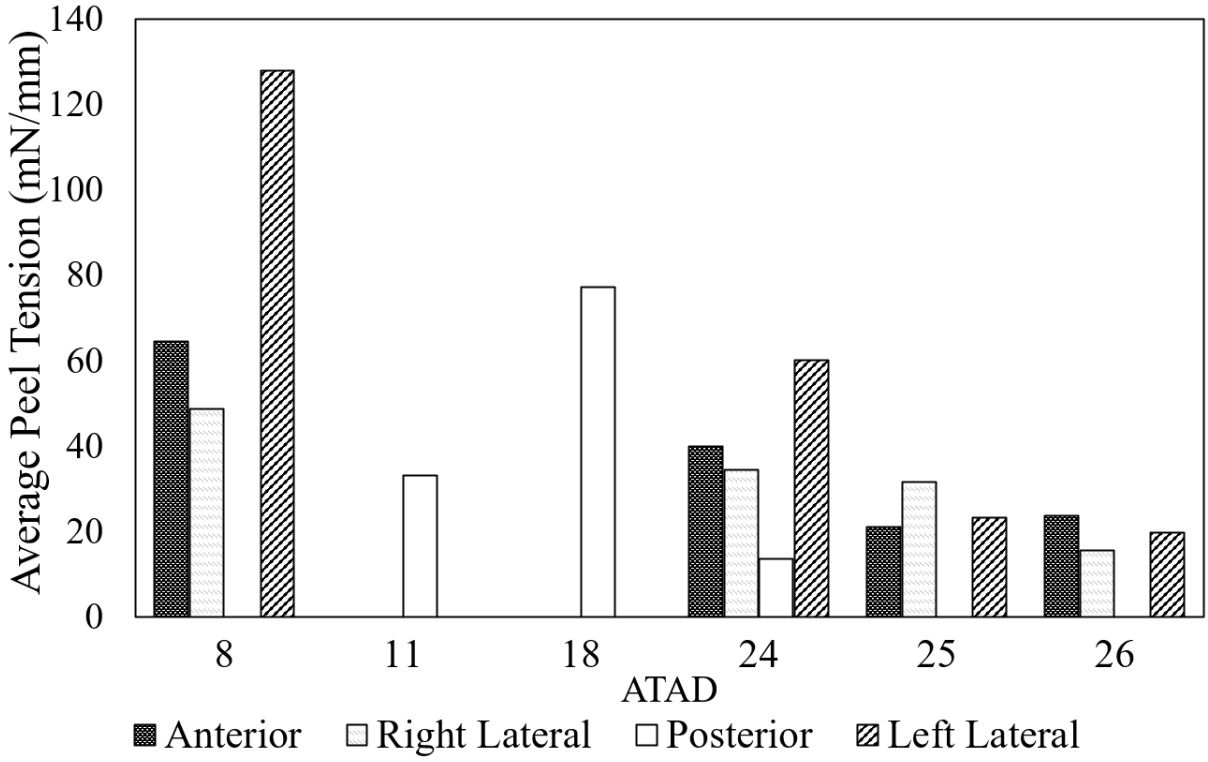
Συμπερασματικά, παρατηρείται ότι, το βάρος και η ηλικία να επηρεάζουν περισσότερο τη μέση τιμή αποφλοίωσης των μαρτύρων, τόσο στην περιφερειακή, όσο και στη διαμήκη διεύθυνση, οπότε τα άτομα που έχουν μεγαλύτερη ηλικία ή/και έχουν παραπάνω κιλά, να είναι πιο επιρρεπή στη διάδοση του αορτικού διαχωρισμού, αν τον εμφανίσουν.

3.6 Απεικόνιση Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες

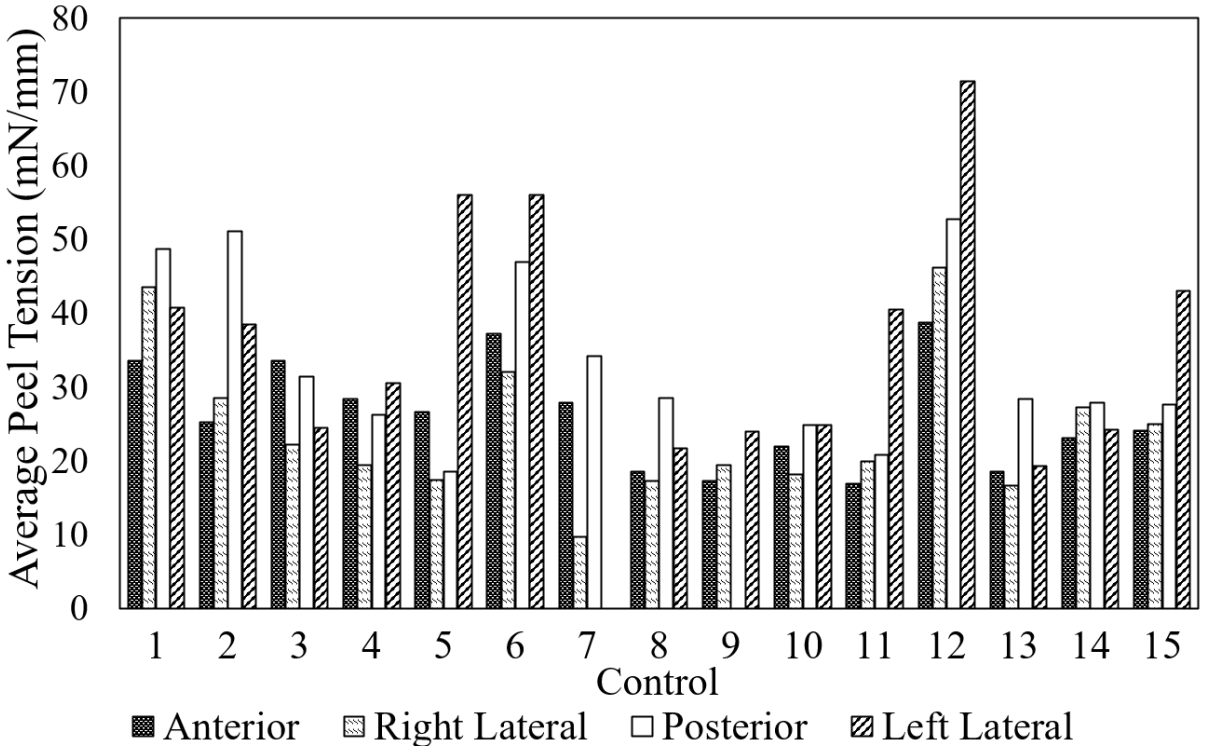
Παρακάτω παρατίθενται συνολικά τα διαγράμματα της μέσης τιμής της τάσης αποφλοίωσης, στην περιφερειακή και διαμήκη κατεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής, για κάθε ασθενή και μάρτυρα ξεχωριστά. Στους ασθενείς δεν παρουσιάζονται όλες οι τιμές, λόγω έλλειψης δειγμάτων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των γραφικών παραστάσεων, φαίνονται στους *Πίνακες 7.6.1, 7.6.2, 7.6.3* και *7.6.4,* αντίστοιχα.



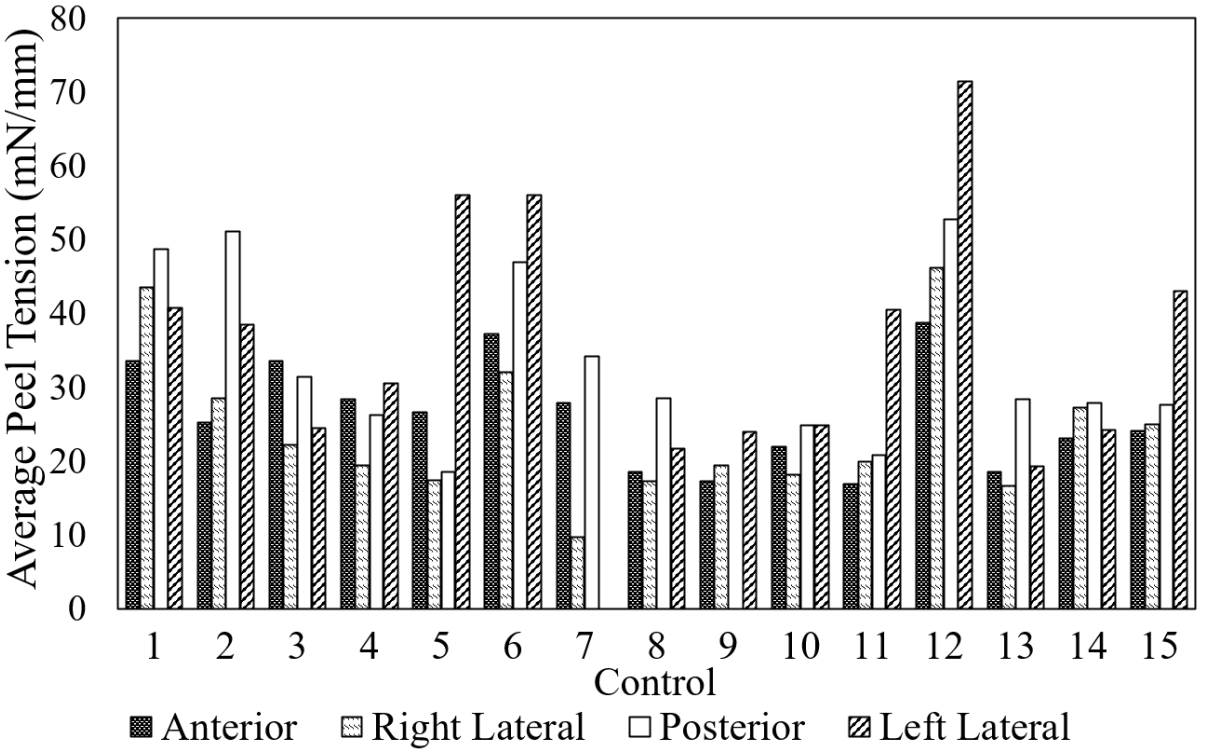
Γράφημα 3.6.1: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.



