



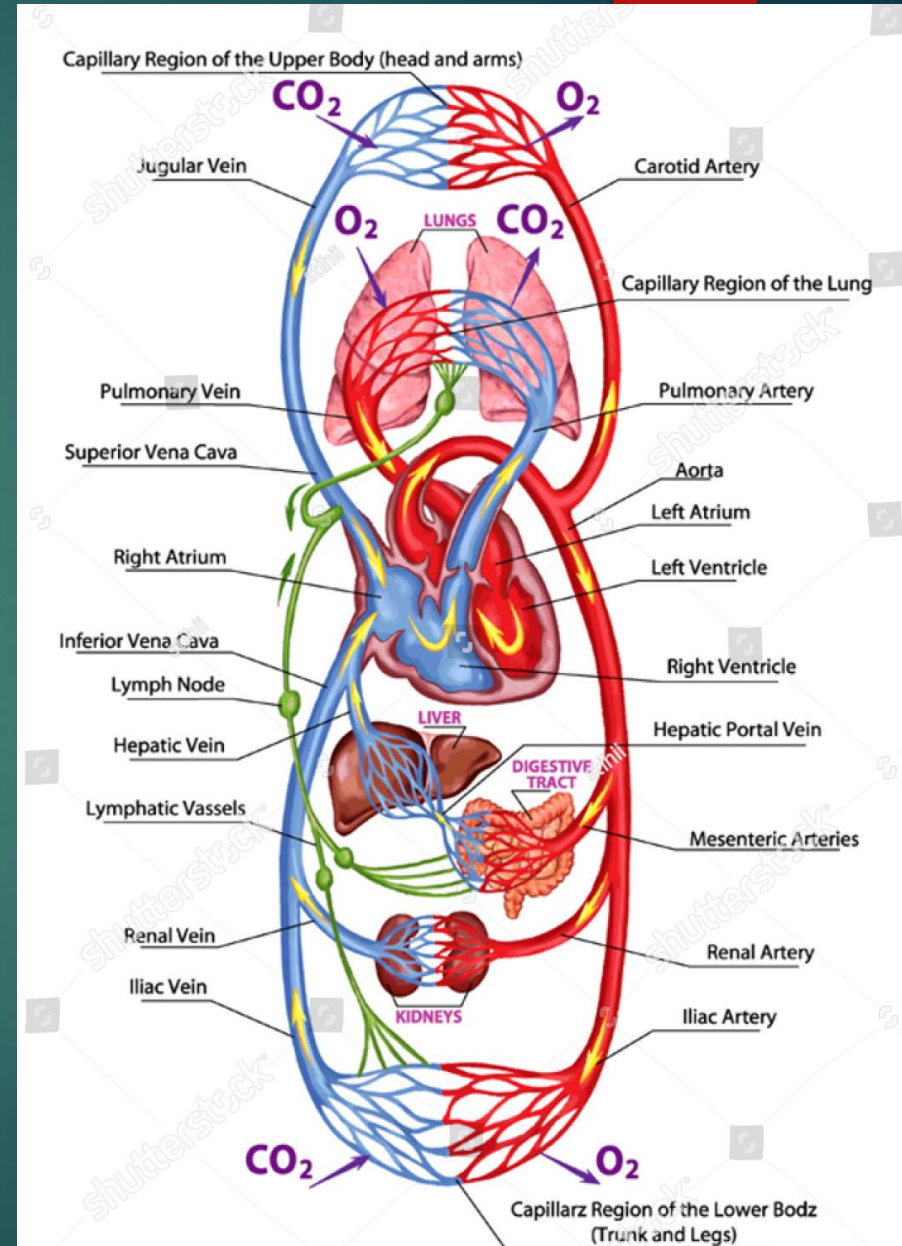
Καρδιαγγειακό σύστημα και αιμοδυναμική

Αίμα

- ▶ Εξειδικευμένος συνδετικός ιστός που αποτελείται από έμμορφα στοιχεία και μεσοκυττάρια ουσία
- ▶ Ο μέσος ενήλικας έχει ~5 L αίματος (55% υγρή φάση, 45% κυτταρικό τμήμα)
- ▶ Κύριοι ρόλοι του αίματος
 - 1) Μεταφορά ουσιών σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στο σώμα καθώς και θερμότητας
 - 2) Επίσχεση αιμορραγίας (αιμόσταση)
 - 3) Διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος (ομοιόσταση) – συγκεντρώσεις ιόντων, παροχή θρεπτικών ουσιών, παροχή θρεπτικών ουσιών
 - 4) Άμυνα κατά των λοιμώξεων (ανοσία)

Καρδιαγγειακό σύστημα

- ▶ Θεμελιώδης ρόλος είναι η ταχεία μεταφορά οξυγόνου στα κύτταρα του οργανισμού -> αναγκαίο για την επιβίωση
- ▶ Επιπλέον επιτρέπει τον έλεγχο σημαντικών φυσιολογικών λειτουργιών μέσω των ορμονών
- ▶ Έλεγχος της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του σώματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος
- ▶ Το αίμα μεταφέρεται με την δράση μιας μυϊκής αντλίας που είναι η **καρδιά μέσω συστολών (σύσπαση) και διαστολών (χάλαση)**



