



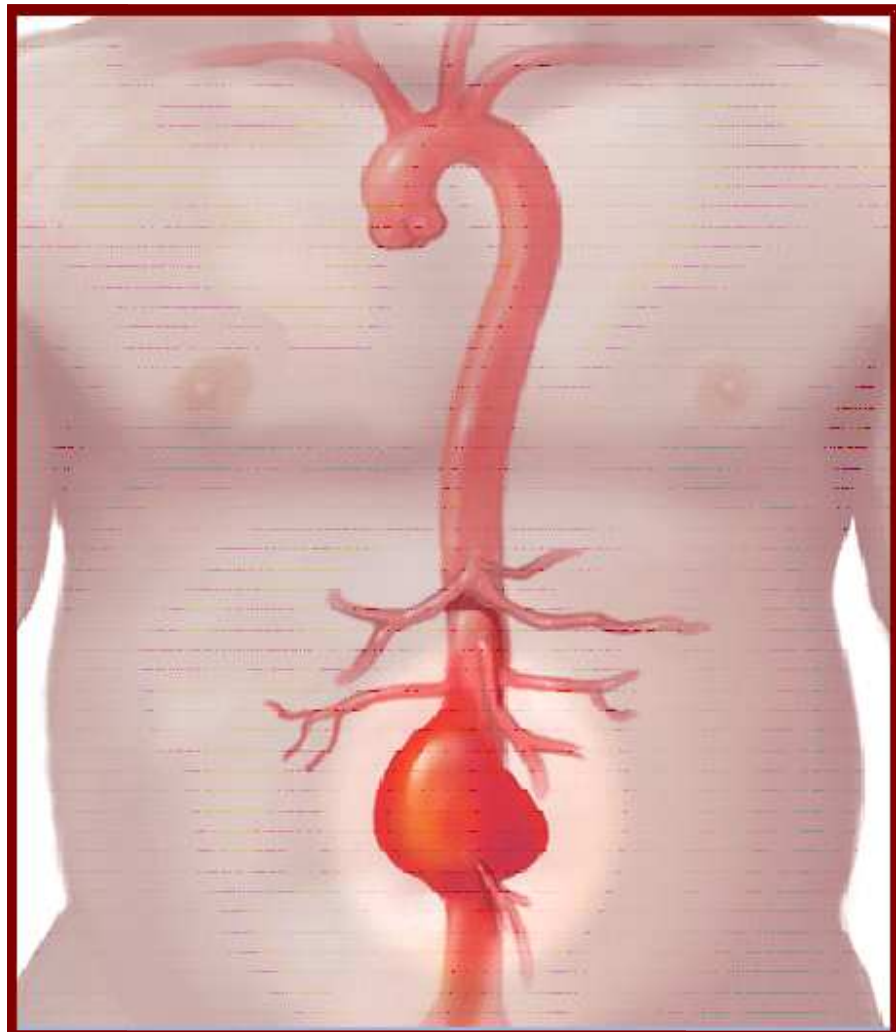
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου

Τμήμα: Μηχανολογίας

Πτυχιακή Άσκηση

Θέμα: Μελέτη της ροής του αίματος σε  
ανεύρυσμα αορτής



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: κα. Μεταξά Ελένη  
Ονοματεπώνυμο: Κελαράκη Χρυσούλα

Ηράκλειο 2012

.....Αφιερωμένη στην αγαπημένη  
μου γιαγιά που έφυγε νωρίς.....

## Πρόλογος

Η παρούσα Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Μελέτη της ροής του αίματος σε ανεύρυσμα αορτής » επιχειρεί να βοηθήσει άτομα που έχουν μια διόγκωση του αυλού και του τοιχώματος της αρτηρίας, και άρα και την πιθανότητα σε περίπτωση διάρρηξης του αγγείου εσωτερικής αιμορραγίας.

Ανέλαβα την παρούσα Πτυχιακή εργασία τον Δεκέμβριο του 2011. Επιβλέπουσα Καθηγήτρια της Πτυχιακής μου ήταν η κ Μεταξά Ελένη του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Ηρακλείου, τμήματος Μηχανολογίας.

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται η φοίτηση μου στο τμήμα Μηχανολογίας. Το κυριότερο είναι ότι πλαισιώνεται από τις ανεκτίμητες εμπειρίες που αποκόμισα τα χρόνια των σπουδών μου, αποτελώντας ουσιαστικά τον επίλογο της φοίτησής μου στο Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που με βοήθησαν να φέρω εις πέρας το έργο που μου ανατέθηκε. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος που με δίδαξαν, μου μετέδωσαν τις γνώσεις τους και μου έδωσαν τη δυνατότητα να τις συνθέσω ώστε να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ Μεταξά για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία, βοηθώντας με να γνωρίσω το αντικείμενο αυτό, αποκτώντας γνώσεις μέσα από τη συμβολή της.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη και αγάπη στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την κατανόηση και συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

**Ηράκλειο 2012**  
**Κελαράκη Χρυσούλα**

<b><u>Περιεχόμενα</u></b>	
<b>Εισαγωγή</b>	6
<b>Κεφάλαιο 1: Ανεύρυσμα</b>	
1.1) Η παθολογία του ανευρύσματος της αορτής	8
1.2) Συχνότητα ανευρύσματος	9
1.3)Αρτηριακά ανευρύσματα	9
1.4) Αιτίες	13
1.5)Συμπεράσματα	14
<b>Κεφάλαιο 2: Υγρό</b>	
2.1) Ορισμός υγρού	16
2.2) Τι είναι ροή	16
2.3) Αρχές διατήρησης σε κινούμενα υγρά	17
2.4)Τι είναι το αίμα	18
2.5)Ροή του αίματος	20
2.6)Αιμοδυναμική	21
2.7)Ο ρόλος της αιμοδυναμικής στη φυσιολογία των αρτηριών	22
2.8)Διατμητική τάση	24
<b>Κεφάλαιο 3: Η καρδιά</b>	
3.1) Η καρδιά γενικά	26
3.2) Η θέση της καρδιάς	27
3.3) Η καρδιά και το έργο της	27
<b>Κεφάλαιο 4: Η αορτή</b>	
4.1) Αορτή	31
4.2) Χειρουργικές παθήσεις της αορτής	32

<b>Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία</b>	
5.1) Τι είναι τα πεπερασμένα στοιχεία(Πρόγραμμα LISA)	34
5.2) Εξισώσεις Navier-Stokes	34
Αποτελέσματα	
5.3) Γιατί έχουμε ανακυκλοφορία του αίματος στη είσοδο στο ανεύρυσμα	46
<b>Κεφάλαιο 6</b>	
6.1) Σχόλια παραδειγμάτων	53
<b>Βιβλιογραφία</b>	54

## Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετήσω τη ροή ενός νευτώνειου ρευστού σε έναν αγωγό απότομης διεύρυνσης που σκοπό έχει να προσομοιάσει τη ροή του αίματος στην είσοδο ενός ανευρύσματος. Θα χρησιμοποιήσω ένα λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων. Θα κάνω επίσης μια έρευνα σε ελληνική και ξένη βιβλιογραφία για τον ρόλο της αιμοδυναμικής στις αγγειακές παθήσεις.

Σκοπός της πτυχιακής είναι η βιβλιογραφική μελέτη της επίδρασης της ροής του αίματος στη παθοφυσιολογία του ανευρύσματος κοιλιακής αορτής, η επίδραση της γεωμετρίας στο μέγεθος του στροβιλισμού και η επίδραση της ταχύτητας στο μέγεθος του στροβιλισμού.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Η παθολογία του ανευρύσματος της αορτής

Τι είναι το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής

Θα γίνει μία εκτενής αναφορά για τα ανευρύσματα κοιλιακής αορτής με τα οποία και ασχολείται η παρούσα πτυχιακή. Το ανεύρυσμα κοιλιακή αορτής είναι η πιο συχνή περίπτωση αορτικού ανευρύσματος και ο βασικότερος παράγοντας εμφάνισής του είναι η ηλικία (60 ετών και άνω). Όταν οι αρτηρίες οδηγούνται σε γήρανση με την πάροδο των χρόνων, η διάμετρός τους αυξάνει και τα τοιχώματά τους γίνονται σκληρότερα και παχύτερα.

Ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής καλείται μία ευάλωτη περιοχή στην αορτή, το κύριο αγγείο που μεταφέρει αίμα από την καρδιά στο υπόλοιπο σώμα. Όταν το αίμα ρέει διαμέσου της αορτής, ασκείται πίεση στα τοιχώματα της αορτής, με αποτέλεσμα η τελευταία να διευρύνεται και να μοιάζει σαν φουσκωμένο μπαλόνι. Εάν οι διαστάσεις της ανευρυσματικής περιοχής αυξηθούν σημαντικά, τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ρήξης του αγγείου. Συχνότερα τα ανευρύσματα κοιλιακής αορτή εντοπίζονται κάτω από την έκφυση των νεφρικών αρτηριών. Το ανεύρυσμα σε πολλές περιπτώσεις επεκτείνεται και σε αγγεία της λεκάνης και των μηρών. Όταν το ανεύρυσμα προσεγγίσει τη διάμετρο των 5 εκ. τότε υπάρχει άμεση ένδειξη να αντιμετωπισθεί, διότι έχει πολύ αυξημένες πιθανότητες να ραγεί. Ο κίνδυνος ρήξης ενός ανευρύσματος με διαστάσεις <5 εκ., είναι περίπου ίδιος με τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει ένας ασθενής που υποβάλλεται σε μέση δυσκολίας χειρουργείο. Σε περίπτωση ρήξεως ανευρύσματος, η πιθανότητα επιβίωσης του ασθενούς είναι χαμηλή, με ένα ποσοστό 80-90% των ρήξεων να καταλήγουν σε θάνατο. Αυτοί οι θάνατοι μπορούν να αποφευχθούν, εάν γίνει εγκαίρως η διάγνωση και η αντιμετώπιση των ανευρυσμάτων αυτών.

Οι εντονότερες δομικές αλλαγές λαμβάνουν χώρα στον μέσο χιτώνα του αρτηριακού τοιχώματος. Τα επίπεδα ελαστίνης και η αναλογία ελαστίνης-κολλαγόνου μειώνονται προοδευτικά. Η μειωμένη ελαστίνη συνδέεται με την αορτική διεύρυνση και η αύξηση του κολλαγόνου προδιαθέτει τη ρήξη του ανευρύσματος. Η καταστροφή της ελαστίνης που βρίσκεται στον μέσο χιτώνα των αγγείων θεωρείται ο παράγοντας «κλειδί» στην παθογένεια των ανευρυσμάτων. Ο μέσος χιτώνας γίνεται λεπτότερος καθώς οι ίνες ελαστίνης τεμαχίζονται και οδηγούνται σε τυχαία διάταξη. Με τον εκφυλισμό των ίνων ελαστίνης, το κολλαγόνο, το πιο άκαμπτο συστατικό στοιχείο του τοιχώματος, αυξάνει, με αποτέλεσμα να χάνεται σιγά σιγά η ελαστικότητα του αγγείου. Το τοίχωμα, λοιπόν των αρτηριών καθίσταται πιο ευαίσθητο στην επίδραση της πίεσης του αίματος.

Η ηλικία παίζει σημαντικό ρόλο στον εκφυλισμό του αρτηριακού μηχανισμού, καθώς με την πάροδο των ετών το αρτηριακό τοίχωμα λεπταίνει. Λόγω κόπωσης προκαλείται τεμαχισμός των φύλλων ελαστίνης, τα οποία σε πιο μικρές ηλικίες είναι πολύ σταθερά. Χάνεται λοιπόν, η ελαστική τους ιδιότητα και επέρχεται σταδιακή και μόνιμη διεύρυνση του αγγείου.



Παρόλο που το μέγεθος του ανευρύσματος χρησιμοποιείται στην κλινική πρακτική ως δείκτης που χαρακτηρίζει τον κίνδυνο ρήξης του ανευρύσματος, μελέτες έχουν δείξει ότι ένα ποσοστό μικρών ανευρυσμάτων καταλήγει σε ρήξη, ενώ παράλληλα ανακαλύπτονται αρκετά μεγάλα και ασυμπτωτικά ανευρύσματα που δεν έχουν ραγή. Η ικανότητα να προσδιορίζεται αξιόπιστα και να εξατομικεύεται ο κίνδυνος ρήξης θα βελτίωνε σημαντικά τη διαχείριση των ασθενών με ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής.

Στην προσπάθεια να ανακαλυφθούν δείκτες κινδύνου ρήξης του ανευρύσματος, μελέτες έχουν δείξει ότι πολλά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανευρύσματος αλλά και χαρακτηριστικά του αιμοδυναμικού πεδίου στην ανευρυσματική κοιλότητα μπορούν αξιόπιστα να συσχετιστούν με τον κίνδυνο ρήξης. Σε αυτές τις ερευνητικές κατευθύνσεις ο ρόλος του μηχανικού είναι σημαντικός

## 1.2 Συχνότητα ανευρύσματος κοιλιακής αορτής

Περίπου 1 στους 250 ασθενείς, άνω των 50 ετών θα πεθάνει από ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής. Ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής ανευρίσκεται σε περίπου 8% των ατόμων ηλικίας >65 ετών. Οι άνδρες έχουν 4 φορές πιο μεγάλη πιθανότητα από τις γυναίκες να πάθουν ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής. Τα άτομα με τον μεγαλύτερο κίνδυνο, είναι κυρίως καπνιστές άνδρες, ηλικίας >60 ετών οι οποίοι έχουν ιστορικό αθηρωματικής νόσου. Σημαντικός επιβαρυντικός παράγοντας είναι η ύπαρξη οικογενειακού ιστορικού (ιδίως η ύπαρξη γυναικών στην οικογένεια με ανεύρυσμα κοιλιακής αορτή).

## 1.3 Αρτηριακά ανευρύσματα

Ανευρύσματα μπορούν να σχηματιστούν οπουδήποτε. Μερικές φορές, εμφανίζονται και στις αρτηρίες των άνω και των κάτω άκρων. Όμως, πιο συχνά και πιο επικίνδυνα είναι όταν συμβαίνουν στις αρτηρίες της κεφαλής και στην αορτή.

Τα ανευρύσματα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα με πολλούς τρόπους. Μπορεί, για παράδειγμα, να υποστούν ρήξη με αποτέλεσμα να μην αιματώνονται ορισμένοι ιστοί ή να προκαλέσουν εσωτερική αιμορραγία στην περιοχή που βρίσκονται. Ή μπορεί να διαταθούν τόσο πολύ, ώστε να πιέζουν και να βλάπτουν γειτονικά όργανα, νεύρα ή και άλλα αγγεία. Επίσης, μπορεί να παρεμποδίζουν τη ροή του αίματος τόσο πολύ, ώστε να δημιουργούνται θρόμβοι.

Τα εγκεφαλικά ανευρύσματα που προέρχονται από συγγενή ελαττώματα, μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα σε οποιαδήποτε ηλικία. Εμφανίζονται συχνότερα σε άτομα κάτω των 65 ετών. Οι άλλοι τύποι ανευρύσματος είναι σπάνιοι στ' άτομα αυτής της ηλικιακής ομάδας.

## ΤΑ ΕΙΔΗ

### 1. Αρτηριακά ανευρύσματα και αρτηριακτασίες:

Αυτά διακρίνονται σε:

- Γνήσια (όταν το τοίχωμά τους αποτελεί συνέχεια του αρτηριακού τοιχώματος) και
- ψευδή (όταν σχηματίζεται από τους γύρω ιστούς).