Γράφημα 3.6.2: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.



Γράφημα 3.6.3: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.



Γράφημα 3.6.4: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

Συμπερασματικά, από τα πιο πάνω διαγράμματα, όπως διαπιστώθηκε και στις προηγούμενες ενότητες των αποτελεσμάτων, η διαμήκης διεύθυνση, τόσο στους ασθενείς, όσο και στους μάρτυρες, φαίνεται να αναπτύσσει μεγαλύτερη τάση αποφλοίωσης σε σύγκριση με την περιφερειακή διεύθυνση και έτσι να αναπτύσσεται μεγαλύτερη αντοχή στη διάδοση του διαχωρισμού κατά διαμήκη διεύθυνση. Επίσης, συγκρίνοντας τις τέσσερις ανατομικές περιοχές μεταξύ τους, για κάθε ασθενή και για κάθε μάρτυρα, παρατηρείται, ότι το έσω πλάγιο τμήμα της αορτής, παρουσιάζει την μεγαλύτερη μέση τιμή αποφλοίωσης και έτσι συμπεραίνεται, ότι λόγω αυτής της αντοχής που αναπτύσσει, είναι πιο δύσκολο να διαδοθεί ο αορτικός διαχωρισμός σε αυτή τη περιοχή. Αντίθετα, το έξω πλάγιο τμήμα της αορτής, κατά μέσω όρο, τόσο στους ασθενείς, όσο και στους μάρτυρες και στις δύο διευθύνσεις, αναπτύσσει τη μικρότερη μέση τάση αποφλοίωσης, συγκριτικά με τα άλλα τμήματα της αορτής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το έξω πλάγιο τμήμα της αορτής, να είναι το πιο επιρρεπές στην έναρξη διάδοσης του αορτικού διαχωρισμού.

5. *Επίλογος*

5.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των χιτώνων φυσιολογικής ανιούσας θωρακικής αορτής και η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αντίστοιχα των παθολογικών χιτώνων που έχουν υποστεί αορτικό διαχωρισμό. Εξετάστηκε η μέση τάση αποφλοίωσης που ανέπτυξαν ασθενείς και μάρτυρες, στα τέσσερα τεταρτημόρια της αορτής (**πρόσθιο**, **έξω πλάγιο**, **οπίσθιο**, **έσω πλάγιο**), στις δύο διευθύνσεις (**περιφερειακή**, **διαμήκης**) και στα δύο διαχωρισθέντα στρώματα **έσω** και **έξω**. Επίσης, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και ταξινομήθηκαν με βάση καρδιαγγειακούς και βιομετρικούς παράγοντες. Από τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν, διαπιστώθηκε ότι:

- Οι ασθενείς, αναπτύσσουν μεγαλύτερη μέση τάση αποφλοίωσης από ότι οι μάρτυρες στις τέσσερις ανατομικές περιοχές αλλά και στις δύο διευθύνσεις. Ενδεχομένως, οι ασθενείς ανέπτυξαν ένα μηχανισμό αντοχής τους σε διαχωρισμό και έτσι απαιτείται μεγαλύτερη τάση αποφλοίωσης ώστε να διαδοθεί ο διαχωρισμός στην αορτή.
- Στη διαμήκη διεύθυνση, αναπτύσσεται μεγαλύτερη μέση τάση αποφλοίωσης σε ασθενείς και μάρτυρες και έτσι συμπεραίνεται ότι η διάδοση του αορτικού διαχωρισμού είναι πιο εύκολη και άρχεται στη περιφερειακή διεύθυνση.
- Παρουσιάζεται ένα συγκεκριμένο μοτίβο κατανομής της μέσης τάσης αποφλοίωσης, σε ασθενείς και μάρτυρες, στις δύο διευθύνσεις, με το έσω πλάγιο τμήμα (left lateral) να αναπτύσσει τη μεγαλύτερη μέση τάση αποφλοίωσης και το έξω πλάγιο τμήμα (right lateral), τη μικρότερη.
- Παρατηρείται σημαντική στατιστική διαφορά στο συνολικό και στο εσωτερικό πάχος, στο πρόσθιο, στο έξω πλάγιο και στο οπίσθιο τμήμα της αορτής, μεταξύ ασθενών και μαρτύρων.
- Παρουσιάζεται σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ασθενών αντρών και γυναικών, στη διαμήκη διεύθυνση, με τις γυναίκες να αναπτύσσουν μικρότερη μέση τάση αποφλοίωσης, οπότε η διάδοση του διαχωρισμού να γίνεται πιο εύκολα.
- Τα άτομα που έχουν υπέρταση παρουσιάζουν σημαντική στατιστική διαφορά από αυτά που δεν έχουν, τόσο για τους μάρτυρες, όσο και για τους ασθενείς, στην περιφερειακή διεύθυνσή.

- Στη περίπτωση που δεν υπάρχει διαβήτης, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, μεταξύ ασθενών και μαρτύρων.
- Στη περίπτωση ύπαρξης ή μη δυσλιπιδαιμίας, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, μόνο μεταξύ των ασθενών, στη διαμήκη διεύθυνση.
- Όσον αφορά στο κάπνισμα, δεν επηρεάζεται η μέση τιμή τάσης αποφλοίωσης. Ωστόσο, υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ ασθενών και μαρτύρων μόνο στους καπνίζοντες κατά τη περιφερειακή διεύθυνση και στους μη καπνίζοντες στη διαμήκη διεύθυνση.
- Υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ αλκοολικών και μη, μόνο στους ασθενείς, κατά τη διαμήκη διεύθυνση.
- Η ηλικία παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής της μέσης τάσης αποφλοίωσης και συνεπώς και στη διάδοση αορτικού διαχωρισμού και στις δύο διευθύνσεις, τόσο σε ασθενείς όσο και σε μάρτυρες.
- Το βάρος, φαίνεται να επηρεάζει μόνο τους μάρτυρες και έτσι, συμπεραίνεται ότι, τα υγιή άτομα που έχουν παραπάνω βάρος, είναι πιο πιθανόν να αναπτύξουν αορτικό διαχωρισμό.
- Το ύψος, φαίνεται να επηρεάζει τη μέση τάση αποφλοίωσης, άρα και τη διάδοση του αορτικού διαχωρισμού, μόνο στη διαμήκη διεύθυνση.
- Το πάχος του έσω και του έξω χιτώνα της αορτής, φαίνεται να επηρεάζει τη μέση τιμή της τάσης αποφλοίωσης, τόσο σε ασθενείς, όσο και σε μάρτυρες και στις δύο διευθύνσεις, εκτός ωστόσο του έξω χιτώνα των ασθενών στη διαμήκη διεύθυνση.
- Τέλος, για τη μέγιστη αορτική διάμετρο ανευρύσματος, που εμφάνισαν οι ασθενείς, παρατηρείται ότι υπάρχει εξάρτηση με τη μέση τάση αποφλοίωσης, μόνο στη διαμήκη διεύθυνση.

Τα συνολικά συμπεράσματα για όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν, φαίνονται συγκριτικά στο Παράρτημα 7.7.

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις και Έρευνα

Κλείνοντας, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής, θα μπορούσε να γίνει επέκτασή της, προς πολλές κατευθύνσεις. Καταρχάς, για να υπάρξει περισσότερη ακρίβεια στα αποτελέσματα και να εξακριβωθεί κατά πόσον οι παράγοντες που εξετάζονται, επηρεάζουν την ανάπτυξη του αορτικού διαχωρισμού, θα πρέπει να γίνει η συλλογή περισσότερων δεδομένων (αριθμός συνόλου για κάθε κατηγορία να είναι μεγαλύτερος του 30, ώστε στατιστικά η κατανομή να γίνει κανονική), τόσο στους ασθενείς, όσο και στους μάρτυρες, οι οποίοι παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Κατά δεύτερον, θα μπορούσε να εξεταστεί μικροσκοπικά η ποσότητα του κολλαγόνου και ελαστίνης της αορτής μέσω ιστολογίας, για την κάθε περίπτωση που εξετάστηκε, και κατά πόσον επηρεάζει τα αντίστοιχα μακροσκοπικά αποτελέσματα. Ακόμα, θα μπορούσε να γίνει μικροσκοπική ανάλυση της ιστολογίας των τοιχωμάτων της αορτής για την ερμηνεία της μηχανικής της συμπεριφοράς, καθώς και προσομοίωση των αποτελεσμάτων με ρευστομηχανικά μοντέλα για προσδιορισμό του ορίου πίεσης του αίματος. Επίσης, θα μπορούσαν να εξεταστούν περισσότεροι καρδιαγγειακοί παράγοντες όπως το οικογενειακό ιατρικό ιστορικό, η έλλειψη φυσικής δραστηριότητας, η υγιεινή διατροφή, το μεταβολικό σύνδρομο και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά. Τέλος, οι πιο πάνω παράγοντες θα μπορούσαν να εξετασθούν και στα άλλα μέρη της αορτής (όχι μόνο στην ανιούσα αορτή), δηλαδή στο αορτικό τόξο και στην κατιούσα αορτή.

6. Βιβλιογραφία

[1] M. F. Koff, “Biomechanics of peripheral joints,” *Rheumatol. Sixth Ed.*, vol. 1–2, pp. 65–71, 2015, doi: 10.1016/B978-0-323-09138-1.00009-7.

[2] T. W. Lu and C. F. Chang, “Biomechanics of human movement and its clinical applications,” *Kaohsiung J. Med. Sci.*, vol. 28, no. 2 SUPPL., pp. S13–S25, 2012, doi: 10.1016/j.kjms.2011.08.004.

