

## ΣΚΟΠΟΙ

Για την κατανόηση από τους φοιτητές του ομοιοστατικού ρόλου του καρδιαγγειακού συστήματος, των βασικών αρχών της καρδιαγγειακής μεταφοράς και της βασικής δομής και λειτουργίας των συστατικών του συστήματος.

- ▶ Ορίζεται η ομοιόσταση
- ▶ Προσδιορίζονται τα βασικά διαμερίσματα του σώματος και αναφέρεται ο όγκος του καθενός κατά προσέγγιση Αναφέρονται οι δύο καταστάσεις του καρδιαγγειακού συστήματος που καθίστανται απαραίτητες για τη ρύθμιση της σύστασης του ενδιάμεσου υγρού (δηλαδή του εσωτερικού περιβάλλοντος)
- ▶ Σχηματοποιούνται οι οδοί αιματικής ροής μεταξύ καρδιάς και υπόλοιπων κύριων οργάνων του σώματος.
- ▶ Αναφέρεται η σχέση μεταξύ αιματικής ροής, πίεσης αίματος, και αγγειακής αντίστασης
- ▶ Προβλέπονται οι σχετικές αλλαγές στη ροή ενός υγρού (λόγω αλλαγών στο μήκος ή στην ακτίνα του σωλήνα), στο ιξώδες του υγρού και στη διαφορά πίεσης
- ▶ Προσδιορίζονται οι κοιλότητες και βαλβίδες της καρδιάς και περιγράφονται οι οδοί της αιματικής ροής στην καρδιά.
- ▶ Ορίζεται η καρδιακή παροχή
- ▶ Περιγράφεται η οδός μετάδοσης του δυναμικού ενεργείας στην καρδιά
- ▶ Καταγράφονται οι πέντε απαραίτητοι παράγοντες για τη δράση των κοιλιών ως αντλίας
- ▶ Αναφέρεται η σχέση μεταξύ κοιλιακής πλήρωσης και καρδιακής παροχής (νόμος του Starling) και περιγράφεται η αξία της στον έλεγχο της καρδιακής παροχής
- ▶ Προσδιορίζεται η κατανομή των συμπαθητικών και παρασυμπαθητικών νευρών στην καρδιά και καταγράφονται οι εκεί βασικές δράσεις τους

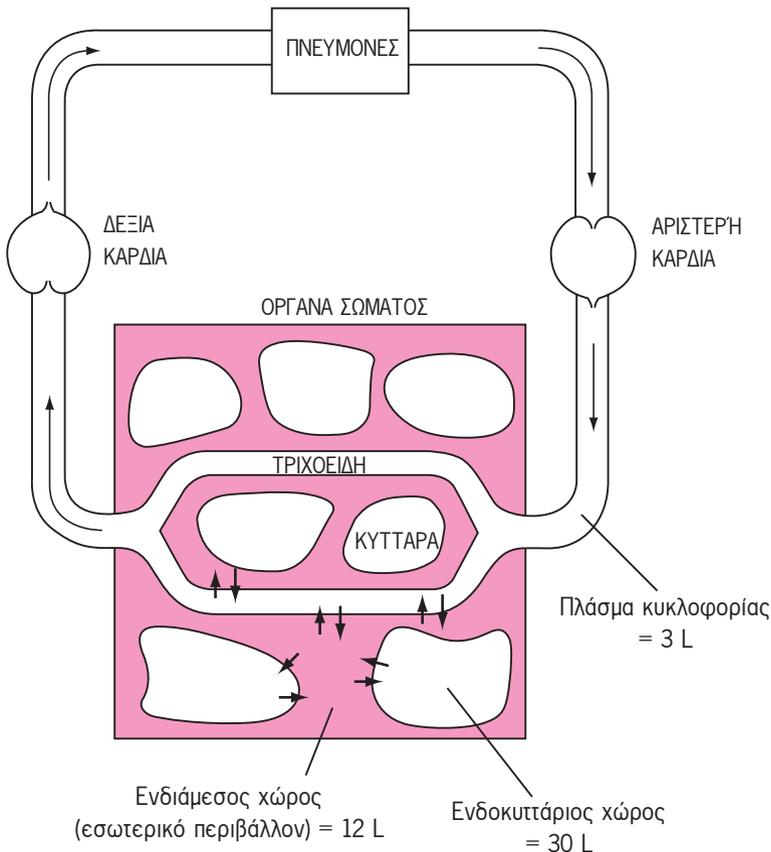
- ▶ Καταγράφονται οι κύριοι τύποι αγγείων και περιγράφονται οι μεταξύ τους μορφολογικές διαφορές
- ▶ Περιγράφονται βασικά ανατομικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες των διαφορετικών αγγειακών τύπων
- ▶ Προσδιορίζονται οι κύριοι μηχανισμοί του αγγειακού τόνου και η κατανομή της αιματικής ροής
- ▶ Περιγράφεται η βασική σύσταση του υγρού και κυτταρικού τμήματος του αίματος.

## ΟΜΟΙΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο Claude Bernard, Γάλλος φυσιολόγος του 19ου αιώνα (1813-1878), διαπίστωσε πρώτος ότι οι ανώτεροι οργανισμοί διαθέτουν έναν ενεργό μηχανισμό, ο οποίος εμποδίζει συνεχώς το εξωτερικό περιβάλλον να μεταβάλει εκείνες τις συνθήκες του οργανισμού που είναι απαραίτητες για τη ζωή του. Έτσι, κάποιοι σημαντικοί παράγοντες του εσωτερικού περιβάλλοντος όπως η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, το pH, η ιοντική σύσταση, η ωσμωτικότητα και άλλοι, ελέγχονται στενά. Η διαδικασία διατήρησης σταθερού του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι γνωστή με τον όρο ομοιόσταση. Για την επίτευξή της έχει αναπτυχθεί ένα πολύπλοκο δίκτυο μεταφοράς ουσιών, το "καρδιαγγειακό σύστημα".

Τα διαμερίσματα ύδατος, που συνολικά είναι γνωστά ως "ολικό ύδωρ σώματος", συνιστούν το 60% του συνολικού σωματικού βάρους. Το ύδωρ αυτό διανέμεται μεταξύ του εσωκυττάριου χώρου, του ενδιάμεσου χώρου και του πλάσματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 1-1. Σημειώνεται ότι περίπου τα 2/3 του σωματικού ύδατος βρίσκονται εντός των κυττάρων και επικοινωνούν με τον διάμεσο χώρο μέσω της κυτταρικής μεμβράνης. Από το ύδωρ που βρίσκεται εκτός των κυττάρων, μόνο μια μικρή ποσότητα, ο όγκος πλάσματος, κυκλοφορεί εντός του καρδιαγγειακού συστήματος. Το αίμα αποτελείται από πλάσμα και από ένα σχεδόν ίσο ποσό έμμορφων συστατικών (κυρίως ερυθρών αιμοσφαιρίων). Στα διάφορα όργανα, το πλάσμα επικοινωνεί με τον διάμεσο χώρο μέσω του τοιχώματος των μικρών τριχοειδών αγγείων.

Το υγρό στον διάμεσο χώρο συνιστά το άμεσο περιβάλλον (εσωτερικό περιβάλλον) των κυττάρων. Μέσω του διάμεσου υγρού τα κύτταρα προσλαμβάνουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και αποβάλλουν τα μεταβολικά τους προϊόντα.



**Εικόνα 1-1.** Τα κύρια διαμερίσματα ύδατος όπου απεικονίζονται οι μέσοι όγκοι για έναν άνθρωπο 70 Kg. Το ολικό ύδωρ σώματος είναι περίπου το 60% του βάρους σώματος.