Η συνηθέστερη αιτία των γνήσιων ανευρυσμάτων είναι η αρτηριοσκλήρωση, εφόσον αυτή καταστρέφει ή αδυνατίζει τον μέσο αγγειακό χιτώνα. Τα αρτηριοσκληρωτικά ανευρύσματα εντοπίζονται, συνήθως, στην κοιλιακή αορτή, στις αρτηρίες των κάτω άκρων και στη θωρακική αορτή. Αποκτούν, μάλιστα, σημαντικό μέγεθος, δίχως να δίνουν καθόλου συμπτώματα.

Η ύπαρξη έντονων σφίξεων (σφυγμών) ή η ψηλάφηση μιας μάζας που σφύζει (πάλλεται δυνατά) στην κοιλιά ή στ' άκρα πρέπει να δημιουργεί την υποψία ανευρύσματος.

### 2. Τα συγγενή (εκ γενετής) ανευρύσματα:

Είναι σπάνια και οφείλονται σε ανωμαλίες του αναπτυσσόμενου εμβρύου. Πρόκειται για ανευρύσματα των εγκεφαλικών αρτηριών (εντοπίζονται σχεδόν πάντοτε στη βάση του εγκεφάλου).

### 3. Τα μετατραυματικά ανευρύσματα:

Πρόκειται για ψευδή ανευρύσματα που οφείλονται σε ρήξη των χιτώνων μιας αρτηρίας που τραυματίζεται απευθείας (ανοιχτό τραύμα) ή συνήθως εμμέσως (κλειστή κάκωση). Στην περίπτωση αυτή, το αίμα που εξαγγειώνεται σχηματίζει θρόμβο γύρω από την αρτηρία, ο οποίος στη συνέχεια στερεοποιείται και περιβάλλεται προοδευτικά από συνδετικό ιστό με τη μορφή θήκης (κάψας) ή σάκου.

Γι' αυτό σήμερα, με την αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον οι κακώσεις του θώρακα, γιατί συχνά οδηγούν στην κάκωση της θωρακικής αορτής και στο σχηματισμό ψευδούς ανευρύσματος στην κατιούσα μοίρα. Σε κάθε θλάση θώρακα από τροχαίο ατύχημα επιβάλλεται η λήψη ακτινογραφίας θώρακα για την έγκαιρη διάγνωση της κάκωσης.

### 4. Τα φλεγμονώδη ή μυκωτικά ανευρύσματα:

Αυτά δημιουργούνται όταν διάφορα μικρόβια που τυχαίνει να κυκλοφορούν στο αίμα εγκατασταθούν στο αρτηριακό τοίχωμα, προκαλώντας έτσι την καταστροφή του και τη δημιουργία, σιγά-σιγά, μιας αρτηριακής διεύρυνσης του ανευρυσματικού σάκου. Αυτού

του είδους τ' ανευρύσματα είναι δυνατό ν' αναπτυχθούν τόσο σε μεγάλες όσο και σε μικρές αρτηρίες.

### **5. Ανεύρυσμα της καρδιάς ή ανεύρυσμα της αριστερής κοιλίας:**

Πρόκειται για μια συνηθισμένη επιπλοκή του εμφράγματος του μυοκαρδίου που εντοπίζεται στην προσθιοπλάγια μοίρα της αριστερής κοιλίας της καρδιάς. Επειδή το ανεύρυσμα της καρδιάς προκαλεί ανεπάρκεια της αριστερής κοιλίας, κοιλιακή ταχυκαρδία, κ.ά. χρειάζεται οποσδήποτε θεραπεία, η οποία μάλιστα, πρέπει να είναι ριζική, δηλαδή χειρουργική.

### **Πώς σχηματίζονται τα ανευρύσματα;**

Αν ένα μέρος του τοιχώματος μιας αρτηρίας υποστεί κάποια βλάβη ή εξασθενήσει, τότε η πίεση του αίματος που περνά από την αρτηρία, προκαλεί στο σημείο της βλάβης διάταση ( σαν μπαλόνι), η οποία μπορεί να συνεχίσει να μεγαλώνει μέχρι να...εκραγεί!

### **Ποιοι είναι οι κίνδυνοι**

- Όλα τ' ανευρύσματα, γνήσια και ψευδή, ανεξαρτήτου σχήματος και μεγέθους θεωρούνται σοβαρά, γιατί συχνά δε γίνονται αντιληπτά, εφόσον συνήθως δεν εμποδίζουν την κανονική ροή του αίματος προς την περιφέρεια και μεγαλώνουν χωρίς συμπτώματα. Εκτός κι εάν διευρυνθούν σημαντικά και πιέσουν όργανα που βρίσκονται κοντά, έτσι ώστε να προκαλέσουν και τα σχετικά συμπτώματα.
- Ο ανευρυσματικός σάκος είναι δυνατό να ραγεί αιφνιδίως, με αποτέλεσμα να εξέλθει αίμα στους γύρω ιστούς, το θώρακα και την κοιλιά ή μέσα σε κοίλα όργανα, κ.τ.λ. και να προκαλέσει μεγάλη απώλεια αίματος και βαριά, πολλές φορές κατάσταση, ακόμα και θάνατο.
- Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο ανευρυσματικός σάκος γεμίζει τελείως από θρόμβους ή και περιπτώσεις όπου μικροί θρόμβοι μετακινούνται σε περιφερειακά αρτηριακά τμήματα, με αποτέλεσμα να προκαλείται αιφνίδια διακοπή της αρτηριακής κυκλοφορίας σε όργανα ή σε ολόκληρο άκρο.

Η έγκαιρη διάγνωση και η θεραπεία των ανευρυσμάτων έχει σπουδαία σημασία όχι μόνο για την πρόληψη σοβαρών επιπλοκών που απειλούν την ακεραιότητα των άκρων και των οργάνων αλλά και γι' αυτή την ίδια τη ζωή.

### **Συμπτώματα**

Αυτά ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τον εντοπισμό του ανευρύσματος. Έτσι, λοιπόν:

- Τα εγκεφαλικά ανευρύσματα δε δίνουν συνήθως συμπτώματα μέχρι να υποστούν ρήξη. Ένας ξαφνικός και έντονος πονοκέφαλος πίσω στο κεφάλι ή μια ξαφνική απώλεια της συνειδήσεως μπορεί να είναι η πρώτη εκδήλωση του προβλήματος.

- Στην περίπτωση ανευρύσματος αορτής, τα συμπτώματα εξαρτώνται από το τμήμα της αορτής που προσβάλλεται, καθώς και από τον τύπο του ανευρύσματος.
- Τα ανευρύσματα σε άλλα μέρη του σώματος είναι γενικά ασυμπτωματικά (χωρίς συμπτώματα).
- Αν το ανεύρυσμα βρίσκεται προς τα πίσω, μπορεί να πιέσει ακόμα και τα οστά της σπονδυλικής στήλης και να προκαλέσει πόνο στη μέση (οσφυαλγία).

Αν διαπιστωθεί ότι υπάρχει κάποιο από τα συμπτώματα του ανευρύσματος της αορτής ή σε περίπτωση που παρουσιαστεί χωρίς αιτία κάποια διόγκωση σε κάποια περιοχή του σώματος ιδιαίτερα στην κοιλιά και ιδίως αν η διόγκωση αυτή σφύζει τότε πρέπει να συμβουλευτείτε το γιατρό σας χωρίς καθυστέρηση. Ορισμένα συμπτώματα μπορεί να προκληθούν από άλλες, συχνά ασήμαντες καταστάσεις, τις οποίες, όμως, ο γιατρός στην προσπάθειά του να διερευνήσει, καταφεύγει σε έναν πλήρη έλεγχο κι έτσι εντοπίζει τυχαία το ανεύρυσμα.

### **Θεραπεία**

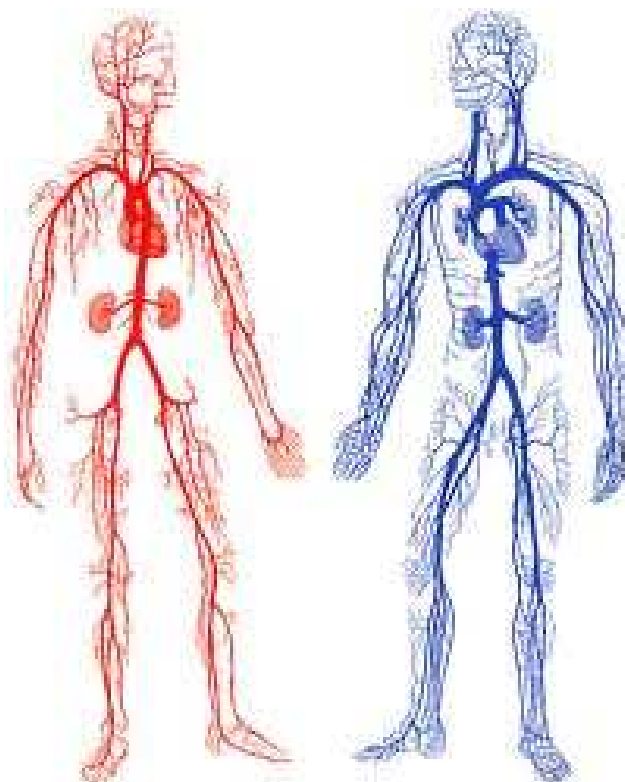
Γίνεται μόνο χειρουργικά. Στόχος της: η μερική ή ολική εκτομή (αφαίρεση με τομή) του ανευρυσματικού σάκου και αποκατάσταση της αρτηριακής συνέχειας, χάρη στη θεαματική εξέλιξη της αγγειοχειρουργικής την τελευταία τριακονταετία και την ανάπτυξη αρτηριακών υποκατάστατων (πλαστικών μοσχευμάτων), όπως είναι για παράδειγμα, οι σωληνωτές προθέσεις από dacron ή teflon.

## 1.4 Αιτίες

Υπάρχουν, κάποιες θεωρίες και σαφώς προσδιορισμένες παράγοντες κινδύνου.

- **Το κάπνισμα:** Μεγαλύτερη από το 90% των ανθρώπων που παρουσιάζουν ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής έχουν καπνίσει κάποια στιγμή στη ζωή τους.
- **Γενετικές επιδράσεις:** Η επίδραση των γενετικών παραγόντων είναι πολύ πιθανή. Το υψηλό οικογενειακό ποσοστό επιπολασμού είναι ιδιαίτερα αισθητό στα αρσενικά άτομα. Υπάρχουν πολλές θεωρίες σχετικά με την ακριβή γενετική διαταραχή που θα μπορούσε να προκαλέσει μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ανευρύσματος κοιλιακής αορτής μεταξύ των αρσενικών μελών της στις πληγείσες οικογένειες.
- **Αθηροσκλήρωση:** Το ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής για πολύ καιρό εθεωρείτο ότι προκαλείται από αρτηριοσκλήρυνση, επειδή οι τοίχοι του ανευρύσματος κοιλιακής αορτής συχνά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, αυτή η θεωρία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει το αρχικό ελάττωμα και την ανάπτυξη της απόφραξης, που παρατηρείται στη διαδικασία.

**Άλλες αιτίες:** Άλλες αιτίες της ανάπτυξης του ανευρύσματος κοιλιακής αορτής περιλαμβάνει: λοίμωξη, τραύμα, αρτηρίτιδα, κυστική έσω νέκρωση. Οι καπνιστές έχουν 4 φορές πιο αυξημένο κίνδυνο από τους μη καπνιστές να νοσήσουν από ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής. Το 50% των ασθενών με ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής, οι οποίοι δεν αντιμετωπίζονται τελικά πεθαίνουν από αυτήν την αιτία.



## 1.5 Συμπέρασμα

Βράχνιασμα, βήχας, συριγμός στην αναπνοή, ανισοκορία (διαφορά μεγέθους στις κόρες των οφθαλμών) ή δυσκολία στην κατάποση, είναι σημάδια για τυχόν ύπαρξη ανευρύσματος. Ένα υπερηχογράφημα και ακτινογραφία θώρακος μπορεί να δώσει τη διάγνωση. Στη συνέχεια, για περισσότερες λεπτομέρειες, ακολουθούν αξονική τομογραφία θώρακος, μαγνητική τομογραφία θώρακος ή/και αγγειογράφημα. Σε γενικές γραμμές, αν το ανεύρυσμα είναι από 5 εκατοστά και πάνω, πρέπει να χειρουργείται. Επίσης, αν το ανεύρυσμα προκαλεί συμπτώματα ή μετά από παρακολούθηση το μέγεθος του αυξάνει, πρέπει άμεσα να χειρουργείται. Αν υπάρχει πόνος στο στήθος ή στην πλάτη ή στην κοιλιά ή στο πίσω μέρος της κοιλιάς (κοντά στη σπονδυλική στήλη, αφού αυτός ο πόνος μπορεί να συγχέεται με πόνο ορθοπεδικής βλάβης), θα πρέπει να ζητηθεί άμεσα βοήθεια ιατρού. Ο έντονος διαρκής βήχας η ένα σπασμωδικό φτέρνισμα που συνοδεύτηκε από πόνο στο στήθος ή στην πλάτη ή στην κοιλιά μετά από απότομο σήκωμα μεγάλου βάρους και ως πόνος ξεχάστηκε, μπορεί να ήταν διαχωρισμός και χρήζει περαιτέρω έρευνας.

## **Κεφάλαιο 2**

## 2.1 Ορισμός υγρού

Στη επιστήμη της φυσικής υγρό ονομάζεται κάθε ουσία που παρατηρείται με συγκεκριμένο μεν όγκο αλλά όχι με καθορισμένο σχήμα. Το υγρό αποτελεί μια από τις τρεις μορφές της κατάστασης της ύλης. Τα θεμελιώδη σωματίδια που συγκροτούν κάθε μορφή της ύλης (άτομα, μόρια, ιόντα) και εν προκειμένω των υγρών απέχουν μεταξύ τους περισσότερο απ'ότι συμβαίνει με τα σωματίδια των στερεών. Αυτό σημαίνει πως οι ελκτικές δυνάμεις στα υγρά είναι ασθενέστερες και τα σωματίδια αυτών μπορούν να κινηθούν σε μικρές αποστάσεις. Έτσι το υγρό «ρέει» λαμβάνοντας κάθε φορά το σχήμα του χώρου που βρίσκεται ή τοποθετείται, διατηρώντας πάντα τον ίδιο όγκο. Τόσο τα υγρά όσο και τα αέρια στη Φυσική ονομάζονται επίσης και «ρευστά» επειδή ακριβώς αυτά ρέουν.

## 2.2 Τι είναι ροή

Με τον όρο **Ροή** χαρακτηρίζεται γενικά οποιαδήποτε παρατηρούμενη συνεχόμενη κίνηση μορφής της ύλης μέσα στο χώρο. Συναφής επίσης όρος είναι και το «ρεύμα» που συναντάται περισσότερο στον ηλεκτρισμό και στη Μετεωρολογία. Ακόμη όμως απαντάται και στις καθημερινές εκφράσεις, περιφραστικά της ιδέας της συνεχούς κίνησης όπως π.χ. ροή ειδήσεων, ροή τηλεοπτικού προγράμματος κ.λπ.

