

# ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

*Δρ. Παναγιώτης Β. Τσακλής*

*Καθηγητής*

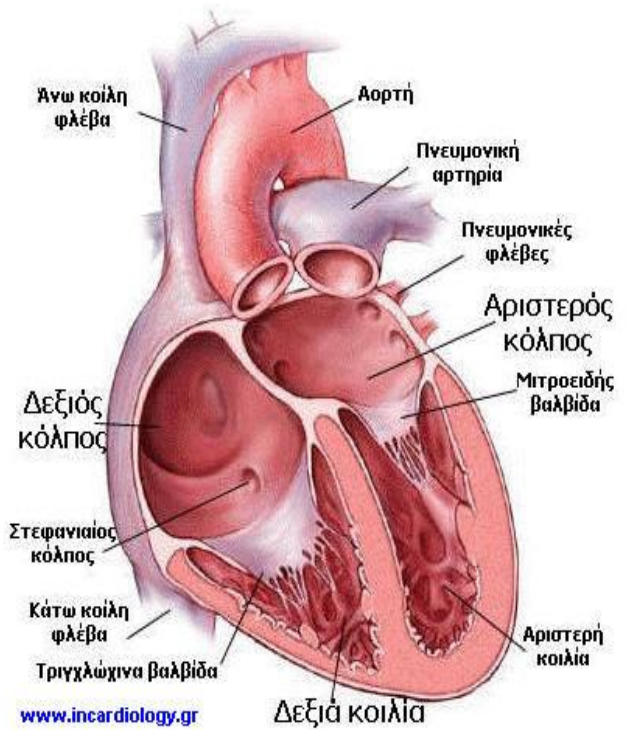
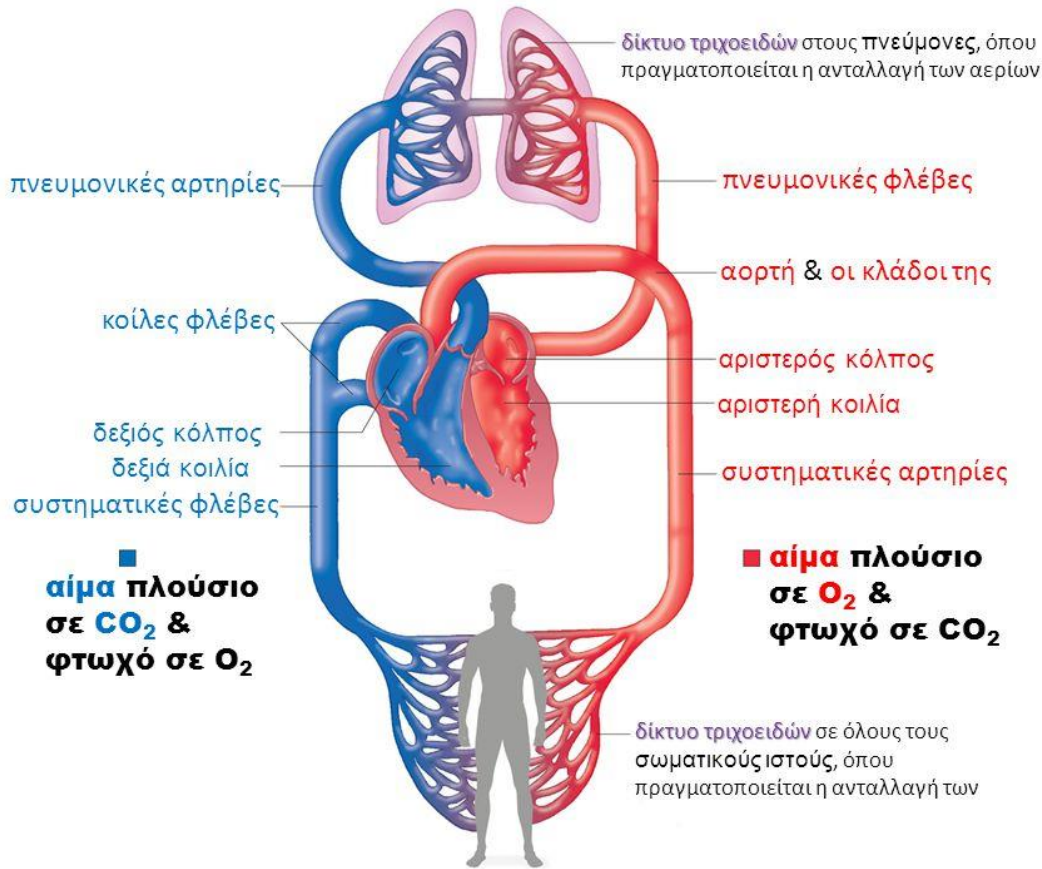
*Εμβιομηχανικής & Εργονομίας*

*ΤΕΦΑΑ - ΠΘ*

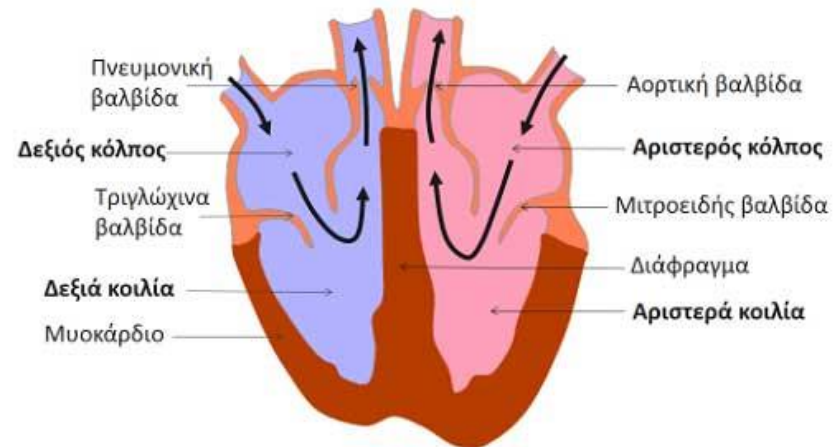


*Res. Assoc Department of Molecular Medicine & Surgery  
Karolinska Institutet*





### Η φυσιολογική καρδιά



<http://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/4937>

# ΣΤΟΧΟΙ

- Εισαγωγή στον καρδιακό κύκλο  
Περιγραφή ρύθμισης του καρδιακού ρυθμού

## ΚΑΡΔΙΑΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

- *Κολπική και Κοιλιακή πίεση*
- *Αορτική πίεση*
- *Κοιλιακός όγκος*
- *Ήχοι καρδιάς*

# ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

*Δύο βασικές περίοδοι του καρδιακού κύκλου*

- ◎ Συστολή

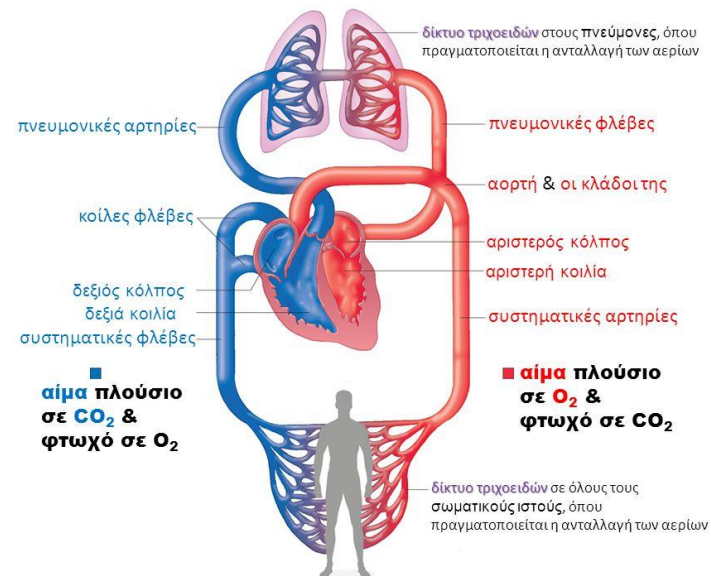
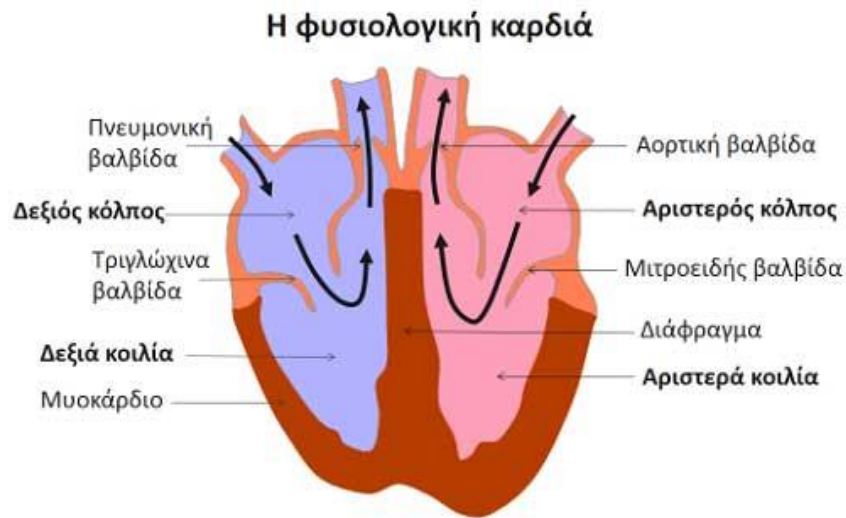
  - Κοιλιακή συστολή

