

Ανατομική και Φυσιολογία της Καρδιάς

Ειρ. Μπροκαλάκη

ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ

Η καρδιά είναι ένα μυώδες όργανο, το οποίο παίζει το ρόλο αντλίας στο ανθρώπινο σώμα διατηρώντας σε συνεχή κυκλοφορία το αίμα εντός των αγγείων του κυκλοφορικού συστήματος.

Η φυσιολογική θέση της καρδιάς είναι στο μεσοθωράκιο, αριστερά της μέσης γραμμής, με την κορυφή της στραμμένη προς τα αριστερά, έτσι ώστε ο επιμήκης άξονάς της να φέρεται από τον δεξιό ώμο προς το αριστερό υποχόνδριο. Προσθίως, η καρδιά καλύπτεται από το στέρνο και από τους χόνδρους της 3ης-5ης πλευράς. Η οπίσθια επιφάνεια του οργάνου βρίσκεται σε στενή συνάφεια με τον οισοφάγο (κυρίως ο αριστερός κόλπος) και την τρόπιδα (διχασμός της τραχείας σε αριστερό και δεξιό κύριο βρόγχο). Εκατέρωθεν και προς τα κάτω η καρδιά έρχεται σε επαφή με τους πνεύμονες και το διάφραγμα αντίστοιχα.

Η ακριβής θέση της καρδιάς ποικίλλει ανάλογα με τη σωματική διάπλαση του κάθε ατόμου, ενώ μεταβάλλεται σε διάφορες παθολογικές καταστάσεις που αφορούν το καρδιαγγειακό και αναπνευστικό σύστημα καθώς και σκελετικές ανωμαλίες του θωρακικού κλωβού.

Η καρδιά βρίσκεται εντός του περικαρδιακού σάκου. Αποτελείται από δύο πέταλα: το σπλαχνικό και το περίτονο. Το σπλαχνικό (έσω) πέταλο βρίσκεται σε άμεση επαφή με την καρδιά, ενώ το περίτονο (έξω) πέταλο αποτελεί το εξωτερικό περίβλημα της καρδιάς. Μεταξύ των δύο πετάλων παρεμβάλλεται σχισμοειδής κοιλότητα, η περικαρδιακή κοιλότητα, που περιέχει φυσιολογικά μικρή ποσότητα ορώδους περικαρδιακού υγρού (περίπου 20 cc), το οποίο παίζει το ρόλο λιπαντικού, μειώνοντας την τριβή των δύο πετάλων κατά τον καρδιακό κύκλο (συστολή-διαστολή).

Καρδιακές κοιλότητες

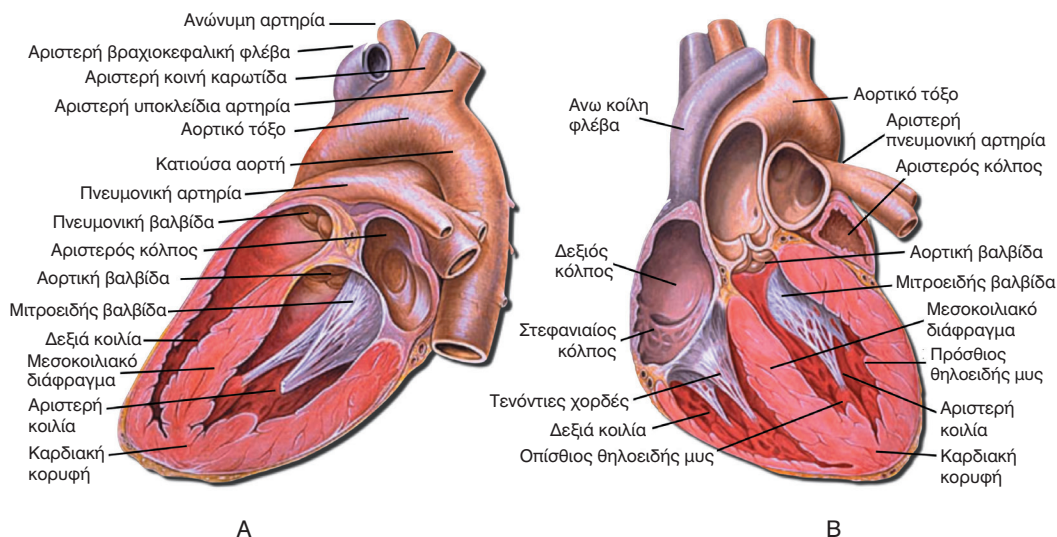
Η καρδιά χωρίζεται σε τέσσερις κοιλότητες: **δύο κόλπους** και **δύο κοιλίες**. Ανατομικά οι καρδιακές κοιλότητες διακρίνονται σε δεξιές και αριστερές, χωρίς αυτό να αντιστοιχεί στην ακριβή θέση κάθε κοιλότητας. Συγκεκριμένα η **δεξιά κοιλία** στην ουσία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος (75%) της πρόσθιας επιφάνειας της καρδιάς και η **αριστερή κοιλία** μόνο το 1/4 αυτής, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της βρίσκεται προς τα αριστερά και πίσω. Ο **δεξιός κόλπος** σχηματίζει το μεγαλύτερο μέρος του δεξιού καρδιακού χείλους,

ενώ ο αριστερός κόλπος έχει οπίσθια θέση. Η άνω πρόσθια επιφάνεια της καρδιάς σχηματίζεται από τη ρίζα και το στέλεχος των μεγάλων αγγείων (αορτή και πνευμονική αρτηρία). Ο δεξιός κόλπος επικοινωνεί με τη δεξιά κοιλία και ο αριστερός κόλπος με την αριστερή. Ο δεξιός κόλπος δέχεται αίμα από τις κοίλες φλέβες (άνω και κάτω κοίλη φλέβα), το οποίο προωθείται μέσω της τριγλώχινας κολποκοιλιακής βαλβίδας στη δεξιά κοιλία και από εκεί στην πνευμονική αρτηρία μέσω της πνευμονικής βαλβίδας. Αντίστοιχα, ο **αριστερός κόλπος** δέχεται αίμα από τις τέσσερις πνευμονικές φλέβες (δεξιά άνω και κάτω, αριστερή άνω και κάτω πνευμονική φλέβα), το οποίο προωθείται διαμέσου της μιτροειδούς κολποκοιλιακής βαλβίδας στην αριστερή κοιλία και από εκεί με τη σύσπασή της κοιλίας στην αορτή διαμέσου της αορτικής βαλβίδας.

