

Βιοϊατρική Τεχνολογία

Εισαγωγή στα βιοϊατρικά σήματα
«Καρδιαγγειακό σύστημα & Ηλεκτροκαρδιογράφημα»

2^η Διάλεξη



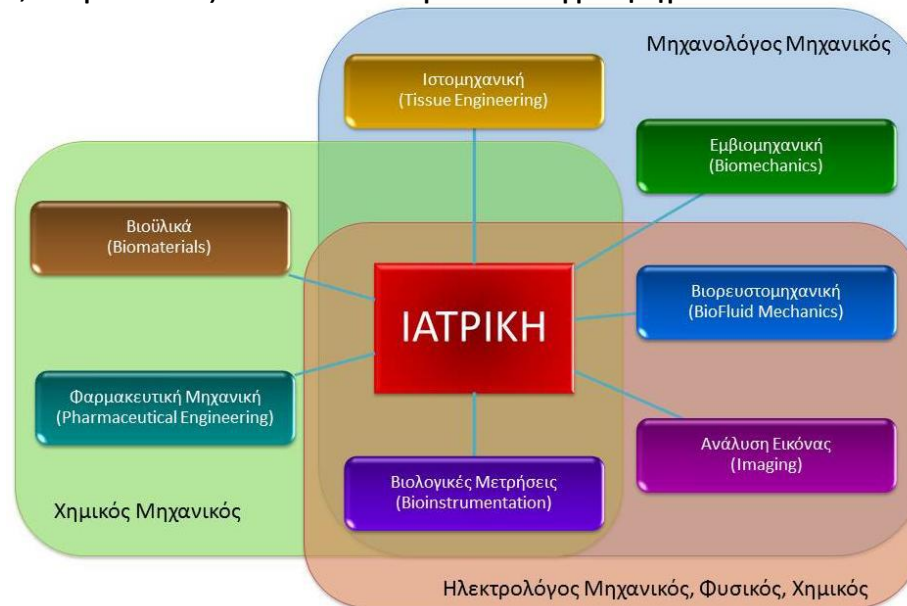
Roula Chatzaki, MSc., PhD(c)
Prof. Manolis Tsiknakis, PhD

Εισαγωγή - Ορισμοί

- ❖ Η βιοϊατρική τεχνολογία αναφέρεται στην εφαρμογή των θετικών επιστήμων για την ανάλυση και επίλυση ζητημάτων στους τομείς τις ιατρικής και βιολογίας.
- ❖ Σκοπός της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι να καλύψει έναν ευρύ φάσμα κοινωνικών αναγκών σε τομείς όπως:
 - της διάγνωσης, πρόληψης και θεραπείας ασθενειών,
 - την ανάπτυξη νέων υλικών, συσκευών και διαδικασιών ακόμα και
 - την αντιμετώπιση ευρύτερων περιβαλλοντικών προβλημάτων.
- ❖ Η βιοϊατρική τεχνολογία μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικούς επιστημονικούς κλάδου:
 - Βιοϊατρική Μηχανική (Biomedical Engineering)
 - Βιολογική Μηχανική (Biological Engineering)
- ❖ Η διαφοροποίηση ανάμεσα στη βιοϊατρική μηχανική και τη βιολογική μηχανική δεν είναι ξεκάθαρη και οι δύο κλάδοι συχνά αλληλεπικαλύπτονται. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι:
 - Η βιοϊατρική μηχανική έχει ως επίκεντρο την ιατρική και εφαρμόζει γνώσεις από την βιολογία και άλλες επιστήμες στην επίλυση ιατρικών προβλημάτων.
 - Η βιολογική μηχανική εστιάζει κυρίως σε προβλήματα και ερωτήματα που ανακύπτουν μέσα από την ανάπτυξη της ίδιας της επιστήμης της βιολογίας και σκοπό έχει την εύρεση νέας γνώσης, είτε αυτή βρίσκει εφαρμογή στην ιατρική, είτε όχι.

Βιοϊατρική Μηχανική-Βασικές περιοχές

- ❖ Η διάκριση των περιοχών δεν είναι δεσμευτική καθώς κάθε περιοχή έχει μια σειρά από περαιτέρω εφαρμογές όπου συναντώνται και επικαλύψεις με άλλες περιοχές.
- ❖ Οι διάφοροι τομείς της βιοϊατρικής μηχανικής, καθώς και οι κλάδοι στους οποίους γενικά εμπίπτουν, παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



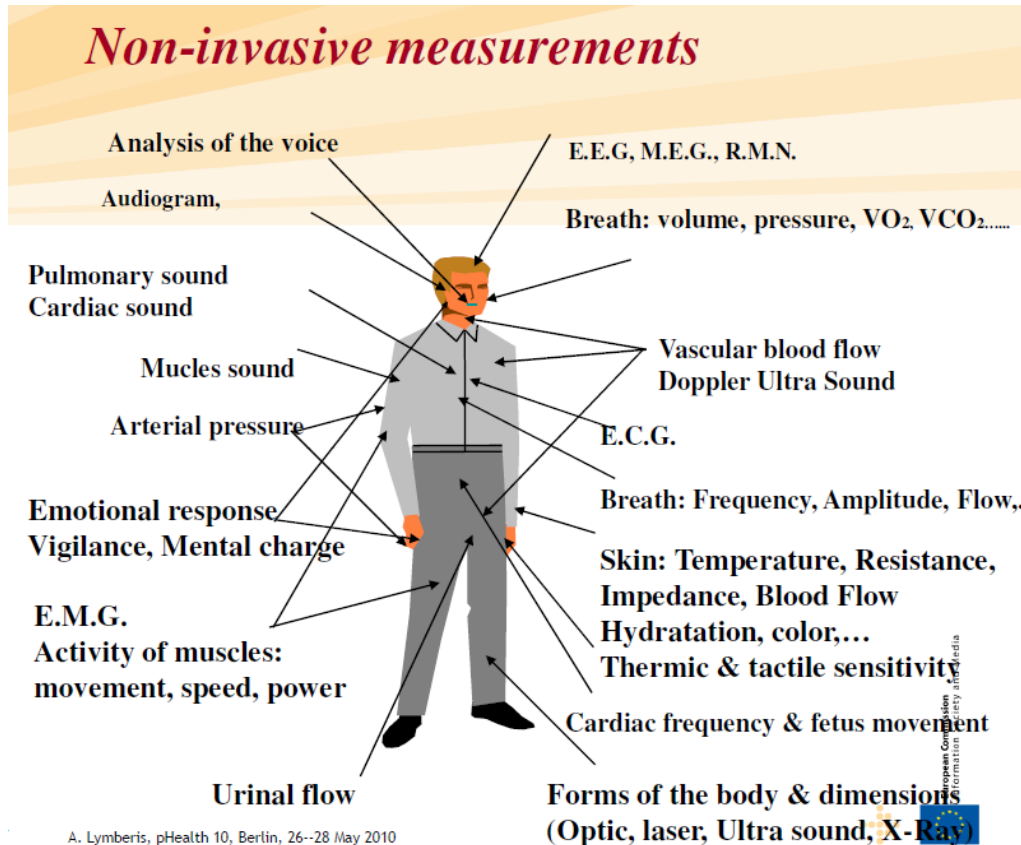
- Βιοϋλικά
- Βιοτεχνολογία
- Βιοϊατρική Οργανολογία
- Βιονανοτεχνολογία
- Κλινική Μηχανική
- Βιοπληροφορική
- Μηχανικών Ιστών
- Ανάλυση Ιατρικών & Βιολογικών Δεδομένων
- Ιατρική Απεικόνιση
- Ανάλυση βιοϊατρικών σημάτων
- Νεύρομηχανική
- Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων
- Προσθετική – Τεχνητά Όργανα