Καρδιά

Προς αορτή

Προς πνευμονική
αρτηρία

Δεξιός κόλπος

Πνευμονική
βαλβίδα

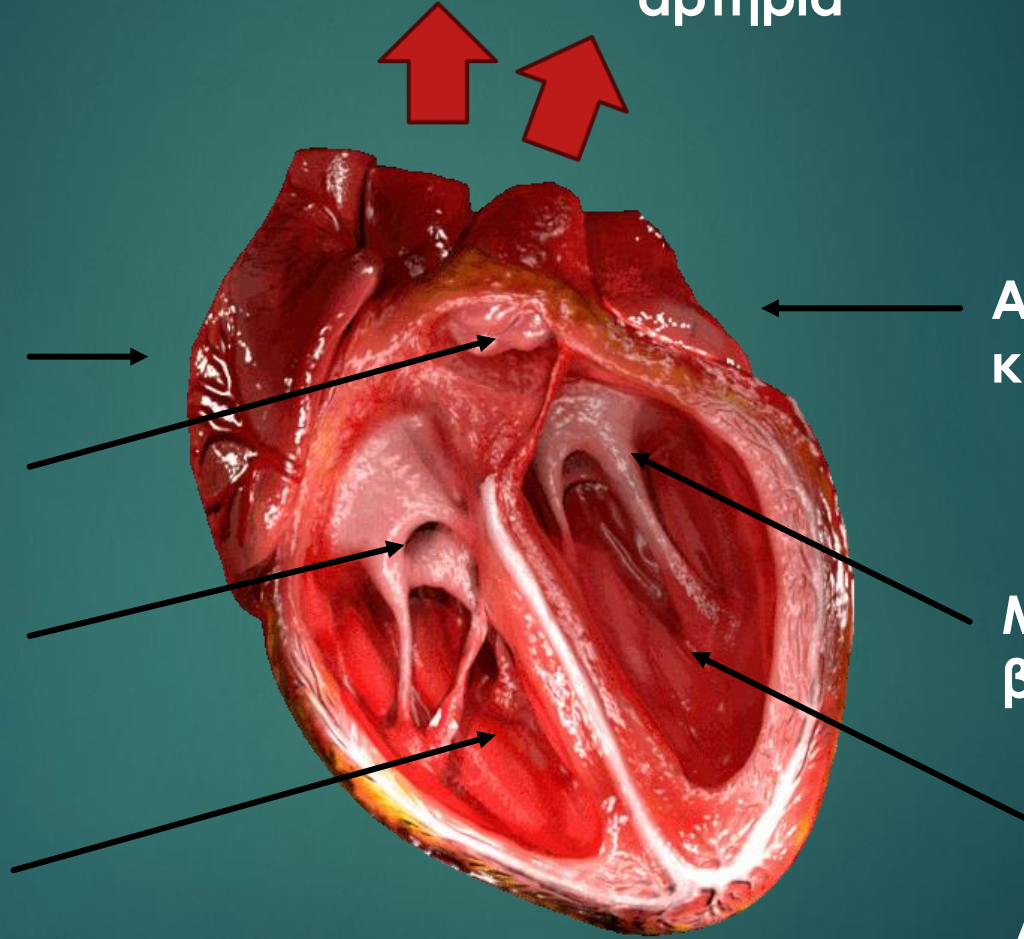
Τριχλωγίνα
βαλβίδα

Δεξιά κοιλία

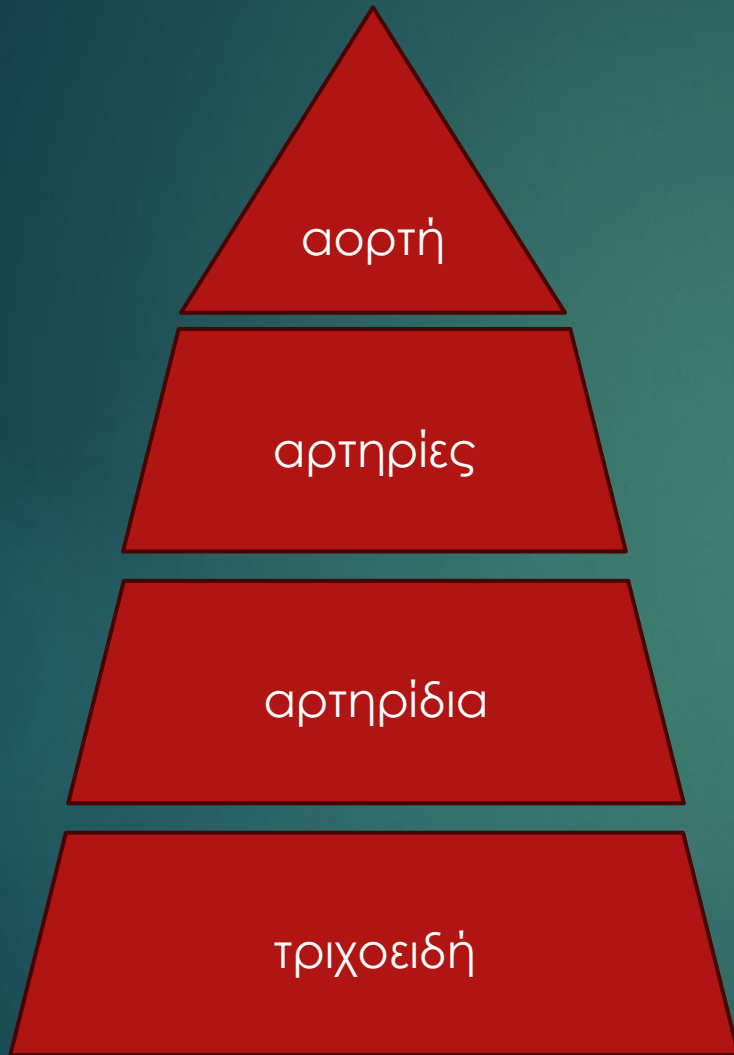
Αριστερός