Οι δύο κόλποι χωρίζονται μεταξύ τους με το **μεσοκολπικό διάφραγμα**. Διαταραχές κατά την εμβρυογένεση του μεσοκολπικού διαφράγματος συνεπάγονται την παρουσία μεσοκολπικής επικοινωνίας. Ένα τμήμα του μεσοκολπικού διαφράγματος μάλιστα, το **ωοειδές τρήμα**, παραμένει ανοικτό μέχρι τη γέννηση και κλείνει στη συνέχεια με την εγκατάσταση της αυτόματης αναπνοής και της κυκλοφορίας του νεογνού. Τυχόν αποτυχία στη σύγκλεισή του χαρακτηρίζεται ως ανοικτό ωοειδές τρήμα και παρατηρείται σε ποσοστό έως 25% των ενηλίκων. Ο κάθε κόλπος αποτελείται από τρία μέρη: το σώμα, το ωτίο και το φλεβώδες τμήμα. Το φλεβώδες τμήμα των κόλπων αντιστοιχεί με την περιοχή εισόδου των φλεβών (κοίλες, πνευμονικές). Το ωτίο του δεξιού κόλπου έχει τριγωνικό σχήμα και βρίσκεται στο άνω δεξιό τμήμα του, ενώ το ωτίο του αριστερού κόλπου βρίσκεται πάνω από την αριστερή άνω πνευμονική φλέβα και είναι περισσότερο κυλινδρικό. Το σώμα και των δύο κόλπων αποτελεί το κυρίως διαμέρισμά τους, έχει εσωτερικά λεία επιφάνεια και ιδιαίτερα λεπτό τοίχωμα.

Οι δύο κοιλίες χωρίζονται μεταξύ τους με το **μεσοκοιλιακό διάφραγμα**. Ελλείμματα του μεσοκοιλιακού διαφράγματος στα πλαίσια διαταραχών της εμβρυογένεσης συνεπάγονται την εμφάνιση μεσοκοιλιακής επικοινωνίας. Το μεσοκοιλιακό διάφραγμα διακρίνεται στην ινώδη και τη μυώδη μοίρα. Η ινώδης είναι και η λεπτότερη μοίρα του και συνεχεται με τους βαλβιδικούς δακτυλίους σχηματίζοντας μαζί τους τον ινώδη σκελετό της καρδιάς. Η μυώδης μοίρα του μεσοκοιλιακού διαφράγματος είναι παχύτερη και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του. Η δεξιά κοιλία έχει λεπτό σχετικά τοίχωμα και στο εσωτερικό της εμφανίζει πολλαπλές αναδιπλώσεις (δοκίδες). Η μορφολογία της είναι αρκετά πολύπλοκη, καθώς στην ουσία αναδιπλώνεται γύρω από την αριστερή κοιλία και στις τρεις διαστάσεις. Για το λόγο αυτό ο απεικονιστικός έλεγχος και η εκτίμηση της λειτουργικότητάς της γίνεται σχετικά δύσκολα.

Το αίμα φέρεται από το χώρο εισόδου της δεξιάς κοιλίας προς το χώρο εξόδου, ο οποίος συνεχεται με τον κώνο της πνευμονικής αρτηρίας. Η αριστερή κοιλία, από την άλλη, έχει σαφώς παχύτερο τοίχωμα, το οποίο αντικατοπτρίζει και τη λειτουργία της σε περιβάλλον υψηλότερων πιέσεων από ότι η δεξιά, και σχετικά λείο εσωτερικό. Το σχήμα της κοιλότητάς της προσομοιάζει με αυτό της σφαίρας όπλου. Για περιγραφικούς και απεικονιστικούς λόγους το τοίχωμα της αριστερής κοιλίας διακρίνεται σε διάφορες μοίρες. Κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από τη θέση της στον επιμήκη άξονα (βασική, μέση, κορυφαία μοίρα) και στην περίμετρο της κοιλίας (προσθιοδιαφραγματική, πρόσθια, πλάγια, κατώτερη και οπίσθια μοίρα). Ο χώρος εξόδου της αριστερής κοιλίας καταλήγει στην ανιούσα αορτή. (Η αριστερή πλάγια και πρόσθια απεικόνιση παρουσιάζεται στην Εικόνα 1-1).



Εικόνα 1 - 1. (Α) Αριστερή πλάγια και (Β) Πρόσθια απεικόνιση της καρδιάς.

Βαλβίδες της καρδιάς

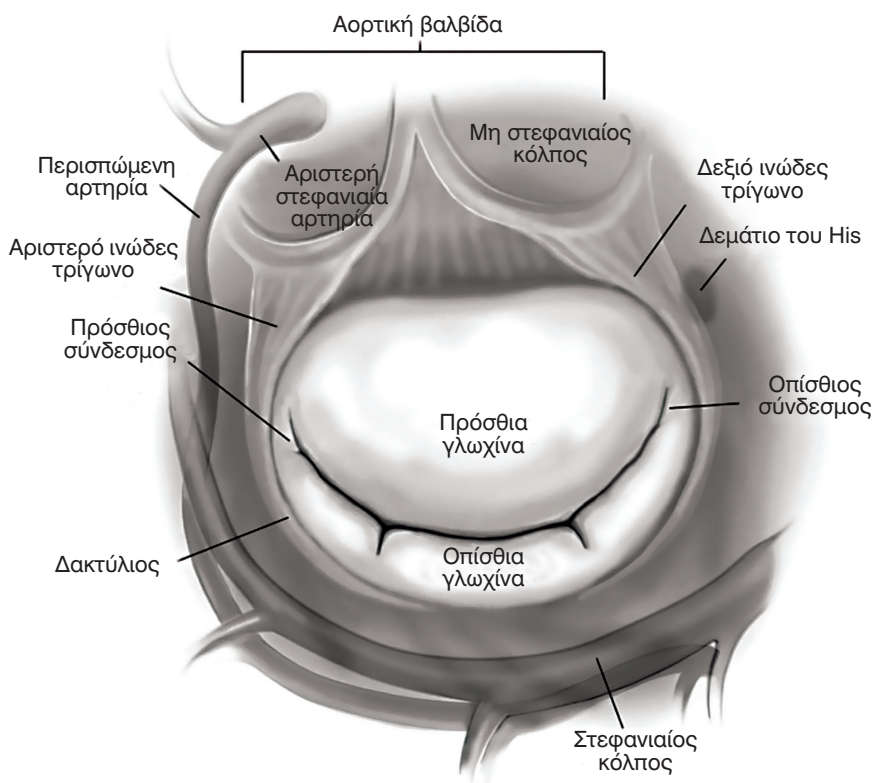
Η καρδιά διαθέτει τέσσερις βαλβίδες: τη δεξιά κολποκοιλιακή βαλβίδα ή **τριγλώχινα**, την αριστερή κολποκοιλιακή βαλβίδα ή **μιτροειδή** και τις **μηνοειδείς βαλβίδες** (την πνευμονική και την αορτική). Κάθε βαλβίδα διαθέτει έναν ινώδη δακτύλιο επί του οποίου προσφύονται οι γλωχίνες ή οι πτυχές της. Οι κόλποι επικοινωνούν με τις κοιλίες μέσω των κολποκοιλιακών βαλβίδων και οι κοιλίες με τα μεγάλα αγγεία μέσω των μηνοειδών βαλβίδων.