Βιοϊατρικά Σήματα

- ❖ Με τον όρο βιοϊατρικό σήμα ορίζουμε τις διακυμάνσεις φυσικών μεγεθών στον χρόνο, οι οποίες συμβαίνουν στα όργανα του ανθρώπινου σώματος.
- ❖ Οι διακυμάνσεις αυτές δύναται να ανιχνευθούν και να καταγραφούν με κατάλληλους αισθητήρες ανάλογα με τη φύση του μεγέθους που μεταβάλλεται.
- ❖ Κάθε βιοϊατρικό σήμα παρουσιάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία από την ιατρική γνώση και εμπειρία μπορούν να χαρακτηριστούν:
 - φυσιολογικά, εφόσον παρουσιάζονται στην πλειοψηφία των ανθρώπων που δεν έχουν διαγνωστεί με κάποια παθολογία σχετιζόμενη με το εν λόγω σήμα.
 - μη φυσιολογικά, εφόσον παρουσιάζουν παρεκκλίσεις από τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά ενός βιοϊατρικού σήματος ενδέχεται να σχετίζονται με παθολογικές καταστάσεις και σε συνδυασμό με άλλα ευρήματα και ενδείξεις να οδηγήσουν σε μια ασφαλή διάγνωση και πρόγνωση.

Βιοϊατρικά Σήματα

- ❖ Για την ανίχνευση και καταγραφή των βιοϊατρικών σημάτων υπάρχει μια πληθώρα οργάνων και αισθητήρων που χρησιμοποιούνται, όπως ηλεκτρόδια, πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, υπερηχογράφος, μαγνητικός τομογράφος κ.α.

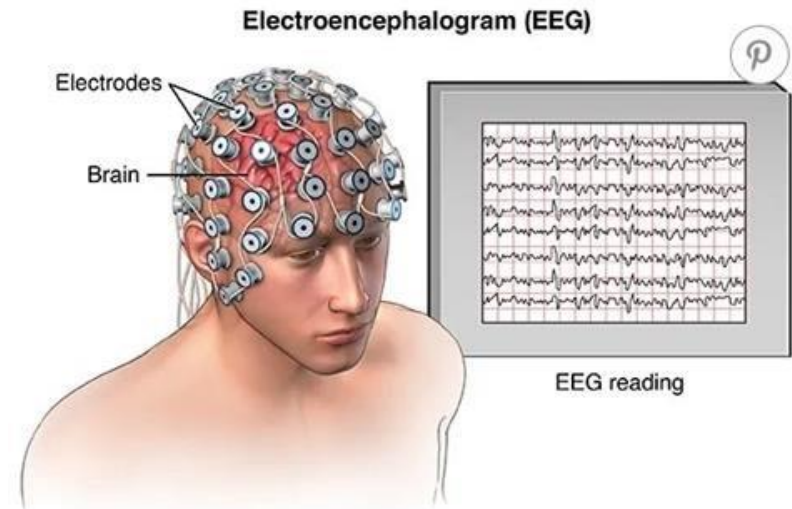
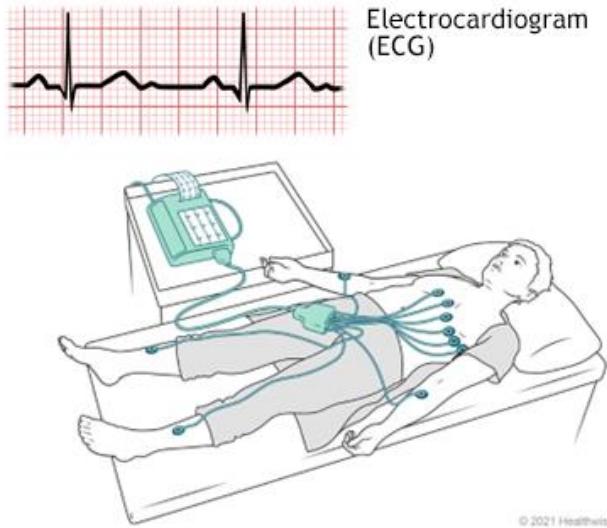


A. Lymberis, pHealth 10, Bertin, 26--28 May 2010

Courtesy A. Dittmar, Insa Lyon, Fr

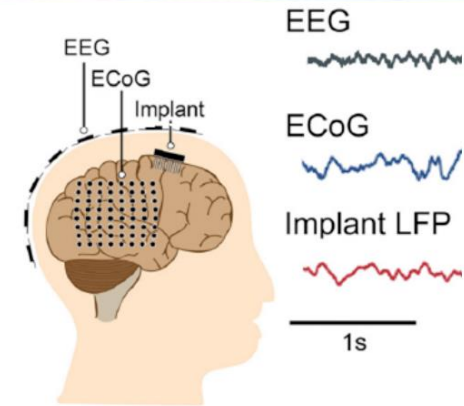
Βιοϊατρικά Σήματα

- ❖ Ενδεικτικά παραδείγματα βιοϊατρικών σημάτων αποτελούν το ηλεκτροκαρδιογράφημα- ΗΚΓ (Electrocardiogram - ECG) και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (Electroencephalogram - EEG). Τα δύο αυτά σήματα καταγράφουν τις μεταβολές των ηλεκτρικών σημάτων που δημιουργούνται από τη λειτουργία των δύο ζωτικών μας οργάνων, της καρδιάς και του εγκεφάλου.



Βιοϊατρικά Σήματα- Ηλεκτρόδια

- ❖ Τα ηλεκτρόδια είναι ηλεκτρικοί δυναμικοί αισθητήρες (electrical potential sensor). Τα ηλεκτρόδια μπορεί να είναι επεμβατικής ή μη επεμβατικής φύσης. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα εφαρμογής μη επεμβατικών και επεμβατικών ηλεκτροδίων, αντίστοιχα, είναι αυτό του Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος έναντι του Ηλεκτροκορτικογραφήματος.
- ❖ Υπάρχουν ποικίλα μεγέθη και σχήματα ηλεκτροδίων ανάλογα με το βιοϊατρικό σήμα που στοχεύουν να καταγράψουν ή τις πειραματικές συνθήκες: επιφανειακά, βελονοειδή, σφηνοειδή, υποσκληρίδια λωρίδας, εν τω βάθει.



- ❖ Τα πλέον χρησιμοποιούμενα στην κλινική πράξη είναι τα επιφανειακά, τα οποία προσκολλώνται στο δέρμα με ζελέ, καταγράφοντας το σήμα με μη επεμβατικό τρόπο. Το ηλεκτροκαρδιογράφημα και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα εμπίπτουν στις βασικές εφαρμογές ηλεκτροδίων.