[3] A. P. Voorhees and H. C. Han, “Biomechanics of cardiac function,” *Compr. Physiol.*, vol. 5, no. 4, pp. 1623–1644, 2015, doi: 10.1002/cphy.c140070.

[4] K. F. Koopman, “Circulatory System,” *[Volume 1] Syst.*, pp. 8–8, 2020, doi: 10.1515/9783110888157-012.

[5] Σ. Τσαγγάρης and Χ. Μανόπουλος, *Βιορευστομηχανική και Βιοϊατρική Τεχνολογία*, Β’. Αθήνα: Ε.Μ.Π, 2016.

[6] S. Frantz, “Blood vessel,” *Nat. Rev. Drug Discov.*, vol. 2, no. 9, p. 688, 2003, doi: 10.1038/nrd1189.

[7] D. N. Emergence and T. Confer, “de novo. De novo,” *Most*, vol. 10, no. 3, pp. 1–39, 2003.

[8] H. See and R. External, “An artery (plural arteries) (from Greek ἀ ρτηρία,” pp. 6–11, 2020.

[9] “Hemodynamics,” pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Hemodynamics#Blood_flow.

[10] S. Avril, “Chapter 10: Aortic and arterial mechanics.”

[11] N. A. Shirwany and M. H. Zou, “Arterial stiffness: A brief review,” *Acta Pharmacol. Sin.*, vol. 31, no. 10, pp. 1267–1276, 2010, doi: 10.1038/aps.2010.123.

[12] G. Sommer, *Mechanical Properties of Healthy and Diseased Human Arteries*. 2008.

[13] Y. Wang, J. A. Johnson, F. G. Spinale, M. A. Sutton, and S. M. Lessner, “Quantitative Measurement of Dissection Resistance in Intimal and Medial Layers of Human Coronary Arteries,” *Exp. Mech.*, vol. 54, no. 4, pp. 677–683, 2014, doi: 10.1007/s11340-013-9836-0.

[14] S. Pasta, J. A. Phillippi, T. G. Gleason, and D. A. Vorp, “Effect of aneurysm on the mechanical dissection properties of the human ascending thoracic aorta,” *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, vol. 143, no. 2, pp. 460–467, 2012, doi: 10.1016/j.jtcvs.2011.07.058.

[15] L. Dixon and A. Abdelhafiz, “Aortic dissection,” *Acute Med.*, vol. 9, no. 3, p. 131, 2010.

[16] P. Berillis, “The Role of Collagen in the Aorta’s Structure,” *Open Circ. Vasc. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2013, doi: 10.2174/1877382601306010001.

[17] H. Chen, Y. Liu, M. N. Slipchenko, X. Zhao, J. X. Cheng, and G. S. Kassab, “The layered structure of coronary adventitia under mechanical load,” *Biophys. J.*, vol. 101, no. 11, pp. 2555–2562, 2011, doi: 10.1016/j.bpj.2011.10.043.

[18] J. Tong, Y. Cheng, and G. A. Holzapfel, “Mechanical assessment of arterial dissection

in health and disease: Advancements and challenges," *J. Biomech.*, vol. 49, no. 12, pp. 2366–2373, 2016, doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.02.009.

[19] T. C. Gasser and G. A. Holzapfel, "Modeling the propagation of arterial dissection," *Eur. J. Mech. A/Solids*, vol. 25, no. 4, pp. 617–633, 2006, doi: 10.1016/j.euromechsol.2006.05.004.

[20] D. C. Angouras, E. P. Kritharis, and D. P. Sokolis, "Regional distribution of delamination strength in ascending thoracic aortic aneurysms," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 98, no. June, pp. 58–70, 2019, doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.06.001.

[21] "Type A aortic dissection," *Ann. Cardiothorac. Surg.*, vol. 5, no. 3, p. 256, 2016, doi: 10.21037/acs.2016.05.04.

[22] M. Disulfide, C. L. Review, E. Edge, G. It, and D. Search, "A privacy, disclaimer and tracking cookie usage reminder from Engineers Edge. To learn more, see our Privacy Policy / Cookie Usage & Disclaimer links at bottom of webpage.," pp. 1–2, 2020.

7. Παράρτημα

7.1 Πίνακες μελέτη των προφίλ διαχωρισμού ανά διεύθυνση και ανατομική θέση για μάρτυρες και ασθενείς

Μάρτυρες	Έξω Πλάγιο		Έσω Πλάγιο	
	Μέση Τάση Αποφλοίωσης	Μέση Επιμήκυνση	Μέση Τάση Αποφλοίωσης	Μέση Επιμήκυνση
Περιφερειακή Διεύθυνση	23.97	26.56	33.49	25.27
Διαμήκης Διεύθυνση	27.74	38.17	39,59	34.38

Πίνακας 7.1.1: Μέσες τιμές επιμήκυνσης και τάσης αποφλοίωσης μαρτύρων ανά διεύθυνση και ανατομική περιοχή.

Ασθενείς	Έξω Πλάγιο		Έσω Πλάγιο	
	Μέση Τάση Αποφλοίωσης	Μέση Επιμήκυνση	Μέση Τάση Αποφλοίωσης	Μέση Επιμήκυνση
Περιφερειακή Διεύθυνση	27,97	31,53	56,42	33,49
Διαμήκης Διεύθυνση	34,86	32,59	51,38	39,59

Πίνακας 7.1.2: Μέσες τιμές επιμήκυνσης και τάσης αποφλοίωσης ασθενών ανά διεύθυνση και ανατομική περιοχή.

7.2 Πίνακες μελέτη της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης στους ασθενείς και στους μάρτυρες ανά ανατομική περιοχή και διεύθυνση

	Πρόσθιο	Έξω Πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω Πλάγιο	Μέση Τιμή
Ασθενείς	27.44	27.97	49.20	56.42	40.72
Μάρτυρες	25.51	23.97	32.18	33.490	28.62

Πίνακας 7.2.1: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή στη περιφερειακή διεύθυνση.

	Πρόσθιο	Έξω Πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω Πλάγιο	Μέση Τιμή
Ασθενείς	42,85	34,87	50.58	51.39	44.68
Μάρτυρες	30.5	27.74	39.22	39.59	34.20

Πίνακας 7.2.2: Μέσες τιμές τάσης αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή στη διαμήκη διεύθυνση.

7.3 Πίνακες μελέτης του πάχους του τοιχώματος της αορτής στους ασθενείς και στους μάρτυρες

	Πρόσθιο	Έξω Πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω Πλάγιο	Μέση Τιμή
Ασθενείς	1.93	1.93	2.05	1.92	1.96
Μάρτυρες	1.71	1.60	1.75	1.85	1.72

Πίνακας 7.3.1: Μέσες τιμές συνολικού πάχους των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή.

	Πρόσθιο	Έξω Πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω Πλάγιο	Μέση Τιμή
Ασθενείς	1.37	1.37	1.55	1.43	1.44
Μάρτυρες	1.19	1.11	1.26	1.30	1.21

Πίνακας 7.3.2: Μέσες τιμές πάχους του έσω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή.

	Πρόσθιο	Έξω Πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω Πλάγιο	Μέση Τιμή
Ασθενείς	0.56	0.56	0.59	0.48	0.55
Μάρτυρες	0.52	0.49	0.49	0.55	0.51

Πίνακας 7.3.3: Μέσες τιμές πάχους του έξω χιτώνα των ασθενών και των μαρτύρων, για κάθε ανατομική περιοχή.

7.4 Πίνακες μελέτης της Μέση Τάσης Αποφλοίωσης των ασθενών και των μαρτύρων με βάση καρδιαγγειακούς παράγοντες

	Φύλο		**Υπέρταση**		**Διαβήτης**		**Δυσλιπιδαιμία**		**Κάπνισμα**		**Αλκοολισμός**	
	Άντρες	**Γυναίκες**	**ΝΑΙ**	**ΟΧΙ**	**ΝΑΙ**	**ΟΧΙ**	**ΝΑΙ**	**ΟΧΙ**	**ΝΑΙ**	**ΟΧΙ**	**ΝΑΙ**	**ΟΧΙ**
Ασθενείς	40.43	31.39	29.82	43.69	-	36.84	28.80	40.92	39.01	33.15	39.98	38.13
Μάρτυρες	29.05	27.61	24.49	32.00	30.16	28.22	24.72	29.47	26.62	31.44	-	26.61

Πίνακας 7.4.1: Μέσες τιμές αποφλοίωσης ασθενών και των μαρτύρων, στην περιφερειακή διεύθυνση.

	Φύλο		Υπέρταση		Διαβήτης		Δυσλιπιδαιμία		Κάπνισμα		Αλκοολισμός	
	Άντρες	Γυναίκες	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Ασθενείς	50.64	30.67	39.13	50.55	-	44.95	21.20	48.68	41.65	46.25	32.70	53.30
Μάρτυρες	33.96	34.37	30.59	35.27	35.84	33.63	30.21	34.94	33.26	32.85	-	34.08

Πίνακας 7.4.2: Μέσες τιμές αποφλοίωσης ασθενών και των μαρτύρων, στην διαμήκη διεύθυνση.