- ◎ Διαστολή

  - Κοιλιακή χαλάρωση

# ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΚΑΡΔΙΑΚΟ ΚΥΚΛΟ

- Οι κολποκοιλιακές βαλβίδες ανοίγουν όταν:
  - Κολπική πίεση > Κοιλιακή πίεση



- Οι μηννοειδείς βαλβίδες (πνευμονική και αορτική), ανοίγουν όταν:
  - Κοιλιακή πίεση > Κολπική πίεση

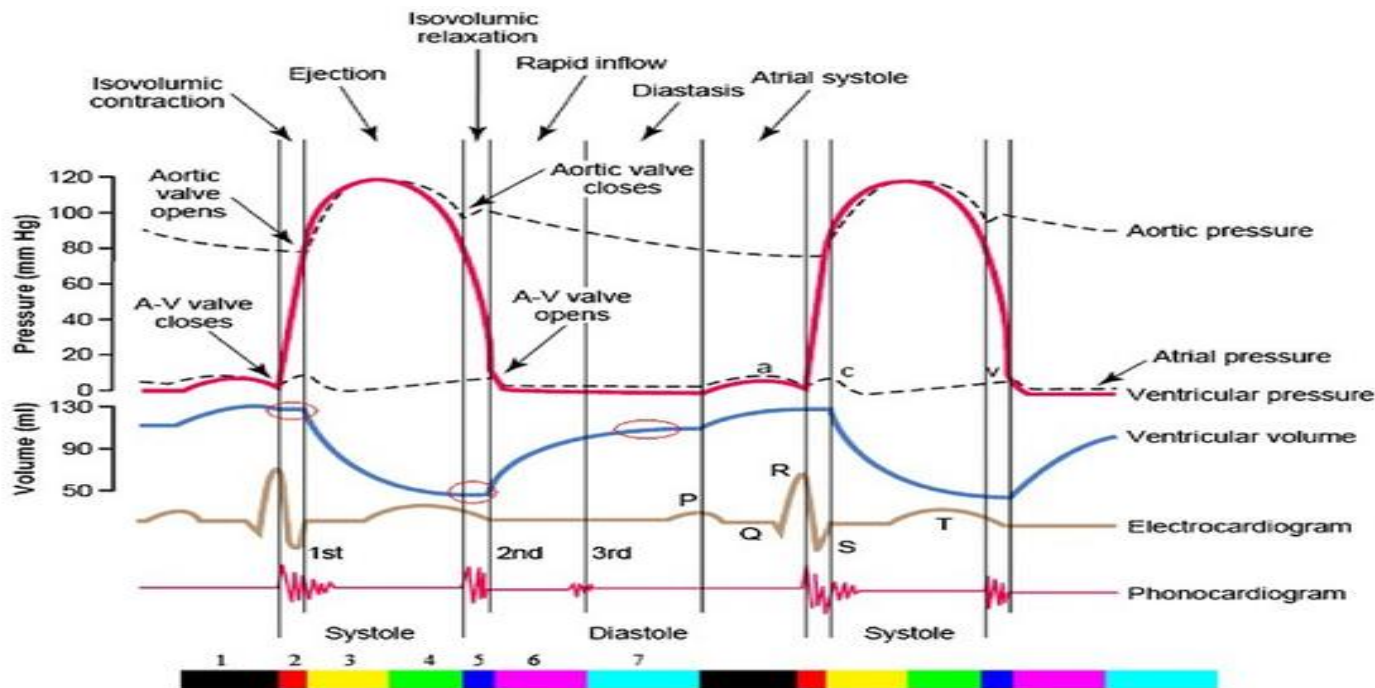
# • ΣΥΝΕΧΗΣ ΡΟΗ ΑΙΜΑΤΟΣ ΚΑΤ'Α ΤΟΝ ΚΑΡΔΙΑΚΟ ΚΥΚΛΟ

## ◉ *Αορτή (και μεγάλες αρτηρίες) - ελαστικό - Δεξαμενή πίεσης*

- Αποθήκευση ενέργειας κατά την συστολή όταν τα τοιχώματα διαστέλλονται
- Απελευθέρωση ενέργειας κατά την συστολή όταν τα τοιχώματα ανακρούονται προς τα μέσα
- Διατήρηση της ροής αίματος διαμέσου ολόκληρου του καρδιακού κύκλου

# ΚΟΙΛΙΑΚΟΣ ΟΓΚΟΣ

- **EDV = end-diastolic- volume**, ο όγκος αίματος στην κοιλία κατά το τέλος της διαστολής της
- **ESV = end-systolic-volume**, ο όγκος αίματος στην κοιλία κατά το τέλος της συστολής της



# ΟΓΚΟΣ ΠΑΛΜΟΥ

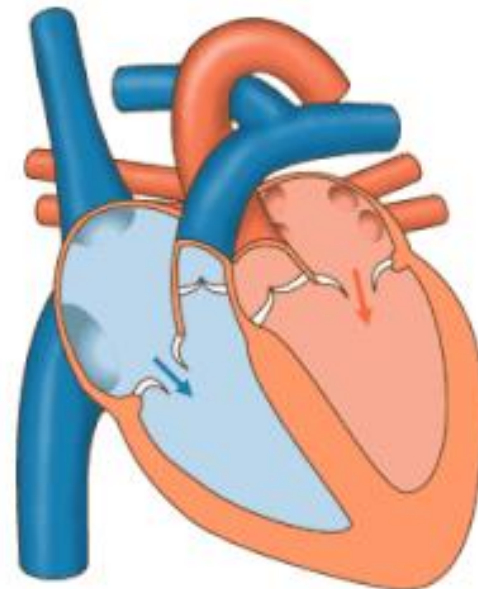
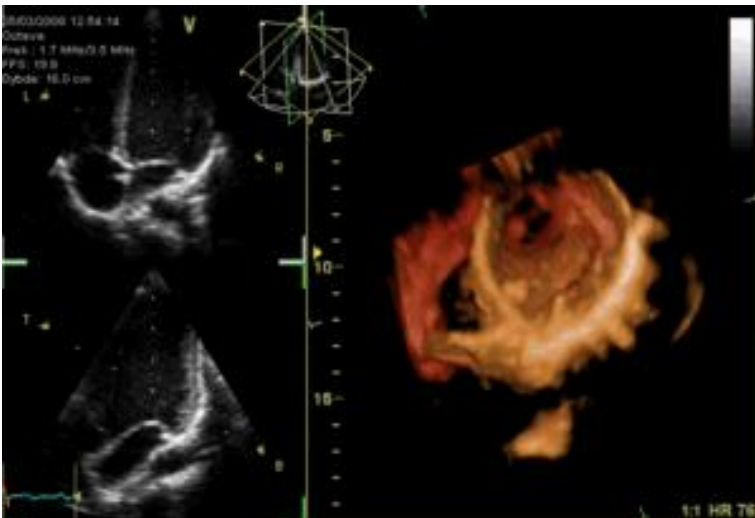
Ο όγκος αίματος που απομακρύνεται από την κοιλία σε κάθε χτύπο της καρδιάς

Όγκος παλμού/Stroke volume =  
end-diastolic volume - end-systolic volume =  
130 mL - 60 mL = 70 mL