Περισσότερο όμως ως επιστημονικός όρος αφορά την κίνηση των ρευστών και ειδικότερα των υγρών με συνέπεια να θεωρείται ο σημαντικότερος όρος στη μηχανική των ρευστών, δηλαδή στην Υδροδυναμική και στην Υδραυλική. Παράλληλα όμως θεωρείται εξίσου σημαντικός όρος στη Βιολογία, τη Γεωλογία, την Οπτική, στις πάσης φύσεως ακτινοβολίες, λαμβάνοντας και μορφή ενεργειακού μεγέθους, καθώς ακόμη και στα μαθηματικά ως ολοκλήρωμα σε διανυσματικά πεδία.

Ας δούμε λοιπόν ορισμένες μηχανικές ιδιότητες του αίματος. Πρώτα απ' όλα λέμε ότι το αίμα είναι ρευστό. Τι πάει να πει ρευστό όμως; Ο όρος χρησιμοποιείται περιεκτικά και περιλαμβάνει όλα τα υγρά και τα αέρια. Έχουμε δυο κατηγορίες ρευστών: Τα ασυμπίεστα και τα συμπίεστα. Ασυμπίεστα είναι εκείνα των οποίων μια σταθερή μάζα αναφοράς καταλαμβάνει πάντα τον ίδιο όγκο. Άρα μπορούμε να πούμε πως ασυμπίεστα είναι τα ρευστά που τη πυκνότητα τους τη θεωρούμε σταθερή, δηλαδή τα υγρά, ενώ συμπίεστα είναι αυτά που έχουν μεταβλητή πυκνότητα, δηλαδή τα αέρια. Φυσικά το αίμα είναι ασυμπίεστο ρευστό, το οποίο έχει σταθερή πυκνότητα  $\rho=1.05 \text{ gr/cm}^3$ .



## 2.3 Αρχές διατήρησης σε κινούμενα υγρά

### Αρχή του Bernoulli

Η αρχή του Bernoulli μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τύπους ροή του υγρού, με αποτέλεσμα σε ό, τι είναι αδύνατο να συμβολίζεται ως **εξίσωση Bernoulli**. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν διαφορετικές μορφές της εξίσωσης Bernoulli για διαφορετικούς τύπους ροής. Η απλή μορφή της αρχής Bernoulli είναι έγκυρη για τις ροές ασυμπίεστων (π.χ. τα περισσότερα υγρά ρεύματα), καθώς και για τις ροές συμπιεστού (π.χ. αέρια) κινείται σε χαμηλούς αριθμούς Mach. Πιο προηγμένες μορφές μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να εφαρμοστούν σε ροές συμπιεστού σε υψηλότερες αριθμούς Mach .

Η αρχή του Bernoulli μπορεί να προκύψει από την αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Αυτό δηλώνει ότι, σε μια σταθερή ροή, το άθροισμα όλων των μορφών της μηχανικής ενέργειας σε ένα ρευστό κατά μήκος μιας γραμμής ροής είναι η ίδια σε όλα τα σημεία σε αυτό τον εξορθολογισμό.

Αυτό προϋποθέτει ότι το άθροισμα της κινητικής ενέργειας και το ενεργειακό δυναμικό παραμένουν σταθερές. Έτσι, η αύξηση της ταχύτητας του υγρού γίνεται αναλογικά με την αύξηση τόσο της δυναμικής πίεσης και της κινητικής ενέργειας, και τη μείωση της στατικής πίεσης και δυναμικής ενέργειας. Αν το υγρό ρέει από μια δεξαμενή, το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας είναι το ίδιο για όλα, επειδή απλοποιείται σε μια δεξαμενή η ενέργεια ανά μονάδα όγκου είναι η ίδια παντού.

Η αρχή Bernoulli μπορεί επίσης να προέρχεται απευθείας από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Εάν έχουμε ένα μικρό όγκο του υγρού που ρέει οριζόντια από μια περιοχή υψηλής πίεσης σε μια περιοχή χαμηλής πίεσης, τότε υπάρχει μεγαλύτερη πίεση πίσω απ' ότι μπροστά. Αυτό δίνει μια καθαρή ισχύ του όγκου, της επιτάχυνσης κατά μήκος του εξορθολογισμού.

Όταν το ρευστό κινείται ομοιόμορφα σαν σε επίπεδες στοιβάδες. Αυτή η ροή ονομάζεται **στρωτή**.

Όταν αυξάνεται η ταχύτητα, ο ρόλος των δυνάμεων αδράνειας στο φαινόμενο μεγαλώνει. Όταν η τιμή που αποκτήσουν είναι τέτοια, ώστε οι δυνάμεις ιξώδους να παίζουν δευτερεύοντα ρόλο η ροή εμφανίζει διαταραχές με τη μορφή τοπικών περιδινήσεων και γίνεται ακανόνιστη. Αυτή είναι η **τυρβώδης**.

Φυσικά το αν επιλέξουμε στρωτή ή τυρβώδης ροή έχει να κάνει με τον λόγο των αδρανειακών προς τις ιξώδεις δυνάμεις. Ο λόγος αυτός εκφράζεται με τον αριθμό Reynolds (**Re**) και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\Sigma F = ma = m \cdot dv/dt = d(mv)/dt \text{ (εξίσωση ορμής).}$$

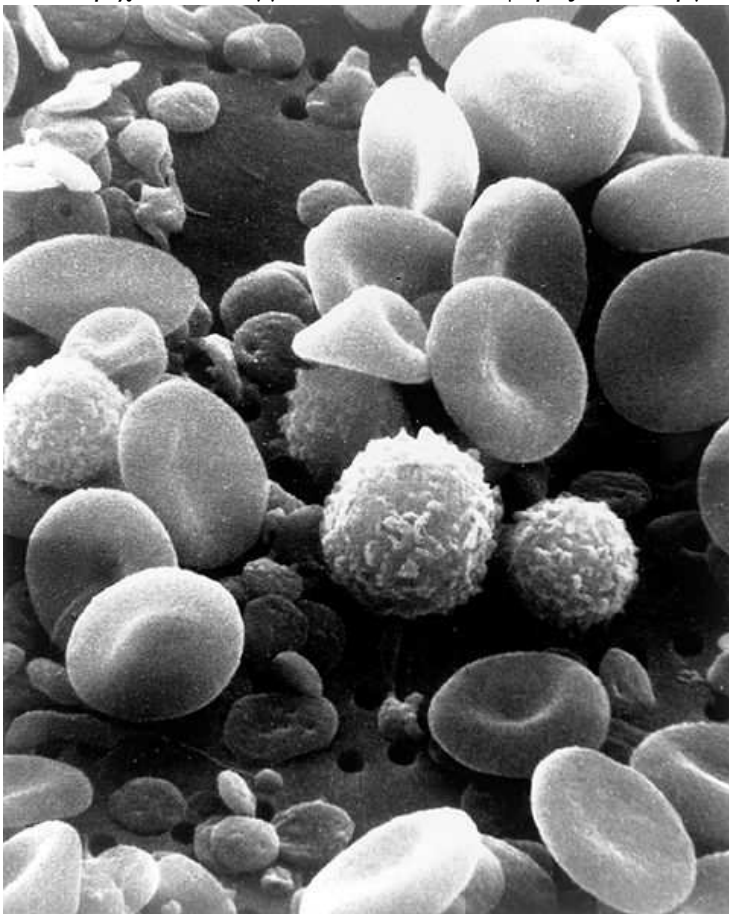
Όταν ο αριθμός  $Re$  είναι μικρότερος μια συγκεκριμένης τιμής, τότε η ροή είναι στρωτή. Σε περίπτωση που είναι μεγαλύτερος ονομάζεται τυρβώδης. Όταν όμως έχουμε ευθύγραμμο αγωγό με κυκλική διατομή η τιμή από πειραματική διαδικασία είναι 2100. Η τιμή αυτή του αριθμού  $Re$  όπου η στρωτή ροή γίνεται τυρβώδης ονομάζεται κρίσιμη.

Οι τιμές του αριθμού  $Re$  στα περιφερικά αγγεία είναι συνήθως κάτω από 2000 και είναι σχεδόν απίθανο να έχουμε τυρβώδη ροή κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Στην ανιούσα αορτή η ροή είναι επίσης στρωτή, εξαιρείται βέβαια η βραχεία φάση της μέγιστης συστολικής εξώθησης του αίματος κατά την οποία αυτή γίνεται τυρβώδης.

Όμως, παρά το γεγονός ότι δεν έχουμε συχνά αμιγώς τυρβώδης ροή, σε πολλά τμήματα του κυκλοφορικού συστήματος η ροή του αίματος δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αμιγώς στρωτή. Στις παραπάνω περιπτώσεις, και πιο συγκεκριμένα όταν η ροή εμφανίζεται με τη μορφή κανονικών περιδινήσεων ή στροβιλισμών, αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν τον όρο **διαταραγμένη στρωτή ροή**.

## 2.4 Τι είναι το αίμα

**Αίμα** είναι το υγρό που κυκλοφορεί στο αγγειακό σύστημα των ανθρώπων και των ζώων. Η κυκλοφορία του διαμέσου της καρδιάς, των αρτηριών, των φλεβών και των τριχοειδών αγγείων επιτελεί διάφορες λειτουργίες όπως η μεταφορά θρεπτικών



ουσιών, ορμονών, βιταμινών, θερμότητας και οξυγόνου στους ιστούς και την απομάκρυνση άχρηστων ουσιών που παράγονται κατά τον μεταβολισμό και του διοξειδίου του άνθρακα. Επιπρόσθετα, παρέχει άμυνα κατά των λοιμώξεων μέσω της δράσης των λευκών αιμοσφαιρίων και των αντισωμάτων.

Το αίμα αποτελεί έναν εξαιρετικά εξειδικευμένο κυκλοφορούντα ιστό, ο οποίος αποτελείται από διάφορους τύπους κυττάρων που συγκροτούνται μέσα σε ένα υγρό μέσο που ονομάζεται πλάσμα.

Το αίμα αποτελεί το 7% του βάρους του ανθρώπινου σώματος και, κατά συνέπεια, ο μέσος ενήλικος έχει συνολικό όγκο αίματος γύρω στα 5 λίτρα, από τα οποία τα 2,7 έως 3 λίτρα είναι πλάσμα και το υπόλοιπο της σύστασής του είναι τα έμμορφα κυτταρικά στοιχεία που αιωρούνται σε αυτό. Το αίμα διασχίζει το ανθρώπινο σώμα με μέση ταχύτητα 2 χιλιόμετρα την ώρα, καλύπτοντας όλο το δίκτυο των αιμοφόρων αγγείων, των οποίων η επιφάνεια υπολογίζεται σε 8.000 τετραγωνικά μέτρα. Με κάθε παλμό της η καρδιά διοχετεύει περίπου 70 χιλιοστόλιτρα αίματος στις αρτηρίες, που ισοδυναμούν με περίπου 7.000 λίτρα ημερησίως ή περίπου 2,5 εκατομμύρια λίτρα το χρόνο.

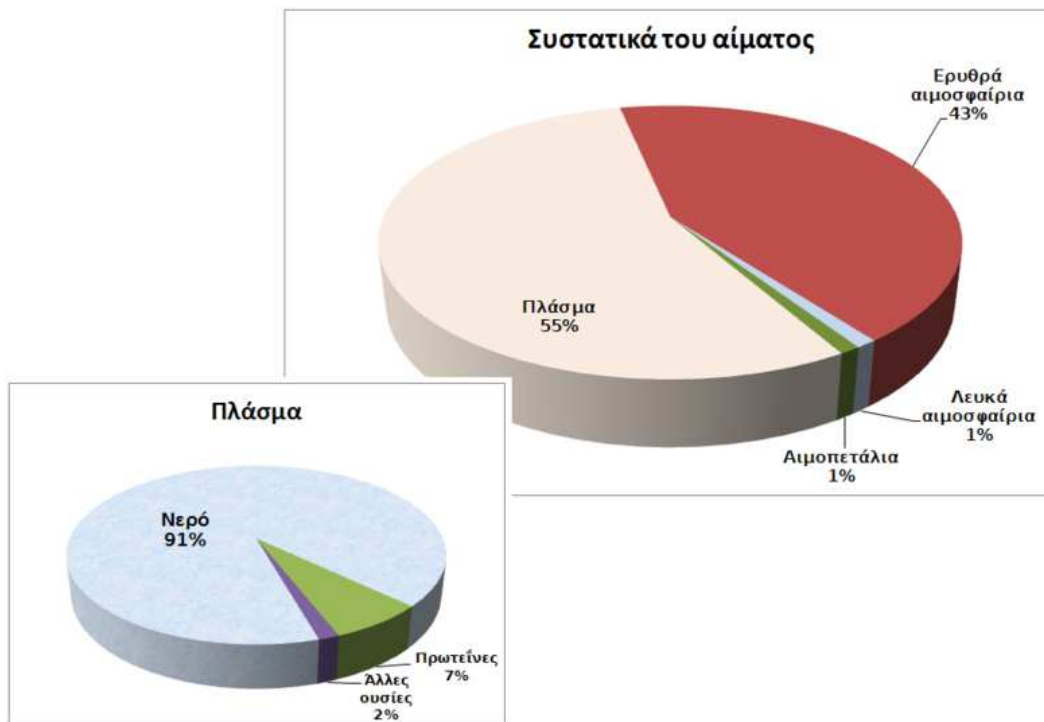
### Η σύσταση του αίματος

Το ανθρώπινο αίμα αποτελείται από το πλάσμα (άμορφο συστατικό), μέσα στο οποίο εναιωρούνται τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκά αιμοσφαίρια και τα αιμοπετάλια. Το αίμα περιέχει αέρια όπως το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο και μεταφέρει επίσης σε μικρές ποσότητες μια μεγάλη ποικιλία διαλυμένων χημικών ουσιών, στις οποίες περιλαμβάνονται υδατάνθρακες (γλυκόζη), πρωτεΐνες (λευκώματα), ορμόνες, λίπη και αζωτούχες ενώσεις.

Το αίμα αποτελείται κατά 22 % από στερεά και κατά 78 % από νερό. Τα πραγματικά κύτταρα και τα διάφορα τμήματά τους αποτελούν το 45% του όγκου του κυκλοφορούντος αίματος. Η αναλογία λευκών αιμοσφαιρίων προς ερυθρά αιμοσφαίρια είναι περίπου 500 προς 1.

### Πλάσμα

Το πλάσμα είναι το μεγαλύτερο κύριο συστατικό του αίματος και αποτελεί το 55% του όγκου του. Είναι ένα υποκίτρινο υγρό μέσω του οποίου μεταφέρονται αιμοσφαίρια, πρωτεΐνες και άλλες ουσίες. Αποτελείται κατά 91,5% από νερό, κατά 7% από πρωτεΐνες, όπως η λευκωματίνη (αλβουμίνη), οι σφαιρίνες και το ινωδογόνο, και κατά 1,5% από άλλες ουσίες, όπως θρεπτικά συστατικά, ορμόνες, αναπνευστικά αέρια, ηλεκτρολύτες, βιταμίνες και άχρηστες αζωτούχες ουσίες.



### Αιμοπετάλια

Τα αιμοπετάλια είναι κυτταρικά θραύσματα, μήκους 2 - 4 μm, τα οποία αποτελούν λιγότερο από το 1 τοις εκατό του πλήρους αίματος. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πήξη του αίματος και την αιμόσταση, δηλαδή στην αναστολή της αιμορραγίας ή της κυκλοφορίας μέσω έκκρισης του ενζύμου της θρομβοκινάσης. Δημιουργούν το φαινόμενο της πήξης του αίματος, ώστε να αποτρέπεται η διαρροή αίματος από τις πληγές. Τα αιμοπετάλια παράγονται από το μυελό των οστών.