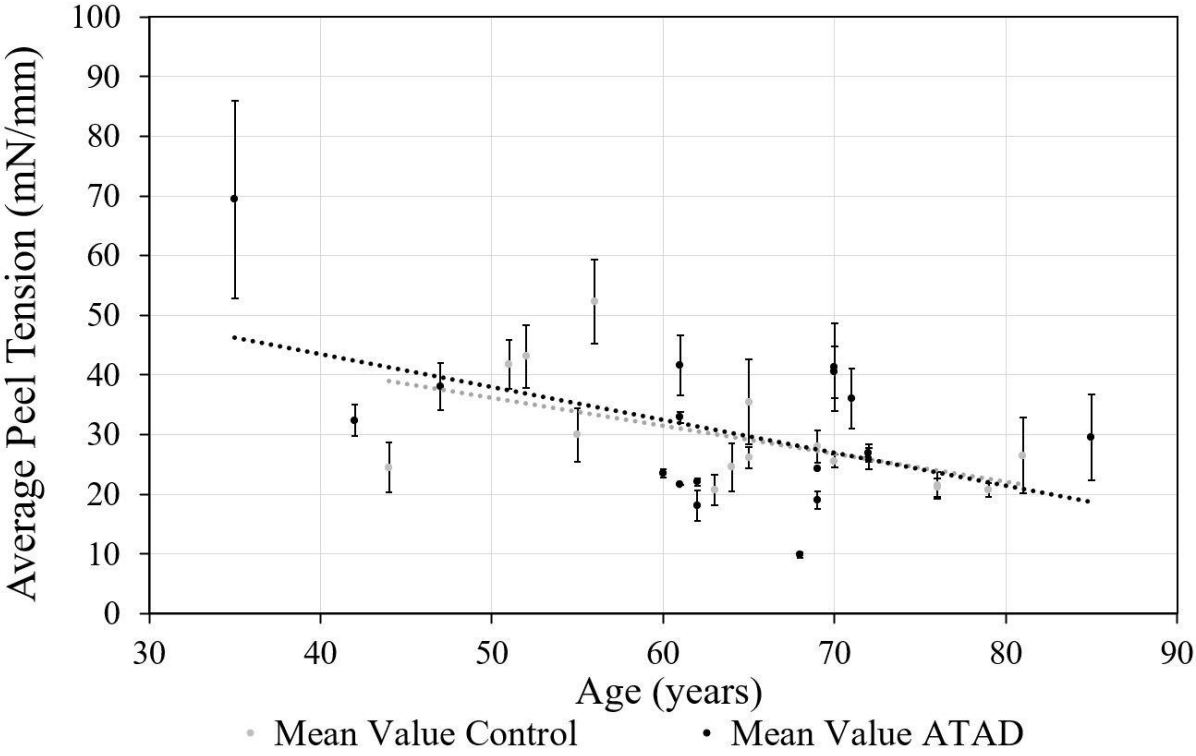
7.5 Πίνακες και γραφήματα μελέτη της συσχέτισης της Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης με βάση βιομετρικά χαρακτηριστικά

	Age	**Weight**	**Height**	**Thickness**		**Aortic Diameter**
				Inner Layers	**Outer Layers**	
Εξισώσεις Ασθενών	y = -0.5382x + 63.836	y = 0.508x - 6.2647	y = 67.361x - 79.349	y = -0.2034x + 37.212	y = 3.6407x + 33.2	y = 10.14x - 17.381
R^2 regression	0.1084	0.1339	0.0697	= 2E-05	0.0038	0.0532
r correlation	-0.26581	0.365866	0.264013	-0.00388	0.061434	0.230628
P value	4.98E-08	0.632957	0.110483	9.39E-10	1.75E-05	0.539561
Εξίσωση Μαρτύρων	y = -0.5832x + 72.288	y = -0.5954x + 76.157	y = -29.329x + 82.69	y = 11.876x + 14.219	y = 9.6074x + 23.813	-
R^2 regression	0.2033	= 0.2499	0.0301	0.0613	0.0236	-
r correlation	-0.44963	-0.49991	-0.17349	0.247588	0.153502	-
P value	6.36E-13	5.96E-08	0.064093	0.023594	2.02E-09	-

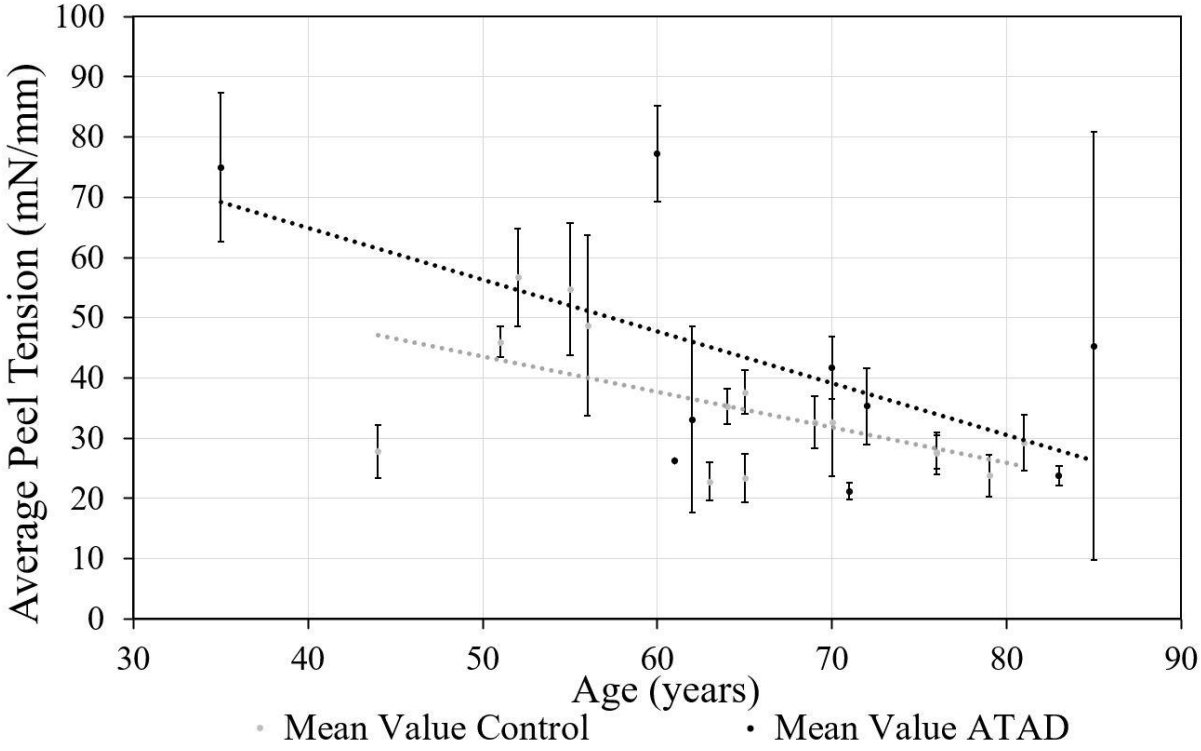
Πίνακας 7.5.1: Εξισώσεις και στατιστικά χαρακτηριστικά εξισώσεων ασθενών και μαρτύρων στην περιφερειακή κατεύθυνση.

	Age	Weight	Height	Thickness		Aortic Diameter
				Inner Layers	Outer Layers	
Εξισώσεις Ασθενών	y = -1.0627x + 112.14	y = 0.8818x - 30.164	y = 176.51x - 259.3	y = -27.593x + 68.332	y = 33.169x + 10.701	y = 24.988x - 98.453
R^2 regression	0.3013	0.2049	0.2575	0.234	0.2106	0.292
r correlation	-0.54891	0.452608	0.507455	-0.48373	0.458935	0.540329
P value	5.61E-11	0.136871	0.000373	2.51E-14	0.262227	0.001658
Εξίσωση Μαρτύρων	y = -0.6719x + 78.428	y = -0.613x + 79.767	y = -41.093x + 105.47	y = 5.9422x + 30.079	y = 19.271x + 19.199	-
R^2 regression	0.1969	0.1996	0.0426	0.012	7E-07	-
r correlation	-0.44374	-0.44673	-0.20652	0.109581	0.000845	-
P value	4.59E-12	1E-06	0.046233	0.002567	7.56E-10	-

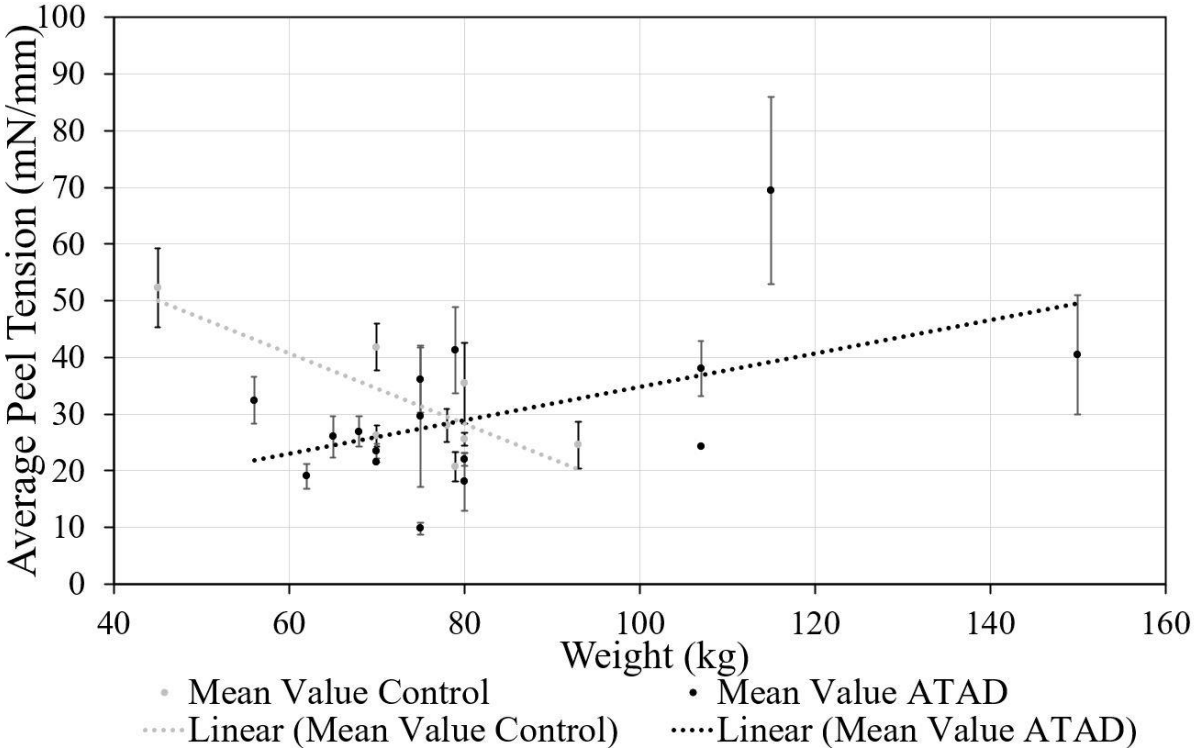
Πίνακας 7.5.1: Εξισώσεις και στατιστικά χαρακτηριστικά εξισώσεων ασθενών και μαρτύρων, στην διαμήκη κατεύθυνση.