# ΗΧΟΙ ΚΑΡΔΙΑΣ

- ◉ *όταν κλείνουν οι βαλβίδες λόγω της τυρβώδους ροής*
  - πρώτος ήχος καρδιάς
    - μαλακό .....
    - οι κολποκοιλιακές βαλβίδες κλείνουν ταυτόχρονα
  - δεύτερος ήχος καρδιάς
    - δυνατότερο .....
    - Οι μηννοειδείς βαλβίδες κλείνουν ταυτόχρονα



# ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΠΑΡΟΧΗ

## ◎ ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΠΑΡΟΧΗ

*Ο όγκος αίματος αντλείται από κάθε κοιλία  
ανά ένα λεπτό*

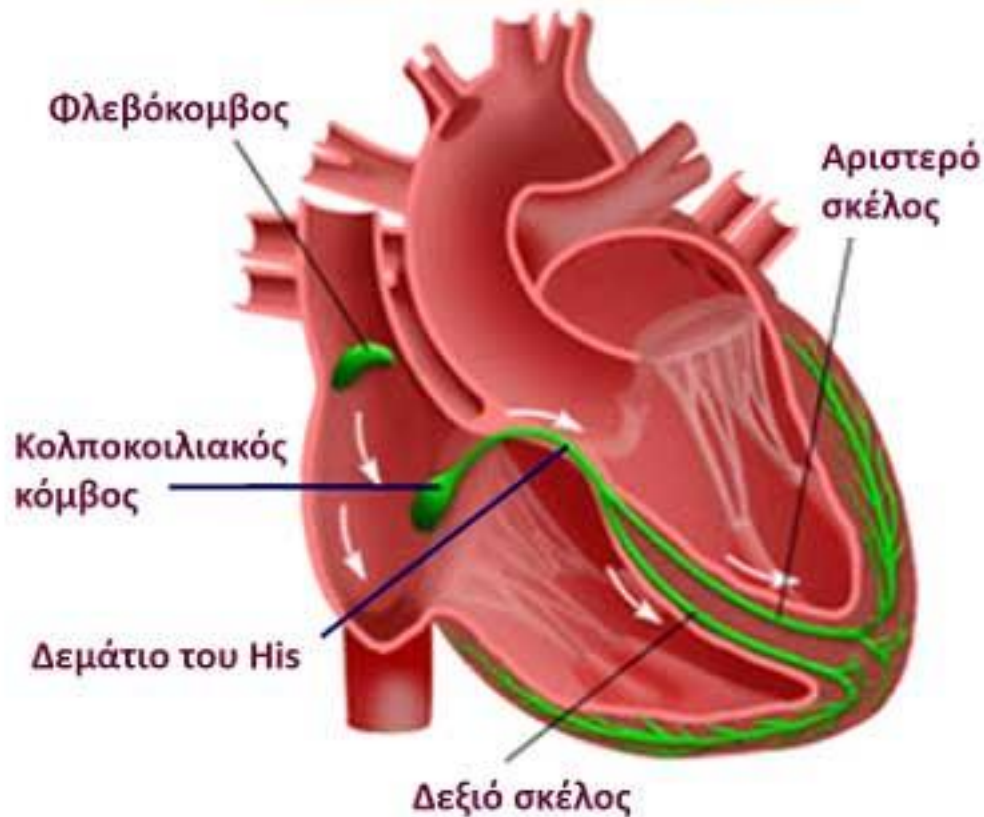
- Καρδιακή παροχή (Cardiac Output)= όγκος παλμού X HR
- Μέσος όρος CO = 5 λίτρα/λεπτό σε ηρεμία
- Μέσος όρος όγκου αίματος = 5.5 λίτρα

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ  
ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΟΥ  
ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟΥ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

# ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## Ρύθμιση του καρδιακού ρυθμού Heart Rate Regulation

Το ηλεκτρικό σύστημα της καρδιάς

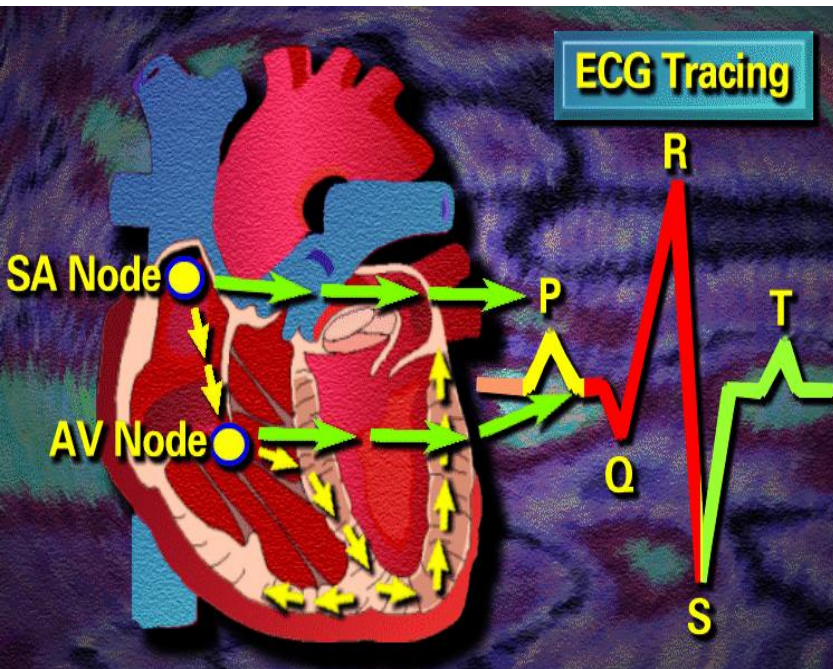


# ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

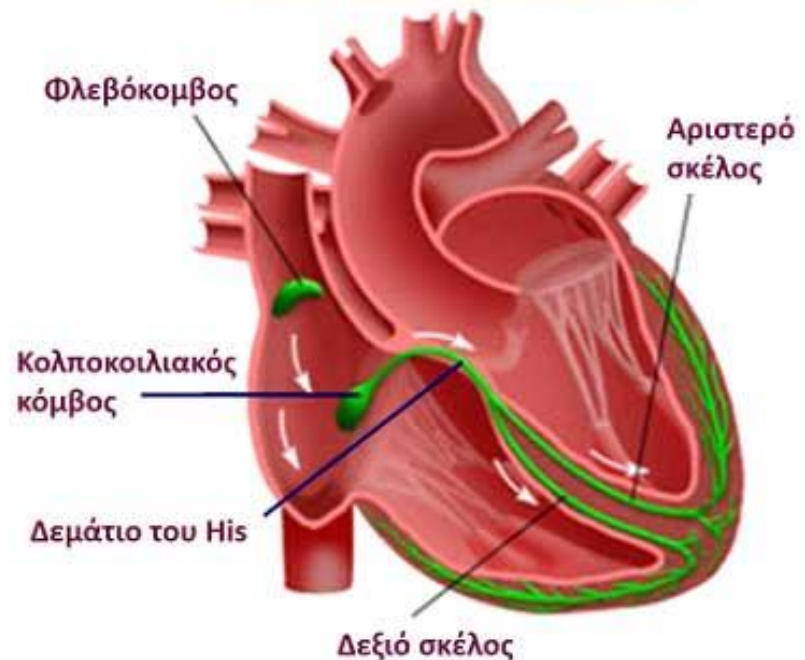
- ◉ *Η καρδιά έχει ενδογενή (βρίσκεται στην καρδιά) και εξωγενή (προέρχεται από το εξωτερικό της) ρύθμιση...*
- Πολλά κύτταρα του μυοκαρδίου έχουν μοναδικές δυνατότητες για αυθόρμητη ηλεκτρική δραστηριότητα (ενδογενής ρυθμός)
- Σε μία κανονική καρδιά, η αυθόρμητη ηλεκτρική δραστηριότητα περιορίζεται σε μία ειδική περιοχή
- Ο φλεβοκομβός λειτουργεί σαν βηματοδότης

# ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

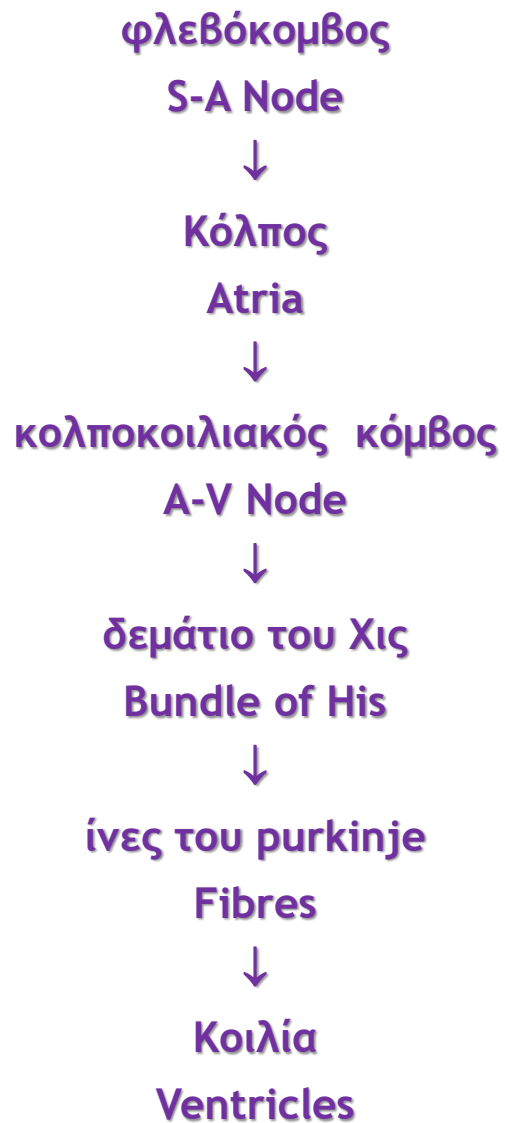
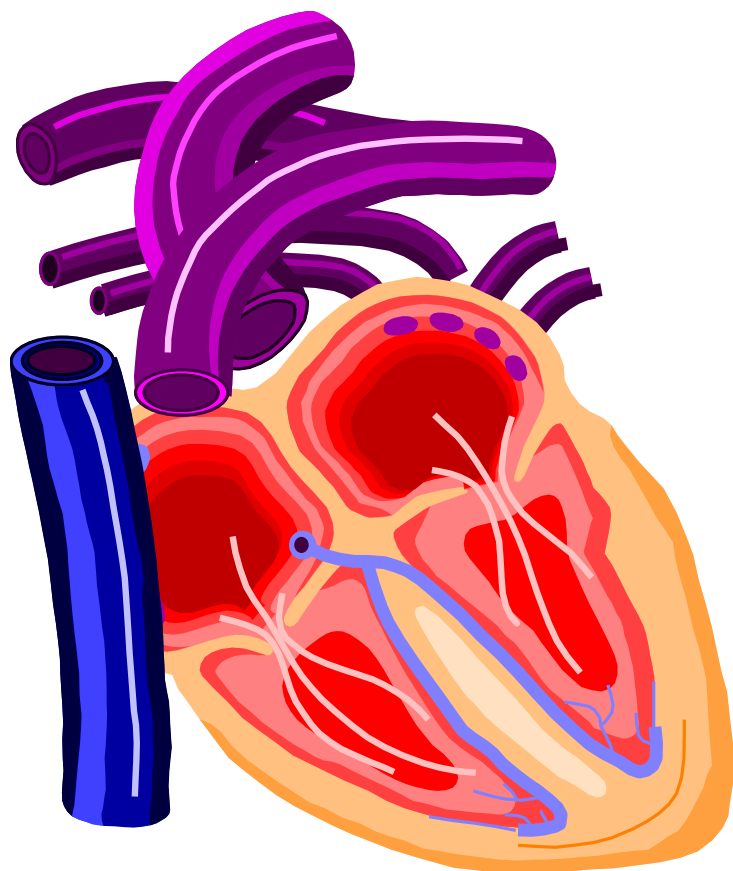
- Φλεβόκομβος SA: Βηματοδότης
- Κολποκοιλιακός κόμβος AV



Το ηλεκτρικό σύστημα της καρδιάς



# ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΕΚΠΟΛΩΣΗΣ



# ΕΝΔΟΓΕΝΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

- ◉ *Ο φλεβόκομβος εκτιμάται περίπου στα 90-100 bpm*
- Η παρασυμπαθητική νεύρωση επιβραδύνει τον ρυθμό
  - αναφέρεται ως παρασυμπαθητικός τόνος
  - η εκγύμναση αυξάνει τον παρασυμπαθητικό τόνο**



# Το ηλεκτρικό σύστημα της καρδιάς & το ΗΚΓ

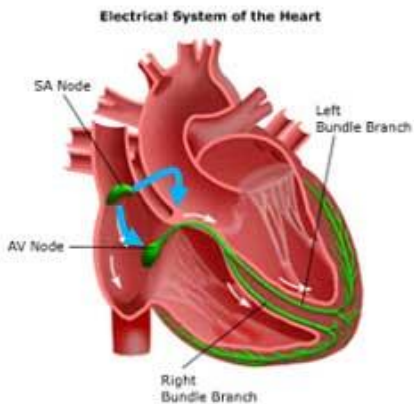
## *Το ηλεκτρικό σύστημα της καρδιάς (ερεθισματοαγωγό σύστημα της καρδιάς)*

Όπως κάθε ηλεκτροκίνητη μηχανή για να δουλέψει χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα, έτσι και η καρδιά για να συσταλεί ο καρδιακός της μυς χρειάζεται ένα ηλεκτρικό ερέθισμα που θα του δώσει την εντολή. Αυτό συμβαίνει με έναν εξαιρετικά οργανωμένο τρόπο σε κάθε καρδιακό παλμό. το ηλεκτρικό αυτό ερέθισμα ξεκινάει από μία περιοχή του δεξιού κόλπου τον φλεβόκομβο, που αποκαλείται και φυσιολογικός βηματοδότης της καρδιάς, γιατί αυτός έχοντας τη δυνατότητα αυτόματα να παράγει ερεθίσματα δίνει την αρχική εντολή, τον «βηματισμό» για να δημιουργηθεί ο κάθε καρδιακός παλμός. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα ακολουθεί μια συγκεκριμένη και απόλυτα προγραμματισμένη πορεία διεγείροντας αρχικά τους κόλπους της καρδιάς (δεξιό και αριστερό), αναγκάζοντάς τους να συσταλούν και να προωθήσουν το αίμα στις κοιλίες της καρδιάς (δεξιά και αριστερή). Στη συνέχεια το ερέθισμα περνάει από τον κολποκοιλιακό κόμβο που βρίσκεται ανάμεσα στους κόλπους και τις κοιλίες. Στον κολποκοιλιακό κόμβο το ηλεκτρικό ερέθισμα υφίσταται μια μικρή επιβράδυνση της κατά τα λοιπά μέρη ταχύτατης πορείας του κατά περίπου 0,12-0,20 δευτερόλεπτα.

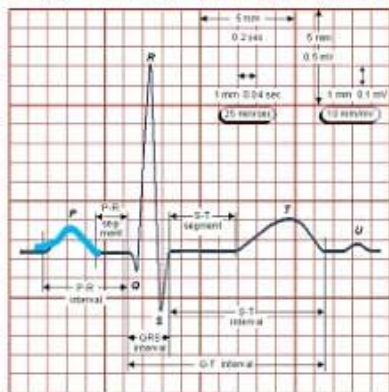
*Αυτή η καθυστέρηση είναι ένα μέτρο προστασίας της καρδιάς, καθώς ο κολποκοιλιακός κόμβος λειτουργώντας σαν πορτιέρης μπορεί να εμποδίσει μία πιθανή συρρέουσα κάθοδο πληθώρας ηλεκτρικών ερεθισμάτων από τους κόλπους στις κοιλίες. Αυτό το φαινόμενο θα προκαλούσε υπερβολικά πολλούς καρδιακούς παλμούς >200-300/λεπτό κατι που ακόμα και μία φυσιολογική καρδιά δεν μπορούσε να το αντέξει γιατί δεν προλαβαίνει καν να γεμίσει με αίμα και έτσι η συστολή της και η εν γένει λειτουργία της είναι εντελώς αναποτελεσματική αλλά και εξαιρετικά επικίνδυνη.*

Ακολουθώντας, το ηλεκτρικό σήμα περνά ταχύτατα από το δεμάτιο του His και κατόπιν διαδίδεται δια μέσου δύο σκελών, του δεξιού και του αριστερού σκέλους, στις αντίστοιχες κοιλίες της καρδιάς για να προκαλέσει την συστολή τους που θα εξωθήσει το αίμα στα περιφερικά όργανα. Ο φυσιολογικός ρυθμός της καρδιάς που ακολουθεί αυτήν την αλληλουχία λέγεται και φλεβοκομβικός ρυθμός, καθώς η ρυθμική αυτή «ενορχήστρωση» εκπορεύεται πάντα από τον φλεβόκομβο.