κόλπος

Μιτροειδής
βαλβίδα

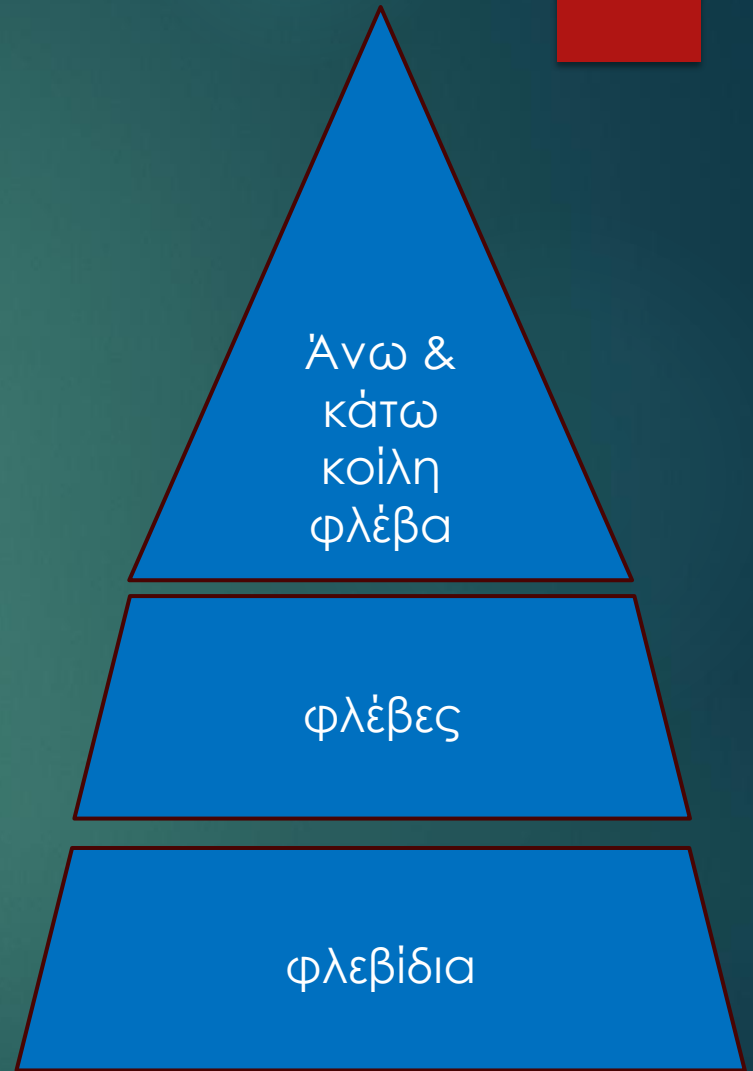
Αριστερή κοιλία



Αρτηρίες & φλέβες



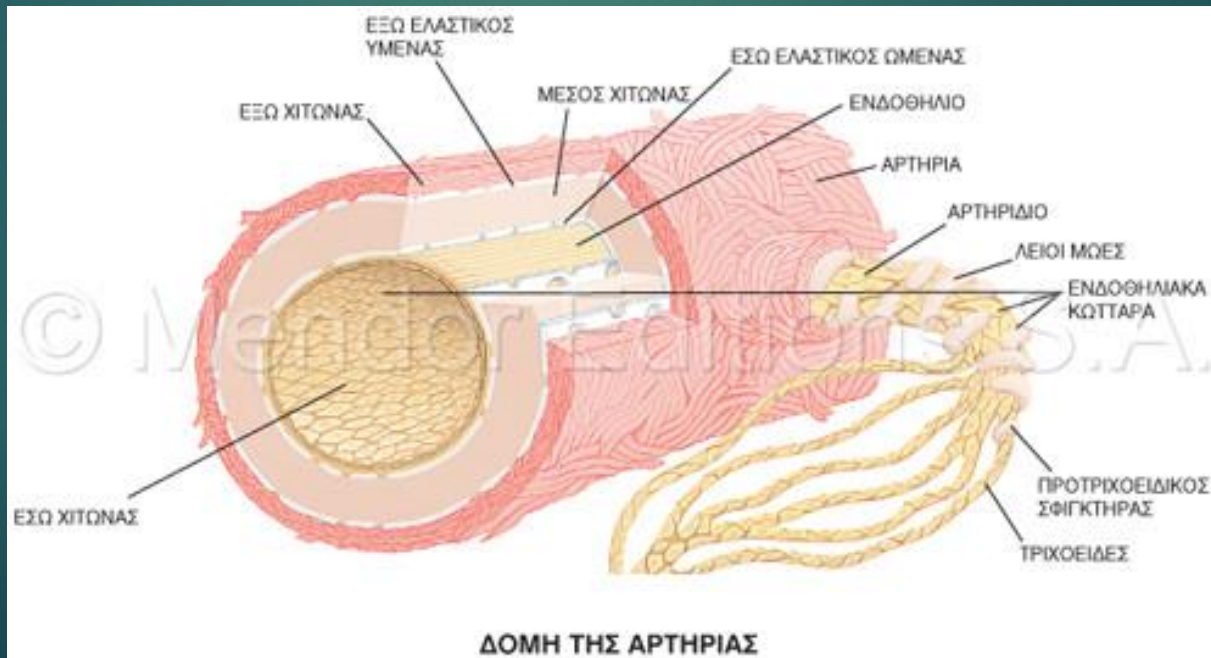
Μεταφορά αίματος **ΑΠΟ** την καρδιά προς το υπόλοιπο σώμα