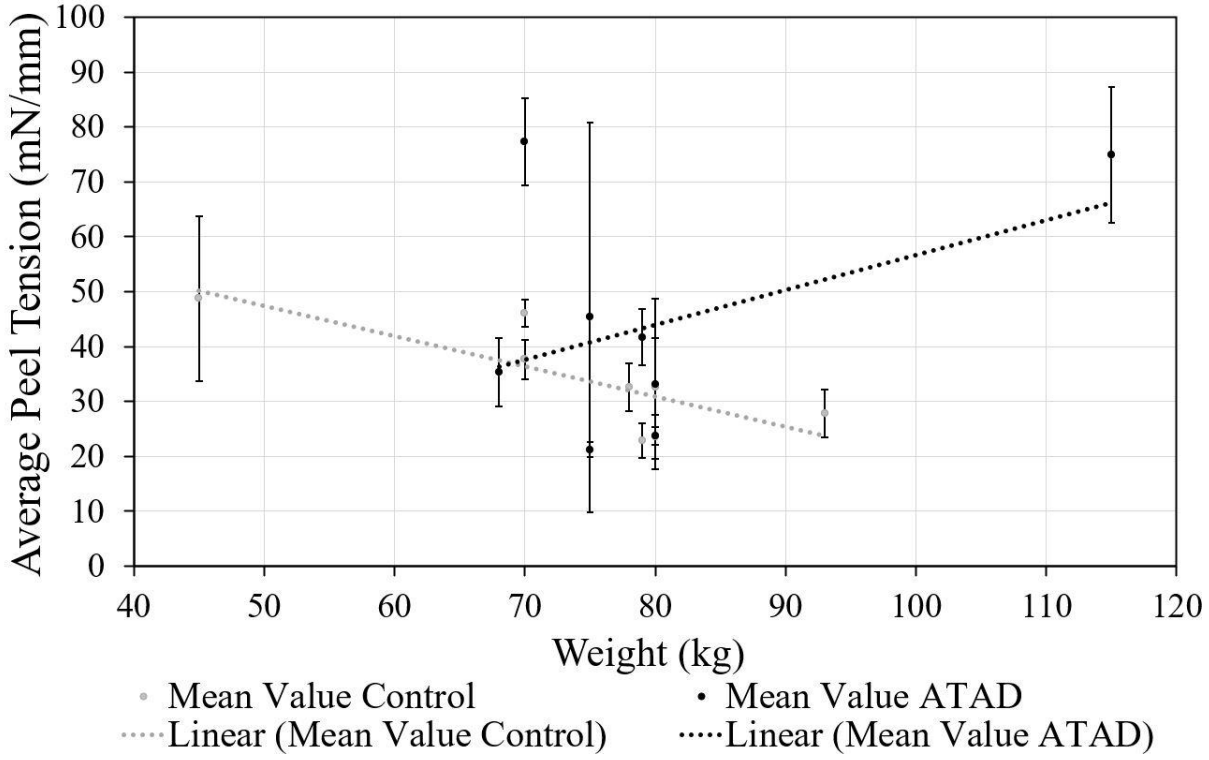
Γράφημα 7.5.1: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση.



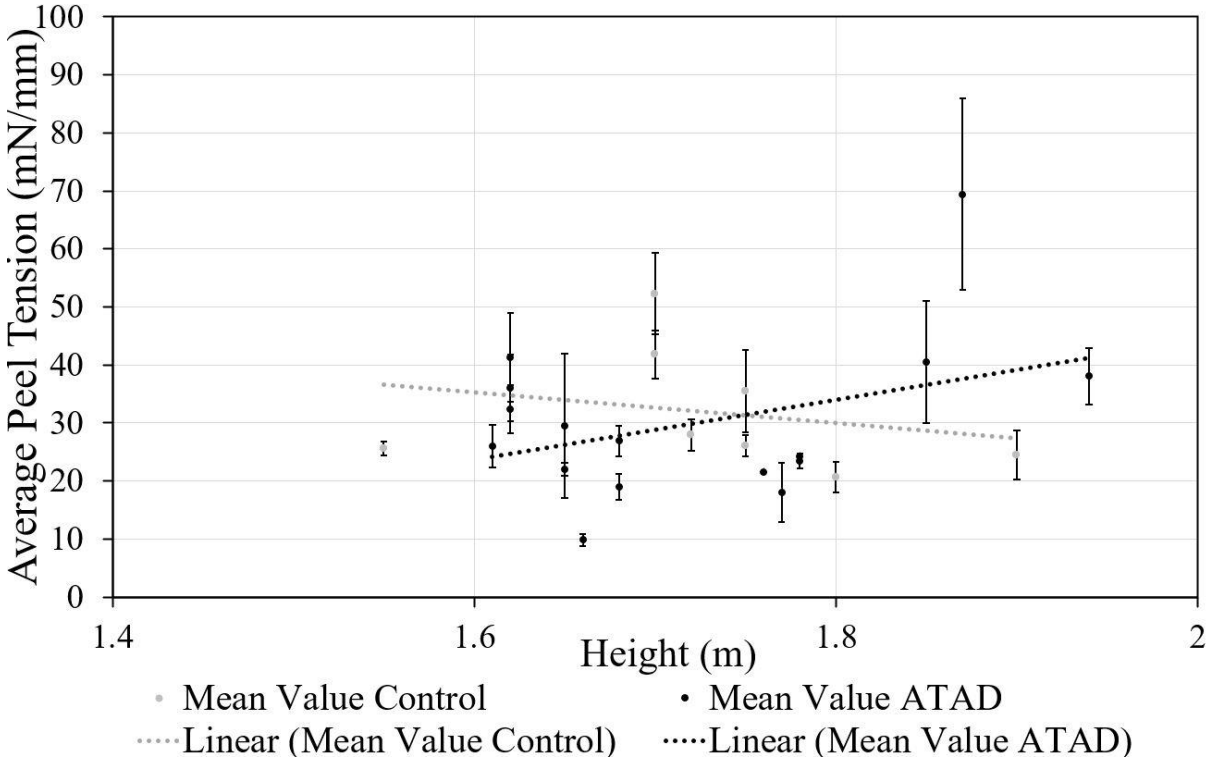
Γράφημα 7.5.2: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της ηλικίας για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση.



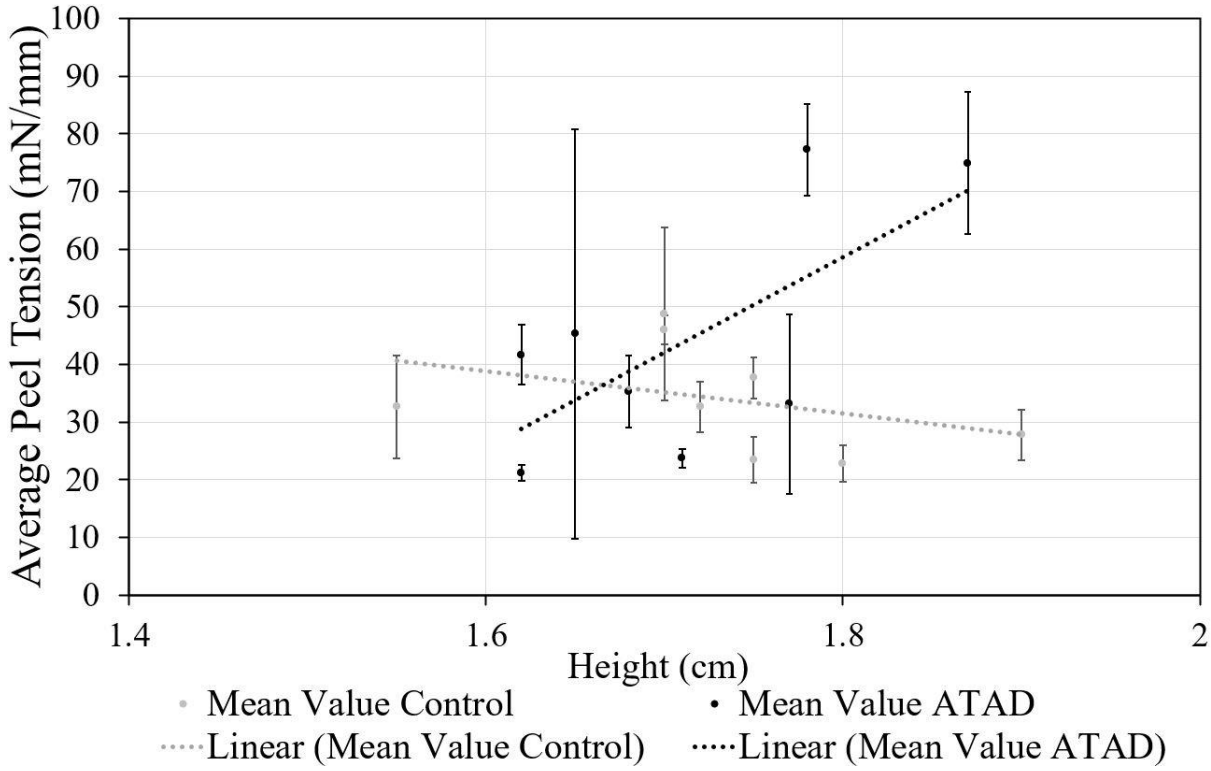
Γράφημα 7.5.3: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση.