# Η πορεία του ηλεκτρικού ερεθίσματος της καρδιάς και το ηλεκτροκαρδιογράφημα

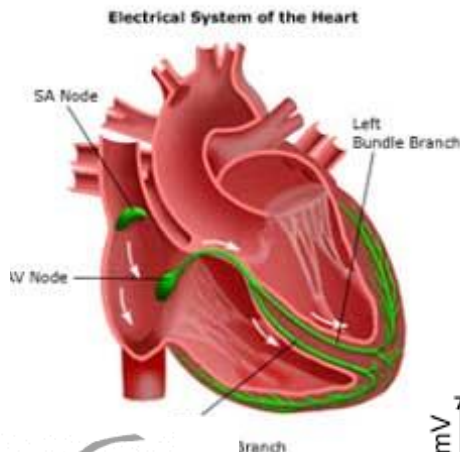


## Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)

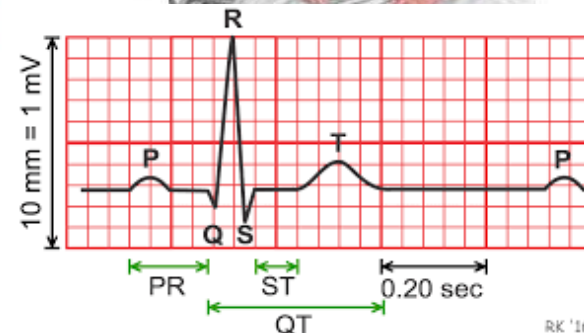
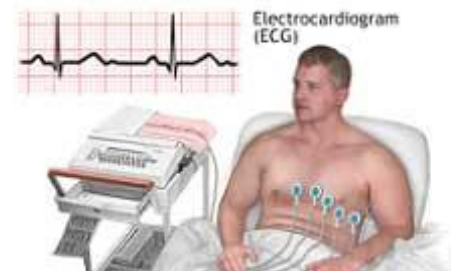


Η διέλευση του ηλεκτρικού ερεθίσματος από τους κόλπους που καταγράφεται από το κύμα P στο ΗΚΓ

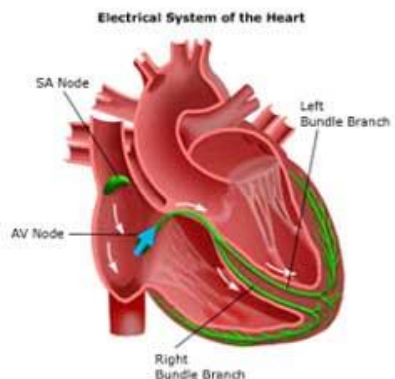
# Η πορεία του ηλεκτρικού ερεθίσματος της καρδιάς και το ηλεκτροκαρδιογράφημα



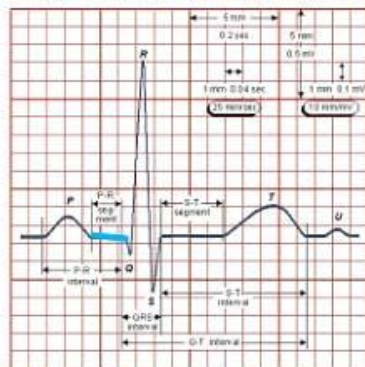
## Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)



# Η πορεία του ηλεκτρικού ερεθίσματος της καρδιάς και το ηλεκτροκαρδιογράφημα

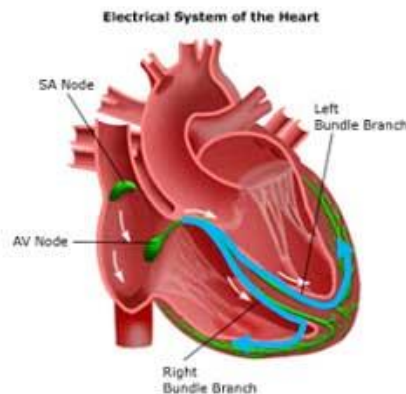


## Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)

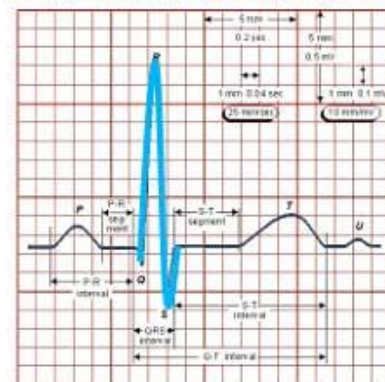


Η διέλευση και η καθυστέρηση του ηλεκτρικού ερεθίσματος στον κοιλιοκοιλιακό κόμβο που καταγράφεται ως «τμήμα PR» στο ΗΚΓ

# Η πορεία του ηλεκτρικού ερεθίσματος της καρδιάς και το ηλεκτροκαρδιογράφημα



## Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)



Η διάδοση του ηλεκτρικού ερεθίσματος στις κοιλίες που καταγράφεται ως σύμπλεγμα QRS στο ΗΚΓ

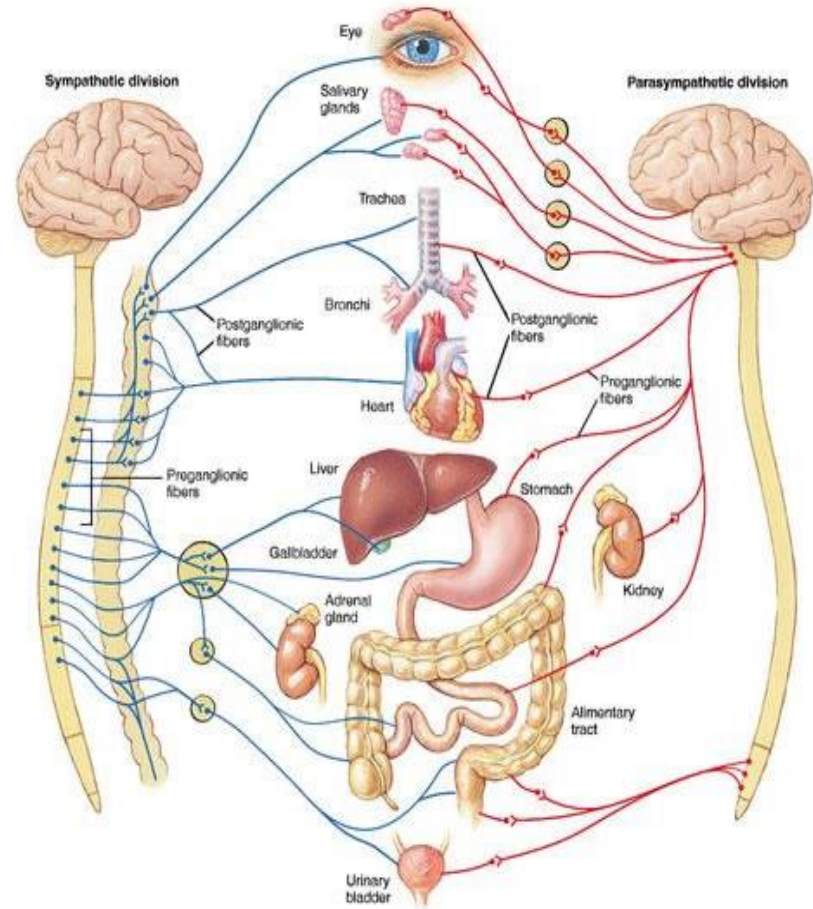
# ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

# ΕΞΩΓΕΝΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

- *Οι νευρικές επιρροές υπερισχύουν του ενδογενή ρυθμού*
  - Συμπαθητικό: Κατεχολαμίνες  
Επινεφρίνη  
Νορεπινεφρίνη
  - Παρασυμπαθητικό: Ακετυλοχολίνη
- Φλοιϊκά ερεθίσματα
- Περιφερικά ερεθίσματα

# ΝΕΥΡΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

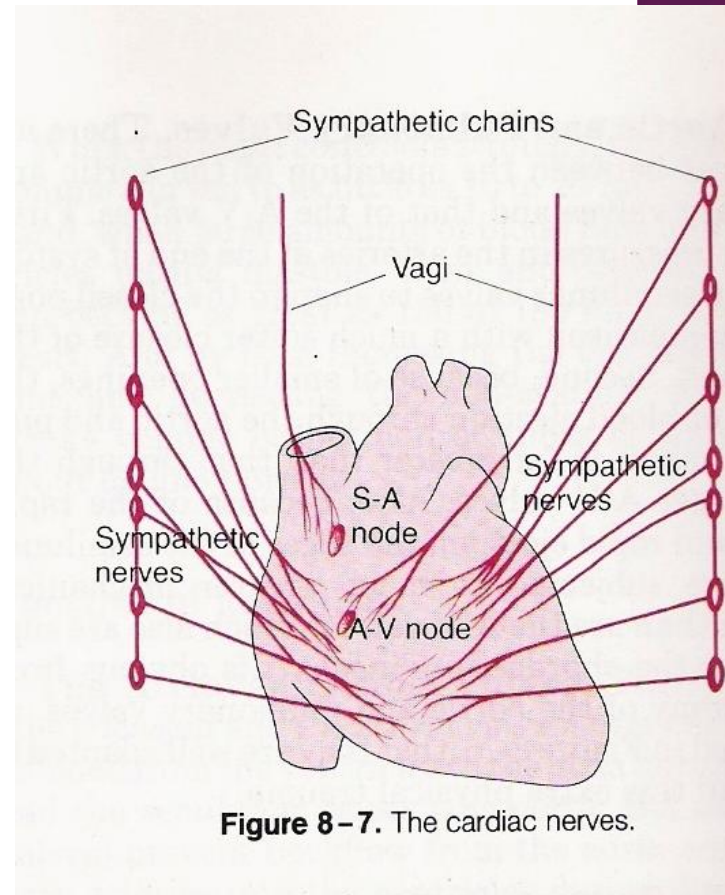
- Επιρροή του Συμπαθητικού Συστήματος
  - Επινεφρίνη,  $\uparrow$  Κ.Ρ (ταχυκαρδία) και  $\uparrow$  συσταλτικότητα
  - Νορεπινεφρίνη, συστολή στα αγγεία
- Επιρροή του Παρασυμπαθητικού Συστήματος
  - Ακετυλοχολίνη,  $\downarrow$  Κ.Ρ (βραδυκαρδία)
  - Η αερόβια άσκηση αυξάνει την κυριαρχία του πνευμονογαστρικού νεύρου



# ΚΑΡΔΙΑΚΑ ΝΕΥΡΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

## ◎ Συμπαθητικές ίνες

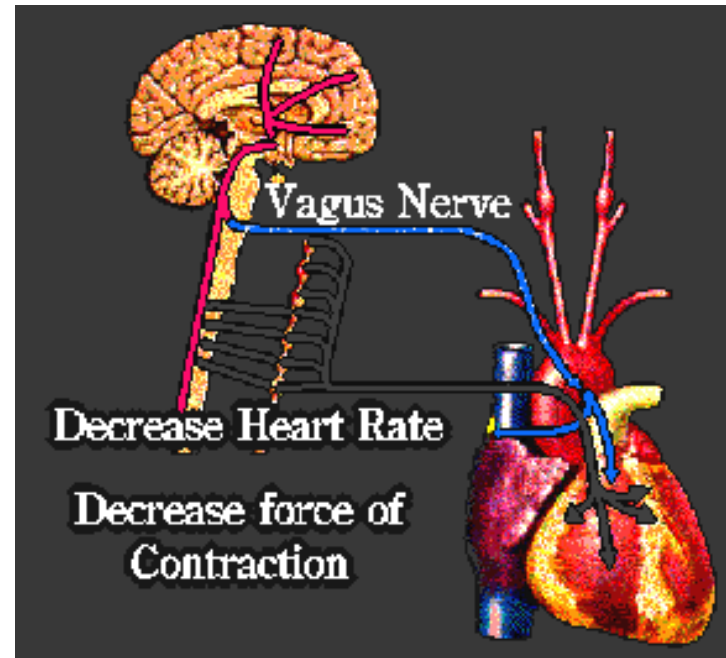
- Νευρώνουν τον φλεβοκομβό και τις κοιλίες
- Αυξάνουν την καρδιακή συχνότητα
- Αυξάνουν την συστολή
- Αυξάνουν την πίεση