Μεταφορά αίματος **ΠΡΟΣ** την καρδιά από το υπόλοιπο σώμα

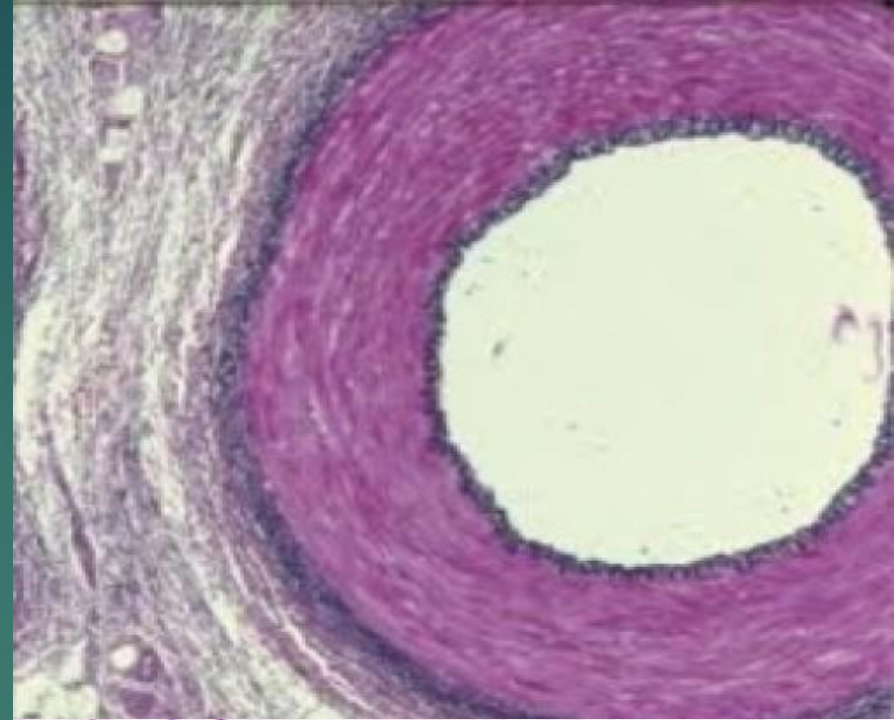
Δομή αιμοφόρων αγγείων

- ▶ Όλα τα αγγεία (εκτός των τριχοειδών) είναι επενδεδυμένα με μια μοναδική στιβάδα επιθηλιακών κυττάρων (**ενδοθήλιο-έσω χιτώνας**) που ελέγχει την διήθηση θρεπτικών ουσιών
- ▶ Μέσος χιτώνας – λείες μυϊκές ίνες (**σύσπαση ή χάλαση μειώνει ή αυξάνει αντίστοιχα την διάμετρο του αυλού**)
- ▶ Έξω χιτώνας – κολλαγόνο και ελαστικές ίνες που βοηθούν στην προστασία του αγγείου και σύνδεση με άλλες δομές, μικρά αγγεία και νεύρα



Αρτηρίες

- ▶ Μεγάλες αρτηρίες: παχύ τοίχωμα λείου μυϊκού ιστού & ελαστικής που μεταφέρει αίμα κατευθείαν από την καρδιά
- ▶ Μικρές αρτηρίες: λεπτότερα τοιχώματα και μεταφέρουν το αίμα στα περιφερικά όργανα
- ▶ 3 τύποι:
 - Ελαστικές αρτηρίες (π.χ. αορτή)
 - Μυϊκές αρτηρίες (π.χ. νεφρική, σπλαχνική)
 - Αρτηριόλια: μικρή διάμετρος, υψηλή αντίσταση στην αιματική ροή, έλεγχος ροής προς τα τριχοειδή



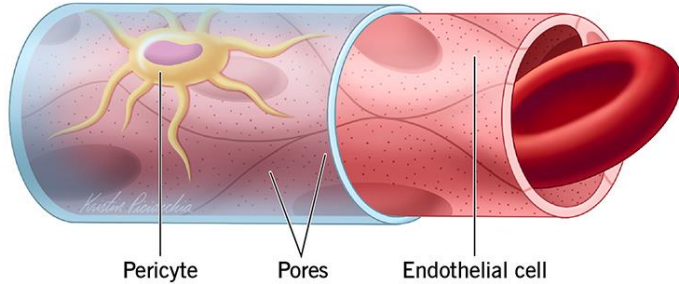
Τριχοειδή



- ▶ Πολύ λεπτό τοίχωμα – μια στοιβάδα ενδοθηλιακών κυττάρων, πολύ μικρά σε μέγεθος
- ▶ Τεράστια συνολική επιφάνεια/μεγάλη επιφάνεια δικτύου με τους ιστούς
- ▶ Σημείο ανταλλαγής ουσιών με τους ιστούς (Ανταλλαγή O_2/CO_2 , θρεπτικών και αποβλήτων)
- ▶ Τύποι
 - **Συνεχή:** σχηματίζουν μια συνεχή ενδοθηλιακή στοιβάδα και απαντώνται στον μυϊκό και νευρικό ιστό, καθώς στον πνεύμονα και τα περισσότερα σπλάχνα
 - **Θυριδωτά:** χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη πόρων (θυρίδες) που επιτρέπουν την ταχεία ανταλλαγή ουσιών (νεφροί, εντερικός βλεννογόνος για απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, ενδοκρινείς αδένες)
 - **Κολποειδή:** μεγαλύτερη διάμετρος από τα κοινά τριχοειδή, ακανόνιστο σχήμα, ενδοθήλιό φέρει πολλαπλές ασυνεχείς οπές που επιτρέπουν την εύκολη ανταλλαγή ουσιών (ήπαρ, σπλήνας, μυελός οστών)