Ωστόσο, το διάμεσο υγρό δεν αποτελεί ούτε αποθήκη θρεπτικών συστατικών, ούτε "αποδοχέα" μεταβολικών προϊόντων, αφού ο όγκος του είναι μικρότερος από το μισό των κυττάρων που εξυπηρετεί. Συνεπώς, η επιβίωση των κυττάρων εξαρτάται άμεσα από τους ομοιοστατικούς μηχανισμούς που ρυθμίζουν τη σύσταση του διαμέσου υγρού. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεχούς έκθεσης του διαμέσου υγρού στο πλάσμα της κυκλοφορίας που συνεχώς ανανεώνεται.

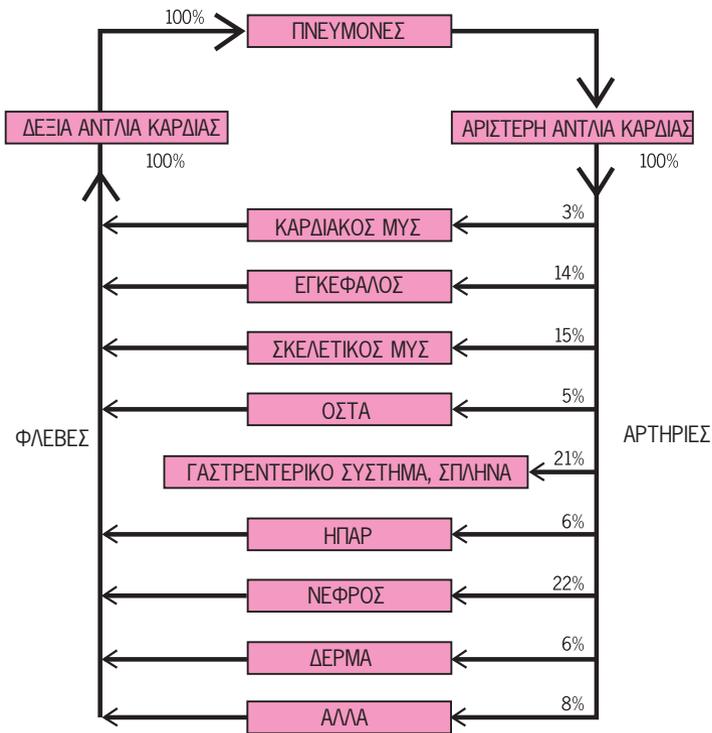


Καθώς το αίμα ρέει στα τριχοειδή αγγεία, διαλύτες μετακινούνται μεταξύ πλάσματος και διαμέσου χώρου με τη διαδικασία της διάχυσης. Μέσω της διάχυσης το διάμεσο υγρό προσπαθεί να αποκτήσει τη σύσταση του εισερχόμενου αίματος. Αν για παράδειγμα, η συγκέντρωση του καλίου στον διάμεσο χώρο ενός σκελετι-

κού μυός, ήταν μεγαλύτερη από αυτή του πλάσματος των τριχοειδών του, τότε το κάλιο θα διαχεόταν προς το αίμα κατά τη διέλευση του μέσω των τριχοειδών αγγείων του μυός. Καθώς το κάλιο απομακρύνεται από τον διάμεσο χώρο η συγκέντρωση του μειώνεται μέχρι να γίνει ίση με αυτή του πλάσματος.

Για να ρυθμιστεί η σύσταση του διαμέσου υγρού από την κυκλοφορία του αίματος, απαιτούνται δύο συνθήκες: (1) η ροή επαρκούς ποσότητας αίματος στα τριχοειδή αγγεία των ιστών και (2) ο έλεγχος της χημικής σύστασης του εισερχόμενου (αρτηριακού) αίματος, ώστε να είναι αυτή ακριβώς που χρειάζεται το διάμεσο υγρό. Η εικόνα 1-1 δείχνει πώς λειτουργεί το καρδιαγγειακό μεταφορικό σύστημα, προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω σκοποί. Όπως προαναφέρθηκε, στο εσωτερικό των οργάνων οι ουσίες μετακινούνται μεταξύ κυττάρων και πλάσματος των τριχοειδών αγγείων με τη διαδικασία της διάχυσης. Η μετακίνηση αυτή πραγματοποιείται εντός πολύ μικρών αποστάσεων, αφού κανένα κύτταρο του σώματος δεν βρίσκεται μακρύτερα από 10 μm από τα γειτονικά του τριχοειδή. Σ' αυτές τις μικροσκοπικές αποστάσεις, η διάχυση είναι μια πολύ ταχεία διαδικασία που μπορεί να μετακινήσει μεγάλα ποσά ύλης. Ωστόσο, η διάχυση δεν είναι ικανός μηχανισμός ώστε να μετακινεί ουσίες από τα τριχοειδή ενός οργάνου, όπως π.χ. οι πνεύμονες, στα τριχοειδή άλλων οργάνων που βρίσκονται σε απόσταση ενός ή και περισσότερων μέτρων. Συνεπώς, η μετακίνηση των ουσιών μεταξύ των οργάνων πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας της μετάδοσης ή μεταβίβασης (convection) όπου με τη ροή του αίματος οι ουσίες μετακινούνται είτε, επειδή είναι διαλυμένες στο αίμα είτε, επειδή αποτελούν οι ίδιες συστατικά του. Οι σχετικές αποστάσεις που συμμετέχουν στην μεταφορά του καρδιαγγειακού συστήματος δεν αντικατοπτρίζονται σωστά στην εικόνα 1-1. Στην περίπτωση όπου η εικόνα είχε πραγματοποιηθεί υπό κλίμακα μίας ίντσας, θα μπορούσαν να απεικονιστούν οι αποστάσεις μεταξύ τριχοειδών και κυττάρων στο γαστροκνήμιο μυ, οπότε τα τριχοειδή του πνεύμονα θα έπρεπε να τοποθετηθούν 15 περίπου μίλια μακρύτερα.

Στην εικόνα 1-2 απεικονίζεται συνολικά η λειτουργική διάταξη του καρδιαγγειακού συστήματος. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται περισσότερο η λειτουργική παρά η ανατομική του όψη και συνεπώς η καρδιά εμφανίζεται ως: δεξιά καρδιακή αντλία, αριστερή καρδιακή αντλία και ως μυοκαρδιακός ιστός. Για πρακτικούς λόγους από το καρδιαγγειακό σύστημα εξετάζεται (1) η πνευμονική κυκλοφορία, που απαρτίζεται από την δεξιά καρδιακή αντλία και τους πνεύμονες, και (2) η συστηματική κυκλοφορία, όπου η αριστερή καρδιακή αντλία προωθεί αίμα στα συστηματικά όργανα (και συγκεκριμένα σε όλες τις δομές του σώματος εκτός από το τμήμα ανταλλαγής αερίων στους πνεύμονες). Η πνευμονική και συστηματική κυκλοφορία είναι διατεταγμένες σε σειρά. Επομένως, η δεξιά και αριστερή καρδιά παρέχουν ίσο ποσό αίματος κάθε λεπτό. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται όγκος παλμού. Σε ηρεμία, ο φυσιολογικός όγκος παλμού είναι 5-6 L/min.



**Εικόνα 1-2.** Η καρδιαγγειακή κυκλοφορία όπου απεικονίζεται το ποσοστό διανομής της καρδιακής παροχής στα διάφορα όργανα του σώματος, σε ηρεμία.

Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1-2, στο καρδιαγγειακό σύστημα τα συστηματικά όργανα είναι λειτουργικά διατεταγμένα παράλληλα, γεγονός που έχει δύο σημαντικές συνέπειες. Πρώτον, όλα σχεδόν τα συστηματικά όργανα δέχονται αίμα όμοιας συστάσεως δηλαδή, το αίμα που προέρχεται από τους πνεύμονες και ονομάζεται *αρτηριακό αίμα*. Δεύτερον, η αιματική ροή σε κάθε όργανο ρυθμίζεται ανεξάρτητα από την ροή στα υπόλοιπα. Έτσι για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια σωματικής άσκησης η απόκριση του καρδιαγγειακού συστήματος περιλαμβάνει αύξηση της ροής αίματος σε μερικά όργανα, μείωση της σε κάποια άλλα, και σταθεροποίησή της στα υπόλοιπα.

Πολλά όργανα του ανθρωπίνου σώματος συμβάλλουν ουσιαστικά στη συνεχή ανανέωση του αίματος που κυκλοφορεί στο καρδιαγγειακό σύστημα. Πρωτεύοντα ρόλο παίζουν οι πνεύμονες, καθώς επικοινωνούν με το εξωτερικό περιβάλλον. Όπως απεικονίζεται στη διάταξη της εικόνας 1-2, το αίμα που διέρχεται από τα

συστηματικά όργανα επιστρέφει στην δεξιά καρδιά και κατόπιν προωθείται στους πνεύμονες, όπου πραγματοποιείται η ανταλλαγή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, η σύσταση των αερίων αίματος μεταβάλλεται κάθε φορά που το αίμα απομακρύνεται από τα συστηματικά όργανα.

Εκτός από τους πνεύμονες, υπάρχουν αρκετά ακόμα συστηματικά όργανα που συντελούν στην ανανέωση της σύστασης του αίματος αν και η αιματική ροή παρεμποδίζει τη λειτουργία αυτή κάθε φορά που το αίμα ολοκληρώνει ένα κύκλο. Για παράδειγμα, οι νεφροί προσαρμόζουν διαρκώς την ηλεκτρολυτική σύσταση του αίματος που διέρχεται από αυτούς. Επειδή το ανανεωμένο από τους νεφρούς αίμα αναμιγνύεται ελεύθερα με το αίμα της κυκλοφορίας και επειδή, τόσο οι ηλεκτρολύτες όσο και το νερό διέρχονται ελεύθερα μέσω του τοιχώματος των τριχοειδών, οι νεφροί ρυθμίζουν την ισορροπία των ηλεκτρολυτών σε όλο το εσωτερικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να διέρχεται συχνά από τους νεφρούς μια συγκεκριμένη ποσότητα αίματος. Στην πραγματικότητα, οι νεφροί υπό φυσιολογικές συνθήκες (σε ηρεμία) δέχονται περίπου το ένα πέμπτο της καρδιακής παροχής, ποσότητα που ξεπερνά κατά πολύ το ποσό της ροής που απαιτείται για να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες του νεφρικού ιστού. Η κατάσταση αυτή απαντά σε όργανα των οποίων η λειτουργία εξαρτάται από την τοπική αιματική ροή (blood conditioning function).

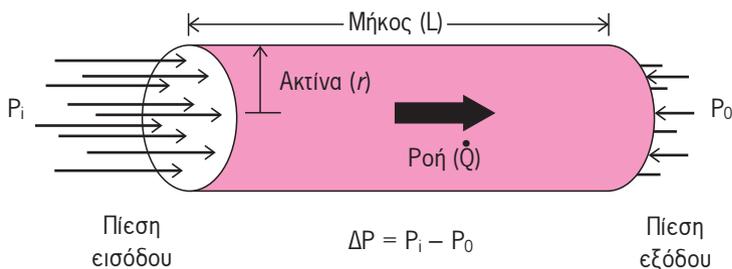
Τα όργανα που συμβάλλουν στην ανανέωση του αίματος ανθίστανται, τουλάχιστον προσωρινά, στις επικίνδυνες για τη ζωή μειώσεις της αιματικής ροής. Το δέρμα για παράδειγμα όταν χρειάζεται να διατηρήσει τη θερμοκρασία του σώματος, είναι ικανό να αντέξει εύκολα σημαντικού βαθμού μείωση της αιματικής ροής. Στην ίδια κατηγορία υπάγονται τα περισσότερα ενδοκοιλιακά όργανα. Εξαιτίας της λειτουργίας της τοπικής ροής του αίματος, η φυσιολογική αιματική ροή των οργάνων αυτών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για τη διατήρηση των μεταβολικών τους αναγκών.

Ο εγκέφαλος, η καρδιά και οι σκελετικοί μύες αποτελούν όργανα στα οποία η αιματική ροή είναι όση απαιτούν οι μεταβολικές τους ανάγκες και συνεπώς δεν ανανεώνουν το αίμα για όφελος άλλων οργάνων. Η αιματική ροή στην καρδιά και τον εγκέφαλο είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτεί ο μεταβολισμός τους, ενώ δεν μπορούν εύκολα να ανεχτούν τη διακοπή της. Εντός ολίγων λεπτών από την διακοπή της εγκεφαλικής ροής επέρχεται απώλεια των αισθήσεων, ενώ μόνιμη βλάβη πραγματοποιείται σε λιγότερο από τέσσερα λεπτά. Κατ' αντιστοιχία το μυοκάρδιο καταναλώνει συνήθως το 75% περίπου του οξυγόνου που δέχεται, ενώ η εξωθητική του ικανότητα περιορίζεται άμεσα μετά τη διακοπή της στεφανιαίας κυκλοφορίας. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η επίτευξη ικανοποιητικής παροχής αίματος στον εγκέφαλο και την καρδιά αποτελεί πρωταρχική λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος.

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΙΜΑΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Όπως τονίστηκε προηγουμένως, η διατήρηση της εσωτερικής ομοιότητας απαιτεί συνεχή ροή επαρκούς ποσότητας αίματος, μέσω των εκατομμυρίων τριχοειδικών αγγείων του σώματος. Στην κατάσταση ηρεμίας αυτό αντιστοιχεί σε καρδιακή παροχή 5 L/min. Φυσιολογικά, ο ρυθμός μεταβολισμού και, κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις των διαφόρων οργάνων και σημείων του σώματος σε αιματική ροή μεταβάλλονται διαρκώς. Επομένως το καρδιαγγειακό σύστημα πρέπει να προσαρμόζει συνεχώς την καρδιακή παροχή αίματος και ως προς την ποσότητα και ως προς τον τρόπο διανομής της στα διάφορα μέρη του σώματος. Στο σημείο αυτό καθίσταται απαραίτητη η κατανόηση της σχέσης μεταξύ των παραμέτρων της φυσικής, που καθορίζουν το ρυθμό ροής ενός υγρού σε έναν αγωγό, προκειμένου να γίνει αντιληπτή η λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος.