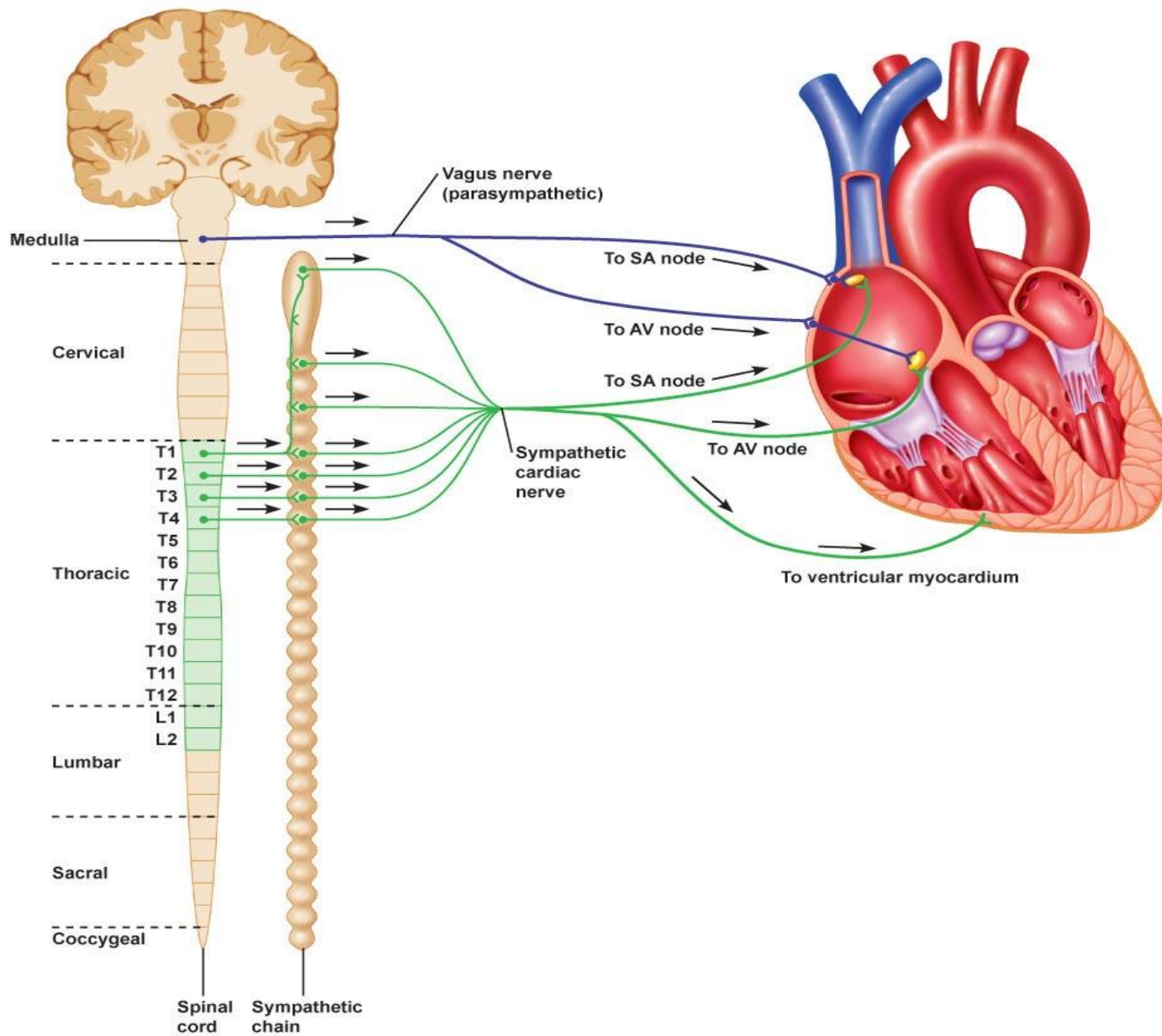


# ΠΝΕΥΜΟΝΟΓΑΣΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΟ

## ◉ Παρασυμπαθητικό νεύρο

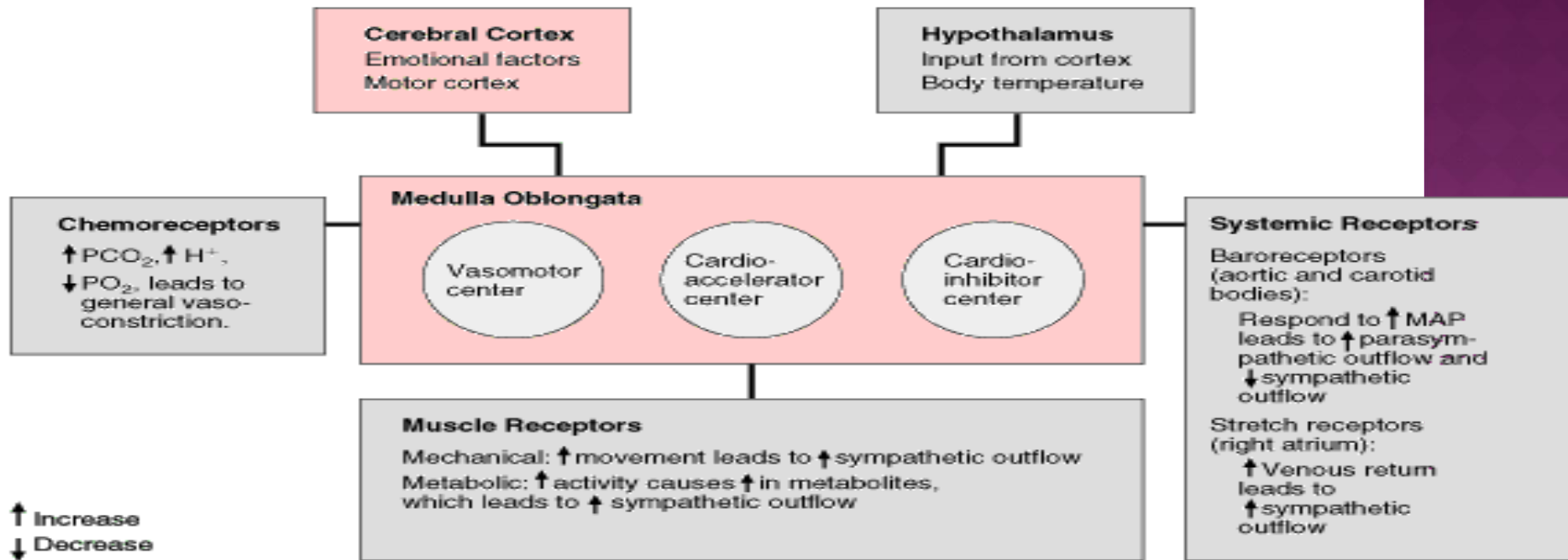
- Νευρώνει τον φλεβόκομβο και τον κολποκοιλιακό κόμβο
- Απελευθερώνει ακετυλοχολίνη
- Επιβραδύνει την καρδιακή συχνότητα
- Μειώνει την πίεση







# ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΡΔΙΑΚΟ ΡΥΘΜΟ



- Όσεις του εγκεφαλικού φλοιού περνάνε μέσω του καρδιαγγειακού κέντρου ελέγχου στον προμήκη μυελό
- Η συναισθηματική κατάσταση επηρεάζει την καρδιαγγειακή αντίδραση
- Προκαλεί αύξηση του καρδιακού ρυθμού εν αναμονή της άσκησης

# ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

- ◎ Περιφερικοί υποδοχείς παρακολουθούν την κατάσταση των ενεργών μυών, αλλαγή πνευμονογαστρικού ή συμπαθητικού
  - Χημειούποδοχείς ( $p\text{CO}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $p\text{O}_2$ )
    - καρδιακός και σκελετικοί μύες
  - Τασεούποδοχείς
  - μηχανούποδοχείς

# ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΤΟΥ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

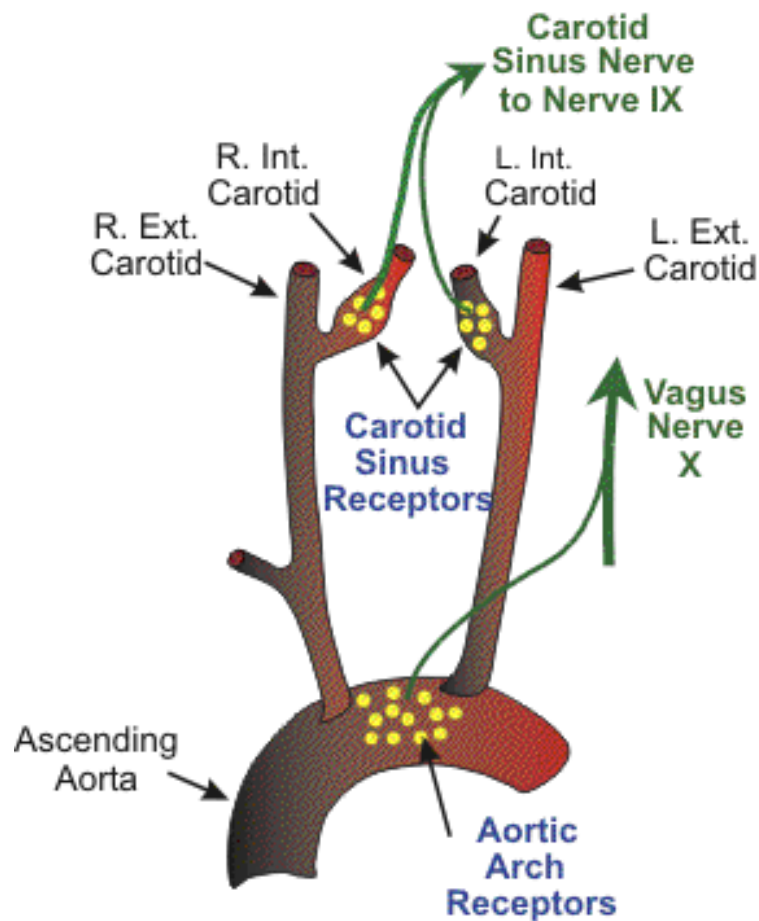


Figure 1. Location and innervation of arterial baroreceptors.