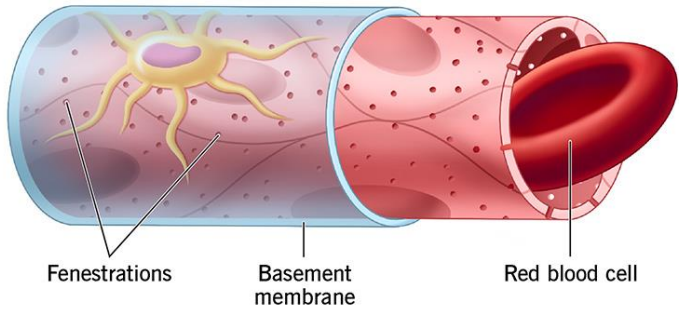
Τριχοειδή

Continuous Capillary



Συνεχή

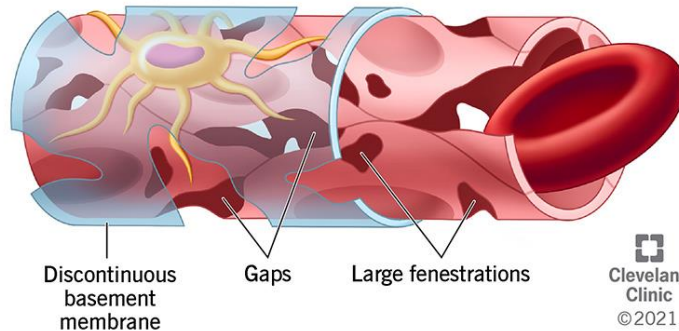
Fenestrated Capillary



Θυριδωτά



Sinusoidal Capillary



Κολποειδή

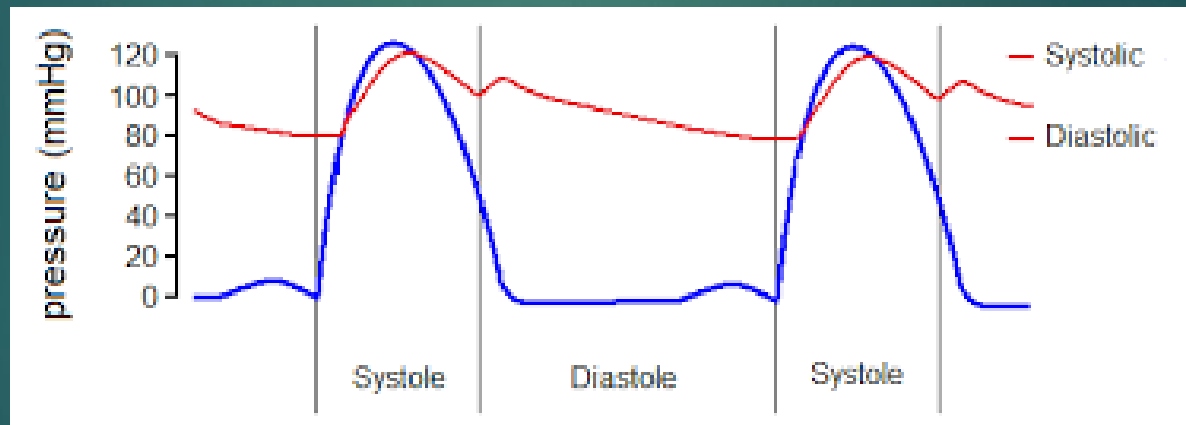
Φλέβες



- ▶ Λεπτότερο τοίχωμα ενδοθηλιακών κυττάρων σε σχέση με τις αρτηρίες
- ▶ Μεγάλος αυλός, μικρότερη πίεση και αντίσταση
- ▶ Επιφανειακά στον υποδόριο ιστό, και εν τω βάθει (μέσα στους μύες)
- ▶ Μεταφορά αποοξυγονομένου αίματος προς την καρδιά από τις μεγάλες κεντρικές φλέβες (άνω και κάτω κοίλη φλέβα)
- ▶ Διαθέτουν βαλβίδες που εμποδίζουν την παλινδρόμηση του αίματος, ιδίως στα πόδια, βοηθώντας στην κίνηση κατά της βαρύτητας
- ▶ Τύποι
 - **Φλεβίδια:** πολλά, μικροσκοπικά με λεπτά τοιχώματα που μεταφέρουν αίμα από τα τριχοειδή
 - **Μεσαιές φλέβες:** 3 τοιχώματα και βαλβίδες καθώς και λείους μύες (π.χ. νεφρική, σπλαχνική)
 - **Μεγάλες φλέβες:** πιο χοντρό τοίχωμα με 3 τοιχώματα, δεν έχουν βαλβίδες (π.χ. κοιλιακές, σφαγίτιδα)

Αιμοδυναμική

- ▶ Μελέτη των φυσικών μεταβλητών που σχετίζονται με τη σύσταση και κίνηση του αίματος
- ▶ Απαιτούμενη ενέργεια για να κινηθεί ένα ρευστό: **διαφορά πίεσης (διαβάθμιση πίεσης μεταξύ δύο σημείων του συστήματος)**
- ▶ Μονάδες δύναμης ή βάρους ανά μονάδα επιφάνειας
- ▶ Στην ουσία δείχνει την δύναμη που απαιτείται για να ωθήσει μια στήλη υγρού προς τα πάνω ενάντια στη βαρύτητα (**mmHg**)



Συστολική πίεση (~120 mmHg)

Μέγιστο αρτηριακής πίεσης αμέσως μετά την συστολή της καρδιάς (προώθηση αίματος στην αορτή)

Διαστολική πίεση (~80 mmHg)

Η αρτηριακή πίεση πέφτει όταν η καρδιά χαλαρώνει ανάμεσα στους παλμούς (δεν προωθείται αίμα στην αορτή)

Όγκος αίματος



- ▶ Η ευκαμψία των τοιχωμάτων των αγγείων ευθύνεται για το γεγονός ότι υπάρχει διαφορά πίεσης (διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού του αγγείου) κατά μήκος του τοιχώματος (**διατοιχωματική πίεση**)
- ▶ Μεγάλες διατοιχωματικές πιέσεις εντός των αγγείων με εύκαμπτα τοιχώματα - > μεγάλοι ενδοαγγειακοί όγκοι και το αντίστροφο

$$\text{Χωρητικότητα} = \text{Όγκος} / \text{Διατοιχωματική πίεση (P}_T\text{)}$$

- ▶ Μεταβολή όγκου σε μια δεδομένη μεταβολή της διατοιχωματικής πίεσης ονομάζεται **διατατότητα (ευενδοτότητα)**

$$C = \Delta V / \Delta P_T \Leftrightarrow \Delta V = C \Delta P_T \Leftrightarrow \Delta P_T = \Delta V / C$$

- ▶ Μεγαλύτερη μεταβολή όγκου σε τμήμα του αγγείου με υψηλή ευενδοτότητα και μεγάλη μεταβολή της ενδοαγγειακής πίεσης