Καρδιαγγειακό σύστημα & ΗΚΓ

atria + ventricles
relax + fill

atria contract

isovolumetric
contraction

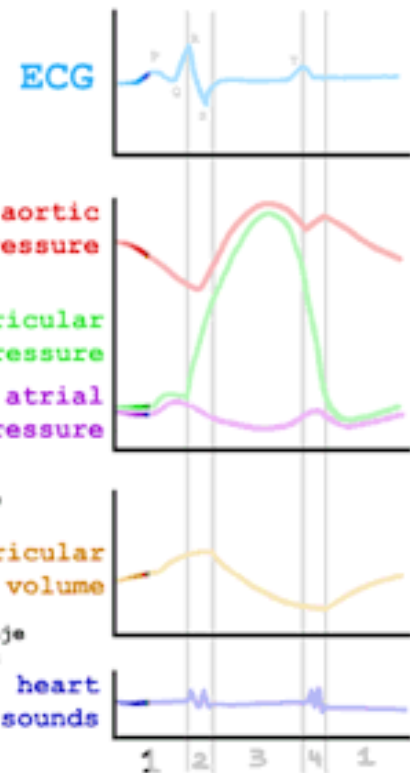
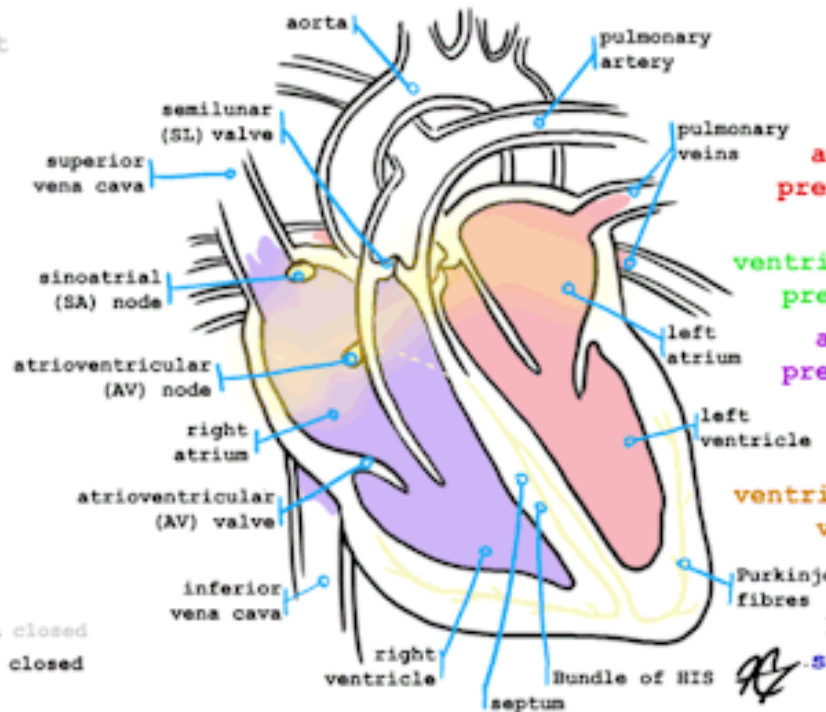
ventricles
contract;
ejection

isovolumetric
relaxation

Time: 0.1s

diastole
systole

AV valves open closed
SL valves open closed



Καρδιά

- ❖ Η Καρδιά είναι μια ηλεκτρομηχανική αντλία από μυς και νεύρα. Δρώντας ως κέντρο κυκλοφορίας του αίματος εξυπηρετεί δύο κυκλοφορίες τη συστηματική και την πνευμονική.

Expectation



vs

Reality



RESTING HEART RATE BY AGE AND GENDER

| AGE | ATHLETE | VERY GOOD | ABOVE AVERAGE | AVERAGE | BELOW AVERAGE | POOR |
|-------|---------|-----------|---------------|---------|---------------|-------|
| 20-39 | 47-54 | 55-60 | 61-68 | 69-75 | 76-83 | 84-94 |
| 40-59 | 46-54 | 55-60 | 61-67 | 68-76 | 77-84 | 85-94 |
| 60-79 | 45-53 | 54-59 | 60-66 | 67-74 | 75-83 | 84-97 |

| AGE | ATHLETE | VERY GOOD | ABOVE AVERAGE | AVERAGE | BELOW AVERAGE | POOR |
|-------|---------|-----------|---------------|---------|---------------|-------|
| 20-39 | 52-59 | 60-65 | 66-73 | 74-81 | 82-88 | 89-98 |
| 40-59 | 51-58 | 59-63 | 64-70 | 71-78 | 79-85 | 86-96 |
| 60-79 | 52-58 | 59-63 | 64-69 | 70-77 | 78-85 | 86-95 |

- ❖ Η καρδιά ενός ανθρώπου χτύπα κατά μέσο όρο περίπου 110.000 φορές κάθε ημέρα. Ο φυσιολογικός ρυθμός της καρδιάς ονομάζεται φλεβοκομβικός ρυθμός και οι φυσιολογικοί χτύποι κυμαίνονται μεταξύ 60 και 100/λεπτό. Όταν οι χτύποι της καρδιάς είναι λιγότεροι από 60/λεπτό, υπάρχει βραδυκαρδία, ενώ όταν είναι περισσότεροι από 100/λεπτό ταχυκαρδία. Επίσης, όταν οι χτύποι της καρδιάς δεν είναι ρυθμικοί, αλλά άρρυθμοι (ακανόνιστοι, ακατάστατοι), τότε λέμε ότι υπάρχει αρρυθμία.



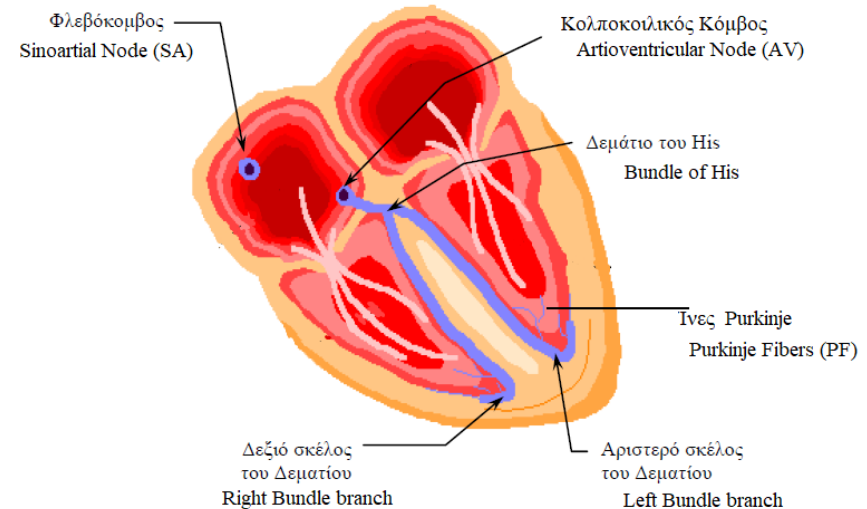
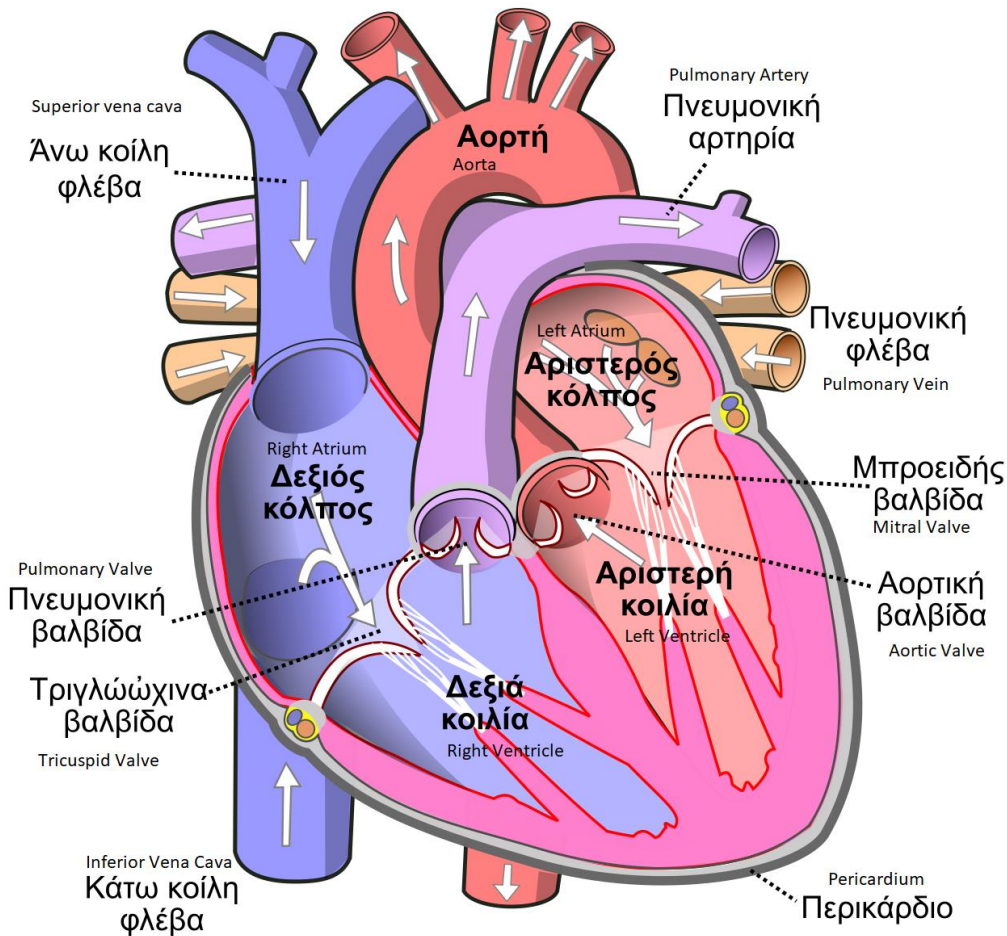
Φυσιολογικοί χτύποι καρδιάς