Πολλές φορές αναφέρονται ως θρομβοκύτταρα, χωρίς αυτή η ονομασία να είναι ορθή. Τα θρομβοκύτταρα είναι κύτταρα με πυρήνα που συναντώνται σε όλα τα σπονδυλωτά, πλην των θηλαστικών.

## 2.5 Ροή του αίματος

Η ροή του αίματος είναι η συνεχής λειτουργία του αίματος στο καρδιαγγειακό σύστημα. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από διάφορες διαδικασίες όλων εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών. Έχουμε το γαστρεντερικό σύστημα που βοηθά την πέψη και την απορρόφηση της τροφής. Έχουμε, επίσης, το αναπνευστικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την απορρόφηση του O<sub>2</sub> και την εξάλειψη του CO<sub>2</sub>. Το ουροποιητικό σύστημα αφαιρεί τα απόβλητα από το σώμα. Το καρδιαγγειακό σύστημα βοηθά να διανείμουν τρόφιμα, O<sub>2</sub> και άλλων προϊόντων του μεταβολισμού.

Το αναπαραγωγικό σύστημα είναι η αιτία για τη διαιώνιση του είδους. Το νευρικό και το ενδοκρινικό σύστημα είναι υπεύθυνο για το συντονισμό της ένταξης και τη λειτουργία των άλλων συστημάτων.

Το κύτταρο είναι η βασική δομή του ανθρώπινου σώματος. Αυτά τα κύτταρα που συνθέτουν τα σώματα όλων των πραγμάτων διαβίωσης υπάρχουν σε μια «εσωτερική θάλασσα» του εξωκυττάριου υγρού (ECF) στο εσωτερικό του περιβλήματος του ζώου. Από αυτό το υγρό, το κύτταρο καταλαμβάνει  $O_2$  και θρεπτικά συστατικά σε αυτό, που επιτελούν τα μεταβολικά προϊόντα αποβλήτων. Σε ζώα με κλειστό αγγειακό σύστημα, το ECF χωρίζεται σε δύο σκέλη, το διάμεσο υγρό και το κυκλοφορούν αίμα πλάσμα. Το πλάσμα και τα κυτταρικά στοιχεία του αίματος, κυρίως τα ερυθρά αιμοσφαίρια, συμπληρώστε το αγγειακό σύστημα και μαζί αποτελούν το σύνολο του αίματος όγκου.

## 2.6 Αιμοδυναμική

Ο όρος αιμοδυναμική από μόνος του αρκεί για να δικαιολογήσει τη προσπάθεια των φυσικών, των μαθηματικών και της τεχνολογίας να εισχωρήσουν στο χώρο της ιατρικής έρευνας και να επιλύσουν καθαρά ιατρικά προβλήματα.

Ας πάρουμε για παράδειγμα τη ροή του αίματος εντός των αρτηριών και των φλεβών που είναι ένα πρόβλημα τόσο της ιατρικής όσο και της μηχανικής. Ο όρος όμως αιμοδυναμική είναι σύνθετος. Το αίμα υποδηλώνει την ιατρική του χροιά, ενώ η δυναμική τη φυσική του διάσπαση.

Ας μεταφερθούμε για λίγο στον όρο δυναμική. Στη μηχανική των ρευστών μελετούμε βασικά τις εφαρμογές του δεύτερου αξιώματος του Νεύτωνα, το οποίο συσχετίζει τις δυνάμεις οι οποίες ασκούνται σε ένα σύστημα με τις μεταβολές της κινητικής κατάστασης. Οι δυνάμεις αυτές έχουν πάντα συγκεκριμένη διεύθυνση και χωρίζονται σε δυνάμεις όγκου και σε δυνάμεις επιφάνειας. Οι πρώτες δυνάμεις είναι ανάλογες της μάζας του σώματος στο οποίο ενεργούν και εκφράζονται συνήθως σε  $\text{dyn/cm}^3$  ή  $\text{dyn/gr}$ , ενώ οι δεύτερες, οι οποίες ονομάζονται και τάσεις, ασκούνται σε επιφάνεια και εκφράζονται σε  $\text{dyn/cm}^2$ . Οι τάσεις υποδιαιρούνται σε αυτές οι οποίες έχουν διεύθυνση κάθετη στην υπό μελέτη επιφάνεια και σε αυτές οι οποίες εφάπτονται αυτής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της πρώτης υποομάδας είναι οι πιέσεις, ενώ της δεύτερης είναι οι διατμητικές ή εφαιπτομενικές τάσεις.

## 2.7 Ο ρόλος της αιμοδυναμικής στη φυσιολογία των αρτηριών

Το κυκλοφορικό σύστημα είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου, και η ροή μέσω του κυκλοφορικού συστήματος είναι αποτέλεσμα των διαφορών πίεσης μεταξύ των δύο άκρων του συστήματος, η αριστερή κοιλία (90 mm Hg) και το δεξιό κόλπο (περίπου 0 mm Hg).

Η συστηματική ροή του αίματος επηρεάζει την αιμοδυναμική. Ο έλεγχος της ροής του αίματος κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι εξαιρετικά σημαντικό να διασφαλιστεί ότι το αίμα και το οξυγόνο μεταφέρεται στους ιστούς που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη. Η ροή του αίματος στους ιστούς εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ αρτηριακής πίεσης (ΑΠ) και της αντίστασης που παρέχεται από τα αιμοφόρα αγγεία.

Η ροή του αίματος σε κατάσταση ηρεμίας είναι ίση με την αλλαγή της πίεσης διαιρούμενη με την αντίσταση των αγγείων (δηλ.,  $BF = P / R$ , όπου BF είναι η ροή του αίματος, P είναι η πίεση, και η R είναι η αντίσταση).

Η ροή του αίματος κατά τη διάρκεια της άσκησης ρυθμίζεται με την αλλαγή της BP και την τροποποίηση των περιφερικών αντιστάσεων των αγγείων. Η αλλαγή της πίεσης σε ηρεμία στο καρδιαγγειακό σύστημα είναι 93 mm Hg, ως εξής: Η μέση πίεση της αορτής = 93 mm Hg, η μέση πίεση του δεξιού κόλπου = 0 mm Hg, και κινητήρια κατευθυνόμενη πίεση στο σύστημα = 93 mm Hg.

Κατά τη διάρκεια της άσκησης, η BP αυξάνει έτσι ώστε η ροή του αίματος μέσω του σώματος αυξάνεται. Η ροή του αίματος αυξάνεται επίσης κατά τη διάρκεια άσκησης με τη μείωση της αντίστασης των αγγείων στη συστηματική κυκλοφορία του ενεργού σκελετικού μυ. Αντίσταση καθορίζεται από τον ακόλουθο τύπο: Αντίσταση = (μήκος του σωλήνα X αιμοσυμπύκνωση) / ακτίνα (αγγείου)<sup>4</sup>. Η αλλαγή της ακτίνας των αγγείων έχει το πιο σημαντικό αποτέλεσμα στη ροή του αίματος. Ο διπλασιασμός της ακτίνας ενός αγγείου μειώνει την αντίσταση 16 φορές. Η μείωση της ακτίνας ενός αγγείου στο μισό αυξάνει την αντίσταση 16 φορές. Τα αρτηρίδια έχουν τον περισσότερο έλεγχο στη ροή του αίματος στη γενική κυκλοφορία.

### **Παράδειγμα της αύξησης της παροχής του αίματος..**

Όταν γελάμε έντονα διεγείρονται τα υποκείμενα αγγεία του αίματος, που οδηγούν στον εγκέφαλο, και αυξάνεται η ροή του αίματος προς αυτόν.

Η "άσκηση" αυτή συμβάλλει στην αύξηση της παροχής αίματος στην περιοχή του εγκεφάλου και την τροφοδότηση αυτού με οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά.

Το γέλιο είναι πολύ καλό αντίδοτο στις αντικοινωνικές πιέσεις.

Όταν υποφέρουμε από αυτές, το συμπαθητικό τμήμα του αυτόνομου νευρικού συστήματος ενεργοποιείται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να:

- Αυξάνεται ο καρδιακός ρυθμός
- Αυξάνεται η πίεση του αίματος
- Επιταχύνεται η αναπνοή και
- Το αίμα κατευθύνεται προς τον εγκέφαλο, την καρδιά και τους μύες.

Άρα αυξάνονται οι παλμοί, η παροχή του αίματος αυξάνεται και κατά συνέπεια οι αρτηρίες διαστέλλονται για να πάει περισσότερο οξυγόνο στους μυς μας. Το γέλιο καταστέλλει τις ορμόνες κορτιζόνη και αδρεναλίνη, επιτρέποντας στον οργανισμό να ανακτήσει τη φυσιολογική κατάστασή του.

Ένα γνήσιο, ξεκαρδιστικό γέλιο από την κοιλιά μπορεί να γυμνάσει τους μύες και τα όργανα του κυρίως κορμού, όπως επίσης και να τονώσει τα νεύρα. Ένας άνθρωπος που γελάει από την κοιλιά για μια ώρα καταναλώνει 500 θερμίδες. Οι υπάρχουσες ιατρικές μελέτες έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να κινούνται όλοι σχεδόν οι μύες του σώματος την ώρα που γελάει ένας άνθρωπος, και αρκετοί από αυτούς θα οδηγήσουν στην παραγωγή αρκετών ενδορφινών.

Μολονότι γνωρίζαμε ότι το γέλιο είναι το καλύτερο φάρμακο, οι επιστήμονες άρχισαν πρόσφατα να κατανοούν τα σωματικά οφέλη που προσφέρει. Οι έως τώρα μελέτες έχουν αποκαλύψει, μεταξύ άλλων, ότι ενώ ο θυμός που δεν εκφράζεται διαταράσσει τη φυσιολογική λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (όπως συμβαίνει και με τον ανεπαρκή ύπνο και τη βουλιμία), το γέλιο, η ευτυχία και η χαρά μπορεί να διεγείρουν τη λειτουργία του.



## 2.8 Διατμητική τάση

Το **κυκλοφορικό σύστημα** μπορούμε να το εκλάβουμε ως ένα δίκτυο ελαστικών σωληνώσεων μέσα στο οποίο ρέει το αίμα, με την καρδιά να παίζει τον ρόλο δύο αντλιών εν σειρά. Πάνω σε αυτή τη θεώρηση στηρίζεται η βιορευστομηχανική μελέτη

του κυκλοφορικού συστήματος. Επίσης, οι αρτηρίες μπορούν να θεωρηθούν ελαστικοί αγωγοί μέσα στους οποίους ρέει ένα ρευστό, το *αίμα*. Οι δύο κοιλίες της *καρδιάς* μπορούν να θεωρηθούν αντλίες σε σειρά, που πρέπει να είναι πλήρως συγχρονισμένες και να αντλούν την ίδια ποσότητα, ειδάλλως το σύστημα είτε θα αδειάζει είτε θα γεμίζει. Ο καρδιακός κύκλος υποδιαιρείται σε δύο κυρίως τμήματα, τη

συστολή και τη διαστολή. Η καρδιά με τη συστολή και τη διαστολή προσφέρει την απαραίτητη πίεση εξώθησης του αίματος για να ελέγχονται οι απώλειες πίεσης και να παρέχεται αίμα στα υπόλοιπα όργανα.

Το *αίμα* ρέει μέσα στις αρτηρίες, οι οποίες με τη σειρά τους διατηρούν την πίεση του σταθερή. Για τη σωστή λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος, λοιπόν, απαιτείται η ομαλή ροή του αίματος μέσα στις αρτηρίες.

Το αίμα είναι το πιο σημαντικό παράδειγμα βιολογικού ρευστού. Ως ρευστό, όπως είπαμε, ορίζεται η ουσία η οποία παραμορφώνεται συνεχώς υπό την εφαρμογή διατμητικής τάσης, ανεξάρτητα από το πόσο μικρή είναι η δύναμη. Η πυκνότητα του αίματος είναι λίγο πιο μεγάλη από αυτή του νερού, δηλαδή  $1060\text{kg}/\text{m}^3$ , ενώ η πυκνότητα του νερού είναι  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ .

Η διατμητική τάση παίζει σημαντικό ρόλο στη βιορευστομηχανική, γιατί αν οι δυνάμεις που ασκούνται στο αίμα είναι έντονες τότε μπορεί τα ερυθροκύτταρα να καταστραφούν. Επίσης, έρευνες έχουν δείξει ότι οι διατμητικές δυνάμεις έχουν πρωτεύοντα ρόλο στην εμφάνιση αθηροσκληρωτικής πλάκας.

Οι διατμητικές τάσεις πάνω στο τοίχωμα (Wall Shear Stresses-WSS) παράγονται από την αντίσταση στη ροή του αίματος και έχουν τη διεύθυνση του διαμήκη άξονα του αγγείου. Οι διατμητικές τάσεις είναι ανάλογες του ρυθμού παραμόρφωσης του τοιχώματος και του ιξώδους του αίματος. Αυτές σχετίζονται γραμμικά με το ρυθμό παραμόρφωσης με τη σχέση Newton:  $t_w = \mu \gamma = \mu (\theta u / \theta \psi + \theta v / \theta x)$ .

Οι WSS έχουν μεγάλη επίδραση στο αρτηριακό τοίχωμα, επειδή ρυθμίζουν τη διάμετρο του αγγείου μεταβάλλοντας την παραγωγή αγγειοσυσταλτικών και αγγειοδιασταλτικών ουσιών και γι' αυτό θεωρούνται θεμελιώδους σημασίας στην αγγειακή λειτουργία. Επιπλέον, μαζί με την περιφερειακή και ακτινική ένταση του αγγείου καθορίζουν την έκφραση των ενδοθηλιακών γονιδίων.



## **Κεφάλαιο 3**

### 3.1 Η καρδιά

#### **Καρδιά, μια ασταμάτητη αντλία**

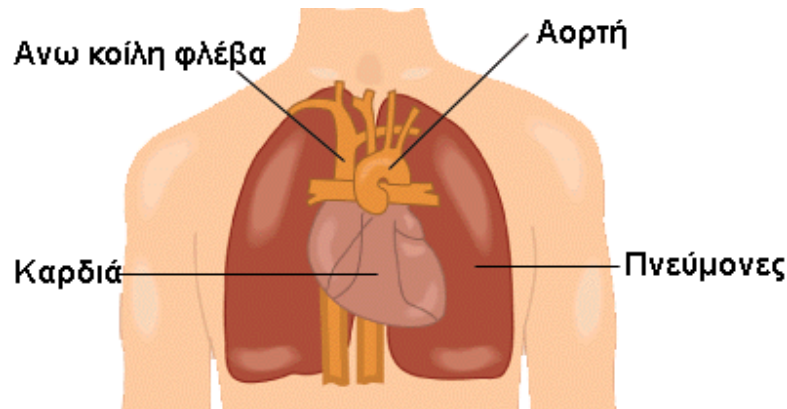
- Η καρδιά είναι ένας μυς σε μέγεθος γροθιάς, η θέση του βρίσκεται ανάμεσα στους πνεύμονες. Χτυπά περίπου 60 φορές το λεπτό και, με κάθε χτύπο, αντλεί αίμα σε όλο το σώμα.
- Ο ρόλος της είναι πάρα πολύ σημαντικός. Οφείλει να χτυπάει ασταμάτητα όλη μέρα, κάθε μέρα. Αν σταματήσει να χτυπάει για περισσότερο από 3 λεπτά, τότε ο άνθρωπος σίγουρα θα πεθάνει.