Η τριγλώχινα βαλβίδα διαθέτει τρεις γλωχίνες (πρόσθια, οπίσθια και διαφραγματική), οι οποίες με τη βοήθεια των τενόντιων χορδών συνδέονται μέσω των θηλοειδών μυών στο τοίχωμα της δεξιάς κοιλίας. Η μιτροειδής βαλβίδα αποτελείται από δύο γλωχίνες, την πρόσθια και την οπίσθια οι οποίες επίσης μέσω τενόντιων χορδών συνδέονται με τους θηλοειδείς μυς της αριστερής κοιλίας (πρόσθιος και οπίσθιος) (Εικόνες 1-2 και 1-3). Λόγω της ανατομικής και της λειτουργικής πολυπλοκότητας της μιτροειδούς βαλβίδας, το σύνολο των επιμέρους τμημάτων της (δακτύλιος, γλωχίνες, τενόντιες χορδές, θηλοειδείς μύες) περιγράφεται ως μιτροειδική συσκευή (mitral apparatus). Οποιαδήποτε βλάβη ενός εκ των τμημάτων της μιτροειδικής συσκευής μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία της βαλβίδας.

Οι μηνοειδείς βαλβίδες (αορτική και πνευμονική) βρίσκονται στη ρίζα της αορτής και της πνευμονικής αρτηρίας, αντίστοιχα, και εμφανίζουν τρεις πτυχές (αντί για γλωχίνες), οι οποίες επίσης προσφύονται σε ινώδη δακτύλιο. Οι τρεις πτυχές της αορτής ονομάζονται αριστερή, δεξιά (ανάλογα με τη συστοίχως εκφυόμενη στεφανιαία αρτηρία) και μη στεφανιαία. Η δίπτυχη αορτική βαλβίδα αποτελεί την πιο συχνή συγγενή ανωμαλία της καρδιάς (απαντάται περίπου στο 1% του γενικού πληθυσμού).



Εικόνα 1-2. Απεικόνιση της μιτροειδούς βαλβίδας. Από πάνω προς τα κάτω απεικονίζονται η πρόσθια και η οπίσθια γλωχίνα, οι τενόντιες χορδές τους και οι θηλοειδείς μύες.



Εικόνα 1-3. Απεικόνιση της κολπικής επιφάνειας των γλωχίνων της μιτροειδούς βαλβίδας και των γειτονικών δομών.

Αιμάτωση της καρδιάς

Η παροχή οξυγονωμένου αίματος προς τον καρδιακό μυ επιτελείται μέσω των στεφανιαίων αρτηριών. Οι δύο **στεφανιαίες αρτηρίες** (δεξιά και αριστερή) εκφύονται από τους αντίστοιχους κόλπους Valsalva της αορτής.

Η **αριστερή στεφανιαία** (το αρχικό τμήμα της οποίας ονομάζεται στέλεχος) αρτηρία διακλαδίζεται γρήγορα μετά την έκφυσή της στον πρόσθιο κατιόντα κλάδο, ο οποίος

κατέρχεται κατά μήκος της πρόσθιας μεσοκοιλιακής αύλακας έως την κορυφή της καρδιάς (όπου πολλές φορές ανακάμπει στην οπίσθια επιφάνεια της καρδιάς) και στην περισπώμενη αρτηρία, η οποία πορεύεται εντός της αριστερής κολποκοιλιακής αύλακας. Σπανιότερα, η αριστερή στεφανιαία χορηγεί και έναν διάμεσο κλάδο. Ο **πρόσθιος κατιών κλάδος** παρέχει τις διαφραγματικές αρτηρίες που αιματώνουν το μεγαλύτερο μέρος του μεσοκοιλιακού διαφράγματος και τους διαγώνιους κλάδους που αρδεύουν το προσθιοπλάγιο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας. Η **περισπώμενη αρτηρία** παρέχει τους αμβλείς επιχείλιους κλάδους που αιματώνουν το πλάγιο και κατώτερο-πλάγιο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας.

Η **δεξιά στεφανιαία** αρτηρία πορεύεται εντός της δεξιάς κολποκοιλιακής αύλακας μέχρι αυτή να συναντήσει την οπίσθια μεσοκοιλιακή αύλακα (σταυρός—cruz—της καρδιάς) οπότε και χορηγεί τον οπίσθιο κατιόντα κλάδο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων (90%). Ο τελευταίος αιματώνει το κατώτερο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας και άλλοτε άλλη έκταση του κατωτέρου τμήματος του μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Επίσης από τη δεξιά στεφανιαία εκφύονται οι οξείς επιχείλιοι κλάδοι που αιματώνουν το τοίχωμα της δεξιάς κοιλίας και ο οπισθοκοιλιακός κλάδος που αρδεύει το κατώτερο και κατώτερο-πλάγιο τοίχωμα της αριστερής κοιλίας. Οι κόλποι αιματώνονται από κλάδους της περισπώμενης και της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας (Εικόνα 1-4).

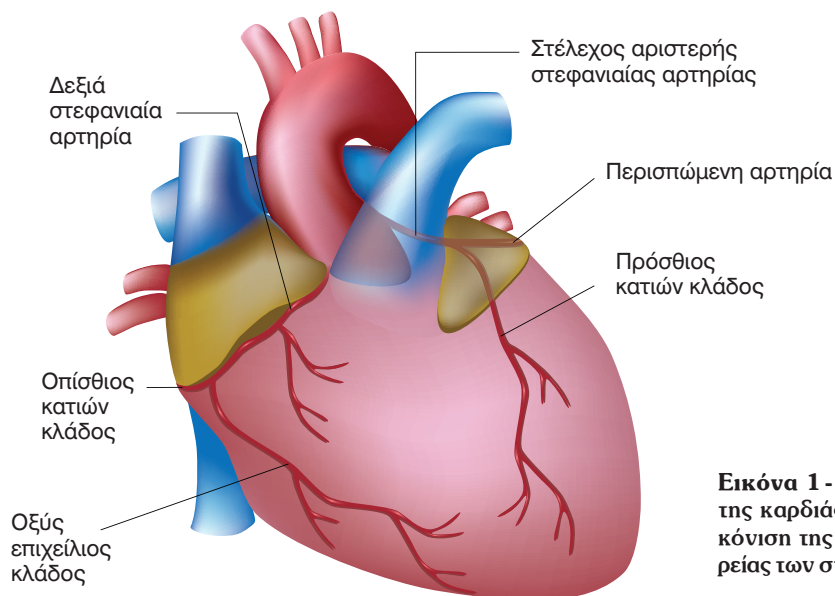
Το αίμα από τις επικαρδιακές στεφανιαίες αρτηρίες συνεχίζει τη ροή του στα ενδομυοκαρδιακά αγγεία, τα αρτηρίδια και τα τριχοειδή. Το στεφανιαίο αρτηριακό δίκτυο εμφανίζει από τη γέννηση πολλαπλές αναστομώσεις (παράπλευρη κυκλοφορία) μεταξύ των κλάδων του. Οι αναστομώσεις αυτές αποκτούν ανατομική και λειτουργική σημασία σε περιπτώσεις σοβαρής στένωσης ή απόφραξης ενός εκ των κύριων επικαρδιακών κλάδων, οπότε και διασφαλίζουν την επαρκή αιμάτωση του μυοκαρδιακού τμήματος που αιματώνεται από το αποφραγμένο αγγείο. Η φλεβική απορροή της καρδιάς συγκεντρώνεται από τα ενδομυοκαρδιακά φλεβίδια προς τις επικαρδιακές φλέβες και καταλήγει (στο μεγαλύτερο μέρος της) στο στεφανιαίο κόλπο, ο οποίος εκβάλλει στο δεξιό κόλπο της καρδιάς.