vs



Εξαιρετικά άρρυθμοί χτύποι καρδιάς

Καρδιαγγειακό σύστημα



Καρδιαγγειακό σύστημα

- ❖ Ο φλεβόκομβος είναι υπεύθυνος για την ηλεκτρική διέγερση της καρδιάς
- ❖ Η καρδιά συστέλλεται για να εκτοξεύσει το αίμα ο καρδιακός μυς (εκπόλωση των μυοκύτταρων της καρδιάς) και διαστέλλεται για να γεμίσει αίμα (επαναπόλωση και χαλάρωση τους των μυοκύτταρων της καρδιάς)
- ❖ Όταν τα κύτταρα βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας δεν υπάρχει ηλεκτρική δραστηριότητα στα κύτταρα αλλά περιμένουν έναν ηλεκτρικό παλμό για να αρχίσουν να παράγουν έργο. (ισοηλεκτρική γραμμή ΗΚΓ)
- ❖ Το ηλεκτρικό ρεύμα της καρδιάς δημιουργείται με τη διάδοση των εκπολώσεων και επαναπολώσεων (δυναμικό ενέργειας- action potential) που ξεκινούν από το φλεβόκομβο και φτάνουν μέχρι τα τελευταία μυϊκά κύτταρα των κοιλιών.
- ❖ Το Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) καταγράφει την παραγωγή και εξάπλωση του ηλεκτρικού ρεύματος στην καρδιά δηλαδή τις μεταβολές στο ηλεκτρικό δυναμικό που συμβαίνουν διαδοχικά, ανά πάσα στιγμή στα κύτταρα της.

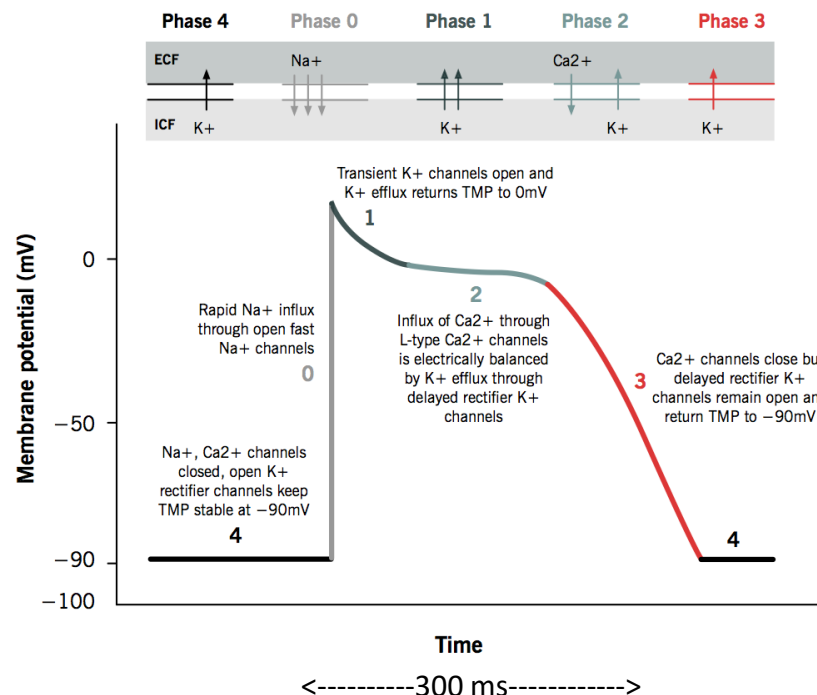
<https://www.youtube.com/watch?v=v3b-YhZmQu8>

Δυναμικό ενέργειας – Action Potential

- ❖ Η μεμβράνη των κυττάρων της καρδιάς είναι ηλεκτρικά θετικά φορτισμένη εξωτερικά και αρνητικά εσωτερικά, σε κατάσταση ηρεμίας.
- ❖ Τα μυοκύτταρα της Καρδιάς χρειάζεται να **Εκπολωθούν** (δηλαδή να αντιστρέφουν την πόλωση στην κυτταρική τους μεμβράνη) για να γίνει η **Σύσπαση** τους και να **Επαναπολωθούν** για να ακολουθήσει η **Χαλάρωση** τους.
- ❖ Για να διατηρείται ο κύκλος της **Εκπόλωσης**> **Σύσπασης**> **Επαναπόλωσης**> **Χαλάρωσης**, μεταβάλλεται διαδοχικά το ηλεκτρικό δυναμικό στο εσωτερικό των μυοκυττάρων, από αρνητικό σε θετικό και ξανά σε αρνητικό (από τα -90 mV στα $+25\text{ mV}$ και ξανά στα -90 mV).

Action potential of cardiac muscles

Grigoriy Ikonnikov and Eric Wong

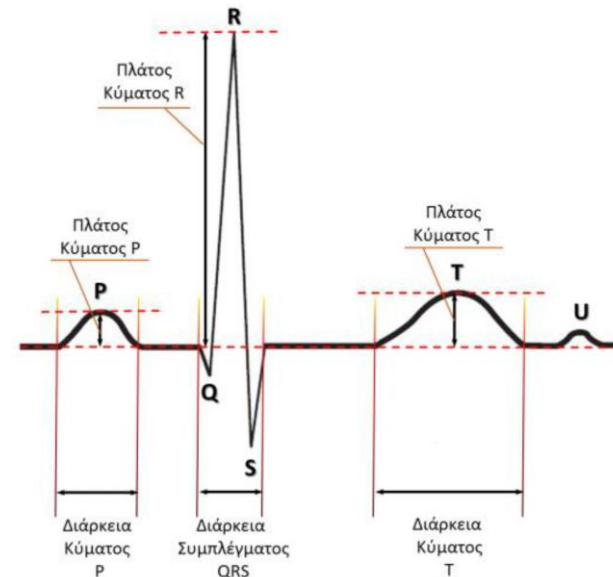
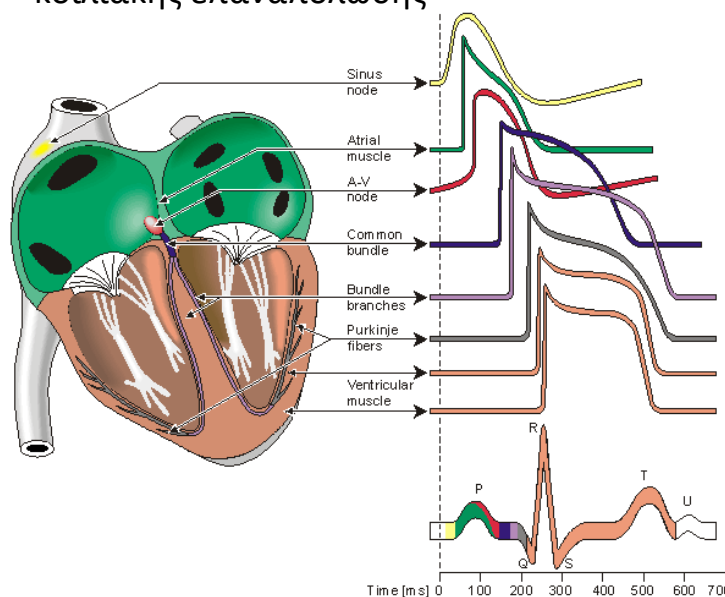