Ο σωλήνας, που απεικονίζεται στην εικόνα 1-3, θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει ένα τμήμα οποιοδήποτε αγγείου του σώματος. Κάθε αγγείο έχει ένα συγκεκριμένο μήκος (L) και μια συγκεκριμένη εσωτερική ακτίνα (r), μέσω των οποίων πραγματοποιείται η ροή του αίματος. Η ροή υγρού σε έναν σωλήνα είναι δυνατή μόνο εφόσον υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου ( $P_i$  και  $P_o$ ) δηλαδή, εφόσον υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο άκρων του σωλήνα. Η διαφορά αυτή αποτελεί τη δύναμη που προωθεί το υγρό. Επειδή όμως αναπτύσσεται τριβή μεταξύ του κινούμενου υγρού και του τοιχώματος του σωλήνα, τα αγγεία παρεμποδίζουν την κίνηση των υγρών. Η *αγγειακή αντίσταση* αποτελεί το μέτρο της δυσκολίας που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί η ροή του υγρού μέσα σε ένα σωλήνα και εκφράζει τη διαφορά πίεσης που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη ροή. Η βασική εξίσωση ροής που περιγράφει τη συνολική σχέση μεταξύ ροής, διαφοράς πίεσης και αντίστασης είναι:



**Εικόνα 1-3.** Παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή μέσω ενός σωλήνα.

$$\text{Ροή} = \frac{\text{Διαφορά Πίεσης}}{\text{Αντίσταση}}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta P}{R}$$

Όπου,  $\dot{Q}$  = ρυθμός ροής (όγκος/χρόνο)

$\Delta P$  = διαφορά πίεσης (mmHg<sup>1</sup>)

$R$  = αντίσταση στη ροή (mmHg x χρόνος/όγκο)

Η βασική εξίσωση ροής δεν ισχύει μόνο για απλούς σωλήνες αλλά και για πολύπλοκα δίκτυα σωλήνων, όπως το αγγειακό δίκτυο ενός οργάνου ή ολόκληρης της συστηματικής κυκλοφορίας. Η αιματική ροή στον εγκέφαλο, για παράδειγμα, καθορίζεται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ εγκεφαλικών αρτηριών και φλεβών διαιρούμενη με τη συνολική αντίσταση ροής μέσα από τα αγγεία του εγκεφαλικού δικτύου. Γίνεται σαφές, μέσω της βασικής εξίσωσης ροής, πώς για να μεταβληθεί η ροή του αίματος μέσα από ένα όργανο υπάρχουν δύο τρόποι είτε (1) να μεταβληθεί η διαφορά πίεσης κατά μήκος του αγγείου είτε (2) να μεταβληθεί η αγγειακή αντίσταση. Συνήθως, η αλλαγή στη ροή ενός οργάνου οφείλεται στη μεταβολή της αγγειακής του αντίστασης.

Οι έρευνες ενός Γάλλου φυσικού του Jean Leonard Marie Poiseuille (1799-1869), ο οποίος πραγματοποίησε πειράματα για τη ροή υγρών σε μικρούς γυάλινους τριχοειδείς σωλήνες, απέδειξαν πως η αντίσταση στη ροή μέσα από έναν κυλινδρικό σωλήνα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι η ακτίνα και το μήκος του σωλήνα, καθώς και το ιξώδες του υγρού που διέρχεται μέσα από αυτόν. Οι προαναφερθέντες παράγοντες επηρεάζουν την αντίσταση στη ροή ως εξής:

$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$$

Όπου,  $r$  = η εσωτερική ακτίνα του σωλήνα

$L$  = το μήκος του σωλήνα

$\eta$  = το ιξώδες του υγρού

<sup>1</sup>Αν και η πίεση εκφράζεται σωστότερα σε μονάδες δύναμης ανά μονάδες επιφανείας, στο καρδιαγγειακό σύστημα συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστά υδραργύρου. Για παράδειγμα, η μέση αρτηριακή πίεση λέγεται ότι πρέπει να είναι 100 mmHg, γιατί είναι ακριβώς ίση με την πίεση που ασκείται στον πυθμένα ενός σωλήνα υδραργύρου, ύψους 100 mm. Όλες οι καρδιαγγειακές πιέσεις εκφράζονται σχετικά με την ατμοσφαιρική πίεση η οποία είναι περίπου 760 mmHg.

Σημειώνεται ότι σ' αυτή την εξίσωση η εσωτερική ακτίνα υψώνεται στην τέταρτη δύναμη. Συνεπώς, ακόμα και μικρές αλλαγές στην εσωτερική ακτίνα επηρεάζουν σημαντικά την αντίσταση στη ροή. Για παράδειγμα, αν μειώσουμε την εσωτερική ακτίνα του σωλήνα στο μισό, η αντίσταση ροής θα αυξηθεί 16-φορές.

Οι προηγούμενες εξισώσεις συνδυάζονται σε μία, την εξίσωση του Poiseuille, η οποία εμπεριέχει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή μέσα από ένα κυλινδρικό αγγείο.<sup>2</sup>

$$\dot{Q} = \Delta P \frac{\pi r^4}{8L\eta}$$

Υπενθυμίζουμε ότι ροή πραγματοποιείται μόνο εφόσον υπάρχει διαφορά πίεσης. Επομένως είναι λογικό να θεωρήσουμε την αρτηριακή πίεση ως έναν ιδιαίτερα σημαντικό και καλά ρυθμιζόμενο καρδιαγγειακό παράγοντα. Παράλληλα, η ακτίνα του σωλήνα επηρεάζει σημαντικά τη ροή, όποια κι αν είναι η διαφορά πίεσης. Έτσι γίνεται σαφές ότι η ροή του αίματος στα όργανα ρυθμίζεται κυρίως από τις μεταβολές της ακτίνας των αγγείων. Εντούτοις, παρά το γεγονός ότι το μήκος των αγγείων και το ιξώδες του αίματος αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν την αγγειακή αντίσταση, ωστόσο δε συνιστούν μεταβλητές που μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν για να επηρεάσουν στιγμιαία τη ρύθμιση της αιματικής ροής.

Έχοντας υπόψη το καρδιαγγειακό σύστημα στο σύνολο του όπως απεικονίζεται από τις εικόνες 1-1 και 1-2, συμπεραίνουμε ότι το αίμα ρέει στα αγγεία των οργάνων μόνο εφόσον υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ, των αρτηριών που προμηθεύουν αίμα και των φλεβών που το αποχετεύουν. Η κύρια δράση της καρδιάς ως αντλία είναι η διατήρηση υψηλότερης πίεσης στις αρτηρίες από ότι στις φλέβες. Φυσιολογικά, η μέση πίεση στις αρτηρίες είναι περίπου 100 mmHg ενώ η μέση πίεση στις φλέβες 0 mmHg.

Η καρδιακή παροχή κατανέμεται στα όργανα αποκλειστικά βάσει της ξεχωριστής τους αντίστασης ροής. Επειδή το αίμα τείνει να ρέει κατά μήκος των αγγείων με τη μικρότερη αντίσταση, οι περιοχές με χαμηλότερη αντίσταση δέχονται σχετικά περισσότερο αίμα.

<sup>2</sup>Η εξίσωση του Poiseuille, εφαρμόζεται κατάλληλα μόνο για ομοιογενή υγρά που ρέουν μέσω ενός στέρεου, μη κωνοειδούς σωλήνα με ένα ορισμένο τρόπο που ονομάζεται γραμμική ροή. Αν και οι συνθήκες αυτές δεν απαντούν με αυστηρότητα στα αγγεία του σώματος, η προσέγγιση είναι αρκετά κοντά ώστε να επιτρέψει να εξαχθούν συμπεράσματα από την εξίσωση του Poiseuille.