Ιστολογία

Το τοίχωμα της καρδιάς αποτελείται από τρεις στιβάδες: το επικάρδιο, το μυοκάρδιο και το ενδοκάρδιο.

- ▲ **Επικάρδιο:** Αποτελείται από λιπώδη και συνδετικό ιστό και έρχεται σε επαφή με το σπλαχνικό πέταλο του περικαρδίου. Στην επιφάνεια του επικαρδίου πορεύονται οι μείζονες στεφανιαίες αρτηρίες και τα καρδιακά νεύρα.
- ▲ **Μυοκάρδιο:** Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της καρδιακής μάζας και συνίσταται από μυοκύτταρα και συνδετικό ιστό. Η σύσπαση και χάλαση του μυοκαρδίου είναι υπεύθυνη για την αντλητική λειτουργία της καρδιάς. Το βάρος του καρδιακού μυ ποικίλλει ανάλογα με τα σωματομετρικά στοιχεία του κάθε ατόμου και το φύλο, και αντιστοιχεί στο 0,45% περίπου του σωματικού βάρους στους άνδρες και στο 0,40% στις γυναίκες.

Τα μυοκαρδιακά κύτταρα αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία μυϊκών κυττάρων (δεν ανήκουν στα γραμμωτά ή στα λεία μυϊκά κύτταρα). Συγκροτούν το 80% της καρδιακής μάζας, αλλά —λόγω του μεγέθους τους— αποτελούν μόλις το 20% του συνόλου των κυττάρων της καρδιάς. Τα μυοκαρδιακά κύτταρα έχουν σχεδόν κυλινδρικό σχήμα, ενώ οι δι-



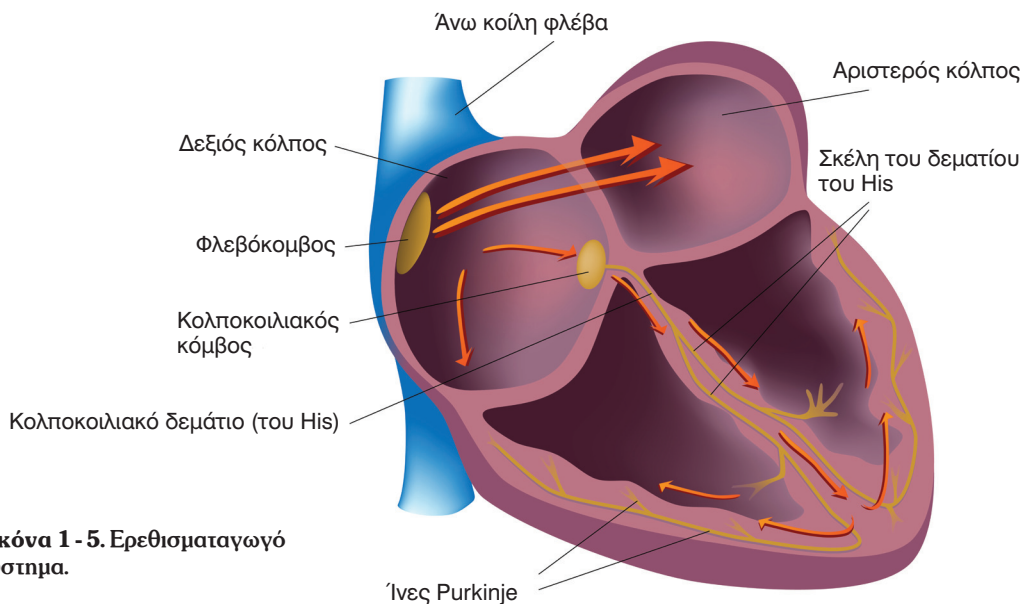
Εικόνα 1-4. Πρόσθια προβολή της καρδιάς με σχηματική απεικόνιση της έκφυσης και της πορείας των στεφανιαίων αρτηριών.

αστάσεις τους είναι διαφορετικές στους κόλπους (βραχύτερα και λεπτότερα) από ό,τι στις κοιλίες (μακρύτερα και παχύτερα). Κάθε κύτταρο περιβάλλεται από το σαρκείλημα (κυτταρική μεμβράνη) και περιέχει τα μυοϊνίδια, τα οποία αποτελούν τα συσταλτά στοιχεία του κυττάρου. Τα μυοϊνίδια αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τις συσταλτές πρωτεΐνες, ακτίνη και μυοσίνη. Τα μυοκύτταρα διαθέτουν έναν πυρήνα, αν και ορισμένα κύτταρα είναι πολυπύρηνα. Το σαρκείλημα αναδιπλώνεται και αλληλεπιδρά με τα μυοϊνίδια σχηματίζοντας ένα πολύπλοκο δίκτυο από εγκολπώσεις, τους T-σωληνίσκους. Ανάμεσα στα μυοϊνίδια και αμέσως κάτω από το σαρκείλημα βρίσκονται τα μιτοχόνδρια, τα οποία αποτελούν το «ενεργειακό εργοστάσιο» του μυοκαρδιακού κυττάρου. Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του μυοκαρδιακού κυττάρου παίζει και το σαρκοπλασματικό δίκτυο. Πρόκειται για ένα δίκτυο εσωτερικών αναδιπλούμενων μεμβρανών, που διαιμερισματοποιούν το εσωτερικό του κυττάρου σε χώρους αποθήκευσης ουσιών, κυρίως ασβεστίου, το οποίο απελευθερώνεται κατά την εκπόλωση της μεμβράνης.

- ▲ **Ενδοκάρδιο:** Διακρίνεται στο σπλαχνικό (μη βαλβιδικό) και στο βαλβιδικό ενδοκάρδιο. Αποτελείται από κύτταρα συνδετικού ιστού, ενώ εσωτερικά καλύπτεται από ενδοθηλιακά κύτταρα. Τυχόν τραυματισμός (καταπόνηση) του ενδοθηλιακού αυτού στρώματος (π.χ. από στροβιλώδη ροή του αίματος), αυξάνει τον κίνδυνο προσκόλλησης μικροβίων στο υποκείμενο στρώμα του ενδοκαρδίου και εκδήλωσης λοιμώδους ενδοκαρδίτιδας.