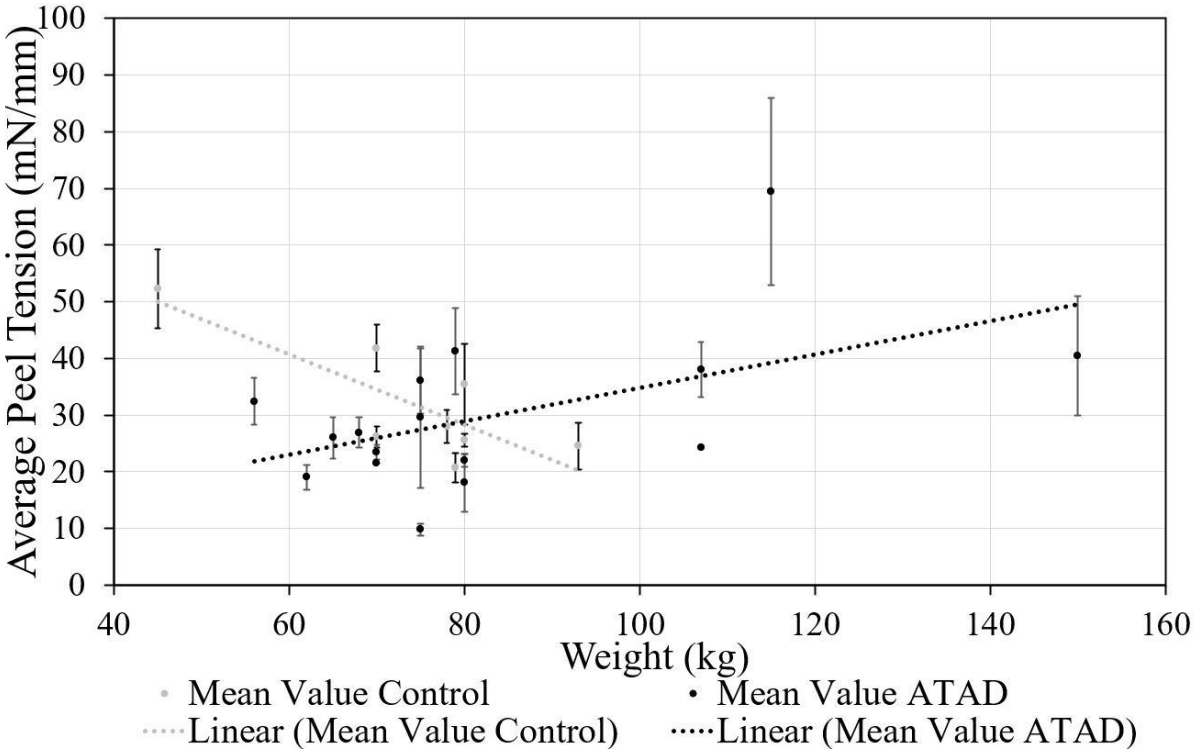
Γράφημα 7.5.4: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του βάρους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση.



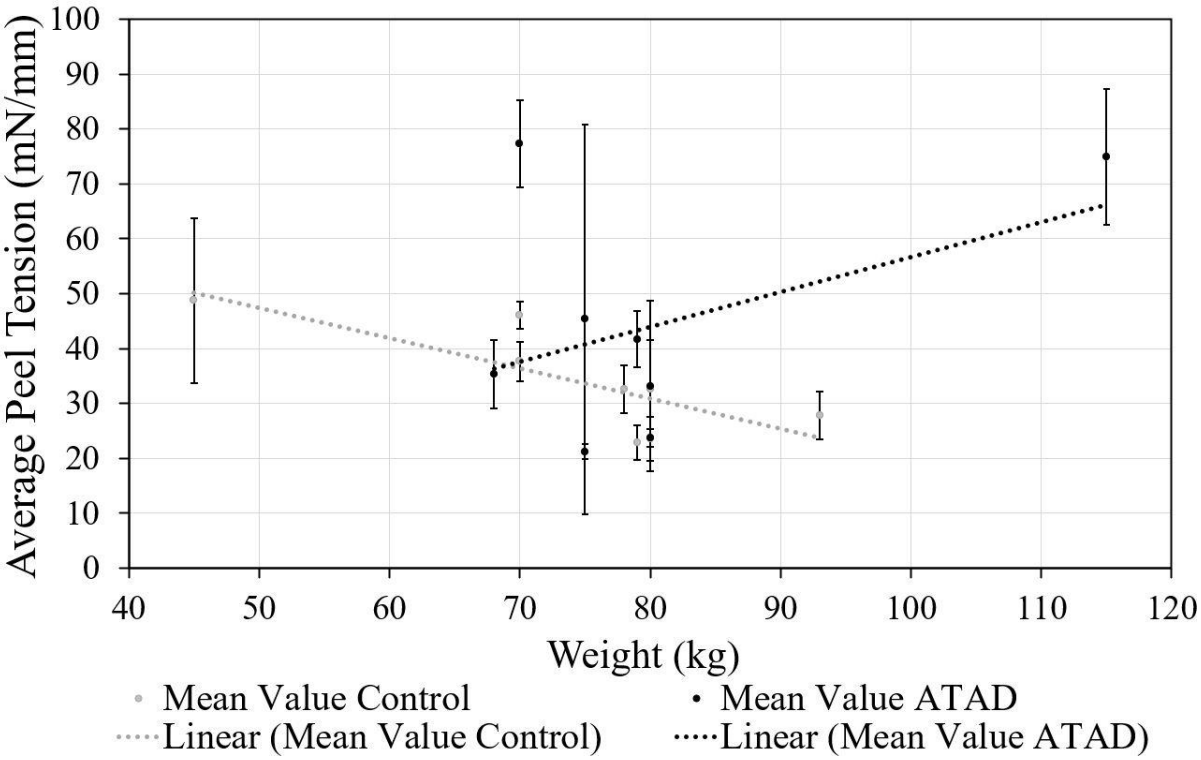
Γράφημα 7.5.5: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση.



Γράφημα 7.5.6: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει του ύψους για κάθε ασθενή και μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση.



Γράφημα 7.5.7: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου για κάθε ασθενή στην περιφερειακή διεύθυνση.



Γράφημα 7.5.8: Διάγραμμα μέσων τιμών αποφλοίωσης, συναρτήσει της αορτικής διαμέτρου για κάθε ασθενή στην διαμήκη διεύθυνση.

7.6 Πίνακες απεικόνισης Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες

	Πρόσθιο	**Έξω Πλάγιο**	**Οπίσθιο**	**Έσω Πλάγιο**
Ασθενής 4	-	23.75041367	47.5388	-
Ασθενής 6	-	-	-	24.33237993
Ασθενής 8	-	15.79460295	58.7145	-
Ασθενής 9	40.46289	-	-	-
Ασθενής 11	-	-	18.0938	-
Ασθενής 12	26.68415	44.12984216	45.4487	-
Ασθενής 15	22.04541	-	-	-
Ασθενής 18	-	-	-	23.50941216
Ασθενής 19	25.97637	-	-	-
Ασθενής 23	-	32.63977502	33.3272	-
Ασθενής 24	39.88761	24.53898071	14.707	77.25235745
Ασθενής 26	20.68543	-	36.0375	35.89132231

Πίνακας 7.6.1: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

	Πρόσθιο	**Έξω Πλάγιο**	**Οπίσθιο**	**Έσω Πλάγιο**
Ασθενής 8	64.51245	48.71548322		127.9954247
Ασθενής 11			33.11985	
Ασθενής 18			77.27045	
Ασθενής 24	39.88988	34.37787712	13.58455	60.17937597
Ασθενής 25	20.94639	31.47457335		23.12126922
Ασθενής 26	23.69445	15.43434516		19.78595957

Πίνακας 7.6.2: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε ασθενή, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

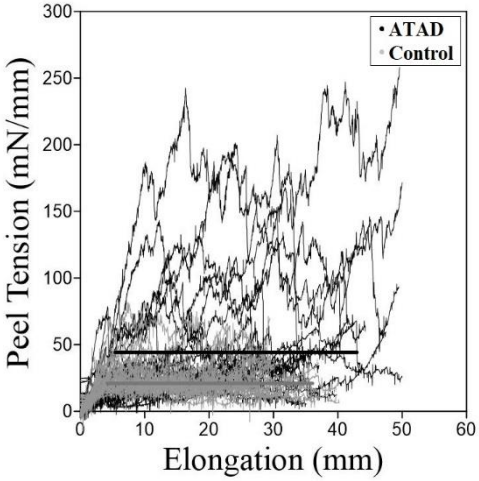
	Πρόσθιο	Έξω πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω πλάγιο
Μάρτυρας 1	33.57200381	43.59614101	48.7518067	40.73334752
Μάρτυρας 2	25.20485923	28.50048899	51.12880755	38.50922343
Μάρτυρας 3	33.5420823	22.2271861	31.48135828	24.50003981
Μάρτυρας 4	28.37315026	19.36220092	26.22309105	30.59906579
Μάρτυρας 5	26.6181758	17.46712112	18.50709196	56.06722472
Μάρτυρας 6	37.24513801	32.08977315	46.97338358	56.06722472
Μάρτυρας 7	27.93681168	9.734394007	34.21035896	
Μάρτυρας 8	18.5426948	17.22131079	28.54673327	21.72136492
Μάρτυρας 9	17.22547469	19.47814967		23.94748063
Μάρτυρας 10	21.93741442	18.10353769	24.87617276	24.87617276
Μάρτυρας 11	16.88448448	19.98894603	20.83203552	40.56767198
Μάρτυρας 12	38.76586834	46.26090969	52.79131998	71.40739722
Μάρτυρας 13	18.48883326	16.68042024	28.36390733	19.32865844
Μάρτυρας 14	23.10331242	27.22322472	27.8795691	24.19838098
Μάρτυρας 15	24.06618961	24.93393734	27.69493416	43.06928209