## Η ΚΑΡΔΙΑ

### Η Καρδιά ως Αντλία

Η καρδιά, συγκρατείται μέσω των συνδέσεών της με τα μεγάλα αγγεία, και εντοπίζεται στο κέντρο της θωρακικής κοιλότητας, εντός ενός λεπτού ινώδους σάκου που ονομάζεται *περικάρδιο*. Μια μικρή ποσότητα υγρού εντός του σάκου λιπαίνει την επιφάνεια της καρδιάς επιτρέποντας έτσι την ελεύθερη κίνησή της κατά τη συστολή και χάλαση. Η ροή αίματος μέσα από τα όργανα είναι παθητική και πραγματοποιείται λόγω της δράσης της καρδιάς "ως αντλίας", γεγονός που αυξάνει την αρτηριακή πίεση έναντι της φλεβικής. Η δεξιά καρδιά ως αντλία εξασφαλίζει την ενέργεια που απαιτείται για την προώθηση του αίματος μέσα από τα πνευμονικά αγγεία, ενώ η αριστερή καρδιά, εξασφαλίζει την απαιτούμενη ενέργεια για την προώθηση του αίματος μέσα από τα συστηματικά όργανα.

Το ποσό του αίματος που εξωθείται από κάθε κοιλία ανά λεπτό (*καρδιακή παροχή*, CO) εξαρτάται από τον όγκο του αίματος που εξωθείται με κάθε συστολή (*όγκος παλμού*, SV) και από τον αριθμό των συστολών ανά λεπτό (*καρδιακή συχνότητα*, HR), ως εξής:

$$CO = SV \times HR$$

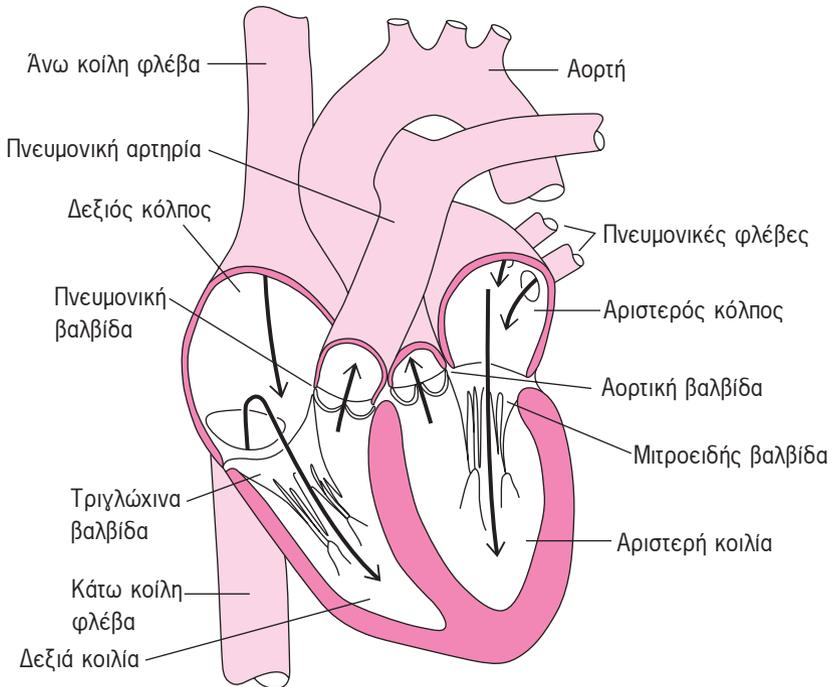
$$\text{Όγκο/λεπτό} = \text{όγκο/παλμό} \times \text{παλμοί/λεπτό}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι οι παράγοντες που επιδρούν στην καρδιακή παροχή δρουν μεταβάλλοντας είτε τον καρδιακό ρυθμό είτε, τον όγκο παλμού. Οι επιδράσεις αυτές θα συζητηθούν λεπτομερώς σε ακόλουθα κεφάλαια.

Στην εικόνα 1-4 απεικονίζεται η ροή αίματος μέσα από τις κοιλότητες της καρδιάς. Το φλεβικό αίμα μέσω της άνω και κάτω κοίλης φλέβας επιστρέφει στον δεξιό κόλπο από την συστηματική κυκλοφορία. Διαμέσου της τριγώνιας βαλβίδας περνά στη δεξιά κοιλία και στη συνέχεια μέσω της πνευμονικής βαλβίδας προωθείται στην πνευμονική κυκλοφορία. Το οξυγονωμένο πνευμονικό φλεβικό αίμα ρέει από τις πνευμονικές φλέβες στον αριστερό κόλπο από όπου περνά στην αριστερή κοιλία μέσω της μιτροειδικής βαλβίδας. Έπειτα μέσω της αορτικής βαλβίδας εξωθείται στην αορτή για να κατανεμηθεί στα συστηματικά όργανα.

Αν και η δεξιά καρδιά διαφέρει ανατομικά από την αριστερή μόνο μερικώς, οι αρχές λειτουργίας τους ως αντλίες είναι ταυτόσημες. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1-5, κάθε αντλία αποτελείται από μία κοιλία που συνιστά μια κλειστή κοιλότητα που περιβάλλεται από μυϊκό τοίχωμα. Οι βαλβίδες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να επιτρέπουν τη ροή αίματος προς μία μόνο κατεύθυνση, ανοίγοντας και κλείνοντας παθητικά διαδικασία που προκύπτει ως απόκριση στη διαφορά πίεσης. Οι κοιλίες δρουν ως αντλίες μέσω της περιοδικής μεταβολής του ενδοκοιλοτικού όγκου κατά τη ρυθμική και συγχρονισμένη συστολή και

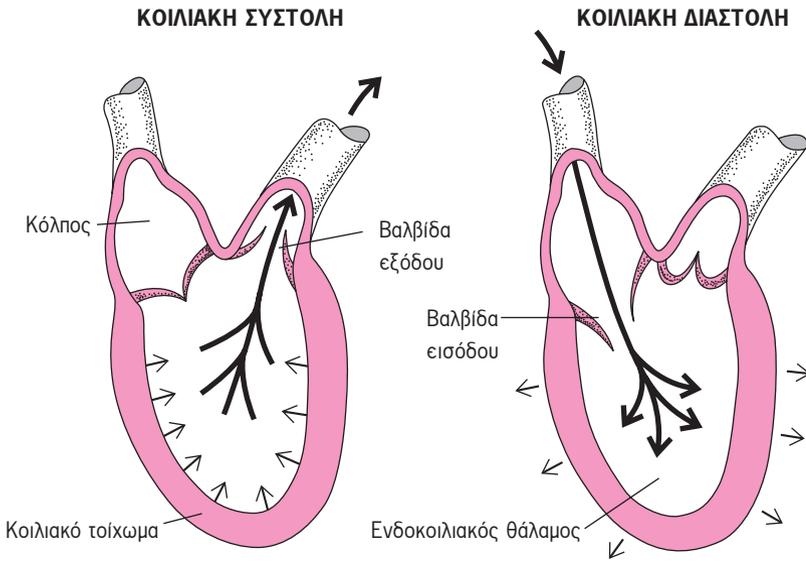




**Εικόνα 1-4.** Οι δρόμοι της αιματικής ροής μέσω της καρδιάς.

χάλαση, των μυοκαρδιακών κυττάρων τα οποία βρίσκονται κυκλοτερώς διατεταγμένα εντός του κοιλιακού τοιχώματος.