Ερεθισματοαγωγό σύστημα – Νεύρωση της καρδιάς

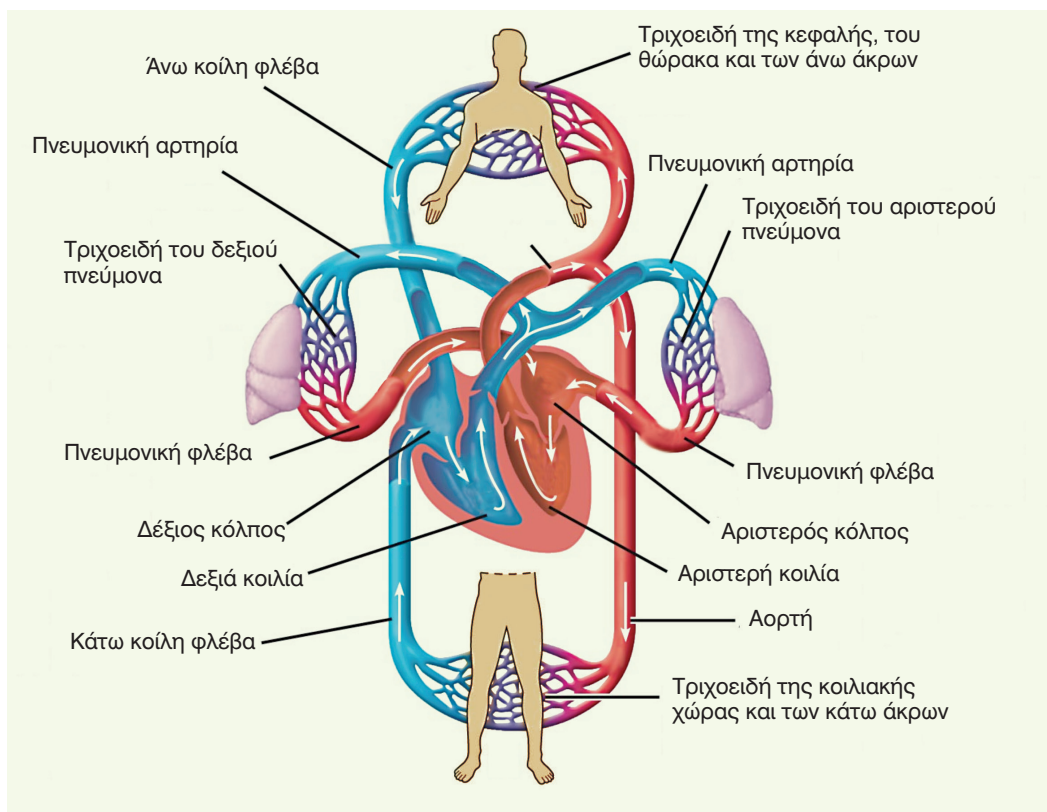
Το σύστημα αγωγής της καρδιάς αποτελείται από εξειδικευμένα κύτταρα, τα οποία έχουν την ικανότητα παραγωγής και ταχείας αγωγής του ερεθίσματος (Εικόνα 1-5).



Εικόνα 1 - 5. Ερεθισματοαγωγό σύστημα.

Ο κύριος βηματοδότης της καρδιάς είναι ο **φλεβόκομβος**. Πρόκειται για ένα άθροισμα κυττάρων που βρίσκεται στο άνω δεξιό τμήμα του δεξιού κόλπου, στη συμβολή της άνω κοίλης φλέβας με το δεξιό ωτίο. Τα ερεθίσματα που παράγονται στον φλεβόκομβο εξαπλώνονται προς το υπόλοιπο κολλικό μυοκάρδιο προκαλώντας τη συστολή των κόλπων. Οι ινώδεις δακτύλιοι των βαλβίδων απομονώνουν ηλεκτρικά τους κόλπους από τις κοιλίες, έτσι ώστε η κολποκοιλιακή αγωγή του ερεθίσματος να επιτελείται μέσω συγκεκριμένης οδού αγωγής: του **κολποκοιλιακού κόμβου**. Ο σχηματισμός αυτός βρίσκεται στο κατώτερο μεσοκοιλιακό διάφραγμα. Περιφερικότερα, ο κολποκοιλιακός κόμβος καταλήγει στο **δεμάτιο του His**, το οποίο βρίσκεται στην κορυφή του μυώδους μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Το δεμάτιο του His διακλαδίζεται στο δεξιό και αριστερό σκέλος, τα οποία ακολουθούν υπενδοκαρδιακή πορεία στις αντίστοιχες πλευρές του μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Το αριστερό σκέλος διαχωρίζεται επιπλέον σε πρόσθιο και οπίσθιο αριστερό ημισκέλος. Περιφερικότερα το ερέθισμα μεταβιβάζεται στις **ίνες του Purkinje**, οι οποίες αποτελούνται από κύτταρα με ικανότητα εξαιρετικά ταχείας αγωγής. Τελικά η διέγερση κατανέμεται στα μυοκαρδιακά κύτταρα των κοιλιών, τα οποία συσπώνται προκαλώντας την κοιλιακή συστολή.

Η καρδιά νευρώνεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα (συμπαθητικό, παρασυμπαθητικό). Η νευρώση της καρδιάς επιτελεί πολλαπλές λειτουργίες με κύρια τη ρύθμιση της καρδιακής συχνότητας. Η αυτόνομη νευρώση είναι πλούσια στο επίπεδο του φλεβόκομβου και του κολποκοιλιακού κόμβου με το παρασυμπαθητικό σύστημα να προκαλεί ελάττωση της συχνότητας εκπόλωσης των κυττάρων του φλεβόκομβου (μείωση της καρδιακής συχνότητας) και επιβράδυνση της κολποκοιλιακής αγωγής. Η διέγερση του συμπαθητικού συστήματος προκαλεί αύξηση της καρδιακής συχνότητας (θετική χρονότροπη δράση), αύξηση της ταχύτητας της κολποκοιλιακής αγωγής (θετική δρομότροπη δράση) και αύξηση της συσταλτικότητας (θετική ινοτρόπος δράση).



Εικόνα 1-6. Σχηματική απεικόνιση της συστηματικής και πνευμονικής κυκλοφορίας του αίματος. Το κόκκινο χρώμα επισημαίνει την παρουσία οξυγονωμένου (αρτηριακού) αίματος, ενώ το μπλε χρώμα επισημαίνει την παρουσία μη οξυγονωμένου (φλεβικού) αίματος. Συνοπτικά, το οξυγονωμένο αίμα διαμέσου των πνευμονικών φλεβών εισέρχεται στον αριστερό κόλπο και μέσω της μιτροειδούς βαλβίδας εισέρχεται στην αριστερή κοιλία. Η αριστερή κοιλία, με κάθε συστολή, εξωθεί το οξυγονωμένο αίμα σε όλα τα όργανα του σώματος. Στο επίπεδο των συστηματικών τριχοειδών πραγματοποιείται –μεταξύ αίματος και κυττάρων του σώματος– η ανταλλαγή των θρεπτικών ουσιών και του οξυγόνου. Στη συνέχεια, το μη οξυγονωμένο αίμα εισέρχεται στις φλέβες, οι οποίες μέσω της άνω και κάτω κοίλης φλέβας, εκβάλλουν στον δεξιό κόλπο. Μέσω της τριγλώχινας βαλβίδας το μη οξυγονωμένο αίμα εισέρχεται στην δεξιά κοιλία, η οποία με την κάθε συστολή της το προωθεί, μέσω της πνευμονικής αρτηρίας, στους πνεύμονες όπου και πραγματοποιείται η οξυγόνωσή του. Στη συνέχεια το οξυγονωμένο αίμα συλλέγεται από τις πνευμονικές φλέβες, οι οποίες το οδηγούν στον αριστερό κόλπο.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