Heart Muscle (myocardium)
Action Potential | Cardiology

<https://www.youtube.com/watch?v=32vOISDfvAE>

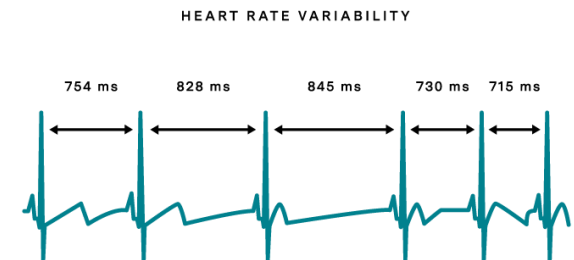
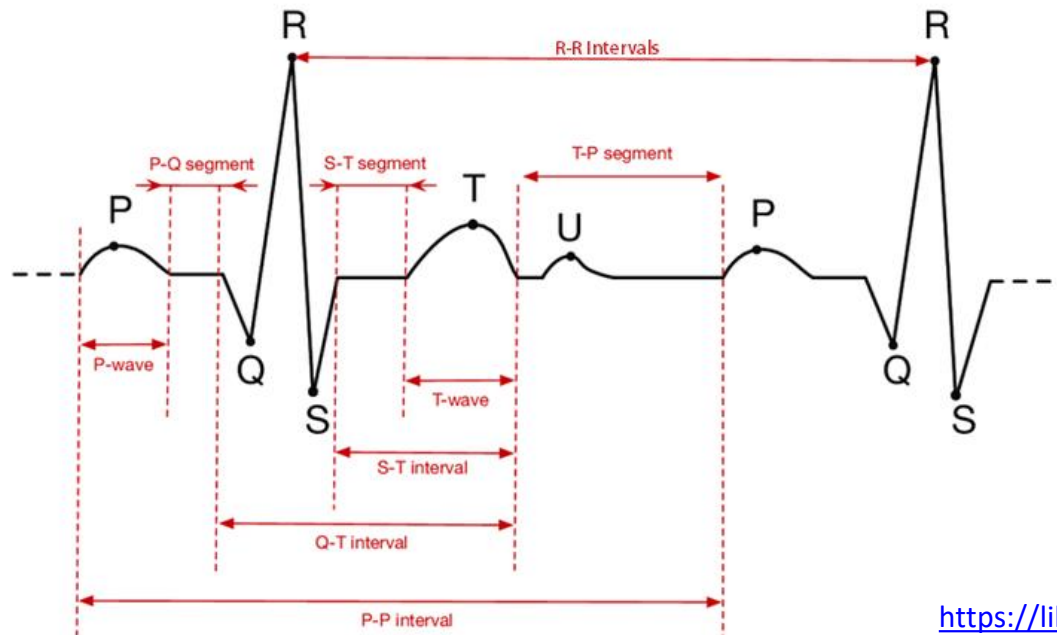
Ηλεκτροκαρδιογράφημα

- ❖ Το ΗΚΓ καταγράφει μόνο δύο γεγονότα:
 - την εκπόλωση – την επέκταση ενός ερεθίσματος στον καρδιακό μυ
 - την επαναπόλωση – την επάνοδο του διεγερμένου καρδιακού μύος στην κατάσταση της ηρεμίας
- ❖ Τα κύματα του ΗΚΓ είναι:
 - Κύμα P: αντιπροσωπεύει την κοιλική εκπόλωση, δηλαδή τη διάδοση ενός ηλεκτρικού ερεθίσματος στους κόλπους.
 - Σύμπλεγμα QRS: παριστάνει την κοιλιακή εκπόλωση, δηλαδή τη διάδοση ενός ηλεκτρικού ερεθίσματος στις κοιλίες.
 - Κύμα T: αντιπροσωπεύει την κοιλιακή επαναπόλωση, δηλαδή την επάνοδο του διεγερμένου κοιλιακού μύος σε κατάσταση ηρεμίας.
 - Κύμα U: παρατηρείται (μερικές φορές) μετά το T και αντιπροσωπεύει την τελική φάση της κοιλιακής επαναπόλωσης