Όταν τα μυοκαρδιακά κοιλιακά κύτταρα συσπώνται, γεννάται μια κυκλοτερής τάση στο κοιλιακό τοίχωμα που οδηγεί σε αύξηση της πίεσης εντός της κοιλότητας. Μόλις η πίεση στις κοιλίες ξεπεράσει την πίεση της πνευμονικής αρτηρίας (δεξιά αντλία) ή της αορτής (αριστερή αντλία), το αίμα ωθείται εκτός των κοιλότητων, μέσω των βαλβίδων εξόδου, όπως φαίνεται στην εικόνα 1-5. Η φάση αυτή του καρδιακού κύκλου κατά την οποία συσπώνται τα μυοκαρδιακά κοιλιακά κύτταρα ονομάζεται συστολή. Επειδή κατά τη συστολή η πίεση στις κοιλίες είναι υψηλότερη από την πίεση στους κόλπους, οι βαλβίδες εισόδου (ή κολποκοιλιακές) παραμένουν κλειστές. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1-5, όταν τα μυοκαρδιακά κοιλιακά κύτταρα βρίσκονται σε χάλαση, η πίεση στις κοιλίες είναι χαμηλότερη από ότι στους κόλπους με αποτέλεσμα οι κοιλίες να πληρούνται ξανά με αίμα. Η φάση



**Εικόνα 1-5.** Η δράση της κοιλίας ως αντλία.

αυτή του καρδιακού κύκλου ονομάζεται διαστολή. Κατά τη φάση αυτή οι βαλβίδες εξόδου παραμένουν κλειστές καθότι η πίεση στους κόλπους είναι μεγαλύτερη από την ενδοκοιλιακή. Μετά την περίοδο της διαστολής, ακολουθεί η συστολική φάση ενός νέου καρδιακού κύκλου.

### Διέγερση

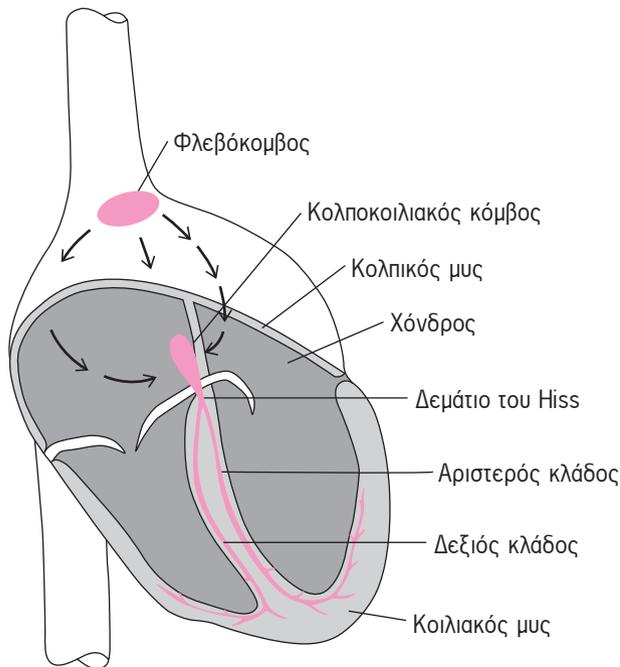
Η αποτελεσματική δράση της καρδιάς ως αντλία απαιτεί τον ακριβή συντονισμό στη συστολή των εκατομμύριων μυοκαρδιακών κυττάρων. Η σύσπαση των κυττάρων αυτών πυροδοτείται όταν μια διεγερτική ηλεκτρική ώση (που ονομάζεται δυναμικό ενεργείας) "τρέχει" κατά μήκος της κυτταρικής τους μεμβράνης. Ο κατάλληλος συγχρονισμός της συσταλτικής δράσης των μυοκαρδιακών κυττάρων απαιτεί πρωτίστως τη μετάδοση του δυναμικού ενεργείας από το ένα κύτταρο στο γειτονικό του μέσω των χασματικών συνδέσεων, οι οποίες συνδέουν τα κύτταρα της καρδιάς σε ένα λειτουργικό συγκέτιο (σε μία συγχρονισμένη μονάδα). Επιπροσθέτως, τα μυοκαρδιακά κύτταρα σε ορισμένες περιοχές της καρδιάς είναι ειδικά προσαρμοσμένα έτσι ώστε να ρυθμίζουν τη συχνότητα διέγερσης, το δρόμο αγωγής και το ρυθμό μετάδοσης των ώσεων μέσα από τις διάφορες περιοχές του μυοκαρδίου. Τα κύρια συστατικά αυτού του ειδικού συστήματος διεγερσι-

μότητας και αγωγιμότητας φαίνονται στην εικόνα 1-6 και περιλαμβάνουν τον φλεβόκομβο ή φλεβοκολπικό κόμβο (SA node), τον κολποκοιλιακό κόμβο (AV node) τα δεμάτια του His και τις δεξιές και αριστερές μυοκαρδιακές ίνες αγωγής ή Παρκίνειες ίνες (ίνες Purkinje).

Ο φλεβόκομβος (SA node) αποτελείται από ειδικά κύτταρα που φυσιολογικά λειτουργούν ως ο βηματοδότης της καρδιάς παράγοντας το δυναμικό ενεργείας, ο οποίο στη συνέχεια άγεται σε όλη την καρδιά. Ο κολποκοιλιακός κόμβος (AV node) αποτελείται από κύτταρα που άγουν σχετικά αργά το δυναμικό ενεργείας προκαλώντας καθυστέρηση μεταξύ της κολπικής και της κοιλιακής σύσπασης. Οι ίνες Purkinje είναι εξειδικευμένες για γρήγορη αγωγή των ώσεων, εξασφαλίζοντας ότι όλα τα κοιλιακά κύτταρα θα συσταθούν σχεδόν ταυτόχρονα.

### Προϋποθέσεις Αποτελεσματικής Λειτουργίας

Για να είναι επαρκής και αποτελεσματική η κοιλιακή λειτουργία ως αντλία, η καρδιά πρέπει να λειτουργεί κατάλληλα σε πέντε βασικά σημεία:



**Εικόνα 1-6.** Το ηλεκτρικό σύστημα αγωγιμότητας της καρδιάς.

1. Να είναι συγχρονισμένη (όχι *άρρυθμη*) και να επαναλαμβάνεται σε τακτά διαστήματα η σύσπαση των μυοκαρδιακών κυττάρων.
2. Να είναι πλήρης η διάνοιξη των βαλβίδων (*μη στενωτικές* βαλβίδες).
3. Να μην υφίσταται διαρροή οι βαλβίδες (*μη ανεπαρκείς* βαλβίδες, ή όχι ανάστροφη ροή).
4. Να είναι αποδοτική (όχι *ανεπαρκής*) η μυϊκή σύσπαση.
5. Να γεμίζουν οι κοιλίες επαρκώς κατά τη διαστολή.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, θα μελετήσουμε λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο οι παραπάνω προϋποθέσεις επιτυγχάνονται στη φυσιολογική καρδιά.

## Έλεγχος της Καρδίας & της Καρδιακής Παροχής

### ΔΪΑΣΤΟΛΙΚΗ ΠΛΗΡΩΣΗ

Η διαστολική πλήρωση αποτελεί μια από τις κυριότερες αιτίες μεταβολής του όγκου παλμού. Το γεγονός αυτό, αρχικά περιγράφηκε από τον William Howell (1884), έπειτα από τον Otto Frank (1894), ενώ πρόσφατα επαναδιατυπώθηκε από τον E.H Starling (1918). Οι παραπάνω ερευνητές απέδειξαν ότι, όσο περισσότερο πληρούται η καρδιά κατά τη διαστολή τόσο πιο ισχυρά συσπάται κατά τη συστολή.



Ως συνέπεια, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1-7 εξίσου με άλλους παράγοντες ο *όγκος παλμού αυξάνει όσο αυξάνει η πλήρωση της καρδιάς*. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως *ο νόμος της καρδιάς του Starling*. Ο μηχανισμός που ευθύνεται για το φαινόμενο αυτό θα περιγραφεί λεπτομερώς σε επόμενα κεφάλαια.