Συστηματική και πνευμονική κυκλοφορία

Η καρδιακή λειτουργία είναι λειτουργία αντλίας, η οποία επιτελείται κυρίως μέσω της συστολής των κοιλιών και υποστηρίζεται από τη συστολή των κόλπων. Η κυκλοφορία του αίματος στο ανθρώπινο σώμα διακρίνεται σε συστηματική και πνευμονική (Εικόνα 1-6).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το φλεβικό (μη οξυγονωμένο) αίμα που αθροίζεται στην άνω και κάτω κοίλη φλέβα από τα περιφερικά όργανα και ιστούς καταλήγει στον δεξιό κόλπο. Η φλεβική επιστροφή προς τον δεξιό κόλπο διευκολύνεται από τη βαρύτητα-

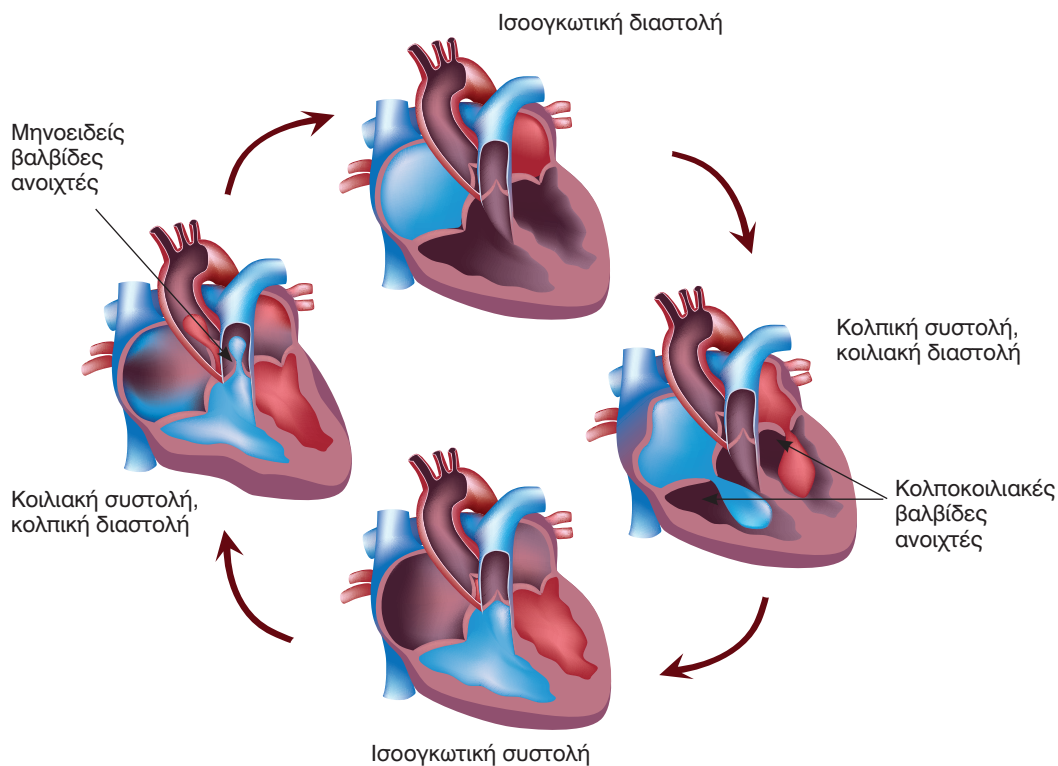
τα (στις περιοχές πάνω από το επίπεδο της καρδιάς και κατά τη λήψη της ύπτιας θέσης), από τη συστολή και χάλαση των μυών των κάτω άκρων (μυϊκή αντλία) και από τις αναπνευστικές κινήσεις (αναπνευστική αντλία), συγκεκριμένα την εισπνοή, κατά την οποία ελαττώνεται η ενδοθωρακική πίεση φθάνοντας σε αρνητική τιμή. Οι φλέβες των κάτω άκρων επίσης διαθέτουν βαλβίδες οι οποίες αποτρέπουν την παλινδρόμηση του αίματος κατά την ορθοστασία.

Το φλεβικό αίμα του δεξιού κόλπου εισέρχεται με την έναρξη της διαστολής των κοιλιών και τη διάνοιξη της τριγλώχινας στη δεξιά κοιλία από όπου εξωθείται στην πνευμονική αρτηρία. Σημειώστε ότι η πνευμονική αρτηρία χαρακτηρίζεται ως αρτηρία παρά το γεγονός ότι περιέχει μη οξυγονωμένο αίμα. Το στέλεχος της πνευμονικής δίνει τη δεξιά και αριστερή πνευμονική αρτηρία, οι οποίες στη συνέχεια διακλαδίζονται σε τμηματικούς και υποτμηματικούς κλάδους μέχρι το επίπεδο των κυψελιδικών τριχοειδών. Στο επίπεδο της κυψελιδικής μεμβράνης πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων (αποβολή CO_2 προς την κυψελιδική κοιλότητα και πρόσληψη O_2 από την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων). Το οξυγονωμένο αίμα στη συνέχεια απάγεται μέσω των φλεβιδίων προς τις πνευμονικές φλέβες, οι οποίες εκβάλλουν στο οπίσθιο τμήμα του αριστερού κόλπου (δεξιά άνω/κάτω και αριστερή άνω/κάτω πνευμονική φλέβα). Έτσι ολοκληρώνεται η πνευμονική κυκλοφορία. Από τον αριστερό κόλπο το αίμα φέρεται κατά τη διαστολή στην αριστερή κοιλία από όπου εξωθείται κατά τη συστολή της στην αορτή και από εκεί καταλήγει στις περιφερικές αρτηρίες του σώματος. Το οξυγονωμένο αίμα που φθάνει στα αρτηρίδια και στα τριχοειδή αποδεδεσμεύει O_2 και άλλα θρεπτικά συστατικά προς τους ιστούς και προσλαμβάνει το CO_2 που παράγεται από τον κυτταρικό μεταβολισμό. Απάγεται στη συνέχεια προς τα φλεβίδια και τις περιφερικές φλέβες για να κλείσει έτσι ο κύκλος της συστηματικής κυκλοφορίας.

Καρδιακός κύκλος

Ο καρδιακός κύκλος περιλαμβάνει τρεις βασικές φάσεις: τη συστολή, τη διαστολή/χάλαση και την πλήρωση των κοιλιών (Εικόνα 1-7). Καθώς οι κοιλίες συστέλλονται σχεδόν ταυτόχρονα, τα παρακάτω γεγονότα ισχύουν τόσο για την αριστερή όσο και τη δεξιά κοιλία.