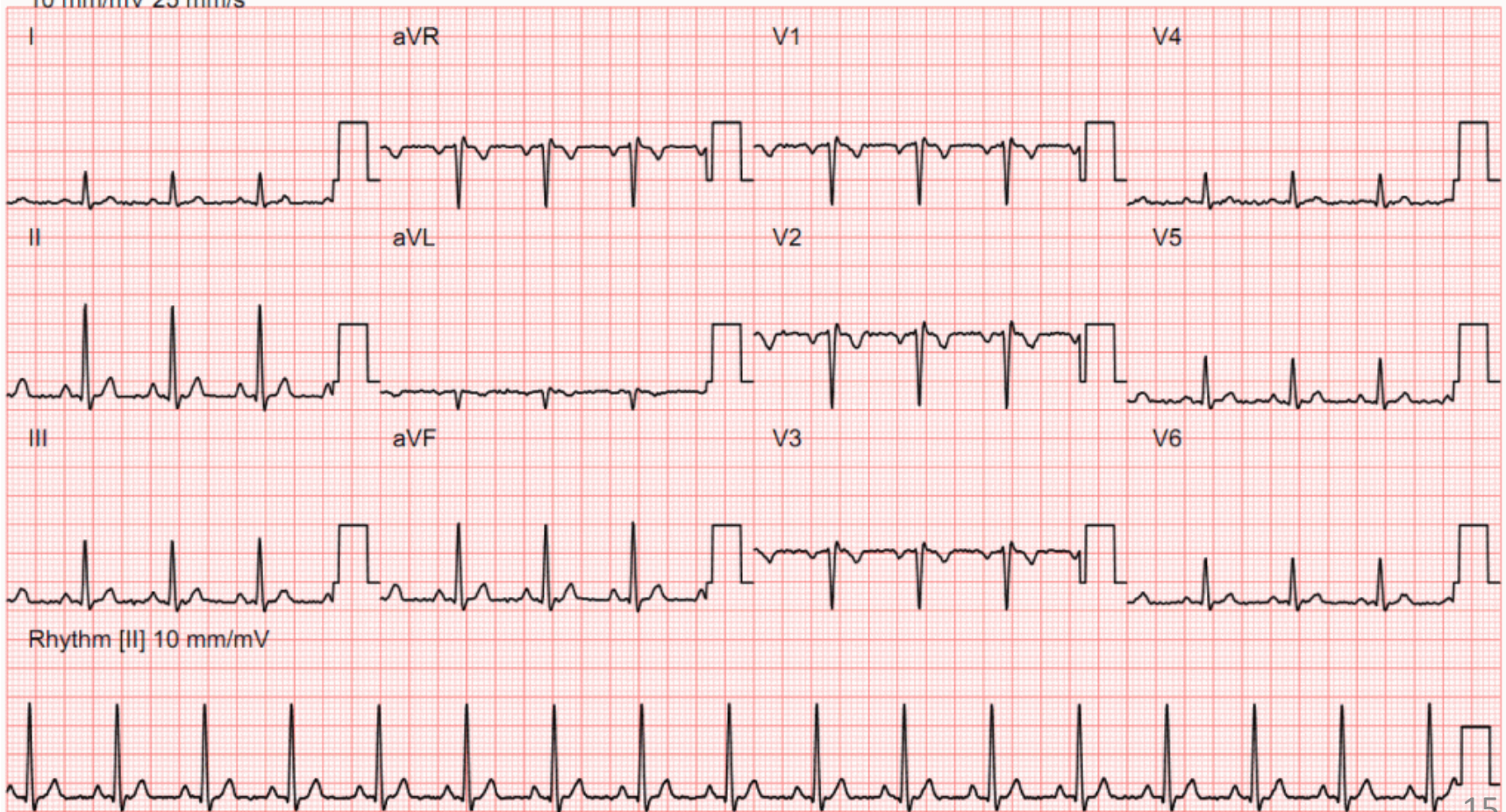
Ηλεκτροκαρδιογράφημα

- ❖ Ένα τυπικό σήμα ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ΗΚΓ) και τα κύρια χαρακτηριστικά του: κορυφές (P, Q, R, S, T, U), κύματα, τμήματα και διαστήματα. [Διάστημα R-R ή Inter-Beat Interval (IBI) για ΗΚΓ, ή Inter-Pulse Interval (IPI) για φωτοπληθυσμογραφία Photoplethysmography – PPG)]
- ❖ Ο καρδιακός ρυθμός (Heart Rate - HR) είναι ο μέσος αριθμός παλμών ανά λεπτό.
- ❖ Η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού (Heart Rate Variability -HRV) μετρά τις συγκεκριμένες αλλαγές στο χρόνο, ή τη μεταβλητότητα, (variability) μεταξύ των διαδοχικών καρδιακών παλμών. [A high HRV is associated with parasympathetic activity]



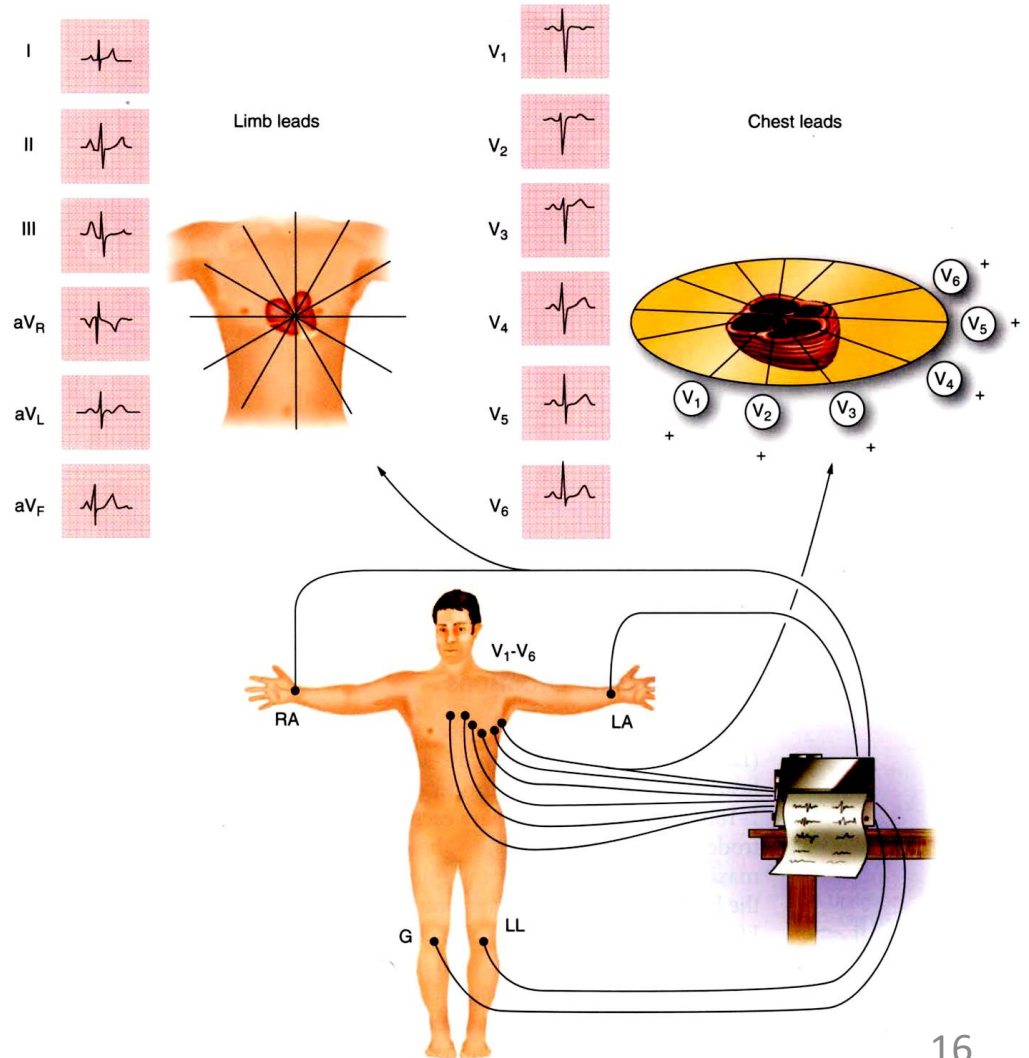
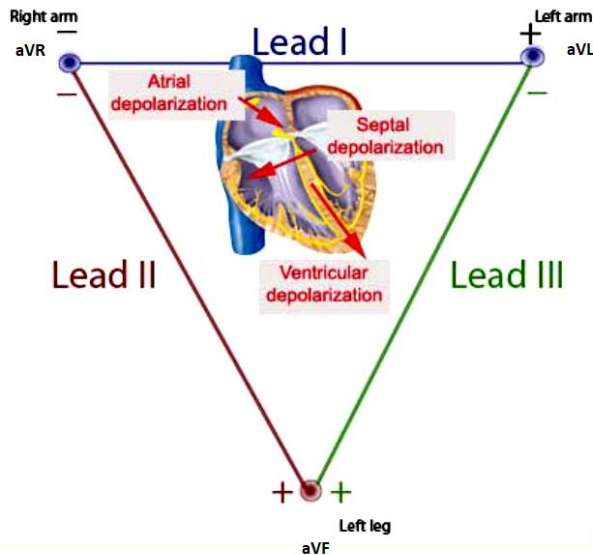
Κάθε μικρό τετράγωνο είναι 0.04 sec || Κάθε μεγάλο τετράγωνο είναι 0.2 sec
5 μεγάλα τετράγωνα 1 sec || 300 μεγάλα τετράγωνα = 1 min

10 mm/mV 25 mm/s



Ηλεκτροκαρδιογράφος

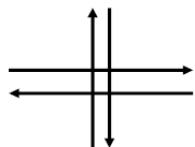
- ❖ Ο ηλεκτροκαρδιογράφος, είναι ένα ευαίσθητο βολτόμετρο που καταγράφει μέσω ηλεκτροδίων τις διαφορές δυναμικού των ερεθισμάτων της καρδιάς.
- ❖ Στην κλινική πράξη χρησιμοποιείται η μέθοδος των 12 ηλεκτροκαρδιακών απαγωγών, σύμφωνα με το τρίγωνο του Einthoven, σύμφωνα με το οποίο έχουμε 6 απαγωγές των άκρων και 6 προκάρδιες. Για να προκύψουν αυτές οι απαγωγές εφαρμόζονται 9 ηλεκτρόδια + 1 γείωσης.