ή, επίσης

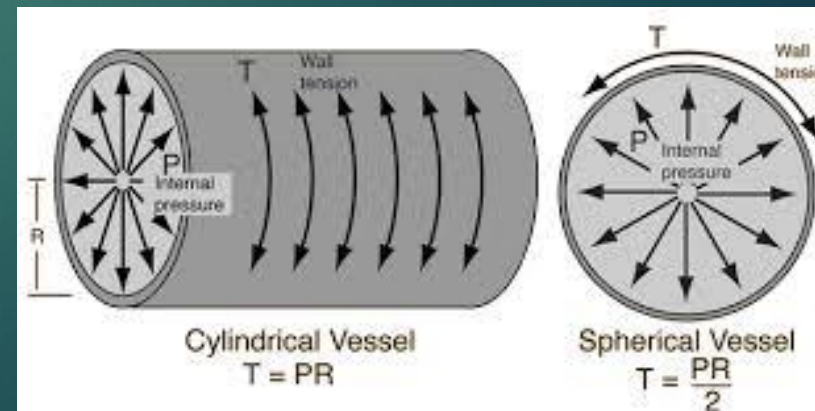
- ▶ Η προσθήκη όγκου υγρού σε τμήμα του αγγείου με χαμηλή ευενδοτότητα θα προκαλέσει μεγάλη αύξηση στην ενδοαγγειακή πίεση
- ▶ **Αρτηριακή ευενδοτότητα μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας (αρτηριοσκλήρυνση)**

Σύσπαση αγγείου

- ▶ Ενδοαγγειακές μυϊκές ίνες αντιτίθενται στην διατοχωματική πίεση για να μην προκληθεί ρήξη
- ▶ Αυτή η δύναμη ονομάζεται **τάση** (νόμος Laplace)
- ▶ Ωστόσο, τα τοιχώματα των αγγείων έχουν αρκετό πάχος με αποτέλεσμα η τάση να δίδεται από τον τύπο

$$\text{Διατοχωματική τάση} = \text{Πίεση} \times \text{Ακτίνα (r)} / \text{Πάχος τοιχώματος (w)}$$

- ▶ **!!!** Μικρά αγγεία (**μικρό r**) είναι σε θέση να αντέχουν μεγαλύτερες πιέσεις επειδή η διατοχωματική τάση είναι μικρή (τριχοειδή παρόλο που αποτελούνται από μόνο ένα στρώμα ενδοθυλιακών κυττάρων είναι σε θέση να αντέχουν σε μεγάλες ενδοαγγειακές πιέσεις)
- ▶ **!!!** Αγγεία που έχουν χοντρά τοιχώματα (αρτηρίες & φλέβες) σε σχέση με την ακτίνα τους είναι σε θέση να αντέχουν υψηλότερη πίεση επειδή η διατοχωματική τάση είναι μικρή (**πάχος τοιχώματος μεγάλο**)



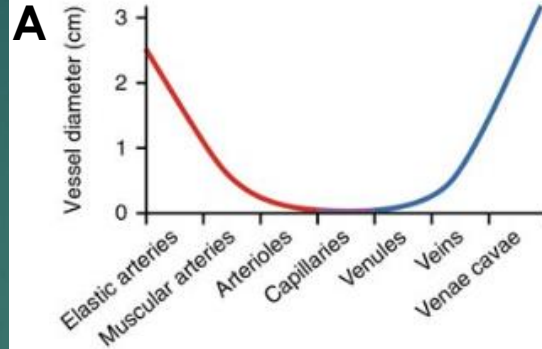
Αρτηριακή πίεση

$$P = Q \times R$$

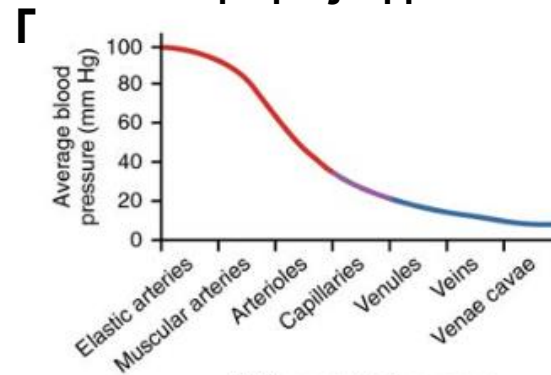
- ▶ P =αρτηριακή πίεση, Q =ροή (**καρδιακή παροχή**), R =αντίσταση που παρέχεται από όλα τα αγγεία (**ολική περιφερική αντίσταση, TPR που μετριέται σε μονάδες περιφερικής αντίστασης, PRU και η μονάδα μέτρησης είναι mmHg/λεπτό**)
- ▶ **!!!** Η μέση αρτηριακή πίεση θα αυξηθεί αν η καρδιακή παροχή, η TPR ή και τα δύο αυξηθούν
- ▶ **!!!** Για μια σταθερή αρτηριακή πίεση (**$Q = P/R$**) καρδιακή παροχή θα αυξηθεί θα αυξηθεί αν η TPR μειωθεί και θα μειωθεί αν η TPR αυξηθεί
- ▶ Η παράλληλη διάταξη αγγείων μειώνει την αντίσταση στη ροή του αίματος
- ▶ Η υψηλή ταχύτητα ροής **μειώνει την τοιχωματική πίεση** -> κλινική εξέταση για την εκτίμηση της στένωσης της αορτικής βαλβίδας ενώ **αυξάνει την εσωτερική τάση διάτμησης** προκαλώντας διέγερση ανάπτυξης τριχοειδών και ανανέωσης του ενδοθηλίου -> κλινικά, οι αθηροσκληρωτικές αλλοιώσεις στις αρτηρίες σχηματίζονται σε τμήματα με μειωμένη τάση διάτμησης
- ▶ Η αθηροσκλήρωση και άλλες ασθένειες μπορούν να προκαλέσουν ουλές στις βαλβίδες προκαλώντας στροβιλώδη αιματική ροή που ανιχνεύεται με ήχους (**καρδιακά φυσήματα**)