**Εικόνα 1-7.** Ο νόμος της καρδιάς του Starling.

## Επίδραση Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος



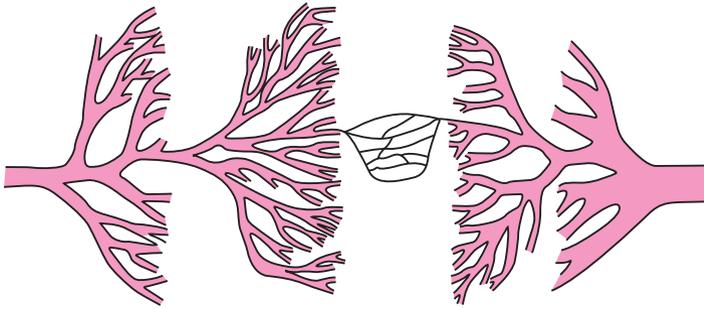
Αν και η καρδιά χαρακτηρίζεται από την εγγενή ιδιότητα να πάλλεται από μόνη της, η καρδιακή λειτουργία μπορεί να επηρεαστεί από τις νευρικές ώσεις τόσο της συμπαθητικής όσο και της παρασυμπαθητικής μοίρας του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Οι ώσεις αυτές τροποποιούν την καρδιακή λειτουργία ως αντλία έτσι ώστε να καλύπτει τις διαρκώς μεταβαλλόμενες ομοιοστατικές ανάγκες του οργανισμού. Σε όλο το μυοκάρδιο υπάρχει πλούσια νεύρωση από *αδρενεργικές συμπαθητικές ίνες* κατά την ενεργοποίησή τους απελευθερώνουν στα καρδιακά κύτταρα νορεπινεφρίνη (νοραδρεναλίνη). Η νορεπινεφρίνη αλληλεπιδρά με τους β-αδρενεργικούς υποδοχείς των μυοκαρδιακών κυττάρων αυξάνοντας τον καρδιακό ρυθμό, την ταχύτητα αγωγής του δυναμικού ενεργείας και τη δύναμη της συστολής. Γενικά, η συμπαθητική ενεργοποίηση αυξάνει τη δράση της καρδιάς ως αντλία.

Οι *χολινεργικές παρασυμπαθητικές νευρικές ίνες* φτάνουν στην καρδιά μέσω του πνευμονογαστρικού νεύρου, νευρώνοντας τον φλεβόκομβο, τον κολποκοιλιακό κόμβο και τα κολπικά κύτταρα. Όταν οι παρασυμπαθητικές νευρικές ίνες ενεργοποιούνται απελευθερώνουν *ακετυλοχολίνη* στα καρδιακά κύτταρα η οποία μέσω *μουςκαρινικών* υποδοχέων μειώνει τον καρδιακό ρυθμό και την ταχύτητα αγωγής του δυναμικού ενεργείας. Οι παρασυμπαθητικές νευρικές ίνες μειώνουν επίσης τη δύναμη συστολής των κολπικών (και όχι κοιλιακών) μυϊκών κυττάρων. Γενικά, η παρασυμπαθητική ενεργοποίηση μειώνει τη δράση της καρδιάς ως αντλίας. Συνήθως, η αύξηση της δραστηριότητας του παρασυμπαθητικού συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση της δραστηριότητας του συμπαθητικού, και αντίστροφα.

## ΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το αίμα που εξωθείται στην αορτή από την αριστερή καρδιά, περνά διαδοχικά μέσω από διαφορετικούς τύπους αγγείων προτού τελικά επιστρέψει στην δεξιά καρδιά. Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα της εικόνας 1-8, οι κύριοι τύποι αγγείων είναι οι *αρτηρίες*, τα *αρτηρίδια*, τα *τριχοειδή*, τα *φλεβίδια* και οι *φλέβες*. Τα διαδοχικά αυτά αγγειακά τμήματα διαφέρουν μεταξύ τους σε φυσικές διαστάσεις, μορφολογικά χαρακτηριστικά και λειτουργία. Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των αγγείων είναι ότι περιβάλλονται από μία απλή στιβάδα ενδοθηλιακών κυττάρων. Στην πραγματικότητα, αυτό απαντά σ' όλο το καρδιαγγειακό σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των κοιλοτήτων της καρδιάς, ακόμα και των γλωχίνων των βαλβίδων.

Στην εικόνα 1-8, διακρίνονται επίσης μερικά αντιπροσωπευτικά φυσικά χαρακτηριστικά για κάθε κύριο τύπο αγγείου. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι το αγγειακό δίκτυο αποτελεί μία συνέχεια κατά την οποία η μετάβαση από τον έναν τύπο αγγείου στον επόμενο συμβαίνει σταδιακά. Η συνολική επιφάνεια δια-



|                          | ΑΡΤΗΡΙΕΣ  | ΑΡΤΗΡΙΔΙΑ   | ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ   | ΦΛΕΒΙΔΙΑ  | ΦΛΕΒΕΣ  |                    |                    |
|--------------------------|---|---|---|---|---|--------------------|--------------------|
|                          |  |  |  |  |  |                    |                    |
|                          | <b>ΑΟΡΤΗ</b>  |   |   |   |   | Κοίλη φλέβα        |                    |
| εσωτερική διάμετρος      | 2,5 cm  | 0,4 cm  | 30 $\mu\text{m}$  | 5 $\mu\text{m}$   | 70 $\mu\text{m}$  | 0,5 cm             | 3 cm               |
| πάχος τοιχώματος         | 2 mm  | 1 mm  | 20 $\mu\text{m}$  | 1 $\mu\text{m}$   | 7 $\mu\text{m}$   | 0,5 mm             | 1,5 mm             |
| αριθμός                  | 1   | 160   | $5 \times 10^7$   | $10^{10}$   | $10^8$  | 200                | 2                  |
| Ολική επιφάνεια διατομής | 4,5 cm  | 20 cm <sup>2</sup>  | 400 cm <sup>2</sup>   | 4500 cm <sup>2</sup>  | 4000 cm <sup>2</sup>  | 40 cm <sup>2</sup> | 18 cm <sup>2</sup> |

**Εικόνα 1-8.** Δομικά χαρακτηριστικά του περιφερικού αγγειακού συστήματος.

τομής μέσω της οποίας το αίμα ρέει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο του αγγειακού συστήματος, ισούται με το σύνολο των τμημάτων διατομής όλων των αγγείων που είναι τοποθετημένα παράλληλα προς αυτό το επίπεδο. Ο αριθμός και οι τιμές του συνόλου των περιοχών διατομής που φαίνονται στην εικόνα 1-8 αφορούν το σύνολο του κυκλοφορικού συστήματος.

Οι αρτηρίες είναι αγγεία με πεπαχυσμένο τοίχωμα οι οποίες περιέχουν εκτός από λείες μυϊκές ίνες και ελαστικές ίνες σε μεγάλο ποσοστό, καθώς και ίνες κολλαγόνου. Κυρίως εξαιτίας των ινών ελαστικής, που τεντώνουν το μήκος τους στο διπλάσιο, οι αρτηρίες μπορούν να διασταλούν με τρόπο ώστε να δεχτούν και να αποθηκεύσουν, προσωρινά, μέρος του αίματος που προωθείται από την καρδιά, κατά τη διάρκεια της συστολής. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της διαστο-

λής, οι αρτηρίες προωθούν περιφερικότερα το ποσό αυτό του αίματος στα διάφορα όργανα, μέσω παθητικής επαναφοράς. Η αορτή, έχοντας εσωτερική διάμετρο περίπου 25 mm, αποτελεί το μεγαλύτερο αγγείο του ανθρώπινου σώματος. Σε κάθε διακλάδωση η διάμετρος των αγγείων μειώνεται διαδοχικά, ώστε τα μικρότερα αγγεία να έχουν διάμετρο περίπου 0.1 mm. Το μοντέλο της διαδοχικής διακλάδωσης οδηγεί σε μια εκθετική αύξηση του αριθμού των αρτηριών. Συνεπώς, ενώ τα αγγεία προοδευτικά γίνονται μικρότερα, η συνολική επιφάνεια διατομής τους, που είναι διαθέσιμη για τη ροή του αίματος εντός του αρτηριακού συστήματος, είναι πολλαπλάσια μεγαλύτερη σε σχέση με την επιφάνεια διατομής της αορτής. Οι αρτηρίες αναφέρονται συχνά ως αγγεία-διάυλοι (conduit), επειδή έχουν μια σχετικά μικρή και αμετάβλητη αντίσταση στη ροή.