### 3.2 Η θέση της καρδιάς

Η καρδιά, είναι το κεντρικό όργανο της κυκλοφορίας. Είναι ένα κοίλο μυώδες όργανο, που δέχεται το αίμα που προέρχεται από τις φλέβες και το ωθεί προς τις αρτηρίες.

Η καρδιά βρίσκεται μέσα στη θωρακική κοιλότητα ανάμεσα στους δύο πνεύμονες. Το σχήμα της καρδιάς παρομοιάζεται με το σχήμα κώνου. Η κορυφή της αντιστοιχεί στο πέμπτο αριστερό μεσοπλεύριο διάστημα.



Περιβάλλεται από ένα υμένα από δύο φύλλα, το περικάρδιο, ενώ οι εσωτερικές της κοιλότητες καλύπτονται από μια λεπτή μεμβράνη, το ενδοκάρδιο. Ανάμεσα στο περικάρδιο και ενδοκάρδιο βρίσκεται το παχύτερο τοίχωμα της καρδιάς που ονομάζεται μυοκάρδιο και αποτελείται από δυνατές μυϊκές ίνες.

Το χρώμα της καρδιάς είναι βαθύ ερυθρό, αλλά η ομοιομορφία του χρώματος διακόπτεται από κίτρινες ραβδώσεις οι οποίες οφείλονται στη συσσώρευση λίπους. Ο όγκος της καρδιάς ποικίλλει στα διάφορα άτομα. Οι διαστάσεις της στον ενήλικα είναι κατά μέσον όρο οι εξής:

- Μήκος: 98 χιλιοστά.
- Πλάτος: 105 χιλιοστά.
- Περιφέρεια: 230 χιλιοστά.

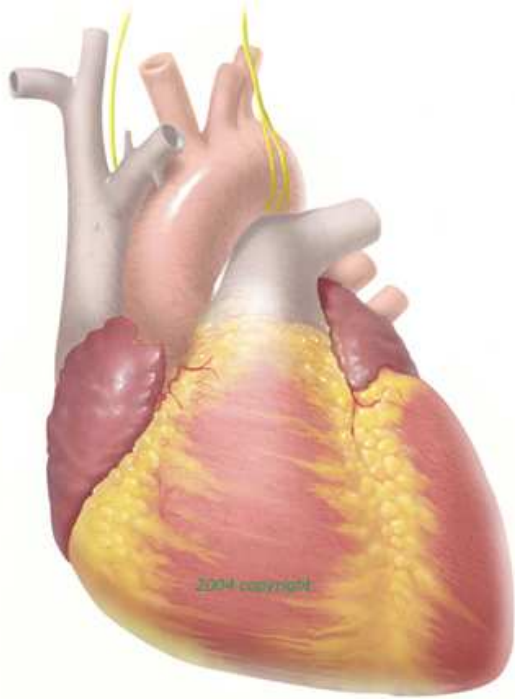
Το βάρος της φθάνει τα 275 περίπου γραμμάρια. Η καρδιά της γυναίκας έχει διαστάσεις μικρότερες από του άνδρα κατά 5-10 χιλιοστά και ζυγίζει 5-10 γραμμάρια λιγότερο.

### 3.3 Η καρδιά και το έργο της

Η καρδιά λειτουργεί σαν μια αντλία παίρνοντας οξυγονωμένο αίμα από τους πνεύμονες και εξωθώντας το προς την αορτή για να κυκλοφορήσει σε όλο το σώμα. Από τις 4 κοιλότητες της καρδιάς σπουδαιότερη είναι αριστερή κοιλία. Θα μπορούσε να πει κανείς με κάποια υπερβολή ότι ουσιαστικά το καρδιακό έργο είναι υπόθεση της αριστερής κοιλίας. Και τούτο διότι η μεγάλη ωστική δύναμη που χρειάζεται για να κυκλοφορήσει το αίμα στο υψηλών αντιστάσεων περιφερικό αρτηριακό δίκτυο μέχρι τα τριχοειδή και να επιστρέψει πάλι, μέσω των φλεβών, στο δεξιό κόλπο γίνεται από την αριστερή κοιλία.

Το αίμα εξωθείται στην αορτή με σημαντική πίεση, 100-140 mmHg, όση δηλαδή είναι η συστολική πίεση της αριστερής κοιλίας και της αορτής. Η αρτηριακή συστολική πίεση του σφυγμικού κύματος είναι μικρότερη όσο τούτο απομακρύνεται από την καρδιά, κατέρχεται στα 25-30 mmHg στα τριχοειδή, είναι μικρότερη στο φλεβικό σκέλος της κυκλοφορίας και ελαχιστοποιείται, περίπου μηδενίζεται, στο δεξιό κόλπο. Από εκεί το αίμα παραλαμβάνεται από τη δεξιά κοιλία, η οποία συγκριτικά με την αριστερή κοιλία έχει μικρό έργο να επιτελέσει. Με σχετικά μικρή συστολική πίεση 15-30 mmHg, η δεξιά κοιλία εξωθεί το αίμα προς την πνευμονική αρτηρία και η πίεση αυτή είναι αρκετή για να κυκλοφορήσει τούτο το χαμηλών αντιστάσεων αγγειακό δίκτυο των πνευμόνων και να φθάσει με πολύ χαμηλή πίεση 4-12 mmHg στον αριστερό κόλπο.

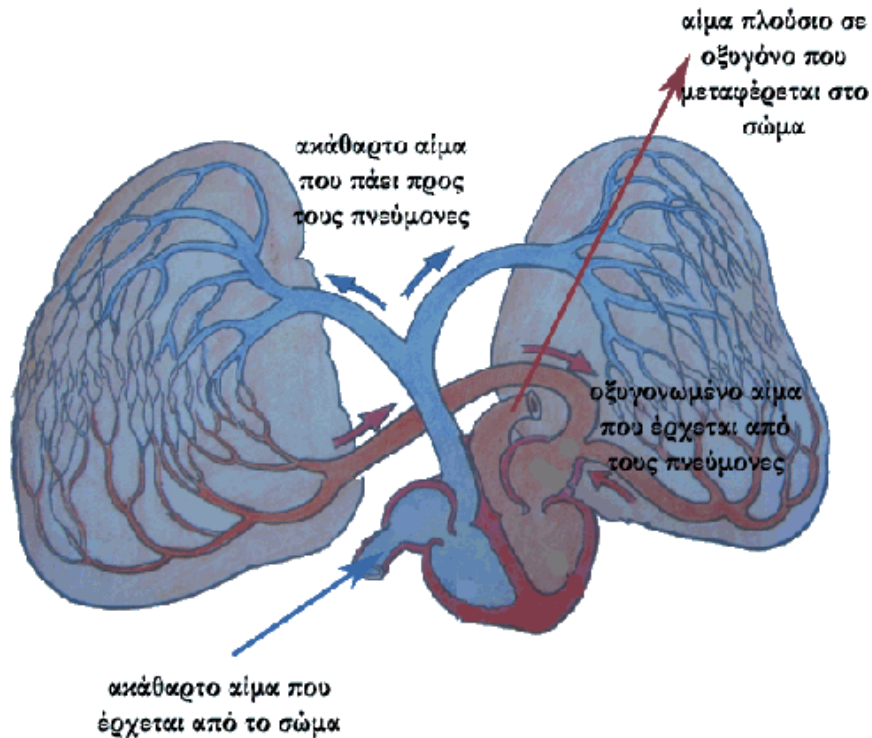
### Τι είναι ο καρδιακός παλμός (ή χτύπος);



Ο καρδιακός παλμός είναι η διαδικασία με την οποία η καρδιά πρώτα γεμίζει αίμα και κατόπιν αδειάζει ξανά. Αν ξεκουράζεσαι ή διαβάζεις ήσυχα, ο καρδιακός μυς πάλλεται (χτυπά) περίπου 60 – 80 φορές το λεπτό.

Αν όμως πάτε μια βόλτα με το ποδήλατο ή τρέχετε, ο καρδιακός ρυθμός αυξάνεται και μπορεί να φτάσει τους 200 παλμούς το λεπτό. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μύες των ποδιών χρειάζονται περισσότερη ενέργεια, έτσι η καρδιά μας χτυπά πιο γρήγορα.

Προσέξτε ποτέ τι συμβαίνει όταν παρακολουθείτε ένα τρομακτικό έργο ή πριν γράψετε ένα διαγώνισμα. Συνήθως νιώθετε την καρδιά σας να χτυπά γρήγορα και δυνατά στο στήθος, ακόμα και αν δεν ασκείστε. Αυτό συμβαίνει λόγω άγχους.



### Τι είναι οι καρδιακές βαλβίδες;

Οι κόλποι και οι κοιλίες χωρίζονται με **βαλβίδες**, που είναι σαν μονόδρομοι. Ο λόγος είναι για να εξασφαλίζουν τη ροή (κίνηση) του αίματος προς τη σωστή κατεύθυνση μέσω της καρδιάς.

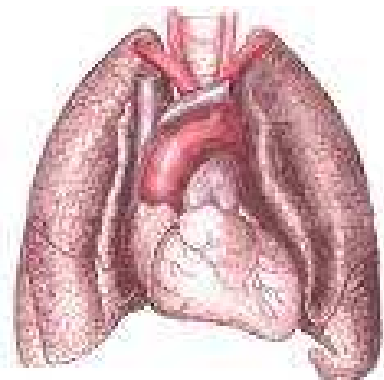
### Τι είναι οι ήχοι της καρδιάς;

Αν βάλετε το αυτί σας στο στήθος ενός φίλου σας, θα ακούσετε τον ήχο της καρδιάς του που χτυπά. Οι ήχοι προκαλούνται καθώς ανοίγουν και κλείνουν οι βαλβίδες.

### Πώς να παραμένετε υγιείς

Όπως όλοι οι μύες, έτσι και ο καρδιακός μυς χρειάζεται άσκηση για να διατηρείται σε καλή κατάσταση. Πρέπει λοιπόν να ασκείστε καθημερινά (γυμναστική, περπάτημα).

Το κάπνισμα και το αλκοόλ βλάπτουν την καρδιά. Φροντίστε λοιπόν να συμβουλευσετε τους γονείς σας να σταματήσουν το κάπνισμα ή τουλάχιστον να μην καπνίζουν όταν βρίσκεστε μέσα στο δωμάτιο.

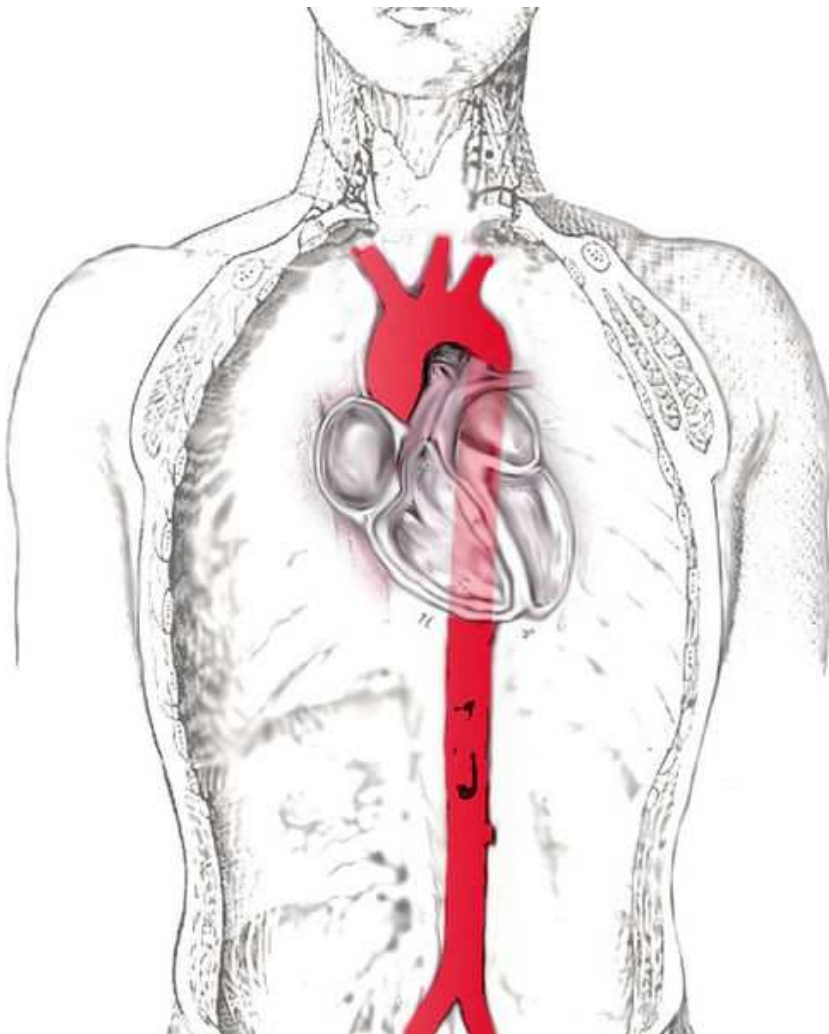


## **Κεφάλαιο 4**

## 4.1 Αορτή

Η αορτή είναι η πρώτη και κυριότερη αρτηρία του σώματος. Αποτελεί το βασικό κορμό από όπου ξεκινούν όλες οι αρτηρίες της μεγάλης κυκλοφορίας. Το ερυθρό, πλούσιο σε οξυγόνο αίμα, διοχετεύεται από την καρδιά σε ολόκληρο τον οργανισμό διαμέσου της αορτής.

Η αορτή εκφύεται από το αρτηριακό στόμιο της αριστερής κοιλίας της καρδιάς. Χωρίζεται από την αριστερή κοιλία με τις βαλβίδες, με τη βοήθεια των οποίων το αίμα, όταν εξακοντιστεί από την καρδιά στην αορτή, δεν μπορεί να επιστρέψει πίσω. Μετά την έκφυσή της, η αορτή στρέφεται προς τα άνω. Το τμήμα αυτό λέγεται ανιούσα αορτή. Όταν φτάσει πίσω από το δεύτερο δεξιό πλευρικό χόνδρο, τότε κάμπτεται σε σχήμα τόξου. Το τμήμα αυτό λέγεται αορτικό τόξο. Μετά η αορτή κατέρχεται και σχηματίζει την κατιούσα αορτή. Κατευθύνεται προς τη μπροστινή επιφάνεια των σπονδύλων, οπότε το τμήμα αυτό λέγεται θωρακική αορτή. Τέλος, φτάνει στην κοιλία (κοιλιακή αορτή). Η ανιούσα αορτή μαζί με την πνευμονική αρτηρία βρίσκονται κλεισμένες στο περικάρδιο.



Από την ανιούσα αορτή εκφύονται οι δυο στεφανιαίες αρτηρίες της καρδιάς. Συνηθισμένες παθήσεις της είναι: η αορτίτιδα, σοβαρή πάθηση της αορτής που οφείλεται συνήθως σε σύφιλη, η στένωση της αορτικής βαλβίδας, η ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας κ.ά. Κατά την ανεπάρκεια, η αορτική βαλβίδα δεν κλείνει καλά, με αποτέλεσμα το αίμα να επιστρέφει στην αριστερή κοιλία.

## 4.2 Χειρουργικές παθήσεις της αορτής

### Οι κύριες χειρουργικές παθήσεις της αορτής είναι:

1) Τα ανευρύσματα, τα όποια εάν θέλουμε να δώσουμε έναν ορισμό, είναι ή μόνιμη εντοπισμένη, η σε μεγαλύτερη έκταση, διάταση (ξεχείλωμα-μπαλλόνιασμα) της αορτής.