Πίεση, ροή, ταχύτητα αίματος

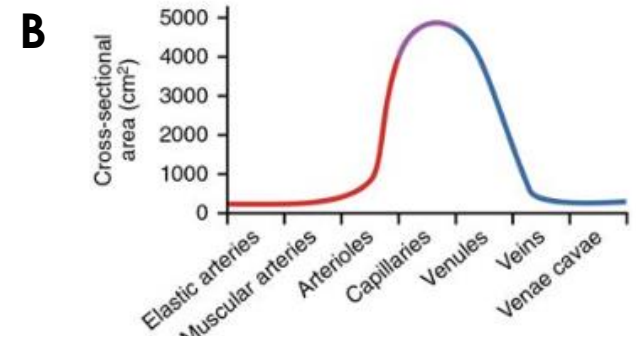
Η συνολική εγκάρσια επιφάνεια των τριχοειδικών δικτύων του σώματος είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή οποιουδήποτε άλλου τύπου αγγείου (B) αν και η διάμετρος ενός μεμονωμένου τριχοειδούς είναι σημαντικά μικρότερη από τη διάμετρο ενός αρτηριδίου (A) (υπάρχουν πολύ περισσότερα τριχοειδή στο σώμα σε σχέση με τα υπόλοιπα αγγεία)