Τασεοϋποδοχείς στον καρωτιδικό κόλπο και στο αορτικό τόξο

•  $\uparrow$  πίεσης  $\rightarrow$   $\downarrow$  ΚΡ & συσταλτικότητα

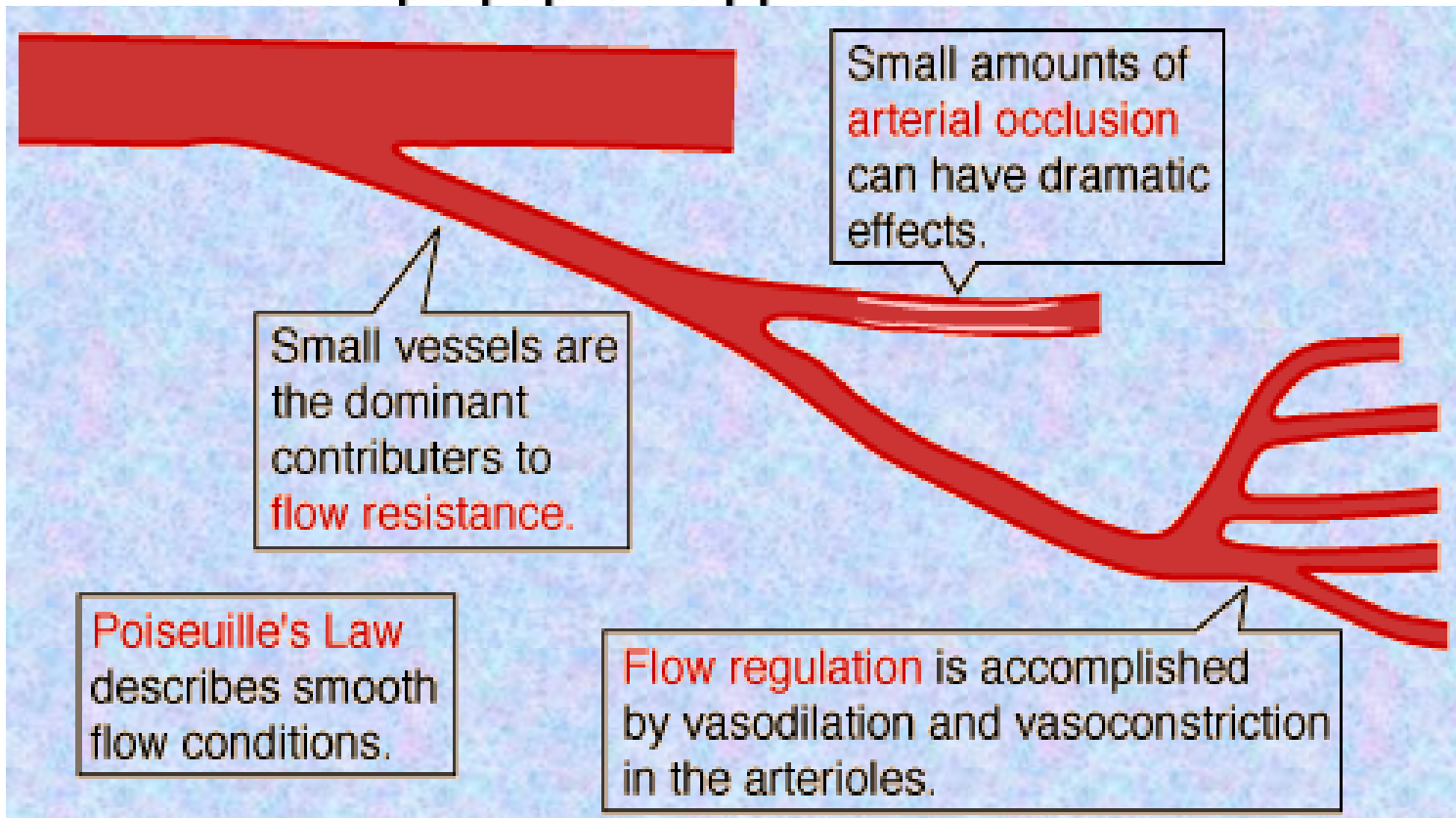
•  $\downarrow$  πίεσης  $\rightarrow$   $\uparrow$  ΚΡ & συσταλτικότητα

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ  
ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η  
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ  
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

# ΡΥΘΜΙΣΗ ΡΟΗΣ ΑΙΜΑΤΟΣ

## ⊙ παράγοντες αντίσταση ροής του αίματος

1. Πυκνότητα του αίματος
2. Μήκος του σωλήνα οδήγησης
3. Ακτίνα των αιμοφόρων αγγείων



# ΡΥΘΜΙΣΗ ΡΟΗΣ ΑΙΜΑΤΟΣ

- *1 στα 30 ή 40 τριχοειδή αγγεία είναι ανοιχτό στον μυ σε ηρεμία*
- *Ανοίγοντας ένα “ανενεργό” τριχοειδές αγγείο κατά την άσκηση επιφέρει...*
  - Αύξηση κυκλοφορίας του αίματος στον μυ
  - Μείωση ταχύτητας στην κυκλοφορία του αίματος
  - Αυξάνει την επιφάνεια για την ανταλλαγή αερίων

# ΤΟΠΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΣΤΗΝ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

⊙ ↓ ιστού  $O_2$  παράγει  
ισχυρή  
αγγειοδιαστολή σε  
σκελετικούς και  
καρδιακό μυ

- Αύξηση θερμοκρασίας
- Αύξηση  $CO_2$
- Μείωση pH
- Νιτρικό οξύ (NO)
- Ιόντα  $Mg^{+2}$  και  $K^+$
- Ακετυλοχολίνη

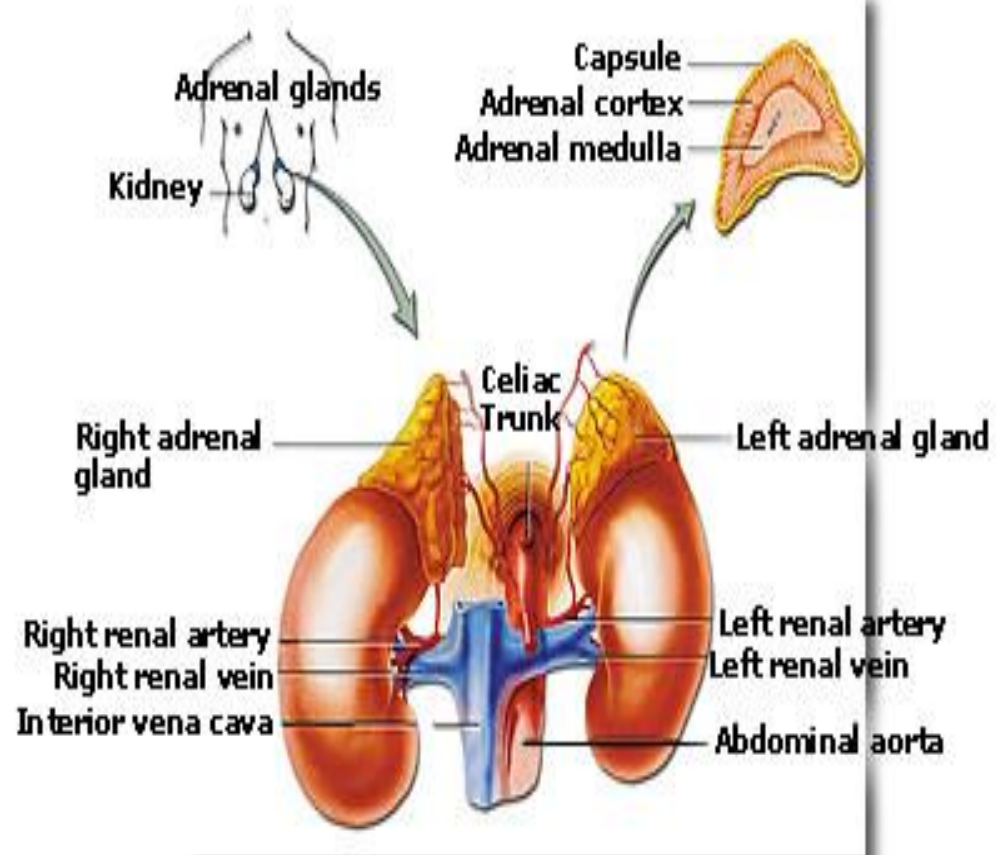
# ΝΕΥΡΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΡΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΙΜΑΤΟΣ

- ◉ Συμπαθητικά νεύρα (αδρενεργικά):  
νορεπινεφρίνη αγγειοδιαστολική ορμόνη
- ◉ Συμπαθητικά νεύρα (Χοληνεργικά):  
ακετυλοχολίνη αγγειοδιαστολή σε σκελετικούς  
και καρδιακό μυ



# ΟΡΜΟΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

- ◉ Συμπαθητικά νεύρα στο μυελό των επινεφριδίων προκαλούν την απελευθέρωση της επινεφρίνης και της νορεπινεφρίνης στο αίμα ~> μεταβάλλει την αντίσταση



# ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΠΟ ΗΡΕΜΙΑ ΣΕ ΑΣΚΗΣΗ

- ταχεία αύξηση του καρδιακού ρυθμού, όγκου παλμού και καρδιακής παροχής
  - λόγω αποχώρησης του παρασυμπαθητικού ερεθίσματος
  - αυξημένη συμβολή των συμπαθητικών νεύρων
- συνεχής αύξηση του καρδιακού ρυθμού
  - αύξηση της θερμοκρασίας
  - ανατροφοδότηση από ιδιοϋποδοχείς
  - συσσώρευση μεταβολιτών

# ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΗΓΕΣ

- ◉ Regulation of heart rate (9 mins)

<https://www.youtube.com/watch?v=oHn501ZQPRQ>

- ◉ Neural input - regulation of HR (5 mins)

<https://www.youtube.com/watch?v=PJ8WsZOywgo>

- ◉ Cardiovascular responses to exercise (17 mins)

<https://www.youtube.com/watch?v=Oivq6smIKIc>