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

Κύριο σύμπτωμα του διαχωρισμού είναι ο πόνος που είναι οξύς (σαν πυρωμένο ξίφος) και υψηλής έντασης από την έναρξη του και ο όποιος μπορεί να "μεταναστεύει" π.χ. από μπροστά στο στήθος προς τα πίσω στην πλάτη και να φτάνει, πολλές φορές, στην κοιλιά μέχρι κάτω στα πόδια). Επίσης, πόνος στο στήθος που δε συνοδεύεται από παθολογικό ηλεκτροκαρδιογράφημα (έμφραγμα), αποτελεί πιθανή ένδειξη διαχωρισμού (υπάρχει δε πιθανότητα να συνυπάρχει συνδυασμός διαχωρισμού και παθολογικού ευρήματος στο ηλεκτροκαρδιογράφημα).

Οι διαχωρισμοί ταξινομούνται κατά DeBakey σε I, II και III τύπο. Ο διαχωρισμός κατά DeBakey I αρχίζει λίγο πάνω από την αορτική βαλβίδα και καταλήγει κάπου στην κατιούσα θωρακική αορτή ή στην κοιλιακή αορτή. Ο διαχωρισμός τύπου II κατά DeBakey αρχίζει λίγο πάνω από την αορτική βαλβίδα και καταλήγει λίγο πριν το αορτικό τόξο. Ο διαχωρισμός τύπου III κατά DeBakey αρχίζει αμέσως μετά την αρτηρία του αριστερού άνω άκρου και καταλήγει κάπου στην κατιούσα θωρακική ή στην κοιλιακή αορτή. Οι διαχωρισμοί τύπου I και II πρέπει να χειρουργούνται αμέσως. Ο τύπος III μπορεί, στην πλειονότητα τους, να αντιμετωπιστούν φαρμακευτικά, αν δεν συντρέχουν ορισμένοι λόγοι να γίνει διαφορετικά.

3) Άλλη χειρουργική πάθηση της αορτής είναι η τραυματική ρήξη της αορτής που την ονομάζουμε και ψευδοανεύρυσμα (συνήθως από τροχαίο ατύχημα-μετωπική σύγκρουση ή πτώση από ύψος η έκρηξη μεγάλης ισχύος πλησίον ενός ατόμου). Σ' ένα μεγάλο ποσοστό, άνω του 85%-90%, ο θάνατος επέρχεται στον τόπο του δυστυχήματος. Ένα μικρό ποσοστό των ασθενών φτάνει στο νοσοκομείο και, πολλές φορές, το πρόβλημα είναι δυνατό να διαφύγει της προσοχής, ακόμη και μέσα στο νοσοκομείο, με συνέπεια ο ασθενής να πεθάνει στο νοσοκομείο και ή αορτική πάθηση να ανακαλυφθεί αργότερα τυχαία.



## **Κεφάλαιο 5**

## Μεθοδολογία

### 5.1 Τι είναι τα πεπερασμένα στοιχεία

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια μέθοδος υπολογισμού με χρήση Η/Υ για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι βέβαια οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

### 5.2 Εξισώσεις Navier-Stokes

Ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων είναι το LISA.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήσα εξισώσεις Navier-Stokes. Οι εξισώσεις αυτές πιο αναλυτικά είναι ένα σύνολο εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν την κίνηση των ρευστών όπως είναι τα υγρά και τα αέρια. Οι εξισώσεις αυτές μας λένε πως οι μεταβολές

στην ορμή ενός απειροστού όγκου του ρευστού είναι απλά το αθροιστικό αποτέλεσμα των δυνάμεων ιξώδους του ρευστού, των μεταβολών της πίεσης, της βαρύτητας και των άλλων δυνάμεων που δρουν εντός του ρευστού. Πρόκειται στην ουσία για εφαρμογή του 2ου νόμου του Νεύτωνα στα ρευστά. Αφορούν δηλαδή τη δυναμική της αλληλεπίδρασης της αδράνειας του ρευστού με τις διάφορες δυνάμεις που δρουν σε μια περιοχή του ρευστού.

Είναι από τα πιο χρήσιμα σύνολα εξισώσεων γιατί εφαρμόζονται σε μοντέλα καιρού, μοντέλα ωκεάνιων ρευμάτων, ροή ρευστών σε σωλήνες, ροή αέρα γύρω από πτέρυγες αεροπλάνων και ανεμογεννητριών, κίνηση άστρων μέσα στο γαλαξία κ.ο.κ. Σε συνδυασμό εξάλλου με τις εξισώσεις Maxwell μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κάνουμε εξομοιώσεις και μα μελετήσουμε μοντέλα μαγνητούδρودυναμικής.

Οι εξισώσεις Navier-Stokes είναι διαφορικές εξισώσεις. Σε αντίθεση δηλαδή με τις αλγεβρικές εξισώσεις δεν μας δείχνουν τι εκφράζει μια σχέση μεταξύ των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν (π.χ. μεταξύ ταχύτητας και πίεσης) αλλά περιγράφουν σχέσεις μεταξύ των ρυθμών μεταβολής Με όρους μαθηματικούς λέμε ότι οι εξισώσεις αυτές περιέχουν σχέσεις μεταξύ των παραγώγων των διαφόρων μεγεθών. Για παράδειγμα, οι εξισώσεις Navier-Stokes για την πιο απλή περίπτωση ενός ιδανικού ρευστού (χωρίς ιξώδες) μας λέει ότι η επιτάχυνση είναι ανάλογη με τη βαθμίδα (δηλαδή την παράγωγο ως προς τις 3 χωρικές συντεταγμένες) της εσωτερικής πίεσης του ρευστού.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι μόνο οι πιο απλές περιπτώσεις αυτών των εξισώσεων μπορούν να λυθούν μέσα στα πλαίσια του διαφορικού και ολοκληρωτικού λογισμού και να μας οδηγήσουν σε ακριβείς λύσεις. Οι περιπτώσεις αυτές γενικά περιλαμβάνουν μόνο ροή χωρίς στροβίλους σε μόνιμες καταστάσεις. Δηλαδή καταστάσεις που δεν αλλάζουν με τον χρόνο. Στις καταστάσεις αυτές είτε το ιξώδες του ρευστού είναι πολύ μεγάλο, είτε η ταχύτητα ροής πολύ μικρή.

Υπάρχει ένα παράδειγμα που τα αποτελέσματα του συμβαδίζουν με το θεωρητικό αποτέλεσμα το οποίο και επαναλάβουμε.

Το παράδειγμα αυτό αποτελείται από εννέα βήματα τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

## **Βήμα 1<sup>ο</sup>**

- Μια περιορισμένη ροή γύρω από ένα κύλινδρο θα αναλυθεί για τις δυνατότητες ροής και την κατανομή ταχύτητας γύρω από τον κύλινδρο. Η ταχύτητα ροής προς τα μέσα είναι 1m/s, Η περιβάλλουσα πίεση,  $P_0=1 \times 10^5$  Pa, η πυκνότητα των υγρών,  $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$  και όλες οι άλλες διαστάσεις είναι σε μέτρα
- Λόγω της συμμετρίας του προβλήματος χρειάζεται να αναλύσουμε μόνο ένα τεταρτοκύκλιο του δισδιάστατου συστήματος. Τέσσερα κομβικά στοιχεία (LISA Index 72) θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του FE μοντέλου που φαίνεται παρακάτω.
- Σύμφωνα με τα δημοσιευμένα αποτελέσματα στο βιβλίο 'The finite Element Method in Engineering' του S.S Rao, πρέπει να βρεθούν τα παρακάτω αποτελέσματα. (13 τιμές)

**Βήμα 2<sup>ο</sup>** :Επιλογή ανάλυσης  
 model→type of analysis→2D→Fluid→Velocity potential→OK.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>** Ιδιότητες των υλικών

Ορισμός υλικού σε αυτό το βήμα, αργότερα θα πρέπει να συνδέεται με στοιχεία που πρόκειται να δημιουργηθεί. Καλέστε την εντολή των υλικών από το μοντέλο.

Model→Materials→Add→Fluid(isotropic)→Darcy constraint:1→close.

Model→Global properties→Physics→Ambient pressure 100000→OK.

**Βήμα 4<sup>ο</sup>** :Δημιουργία κόμβων

Επιλέξτε το πρόσθετο και μόνο από το μενού κόμβος.Nodes→Add single

Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται εισάγετε τις ακόλουθες συντεταγμένες:

0,8,0	12,8,0	9.17,5.5,0	5,0,0	9.17,2.83,0	7,3.4,0
5,8,0	0,4,0	12,5.5,0	8,0,0	12,4,0	7,0,0
9,17,8,0	5,4,0	0,0,0	9.17,2.83,0	8,5.5,0	

**Βήμα 5<sup>ο</sup>**

Δημιουργώντας στοιχεία

Χρησιμοποιώντας "προσθέστε ένα" στο μενού στοιχείων  
 elements→Add single

Εμφανίζεται στο παράθυρο διαλόγου, επιλέξτε το στοιχείο <<quad4 plane>> και βεβαιωθείτε ότι το υλικό που σχετίζεται με το στοιχείο που δημιουργείται είναι υλικό 1, όπως ορίζεται στο βήμα 3.

Material 1

Add element→quad 4 plane

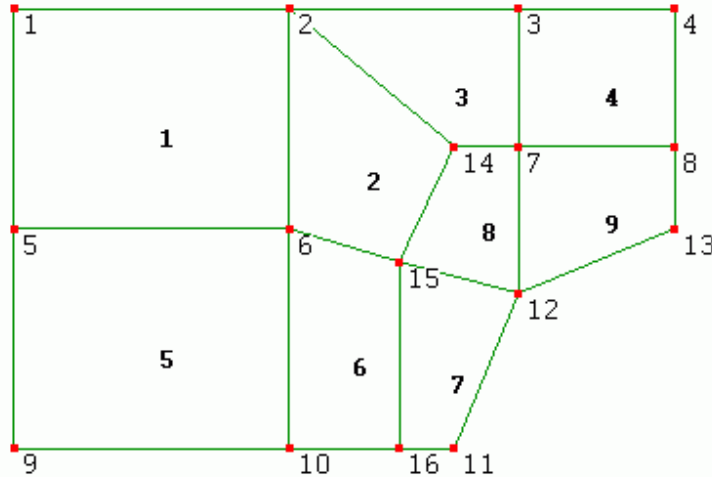
Αριθμοί που εισάγουμε:

Auto-correct topology for 3 and 4 node elements  v

5,6,2,1
6,15,14,2
14,7,3,2
7,8,4,3
9,10,6,5
10,16,15,6
16,11,12,15
15,12,7,14

12,13,8,7

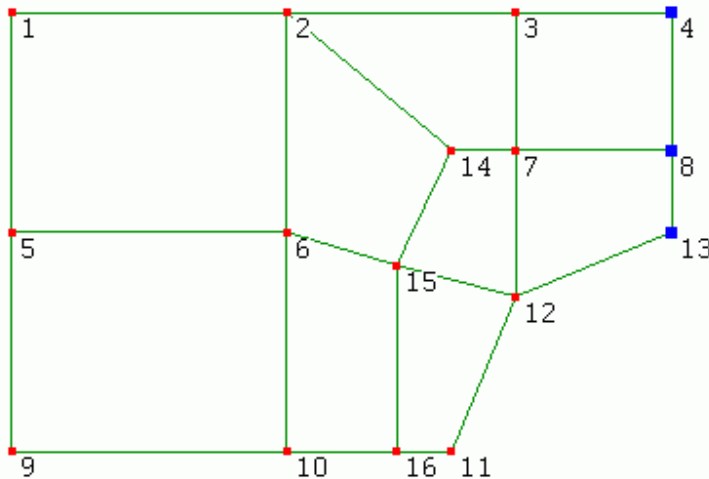
→Add and close



Για να εμφανιστεί ο αριθμός στοιχείου στο πλαίσιο διαλόγου επιλογών. Επιλέξτε το πλαίσιο ελέγχου για τους αριθμούς στοιχείου ή επιλέξτε  7

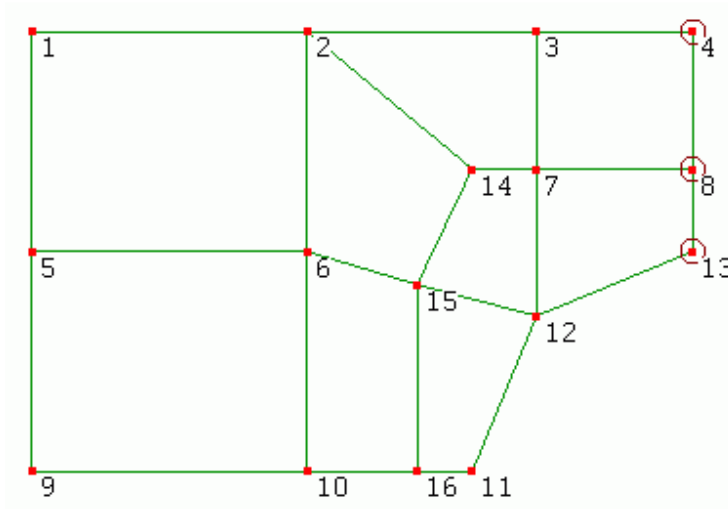
**Βήμα 6<sup>ο</sup>** Εφαρμογή περιορισμένων

Επιλέξτε τους κόμβους(4,8,13)στη δεξιά άκρη του μοντέλου



Επιλέξτε "velocity potential" από τη drop-down λίστα.

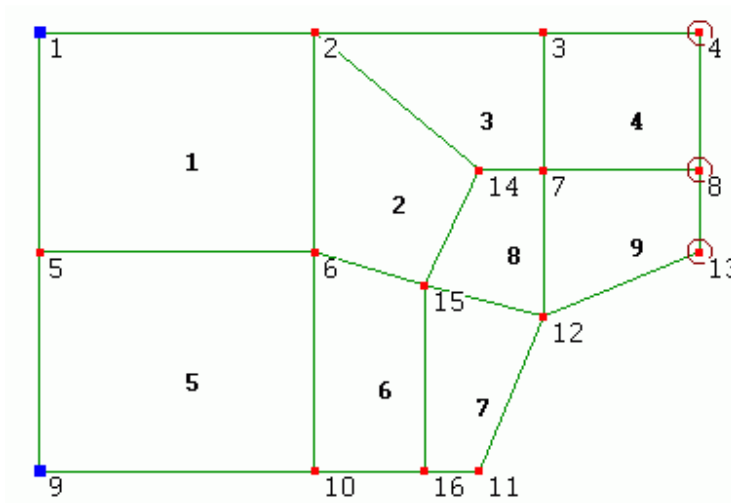
Πατάμε add Node property και μετά close για να κλείσει το παράθυρο διαλόγου.



**Βήμα 7<sup>ο</sup>** : Εφαρμογή του φορτίου

Η ταχύτητα ροής προς τα μέσα είναι 1 m/s, αυτό εφαρμόζεται στους κόμβους 1, 5 και 9 σαν ακολουθία.