- ▲ **Συστολή:** Με το πέρας της πλήρωσης της αριστερής κοιλίας και την έναρξη της εκπόλωσης των κοιλιακών μυοκαρδιακών κυττάρων αρχίζει η μηχανική συστολή. Σε αυτήν τη φάση η μιτροειδής βαλβίδα είναι ακόμα ανοιχτή, ενώ η αορτική είναι κλειστή. Καθώς η πίεση εντός της αριστερής κοιλίας αυξάνει, μόλις αυτή εξισωθεί και αρχίζει να υπερβαίνει την πίεση του αριστερού κόλπου η μιτροειδής βαλβίδα κλείνει. Η αύξηση της πίεσης στην κοιλία συνεχίζεται μέχρι αυτή να φθάσει στο επίπεδο της πίεσης της αορτής. Η φάση αυτή της συστολής που γίνεται με κλειστές και τις δύο βαλβίδες, χωρίς να μεταβάλλεται ο όγκος της αριστερής κοιλίας, ονομάζεται *ισοογκωτική συστολή*. Μόλις η ενδοκοιλιακή πίεση υπερβεί την αορτική, ανοίγει η αορτική βαλβίδα και αρχίζει η εξώθηση του αίματος προς την αορτή. Η πίεση της αριστερής κοιλίας συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι κορύφωσης και στη συνέχεια μειώνεται.
- ▲ **Διαστολή/Χάλαση:** Καθώς η πίεση της αριστερής κοιλίας μειώνεται, μόλις αυτή πέσει χαμηλότερα από το επίπεδο της αορτικής πίεσης, η αορτική βαλβίδα κλείνει. Η πίεση συνεχίζει να μειώνεται μέχρι να φθάσει στο επίπεδο της πίεσης του



Εικόνα 1 - 7. Καρδιακός κύκλος

αριστερού κόλπου. Η φάση αυτή της κοιλιακής χάλασης με κλειστές τις βαλβίδες και σταθερό όγκο ονομάζεται *ισοογκωτική διαστολή*.

- ▲ **Πλήρωση:** Μόλις η πίεση της αριστερής κοιλίας πέσει κάτω από το επίπεδο της πίεσης του αριστερού κόλπου, ανοίγει η μιτροειδής βαλβίδα και αρχίζει η εισροή αίματος από τον κόλπο στην κοιλία (φάση της ταχείας πλήρωσης). Ο ρυθμός πλήρωσης της κοιλίας προοδευτικά μειώνεται μέχρι τη στιγμή της κολπικής συστολής οπότε αυξάνεται πάλι. Η πλήρωση της αριστερής κοιλίας εξαρτάται από πολλές παράμετρους, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και οι ελαστικές ιδιότητές της (ενδοτικότητα). Η κολπική συστολή συνεισφέρει σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι και στο 25% της κοιλιακής πλήρωσης. Με το πέρας της κολπικής συστολής αρχίζει ξανά η εκπόλωση των κοιλιακών μυοκαρδιακών κυττάρων και συμπληρώνεται έτσι ο καρδιακός κύκλος.

Καρδιακός κύκλος σε κυτταρικό επίπεδο

Τα μυοκαρδιακά κύτταρα διαθέτουν, όπως όλα τα μυϊκά κύτταρα του σώματος, συσταλτά μέρη, τα μυοϊνίδια, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από τις συσταλτές πρωτεΐνες ακτίνη και μυοσίνη. Κατά την εκπόλωση της μεμβράνης του μυοκαρδιακού κυττάρου αρχίζει η εισροή προς το κυτταρόπλασμα ιόντων ασβεστίου. Το αρχικό αυτό ρεύ-

μα ιόντων προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη μετακίνηση ασβεστίου από το σαρκοπλασματικό δίκτυο προς το κυτταρόπλασμα. Τα ιόντα ασβεστίου είναι απαραίτητα για την αλληλεπίδραση μεταξύ της ακτίνης και της μυοσίνης κατά την οποία η μία πρωτεΐνη «ολισθαίνει» κατά μήκος της άλλης. Η συνισταμένη αυτής της συγχρονισμένης αλληλεπίδρασης σε όλα τα μυοϊνίδια του ιδίου κυττάρου και σε όλα τα κύτταρα του κοιλιακού μυοκαρδίου έχει ως αποτέλεσμα τη βράχυνσή τους και την πρόκληση της κοιλιακής συστολής. Στη συνέχεια, τα ιόντα ασβεστίου αρχίζουν να επαναπροσλαμβάνονται από το σαρκοπλασματικό δίκτυο και η συγκέντρωσή τους στο κυτταρόπλασμα μειώνεται. Η αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης περιορίζεται και αυτές αρχίζουν να ολισθαίνουν προς την αντίθετη κατεύθυνση με τρόπο ώστε το μυοκαρδιακό κύτταρο να αποκτά σταδιακά το αρχικό του μήκος στη φάση της διαστολής.

Καρδιακή παροχή, καρδιακό έργο, συστολική λειτουργία της αριστερής κοιλίας

Ο όγκος αίματος που εξωθείται με κάθε συστολή προς την αορτή ονομάζεται **όγκος παλμού** (ΟΠ). Σε φυσιολογικά άτομα και συνθήκες, ο ΟΠ είναι περίπου 70 ml (55-100 ml). Ο ΟΠ ισούται με τη διαφορά μεταξύ του όγκου της αριστερής κοιλίας στο τέλος της διαστολής (τελοδιαστολικός όγκος, ΤΔΟ) και του όγκου της στο τέλος της συστολής (τελοσυστολικός όγκος, ΤΣΟ):

$$\text{ΟΠ} = \text{ΤΔΟ} - \text{ΤΣΟ}$$

Πέρα από τον ΤΔΟ και ΤΣΟ, ο ΟΠ καθορίζεται από το μεταφόρτιο και τη συσταλτικότητα της αριστερής κοιλίας (βλέπε παρακάτω).

Η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) και ο ΟΠ καθορίζουν την **καρδιακή παροχή** (ΚΠ), η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΚΠ} = \text{ΟΠ} \times \text{ΚΣ} \text{ (L/min)}$$

Φυσιολογικά η ΚΠ κυμαίνεται μεταξύ 4-6 L/min. Η ΚΠ μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού, π.χ. αυξάνεται στην άσκηση, στο stress, σε λοίμωξη κτλ. ενώ μειώνεται στον ύπνο, στον υποθυρεοειδισμό κτλ. Πρέπει να σημειωθεί ότι με την αύξηση της ΚΣ δεν επηρεάζονται ομοιόμορφα όλες οι φάσεις του καρδιακού κύκλου. Συγκεκριμένα, περιορίζεται δυσανάλογα η φάση της διαστολής και κατά συνέπεια σε υψηλές συχνότητες περιορίζεται η κοιλιακή πλήρωση (προφόρτιο), πράγμα που σε ασθενείς με μειωμένη ενδοτικότητα της αριστερής κοιλίας μπορεί να προκαλέσει δραστική μείωση της ΚΠ. Για αντικειμενικότερη εκτίμηση της αντλητικής λειτουργίας της καρδιάς χρησιμοποιείται ο **καρδιακός δείκτης** (ΚΔ), ο οποίος ισούται με το πηλίκο της ΚΠ προς τη συνολική επιφάνεια σώματος (body surface area, BSA) σε m²:

$$\text{ΚΔ} = \text{ΚΠ} / \text{BSA} \text{ (L/min} \times \text{m}^2\text{)}$$

Οι φυσιολογικές τιμές του ΚΔ κυμαίνονται μεταξύ 2,6-4,2 L/min × m².