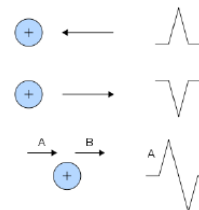
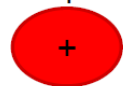
Ηλεκτροκαρδιογράφος

- ❖ Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε διάφορες τυπικές θέσεις
- ❖ Η πολικότητα της εγγραφής, κατά τη διάρκεια κάθε καρδιακού παλμού, καθορίζεται από των προσανατολισμό των ηλεκτροδίων σε σχέση με την κατεύθυνση του ρεύματος στην καρδιά.
- ❖ όταν το κύμα εκπόλωσης οδεύει από το αρνητικό προς το θετικό ηλεκτρόδιο του ηλεκτροκαρδιογράφου, η γραφίδα κινείται προς τα πάνω και καταγράφει θετική απόκλιση.
- ❖ όταν το κύμα της εκπόλωσης οδεύει από το θετικό προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο, η κίνηση της γραφίδας καταγράφει αρνητική απόκλιση.
- ❖ Όταν το κύμα εκπόλωσης επεκτείνεται κάθετα προς μια απαγωγή θα καταγραφεί **διφασική απόκλιση**
- ❖ Το στιγμιαίο πλάτος του δυναμικού εξαρτάται από την κατεύθυνση του θετικού ηλεκτροδίου σε σχέση με το μέσο ηλεκτρικό διάνυσμα-άξονα (mean electrical vector).
- ❖ Το πλάτος του δυναμικού εξαρτάται άμεσα από τη μάζα του ιστού που αποπολώνεται ή επαναπολώνεται

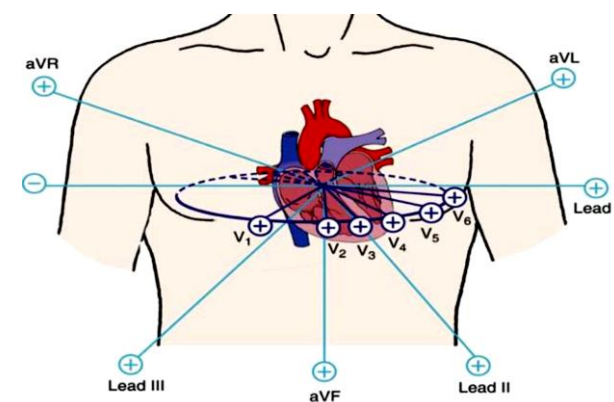
Αρνητικό Ηλεκτρόδιο



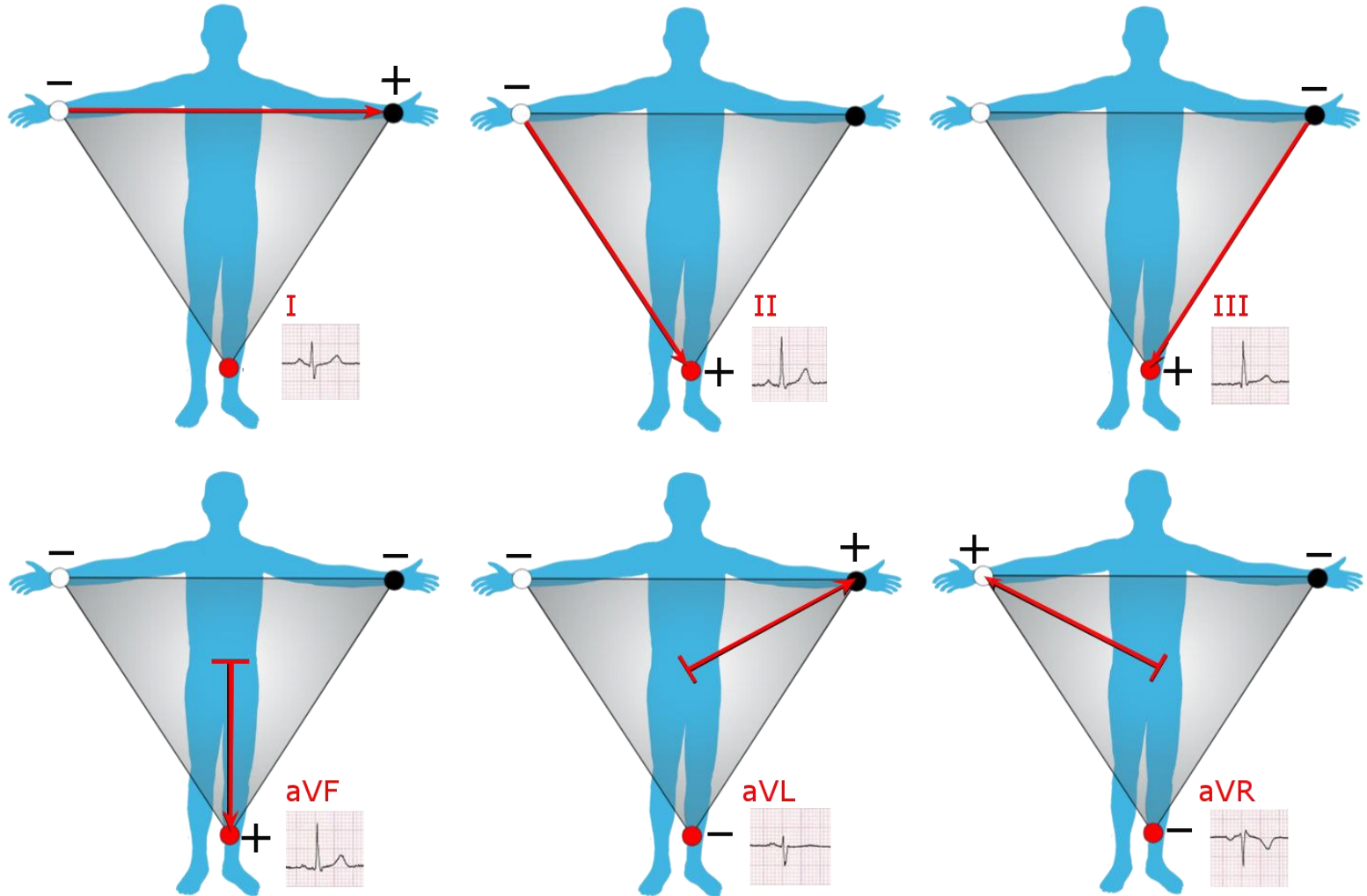
Θετικό Ηλεκτρόδιο



| Κύμα | Κατεύθυνση | Καταγραφή | Καταγραφή |
|--------------------------|------------|------------------|-----------|
| Εκπόλωσης-διέγερσης | - → + | Θετική | |
| Εκπόλωσης-διέγερσης | - ← + | Αρνητική | |
| Επαναπόλωσης | - → + | Αρνητική | |
| Επαναπόλωσης | - ← + | Θετική | |
| Εκπόλωσης ή επαναπόλωσης | - ↑↓ + | Διφασική εκτροπή | |



Τρίγωνο Einthoven



Σήματα

- ❖ Ως σήμα ορίζεται ένα φυσικό μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο ή το χώρο ή με οποιαδήποτε άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή ή μεταβλητές. Ένα σήμα μεταφέρει ενέργεια – ισχύ και μηνύματα - πληροφορία.
- ❖ Από μαθηματική άποψη, ένα σήμα εκφράζεται ως συνάρτηση μιας ή περισσοτέρων μεταβλητών. Με άλλα λόγια ένα σήμα είναι μία συνάρτηση.
- ❖ Η ανεξάρτητη μεταβλητή t είναι συνήθως ο χρόνος. Με $x(t)$ συμβολίζεται η τιμή του σήματος τη χρονική στιγμή t .