- Μήκος από τον κόμβο 9 στο 5 στην y-κατεύθυνση: 4m
- Μήκος από τον κόμβο 5 στον 1 στη y-κατεύθυνση: 4m
- Ταχύτητα ροής προς τα μέσα: 1m/s
- Σταθερό πάχος : 1m
- Προς το εσωτερικό στοιχείο της ροής : 1
  - (4m)(1m/s)(1m)=4m<sup>3</sup>/s
  - (4m)(1m/s)(1m)=5m<sup>3</sup>/s
  - (4m)(1m/s)(1m)= 4m<sup>3</sup>/s
- Εσωτερική ροή στον κόμβο 5 λόγω του στοιχείου 1: 4m<sup>3</sup>/s/2=2m<sup>3</sup>/s
- Εσωτερική ροή στον κόμβο 5 στον κόμβο 5: 4m<sup>3</sup>/s/2=2m<sup>3</sup>/s
- Εσωτερική ροή στον κόμβο 1 στον κόμβο 1: 4m<sup>3</sup>/s/2=2m<sup>3</sup>/s
- Εσωτερική ροή στον κόμβο 9 στον κόμβο 5: 4m<sup>3</sup>/s/2=2m<sup>3</sup>/s
- Στον κόμβο 5 η ροή είναι η συμβολή του στοιχείου 1 και 5 και ως εκ τούτου η συνολική ροή είναι 2+2=4m<sup>3</sup>/s
- Επιλέξετε τους κόμβους 1 και 9.

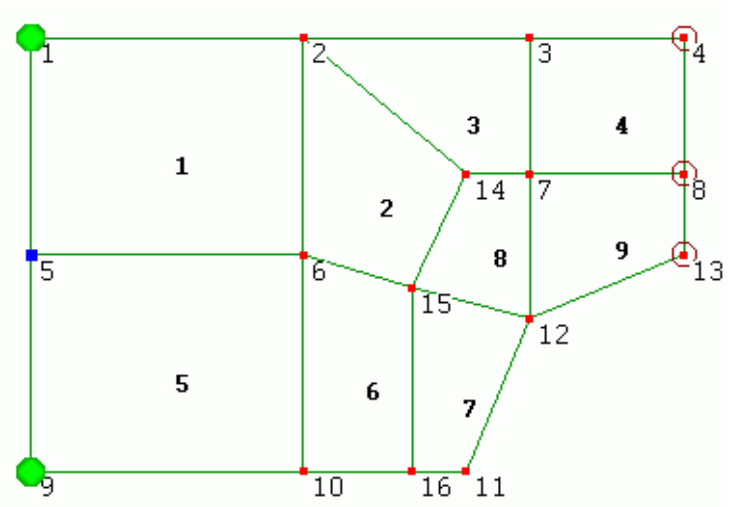


- Επιλέξετε "flowrate"

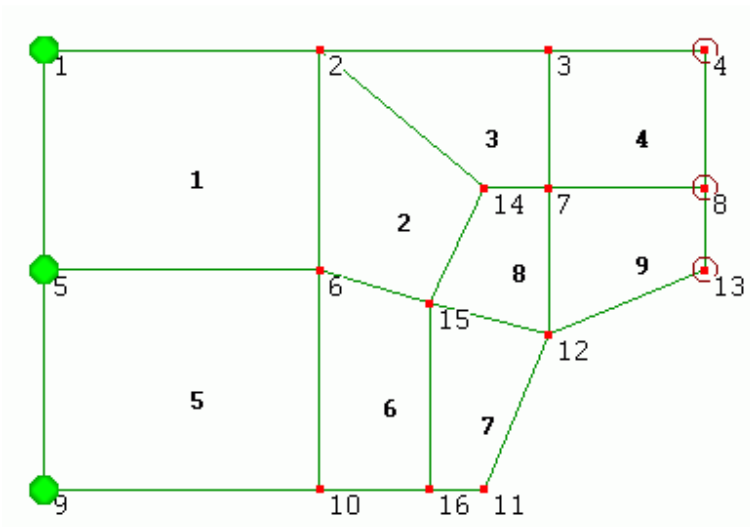
Node(s)	Property	Value
(1,9)	Flowrate	2

OK and close.

Επιλογή κόμβου 5.



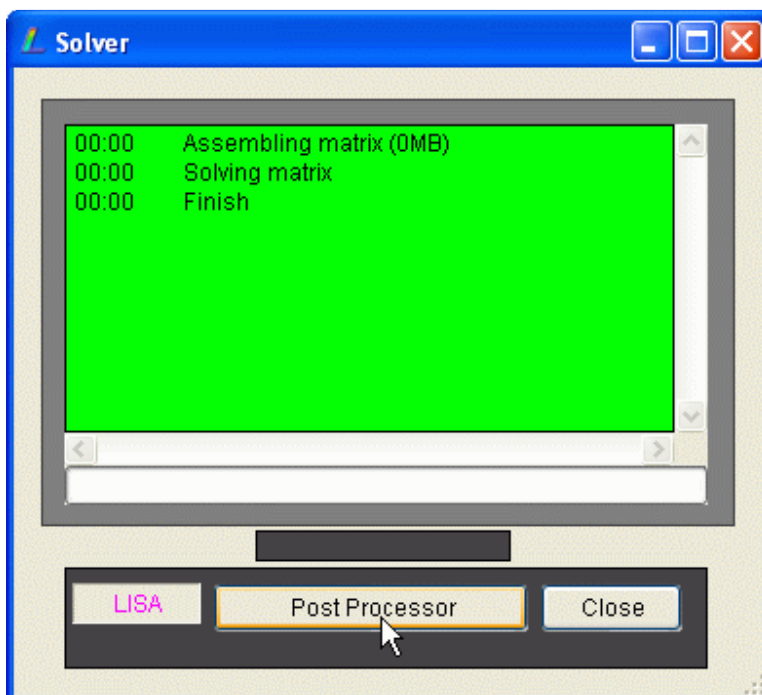
- Επαναλαμβάνουμε τα παραπάνω βήματα αλλά εφαρμόζουμε μια ταχύτητα ροής των 4 αυτών κόμβων.



**Βήμα 8<sup>ο</sup>** :Εκτέλεση του προγράμματος

File→Solve

Όταν τελειώσει η εκτέλεση πατάμε το κουμπί Post processor.



- Πριν προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα, την επιστροφή στο προ-επεξεργαστή και να αποθηκεύσουμε το αρχείο. Από προεπιλογή τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο ίδιο αρχείο με τα δεδομένα μοντέλα.



## **Βήμα 9<sup>ο</sup>**

Έλεγχος αποτελεσμάτων ανάλυσης

Αν η μετά επεξεργασία δεν εμφανίζεται, επιλέγουμε:

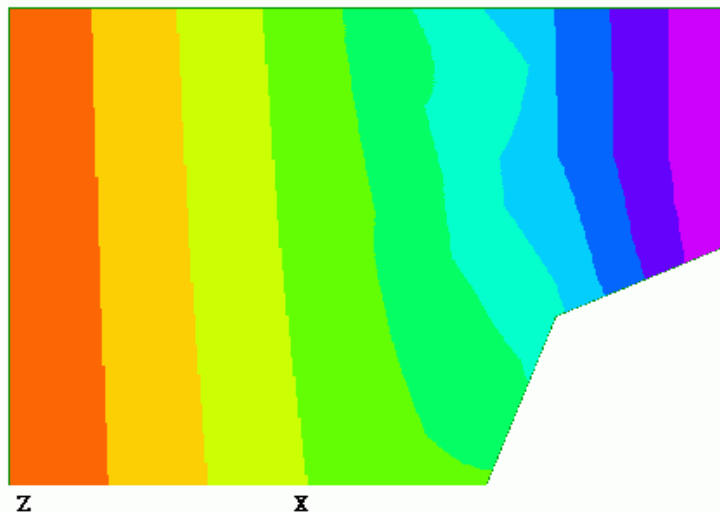
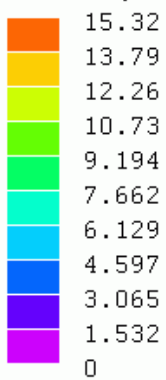
Tools→Post processor

Έπειτα: View→View direction→x/y Plane→(+z)

Από τη drop-down list επιλέγουμε ‘velocity potential’

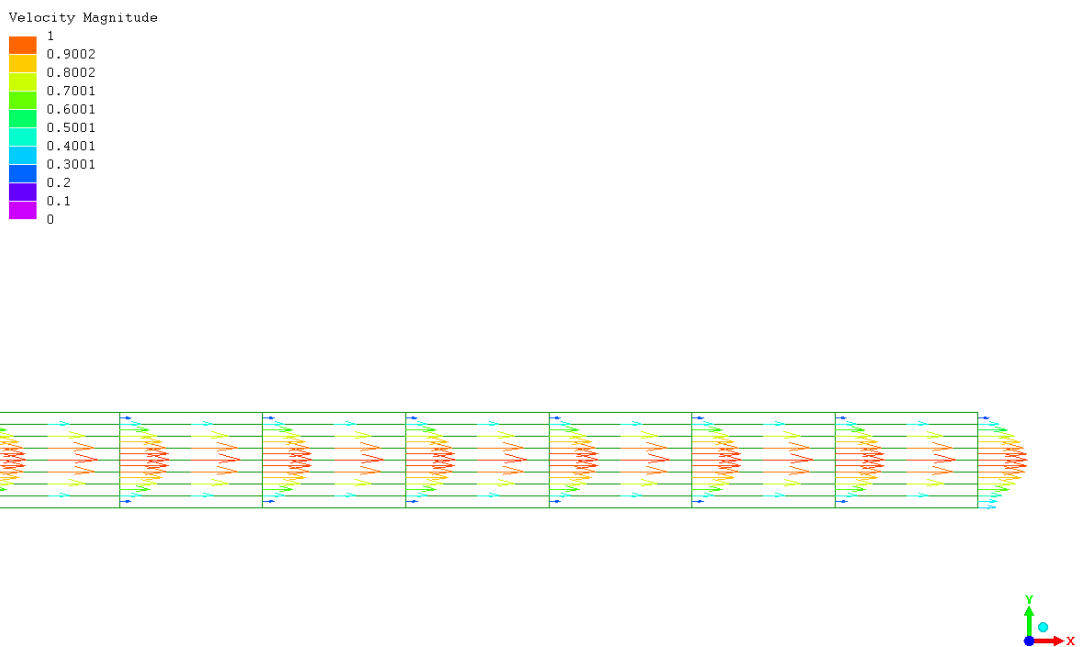
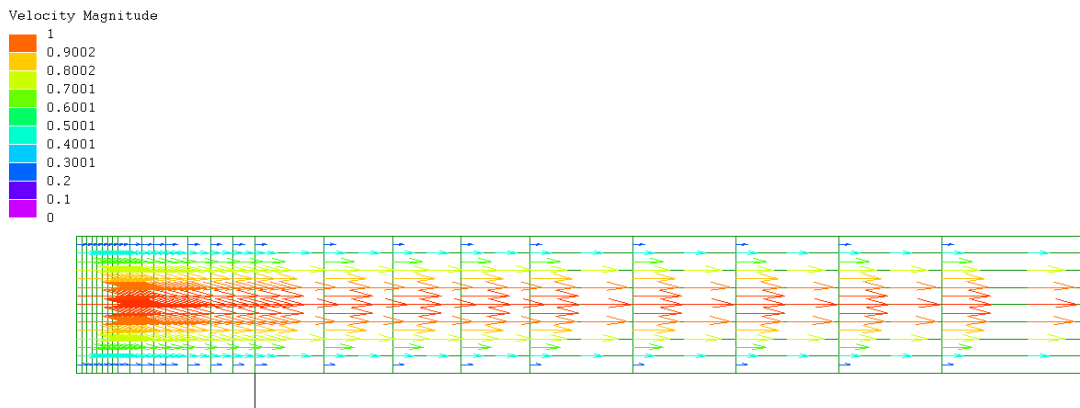
Με

Velocity Potential

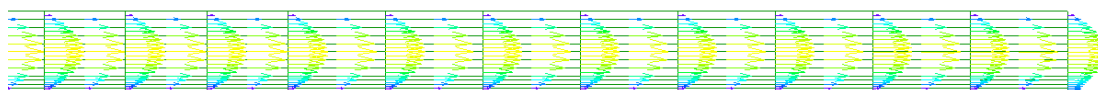
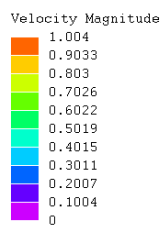
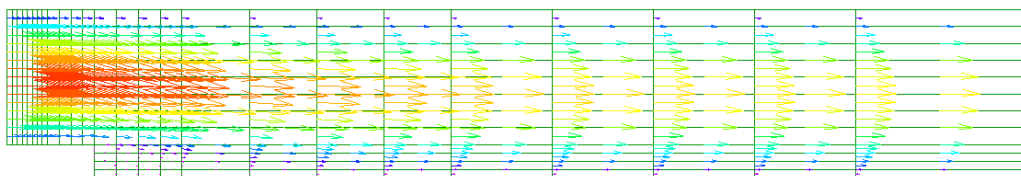
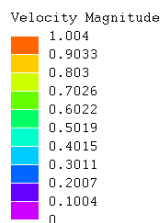


Έχω τρεις αγωγούς οι οποίοι έχουν διαφορετική διάσταση στο σκαλοπατάκι ο καθένας...

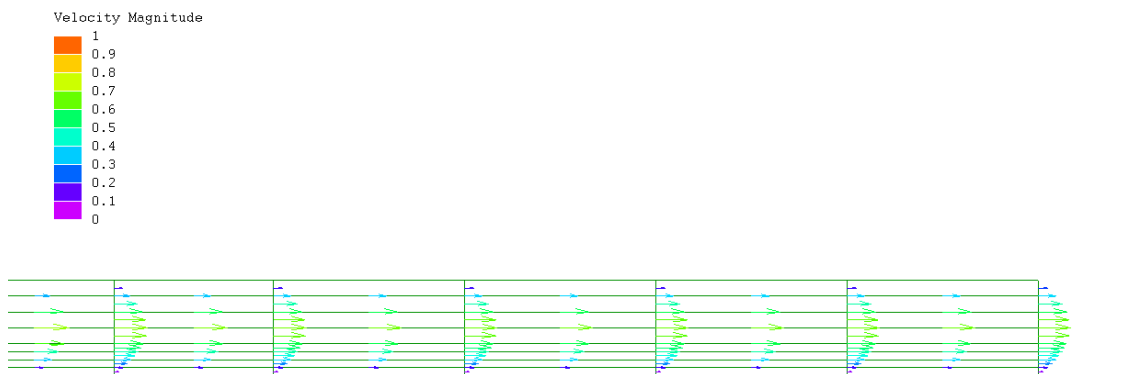
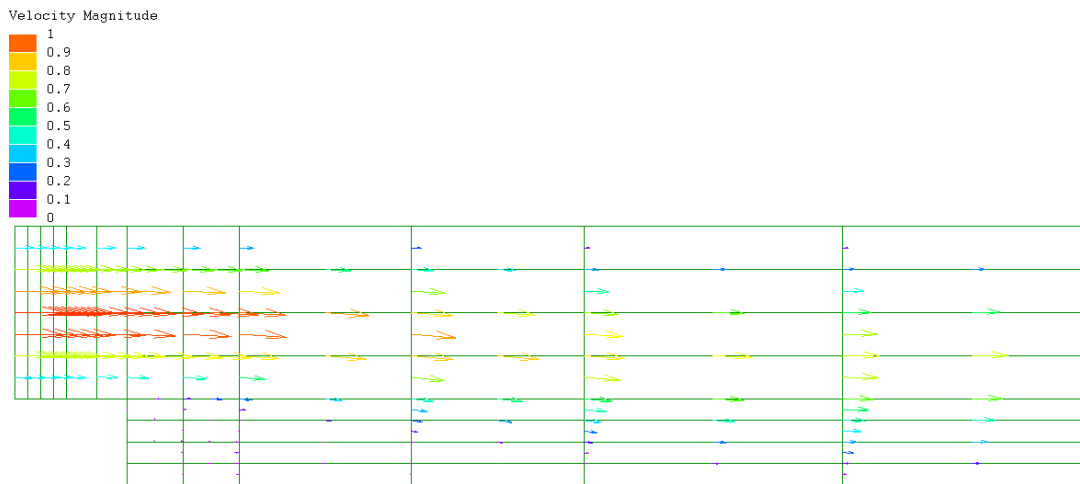
### Παράδειγμα 1