Για τη μελέτη της καρδιακής λειτουργίας σε ερευνητικό επίπεδο χρησιμοποιείται το διάγραμμα πίεσης-όγκου. Στον κάθετο άξονα αποτυπώνεται η πίεση εντός της κοιλίας και στον οριζόντιο ο όγκος της. Ο βρόχος του διαγράμματος αντιπροσωπεύει τις μετα-

βολές πίεσης και όγκου της κοιλίας σε έναν καρδιακό κύκλο. Η επιφάνεια που περικλείεται από το βρόχο αντιστοιχεί στο συνολικό έργο που παράγει η καρδιά, το οποίο σχετίζεται στενά με την κατανάλωση οξυγόνου από τον καρδιακό μυ.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη συστολική επίδοση της αριστερής κοιλίας είναι τρεις: το προφόρτιο, το μεταφόρτιο και η συσταλτικότητα.

- **Προφόρτιο:** Ως προφόρτιο χαρακτηρίζεται η φόρτιση της κοιλίας πριν από την έναρξη της συστολής. Αυτό αντιστοιχεί στο βαθμό πλήρωσης της κοιλίας στο τέλος της διαστολής, δηλαδή στον τελοδιαστολικό της όγκο. Εάν αυξηθεί ο τελοδιαστολικός όγκος, χωρίς να μεταβληθεί το μεταφόρτιο, αυξάνει η συσταλτικότητα και ο όγκος παλμού. Η αρχή αυτή ισχύει μέχρι ενός ορίου τελοδιαστολικού όγκου και είναι γνωστή ως νόμος των Frank-Starling.
- **Μεταφόρτιο:** Ως μεταφόρτιο χαρακτηρίζεται η αντίσταση (με τη γενική της έννοια) απέναντι στην οποία εξωθεί το αίμα η αριστερή κοιλία κατά τη συστολή. Στην κλινική πράξη το μεταφόρτιο θεωρείται ισοδύναμο με την αρτηριακή πίεση, αν και επηρεάζεται και από τις ελαστικές ιδιότητες της αορτής.
- **Συσταλτικότητα:** Ως συσταλτικότητα ή ινοτρόπος ικανότητα, ορίζεται η ικανότητα του καρδιακού μυ προς συστολή. Η συσταλτικότητα σε μοριακό επίπεδο μπορεί να εκφραστεί ως ο βαθμός αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων ακτίνης και μυοσίνης. Παράγοντες που αυξάνουν τη συσταλτικότητα είναι η άσκηση, η διέγερση του συμπαθητικού (κατεχολαμίνες), η δακτυλίτιδα και τα ινότροπα φάρμακα. Η συσταλτικότητα ελαττώνεται στον υποθυρεοειδισμό, σε ισχαιμία του μυοκαρδίου κτλ.

Οι παραπάνω παράγοντες βρίσκονται σε στενή αλληλεπίδραση μεταξύ τους και μεταβάλλονται συνεχώς παράλληλα με την καρδιακή συχνότητα στο φυσιολογικό άτομο προκειμένου να διατηρηθεί η ΚΠ στα απαραίτητα για τις ανάγκες του οργανισμού επίπεδα. Για παράδειγμα, στην άσκηση παρατηρείται αύξηση της ΚΣ και της συσταλτικότητας (διέγερση του συμπαθητικού), μεγαλύτερη επιστροφή αίματος από τις φλέβες λόγω της μυϊκής δραστηριότητας και των έντονων αναπνευστικών κινήσεων (αύξηση του προφορτίου) και περιφερική αγγειοδιαστολή (μείωση του μεταφορτίου). Όλα τα ανωτέρω συντείνουν στην αύξηση της καρδιακής παροχής προκειμένου να καλυφθούν οι επιπλέον μεταβολικές ανάγκες των γραμμωτών μυών.

Διαστολική λειτουργία της αριστερής κοιλίας

Η διαστολή αποτελεί κατά μεγάλο μέρος της ενεργητική και όχι παθητική διαδικασία. Συγκεκριμένα, κατά τη διαστολή των κοιλιών καταναλώνεται ενέργεια από το μυοκαρδιακό κύτταρο προκειμένου να απομακρυνθεί η περίσσεια ιόντων ασβεστίου από το κυτταρόπλασμα. Οι τρεις κύριες παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η διαστολική επίδοση της αριστερής κοιλίας είναι:

- ▲ Ο ρυθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου στο κυτταρόπλασμα του μυοκαρδιακού κυττάρου.
- ▲ Οι ινοελαστικές ιδιότητες της αριστερής κοιλίας. Αυτές καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό υπερτροφίας των μυοκαρδιακών κυττάρων και από την αναλογία του ινώδους ιστού στον καρδιακό μυ. Παθήσεις του περικαρδίου οι οποίες

ελαττώνουν την ελαστικότητα του μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη διαστολική πλήρωση των κοιλιών.

▲ Η συστολική φόρτιση (μεταφόρτιο).

Πλήθος παθολογικών καταστάσεων μπορούν να επηρεάσουν τη συστολική ή τη διαστολική λειτουργία της καρδιάς οδηγώντας τελικά στην εκδήλωση καρδιακής ανεπάρκειας (βλέπε αντίστοιχο Κεφάλαιο). Η εκτίμηση καθεμίας από αυτές τις παραμέτρους πραγματοποιείται στην καθημερινή κλινική πράξη με τη βοήθεια διάφορων απεικονιστικών εξετάσεων της καρδιάς, κυρίως με το υπερηχοκαρδιογράφημα, αλλά και με πιο σύνθετες μεθόδους όπως η ραδιοϊσοτοπική κοιλιογραφία, η καρδιακή μαγνητική τομογραφία και η αξονική τομογραφία καρδιάς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abuja LM. Anatomy of the heart. In: Willerson JT, Wellers HJ, Cohn JN, Holmers DR Jr, eds. Cardiovascular medicine. London: *Springer*, 2007.
2. Anderson RH, Spicer DE, Hlavacek AM, Cook AC, Backer CL. Wilcox's surgical anatomy of the heart. 4th ed. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2010.
3. Berdajs D, Turina MI. Operative anatomy of the heart. London: *Springer*, 2011.
4. Hold BD, Walsh RA. Normal physiology of the cardiovascular system. In: Fuster V, Walsh R, Harrington R, eds. Hurst's the heart. 13th ed., vol. I. *McGraw Hill*, 2010.
5. Malouf JF, Edwards WD, Tajik AJ, Seward JB. Functional anatomy of the heart. In: Fuster V, Walsh R, Harrington R, eds. Hurst's the heart. 13th ed., vol. I. *McGraw Hill*, 2010.
6. Miller C. Biology and anatomy & physiology helps: the heart. *Kindle edition*: 2013.
7. Moore KL, Dalley AF, Agur AM. Moore clinically oriented anatomy. 7th ed. Philadelphia: *Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins*, 2013.
8. Weinhaus AJ, Roberts KP. Anatomy of the human heart. In: Iaizzo PA, ed. Handbook of cardiac anatomy, physiology and devices. 2nd ed. New York: *Springer*, 2009.