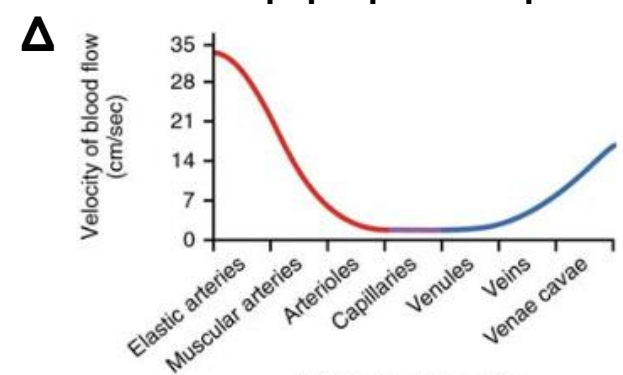
Διάμετρος αγγείων



Μέση αρτηριακή πίεση



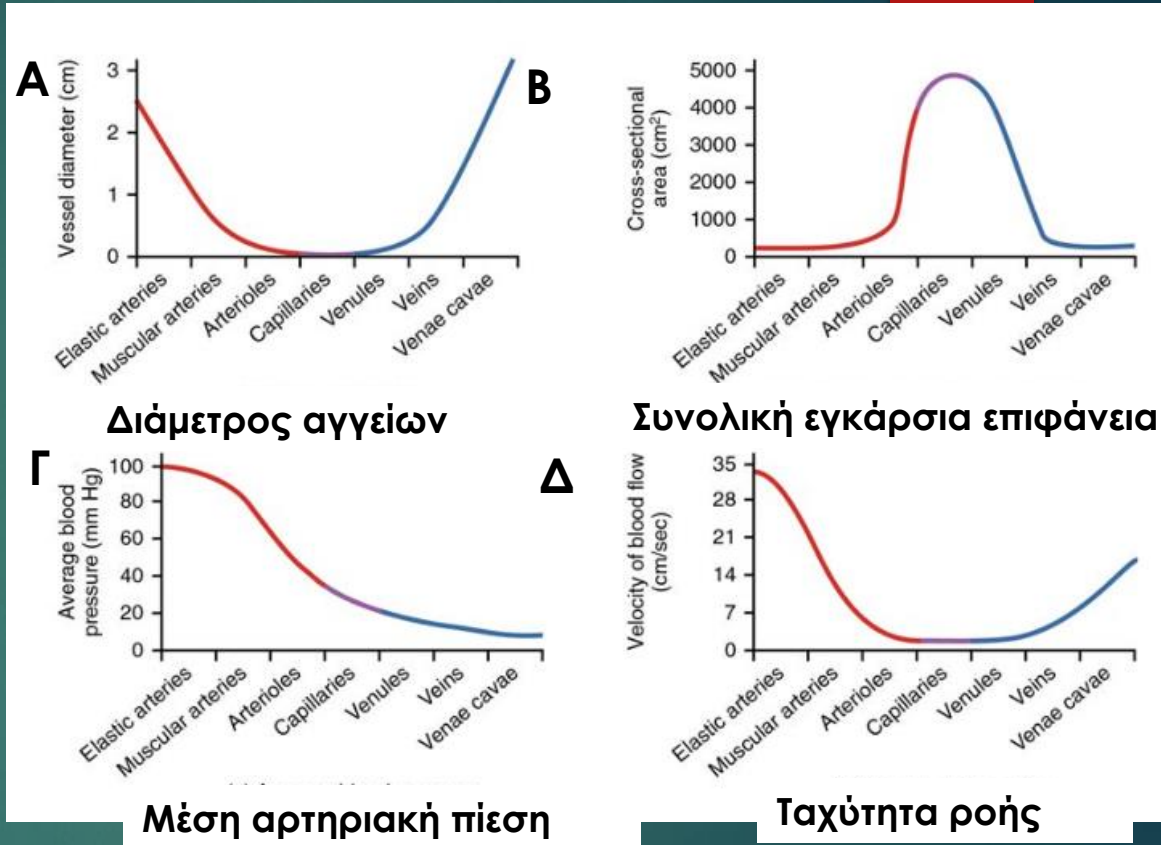
Συνολική εγκάρσια επιφάνεια



Ταχύτητα ροής

Πίεση, ροή, ταχύτητα αίματος

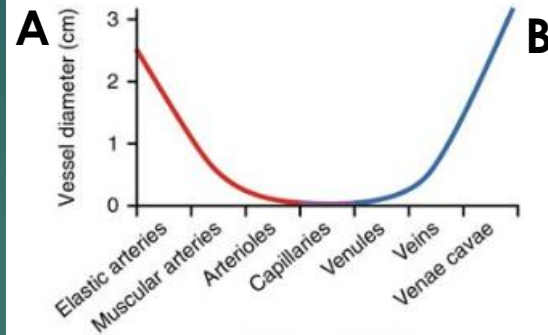
Η αρτηριακή πίεση μειώνεται με μη ομοιόμορφο τρόπο καθώς το αίμα μετακινείται από τις αρτηρίες προς τα αρτηρίδια, τα τριχοειδή, τα φλεβίδια και τις φλέβες, **λόγω της αυξανόμενης αντίστασης (Γ)**. Το σημείο όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη και πιο απότομη πτώση της πίεσης (και ταυτόχρονα η μεγαλύτερη αντίσταση) είναι τα αρτηρίδια. Αυτό εξηγεί γιατί η αγγειοδιαστολή και η αγγειοσύσπαση των αρτηριδίων παίζουν πιο σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης σε σχέση με άλλα αγγεία.



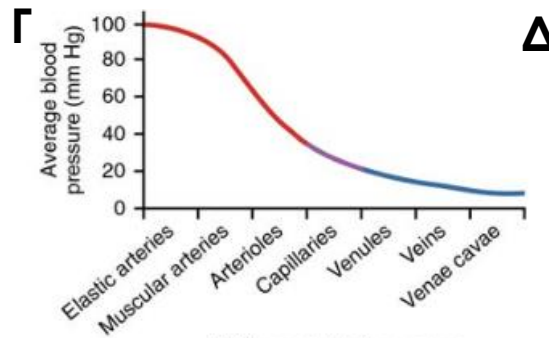
Αρτηρίδια: μικρή διάμετρος, ανεπτυγμένο μυϊκό τοίχωμα -> μεγάλη αντίσταση -> πτώση ΑΠ
Φλέβες: μεγαλύτερη διάμετρος, μεγαλύτερη χωρητικότητα -> μικρότερη αντίσταση -> πτώση ΑΠ λόγω εξάντλησης ενέργειας

Πίεση, ροή, ταχύτητα αίματος

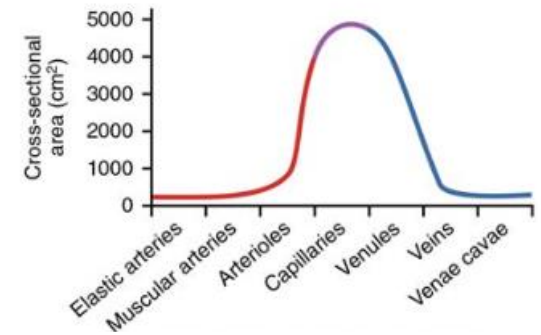
Η ταχύτητα ροής του αίματος μειώνεται σημαντικά καθώς το αίμα μετακινείται από τις αρτηρίες στα αρτηρίδια και στα τριχοειδή (Δ). Αυτή η μειωμένη ταχύτητα επιτρέπει περισσότερο χρόνο για την ανταλλαγή ουσιών στα τριχοειδή. **Καθώς το αίμα ρέει μέσω των φλεβών, η ταχύτητα αυξάνεται ξανά, καθώς επιστρέφει προς την καρδιά**



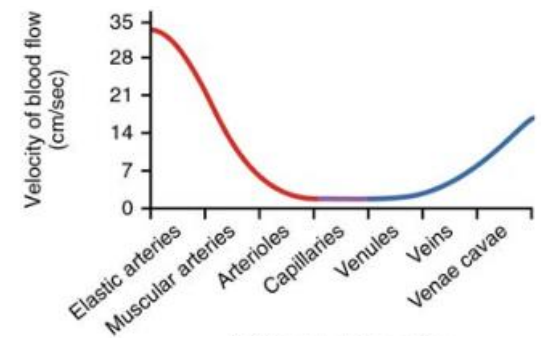
Διάμετρος αγγείων



Μέση αρτηριακή πίεση



Συνολική εγκάρσια επιφάνεια



Ταχύτητα ροής

Η επιστροφή του αίματος στην καρδιά βασίζεται πλέον σε βαλβίδες και μυϊκές συσπάσεις και όχι σε υψηλή πίεση

Συνοψίζοντας



- ▶ Το καρδιαγγειακό σύστημα εξασφαλίζει πρωτίστως την μεταφορά οξυγόνου και τη ρύθμιση φυσιολογικών λειτουργιών μέσω ορμονών.
- ▶ Η καρδιά λειτουργεί ως μυϊκή αντλία μέσω συστολής και διαστολής που προωθεί το αίμα.
- ▶ Τα τριχοειδή έχουν πολύ μεγάλο εμβαδόν στο ανθρώπινο σώμα και έχουν τον κύριο ρόλο στην μεταφορά ουσιών με τους ιστούς.
- ▶ Η απαιτούμενη ενέργεια για την μεταφορά του αίματος δίδεται από την διαφορά πίεσης. Το μέγιστο της αρτηριακής πίεσης κατά την προώθηση του αίματος στην αορτή αποτελεί την συστολική πίεση ενώ η αντίστοιχη τιμή όταν η καρδιά χαλαρώνει είναι η διαστολική πίεση.
- ▶ Η αρτηριακή πίεση καθορίζεται από τη σχέση $P = Q \times R$. Η **μέση αρτηριακή πίεση θα αυξηθεί όταν αυξάνεται η καρδιακή παροχή, η περιφερική αντίσταση ή και τα δύο. Η ελάττωση της αντίστασης προκαλεί την αύξηση της ροής για μια σταθερή πίεση.**
- ▶ Τα αρτηρίδια αποτελούν το κύριο σημείο αντίστασης και ρύθμισης της αρτηριακής πίεσης.