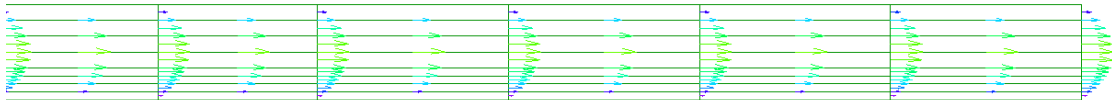
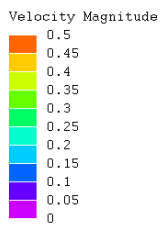
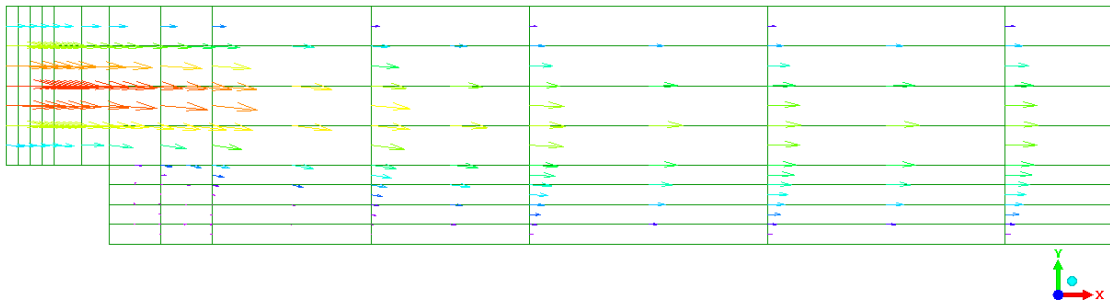
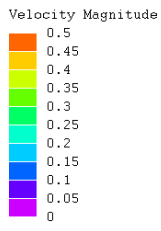
## Παράδειγμα 2



### Παράδειγμα 3



### Παράδειγμα 4(μισή ταχύτητα)

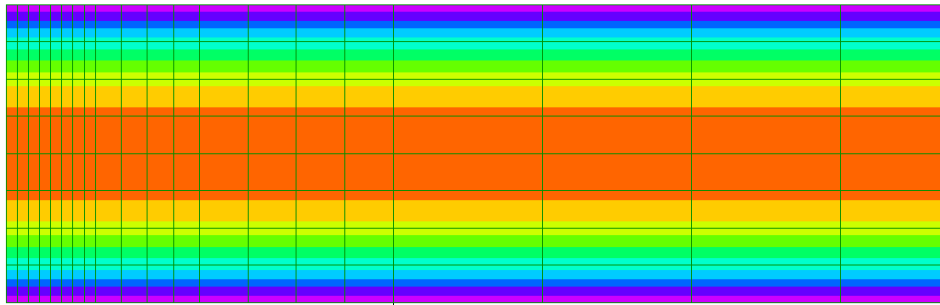
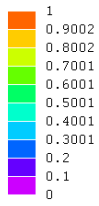


## Αποτελέσματα

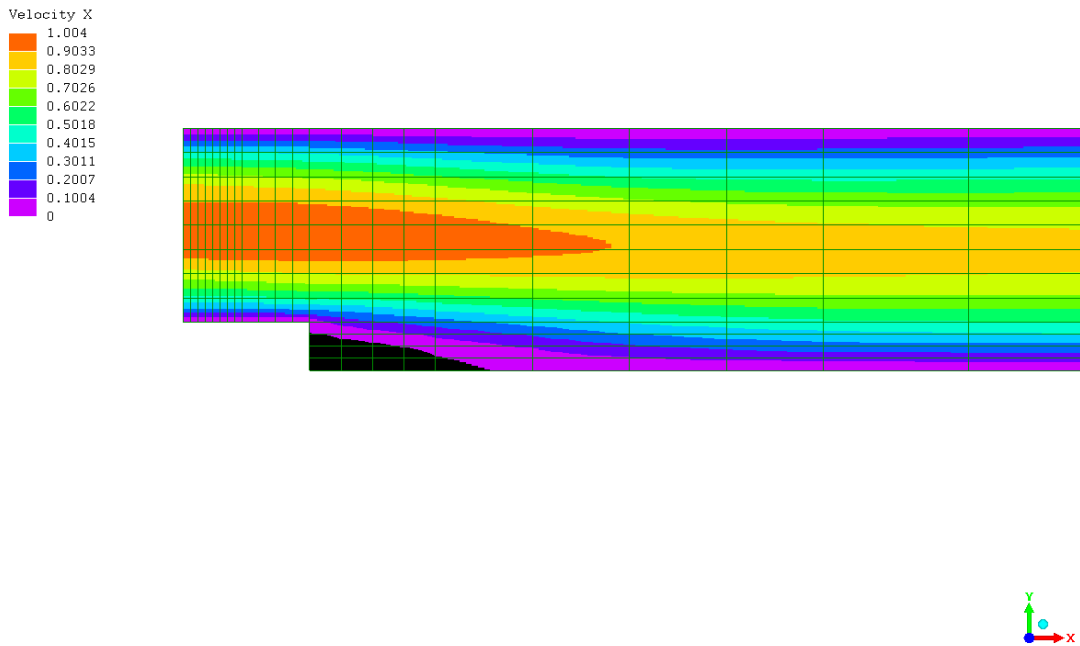
### 5.3 Γιατί έχουμε ανακυκλοφορία του αίματος στην είσοδο στο ανεύρυσμα

Παράδειγμα 1

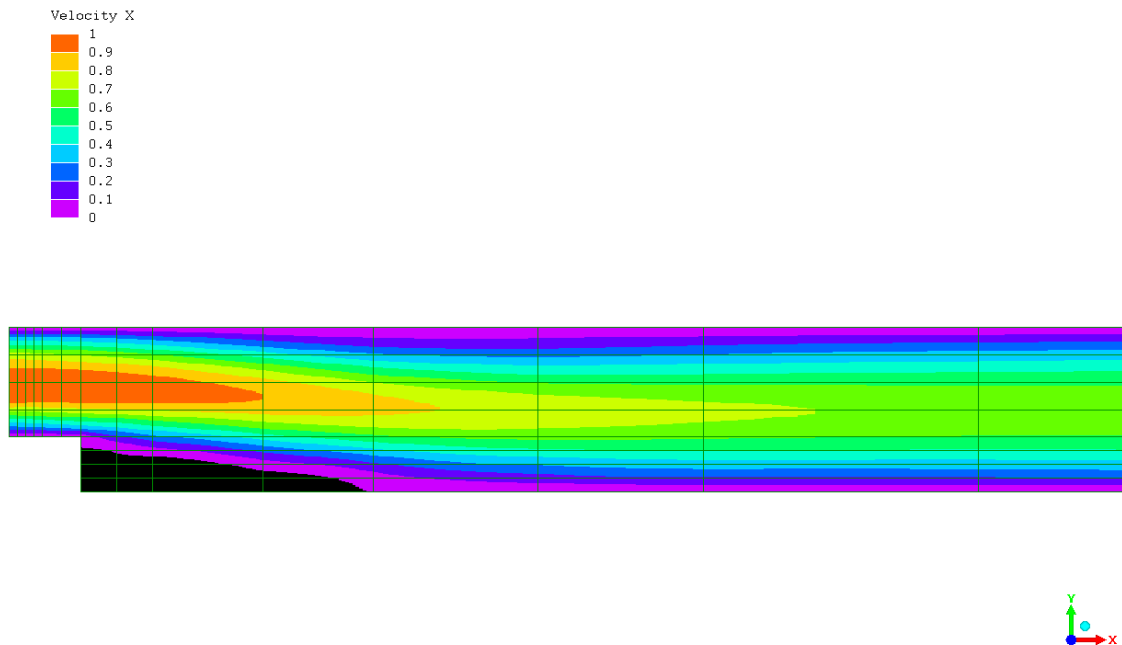
Velocity Magnitude



Παράδειγμα 2



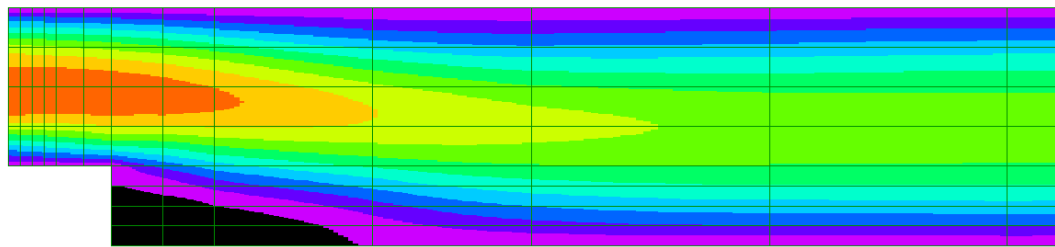
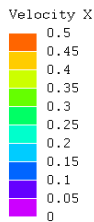
### Παράδειγμα 3



Η πίεση στην αρχή πριν την απότομη διεύρυνση του αγωγού είναι μικρότερη από το τέλος γι' αυτό έχουμε ανακυκλοφορία.

$$P1 < P2$$

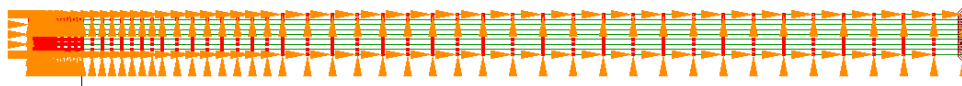
Παράδειγμα 4(μισή ταχύτητα)



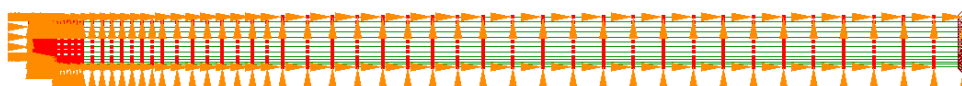
Στα παραδείγματα δύο και τρία και τέσσερα βλέπουμε ότι υπάρχει μια μαύρη περιοχή, σε αυτό το σημείο η ταχύτητα έχει αρνητικό πρόσημο και γι αυτό το λόγο έχουμε αυτή την αλλαγή του χρώματος. Αυτό σημαίνει επίσης ότι το ρευστό έχει αλλάξει φορά και έχει δημιουργηθεί στροβιλισμός. Στο παράδειγμα τέσσερα όμως βλέπουμε ότι η μαύρη περιοχή είναι μικρότερη, αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε μικρότερη ταχύτητα από τα τρία προηγούμενα παραδείγματα.

Στο παράδειγμα ένα έχω βάλει μηδενικές ταχύτητες στους κόμβους του αγωγού και οι πιέσεις στην έξοδο του είναι μηδενικές. Έχουμε βάλει πολλούς κόμβους στον αγωγό ώστε να πάρουμε πιο λεπτομερές αποτέλεσμα. Επίσης βάλουμε μηδέν ταχύτητα στα σύνορα με το τοίχωμα λόγω της συνθήκης μη ολίσθησης. Το ύψος του αγωγού είναι ομοιόμορφο.



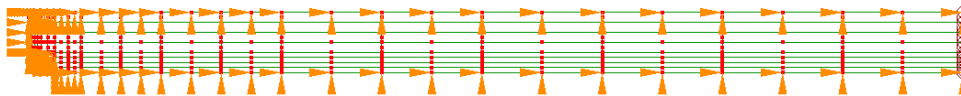


Στο δεύτερο παράδειγμα οι πιέσεις στην έξοδο του αγωγού είναι μηδενικές. Έχουμε βάλει πολλούς κόμβους και εδώ στον αγωγό ώστε να πάρουμε πιο λεπτομερές αποτέλεσμα. Βάλαμε μηδέν ταχύτητα στα σύνορα με το τοίχωμα λόγω της συνθήκης μη ολίσθησης. Το ύψος του αγωγού φυσικά δεν είναι ομοιόμορφο αλλά αλλάζει πριν και μετά το σκαλοπατάκι.



Έχουμε και στο τρίτο παράδειγμα βάλει μηδενικές ταχύτητες στους κόμβους του αγωγού και οι πιέσεις στην έξοδο του αγωγού είναι μηδενικές. Έχουμε βάλει φυσικά πολλούς κόμβους στον αγωγό ώστε να πάρουμε πιο λεπτομερές αποτέλεσμα.

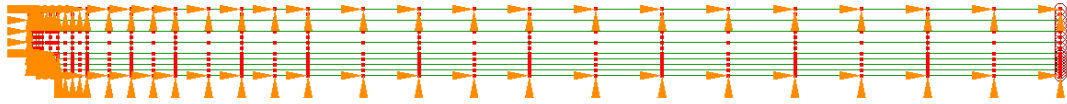
Βάλαμε μηδέν ταχύτητα στα σύνορα με το τοίχωμα λόγω της συνθήκης μη ολίσθησης. Το ύψος του αγωγού δεν είναι ομοιόμορφο αλλά αλλάζει πριν και μετά το σκαλοπατάκι που έχουμε.



Έχουμε και στο τέταρτο παράδειγμα βάλει μηδενικές ταχύτητες στους κόμβους του αγωγού και οι πιέσεις στην έξοδο του αγωγού είναι μηδενικές. Έχουμε βάλει φυσικά πολλούς κόμβους στον αγωγό ώστε να πάρουμε πιο λεπτομερές αποτέλεσμα.

Η ταχύτητα στην είσοδο του αγωγού είναι η μισή απ' ότι ήταν στα προηγούμενα τρία παραδείγματα. Βάλαμε μηδέν ταχύτητα στα σύνορα με το τοίχωμα λόγω της συνθήκης μη ολίσθησης.

Το ύψος του αγωγού δεν είναι ομοιόμορφο αλλά αλλάζει πριν και μετά το σκαλοπατάκι που έχουμε.



## **Κεφάλαιο 6**

## 6.1 Σχόλια αποτελεσμάτων

Αυτά τα έκανα για να δω πως διαταράσσεται η ροή, αν υπάρχει αλλαγή στη γεωμετρία διαταράσσεται η ροή. Αυτές οι διαταραχές μπορεί να έχουν παθολογικές επιπτώσεις όπως έχουν δείξει κ άλλες μελέτες.

## **Βιβλιογραφία**

[www.iutor.biz](http://www.iutor.biz)

incardiology.gr

[www.saridisap.gr](http://www.saridisap.gr)

[www.definition-of.net](http://www.definition-of.net)

[www.aua.gr](http://www.aua.gr)

[www.wedlook.net](http://www.wedlook.net)

[www.livepedia.gr](http://www.livepedia.gr)

[www.schools.ac](http://www.schools.ac)

kardiologia.blogspot.gr

[www.abouthealth.gt](http://www.abouthealth.gt)

[www.belife.gr](http://www.belife.gr)

[www.eumedline.eu](http://www.eumedline.eu)

[www.aorti.gr](http://www.aorti.gr)

health.in.gr