Πίνακας 7.6.3: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην περιφερειακή διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

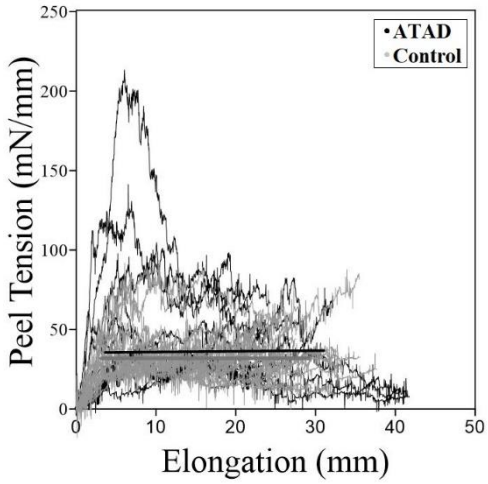
	Πρόσθιο	Έξω πλάγιο	Οπίσθιο	Έσω πλάγιο
Μάρτυρας 1	39.64675375	44.79385159	52.86695	47.49552589
Μάρτυρας 2	21.54821956	13.29081915	32.21975	30.07261487
Μάρτυρας 3	18.31368293	26.11114123	39.34934	46.81396564
Μάρτυρας 4	25.42238248	48.07919334	42.55875	34.57814833
Μάρτυρας 5			36.53331	22.87308873
Μάρτυρας 6	57.74489297	35.8856224	75.38164	57.77890639
Μάρτυρας 7	17.41940839	28.82687832	35.35294	
Μάρτυρας 8	35.05229536	23.47094313	26.52725	26.03148966
Μάρτυρας 9	23.03333506	16.8227963	21.95888	33.45568054
Μάρτυρας 10	18.46845647	27.05223552	32.43187	36.52411339
Μάρτυρας 11	30.12223379	29.09524747	44.40482	37.55571048
Μάρτυρας 12	52.59012872	5.254320177	70.87452	66.16049601
Μάρτυρας 13	20.65889292	15.9728254	23.3885	31.12254095
Μάρτυρας 14	56.21775476	22.97578909	35.85025	15.57606376
Μάρτυρας 15	43.51110065	43.88556998	40.69277	87.70903424

Πίνακας 7.6.4: Μέσες τιμές αποφλοίωσης για κάθε μάρτυρα, στην διαμήκη διεύθυνση, για όλα τα τεταρτημόρια της αορτής.

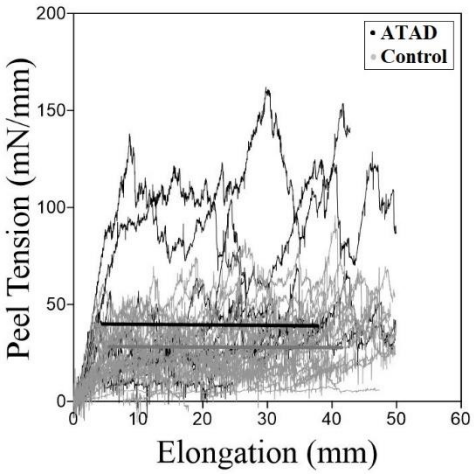
7.7 Σύγκριση Συνολικών Αποτελεσμάτων



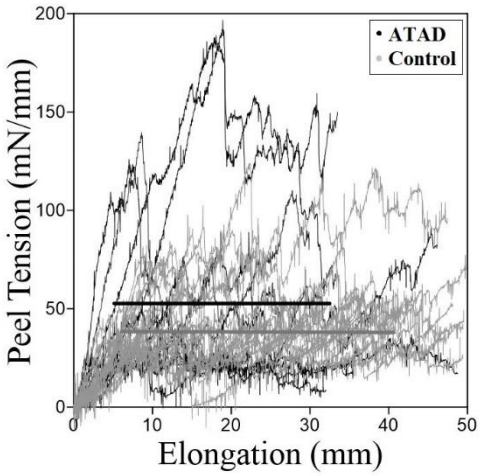
Right Lateral Circumferential



Left Lateral Circumferential

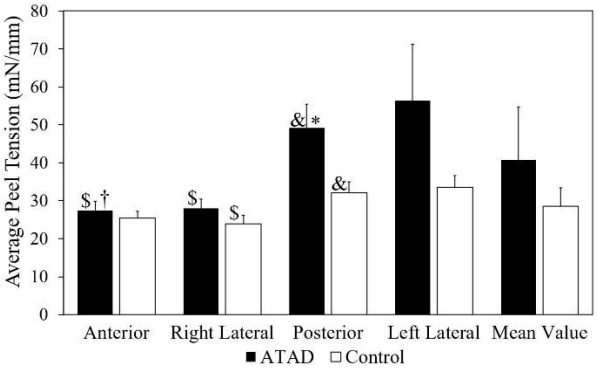


Right Lateral Longitudinal

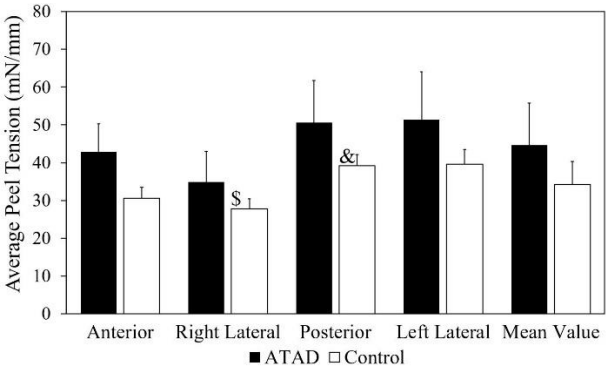


Left Lateral Longitudinal

Πίνακας 7.7.1: Διαγράμματα Τάσης Αποφλοίωσης – Επιμήκυνσης.