Τα αρτηρίδια είναι μικρότερα και δομικά διαφορετικά από τις αρτηρίες. Αναλογικά με το μέγεθος του αυλού τους, τα αρτηρίδια, έχουν παχύτερο τοίχωμα με περισσότερες λείες μυϊκές ίνες και λιγότερες ελαστικές ίνες, σε σχέση με τις αρτηρίες. Επειδή τα αρτηρίδια είναι πλούσια σε μυϊκές ίνες η διάμετρος τους μπορεί να αλλάξει ενεργά ώστε να ρυθμιστεί η ροή αίματος μέσω των περιφερικών οργάνων. Παρά το μικρό τους μέγεθος τα αρτηρίδια είναι τόσο πολλά που σε παράλληλη τοποθέτηση η συνολική επιφάνεια διατομής τους να είναι κατά πο-



λύ μεγαλύτερη από αυτή των αρτηριών σε οποιοδήποτε επίπεδο. Τα αρτηρίδια συχνά αναφέρονται και ως αγγεία *αντίστασης*, αφού η υψηλή και μεταβλητή τους αντίσταση μπορεί να ρυθμίσει τη περιφερική ροή αίματος στα διάφορα όργανα.

Τα τριχοειδή είναι τα μικρότερα αγγεία του αγγειακού συστήματος. Στην πραγματικότητα τα ερυθρά αιμοσφαίρια που έχουν διάμετρο 7  $\mu\text{m}$  πρέπει να παραμορφωθούν για να διέλθουν μέσω αυτών. Το τοίχωμα των τριχοειδών απαρτιζόμενο από μια απλή στοιβάδα ενδοθηλιακών κυττάρων διαχωρίζει το αίμα από το διάμεσο υγρό με περίπου 1  $\mu\text{m}$ . Τα τριχοειδή δεν έχουν λείες μυϊκές ίνες και κατά συνέπεια δεν έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν ενεργά τη διάμετρό τους. Είναι πολυάριθμα ώστε η συνολική επιφάνεια διατομής τους στην συστηματική κυκλοφορία να είναι μεγαλύτερη από 1000 φορές σε σχέση με τη ρίζα της αορτής. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι τα τριχοειδή αγγεία έχουν μήκος 0.5 mm, η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια για ανταλλαγή ουσιών μεταξύ αίματος και ενδιάμεσου υγρού ξεπερνά τα 100m<sup>2</sup>. Για προφανείς λόγους τα τριχοειδή αναφέρονται ως αγγεία ανταλλαγής του καρδιαγγειακού συστήματος. Εκτός από τη διατριχοειδική διάχυση των διαλυτών, μερικές φορές απαντά καθαρή μετακίνηση υγρού (όγκου) εντός ή εκτός των τριχοειδών. Για παράδειγμα, η ιστική διόγκωση (οίδημα) είναι αποτέλεσμα της καθαρής μετακίνησης υγρών από το αίμα προς τον διάμεσο χώρο.

Το αίμα μετά τη διέλευσή του από τα τριχοειδή συλλέγεται στα φλεβίδια και τις φλέβες από όπου και επιστρέφει στην καρδιά. Το τοίχωμα των φλεβών είναι

πολύ λεπτό αναλογικά με τη διάμετρό τους και αποτελείται από λείες μυϊκές ίνες οπότε η διάμετρός τους μπορεί ενεργητικά να μεταβληθεί. Εξαιτίας του λεπτού τοιχώματός τους οι φλέβες διαστέλλονται αρκετά. Συνεπώς η διάμετρός τους μεταβάλλεται παθητικά ανταποκρινόμενη σε μικρές αλλαγές της διατοχωματικής πίεσης διαστολής που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης. Οι φλέβες, ιδιαίτερα οι μεγάλες, φέρουν βαλβίδες μίας κατεύθυνσης εμποδίζοντας την παλινδρόμηση του αίματος. Όπως θα συζητηθεί αργότερα, οι βαλβίδες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος τόσο κατά την ορθοστασία όσο και κατά την άσκηση. Γίνεται φανερό ότι στις περιφερικές φλέβες και φλεβίδια απαντά περισσότερο από το 50% του συνολικού όγκου αίματος. Για το λόγο αυτό θεωρούνται ως αγγεία *χωρητικότητας*. Αξίζει δε να τονιστεί ότι οι *μεταβολές* στον όγκο των φλεβών επηρεάζουν σημαντικά την καρδιακή πλήρωση και κατά συνέπεια τη λειτουργία της καρδιάς ως αντλία. Συνεπώς, οι περιφερικές φλέβες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της καρδιακής παροχής.

### Έλεγχος των Αιμοφόρων Αγγείων



Η ροή του αίματος μέσω των αγγείων επηρεάζεται προφανώς από μεταβολές στη δραστηριότητα του συμπαθητικού που νευρώνει τα αρτηρίδια. Τα νεύρα του συμπαθητικού απελευθερώνουν από τις απολήξεις τους νορεπινεφρίνη η οποία αλληλεπιδρά με τους *α-αδρενεργικούς* υποδοχείς των λειών μυϊκών κυττάρων προκαλώντας συστολή και κατ' επέκταση αγγειοσύσπαση. Η μείωση στη διάμετρο των αρτηριδίων αυξάνει την αγγειακή αντίσταση, μειώνοντας έτσι τη ροή αίματος. Οι νευρικές αυτές ίνες ευθύνονται για την *αντανακλαστική ρύθμιση* της αγγειακής αντίστασης και της αιματικής ροής.



Οι λείες μυϊκές ίνες των αρτηριδίων ενός οργάνου ανταποκρίνονται ιδιαίτερα στις τοπικές μεταβολές των χημικών συνθηκών που συνοδεύουν τις αλλαγές του μεταβολικού ρυθμού στο συγκεκριμένο όργανο. Για λόγους που θα συζητηθούν αργότερα η αύξηση στο ρυθμό του ιστικού μεταβολισμού οδηγεί σε διαστολή των αρτηριδίων και αύξηση της ιστικής ροής αίματος.

Οι φλέβες και τα φλεβίδια έχουν επίσης πλούσια συμπαθητική νεύρωση και συσπώνται όταν αυτή ενεργοποιείται. Ο μηχανισμός είναι όμοιος με αυτόν των αρτηριδίων, Συνεπώς η αύξηση της συμπαθητικής νεύρωσης συνοδεύεται από μείωση του φλεβικού όγκου. Η σημασία του φαινομένου αυτού είναι ότι η φλεβική σύσπαση αυξάνει την καρδιακή πλήρωση και άρα την καρδιακή παροχή, βάσει του νόμου Starling της καρδιάς.

Οι αρτηρίες και τα τριχοειδή δεν έχουν αντίστοιχο νευρικό ή τοπικό μεταβολικό έλεγχο.