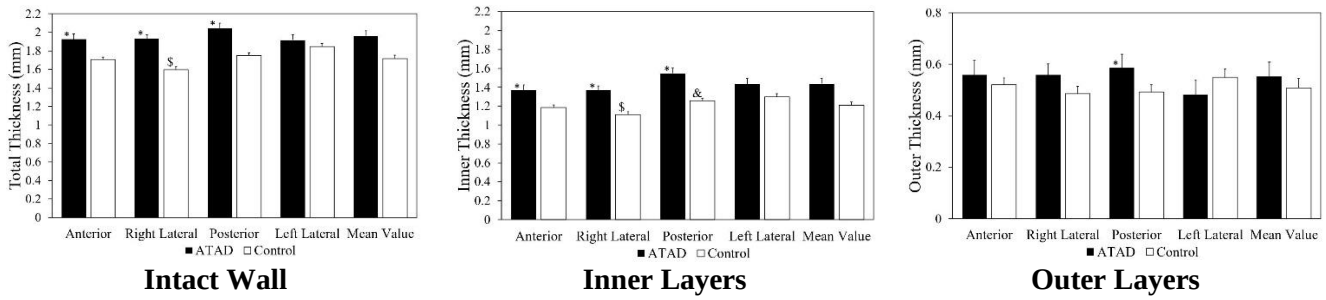


Circumferential Data

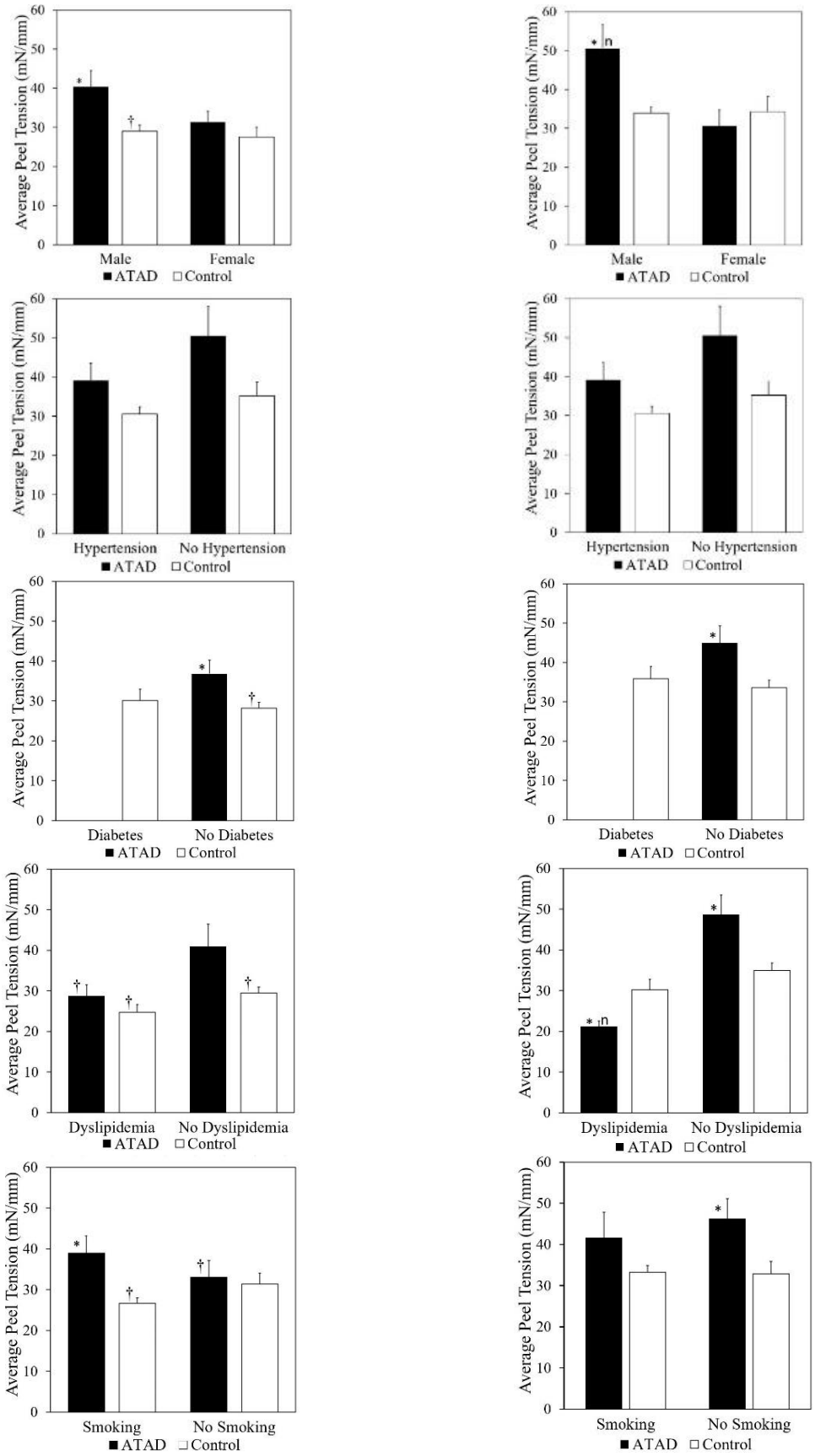


Longitudinal Data

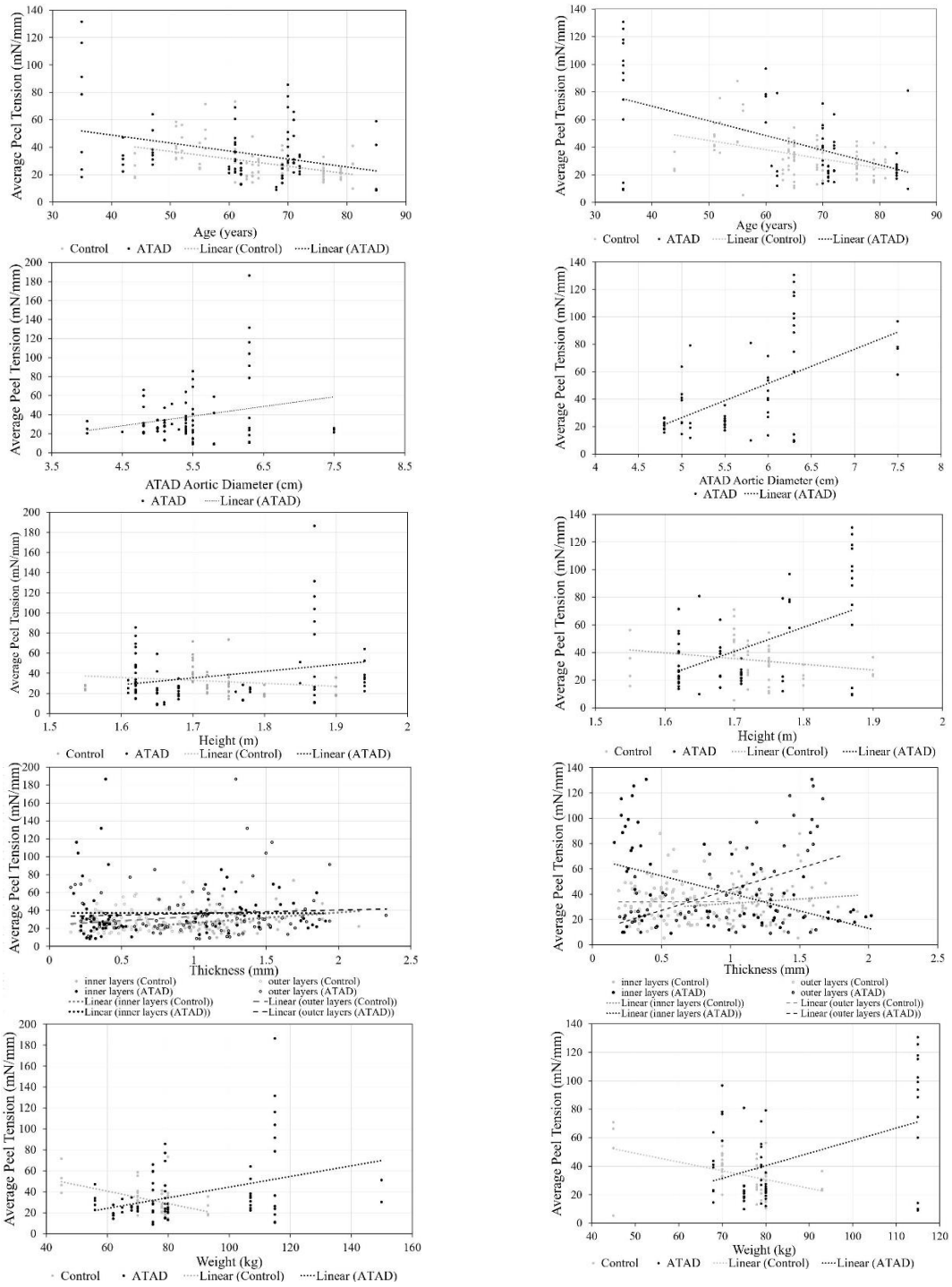
Πίνακας 7.7.2: 1 Ραβδογράμματα απεικόνισης της Μέση Τάση Αποφλοίωσης.



Πίνακας 7.7.3: Ραβδογράμματα απεικόνισης του πάχους των τριών χιτώνων της αορτής για κάθε τεταρτημόριο της.

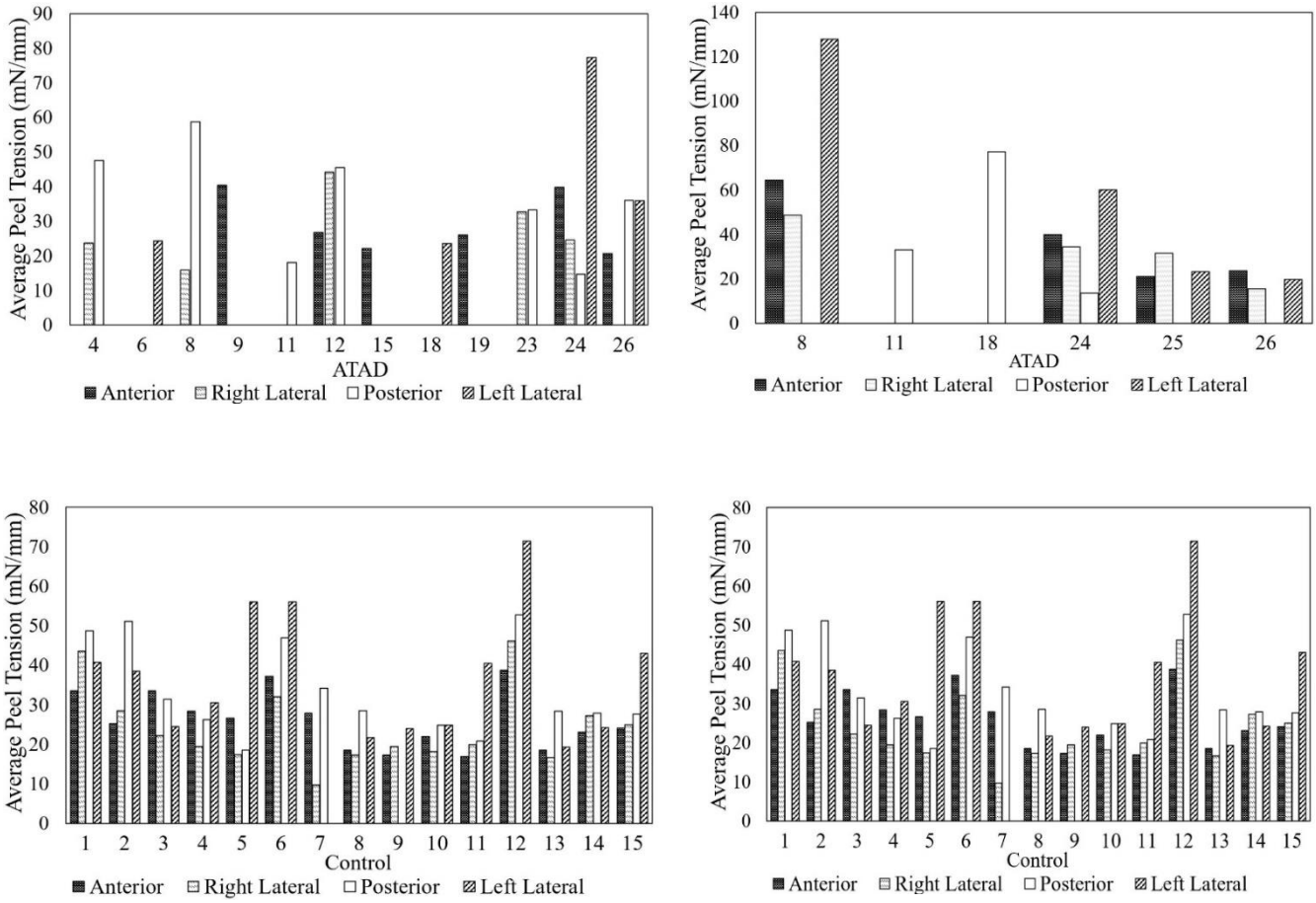


Πίνακας 7.7.4: Ραβδογράμματα απεικόνισης Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης ασθενών και μαρτύρων στις δύο διευθύνσεις με βάση τους καρδιαγγειακούς παράγοντες.



Circumferential Data **Longitudinal Data**

Πίνακας 7.7.5: Διαγράμματα Μέσης Τάσης Αποφλοίωσης συναρτήσει βιομετρικών χαρακτηριστικών.



Circumferential Data **Longitudinal Data**

Πίνακας 7.7.6: Απεικόνιση Μέσης Τιμή Αποφλοίωσης σε όλα τα τεταρτημόρια της αορτής σε ασθενείς και μάρτυρες.