$$t \rightarrow x(t)$$

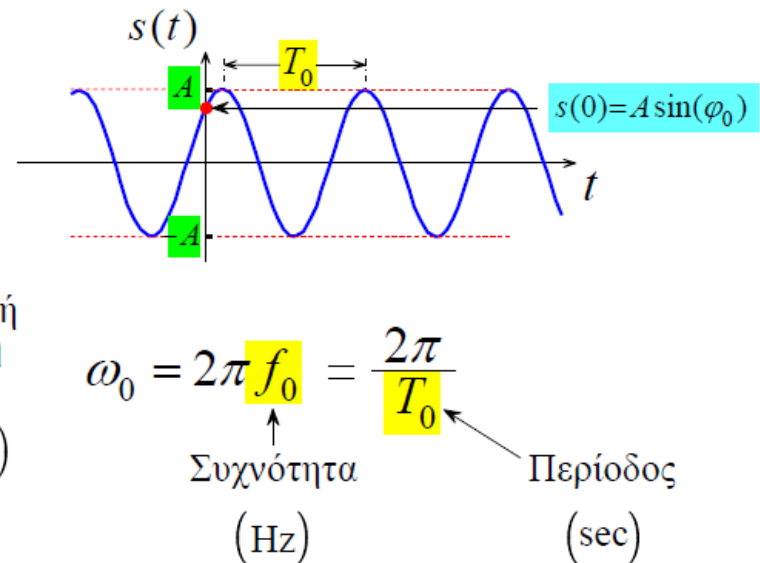
$$s(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Φάση

Πλάτος
(Volts ή Ampers)

Κυκλική συχνότητα
($\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$)

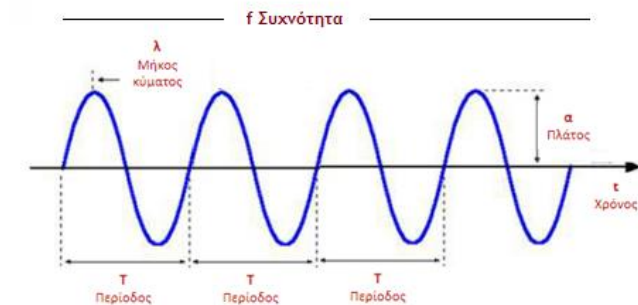
Αρχική φάση
(rad)



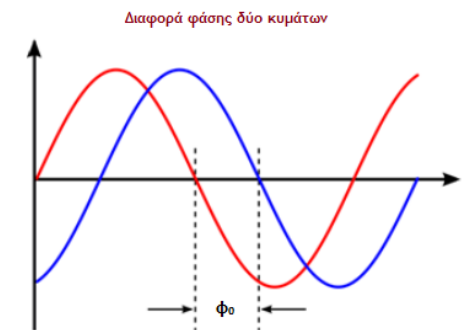
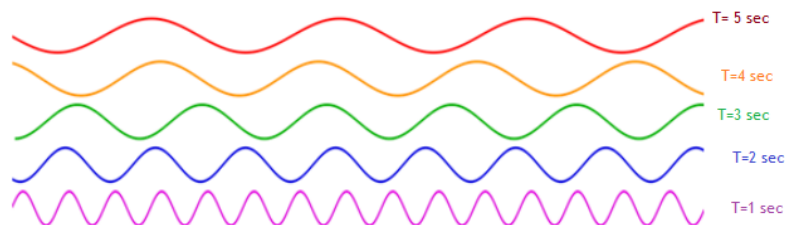
Σήματα

Χαρακτηριστικά κύματος

- ❖ **Περίοδος:** διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης, συμβολίζεται με T και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec).
- ❖ **Συχνότητα:** εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων μιας πλήρους ταλάντωσης στη μονάδα του χρόνου και συμβολίζεται με f . Μονάδα μέτρησης είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο, Hertz (Hz). Ισχύει η σχέση: $f=1/T$
- ❖ **Πλάτος:** Εκφράζει τη στιγμιαία τιμή του κύματος, οποιαδήποτε χρονική στιγμή και συμβολίζεται με A .
- ❖ **Μήκος:** Ονομάζεται η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου και συμβολίζεται με λ . (απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικά πυκνώματα ή αραιώματα ή ανάμεσα σε δυο διαδοχικές κοιλίες ή κορυφές)
- ❖ **Φάση:** Εκφράζει τη διαφορά ϕ ενός κύματος, όταν συγκρίνεται με κάποιο άλλο που χρησιμοποιούμε σαν σήμα αναφοράς (του οποίου ο κύκλος ξεκινάει τη χρονική στιγμή $t=0$)



Ημιτονοειδή κύματα
διαφορετικών συχνοτήτων.



Σήματα

Τα σήματα διακρίνονται σε:

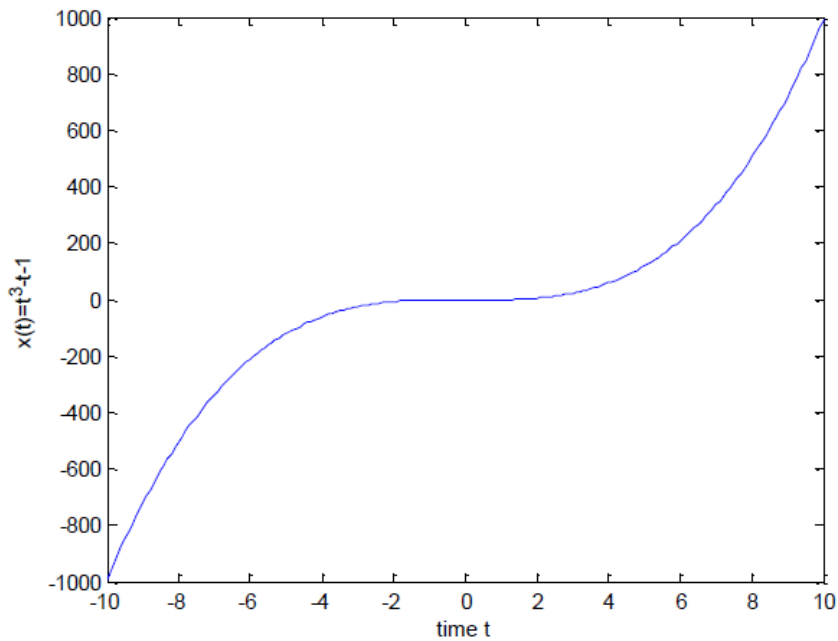
- ❖ Σήματα **συνεχούς χρόνου**, όπου ο χρόνος (t) είναι συνεχής μεταβλητή (**ανεξάρτητη**) με τιμές στο σύνολο των **πραγματικών αριθμών**. Το πλάτος του σήματος $x(t)$ (εξαρτημένη μεταβλητή) μπορεί να πάρει τιμές σε ένα συνεχές πεδίο τιμών, ή να πάρει συγκεκριμένες τιμές από ένα διακριτό πεδίο τιμών.
- ❖ Σήματα **διακριτού χρόνου**, όπου ο χρόνος (n) (**ανεξάρτητη**) δέχεται συγκεκριμένες τιμές στο σύνολο των **ακεραίων αριθμών**. Το πλάτος του σήματος $x(n)$ (εξαρτημένη μεταβλητή) μπορεί επίσης να πάρει τιμές σε ένα συνεχές πεδίο τιμών, ή να πάρει συγκεκριμένες τιμές από ένα διακριτό πεδίο τιμών.

Έτσι, με κριτήριο τον τύπο της ανεξάρτητης μεταβλητής (χρόνος) και της εξαρτημένης μεταβλητής (πλάτος), προκύπτουν οι τέσσερις κατηγορίες σημάτων που φαίνονται στον πίνακα:

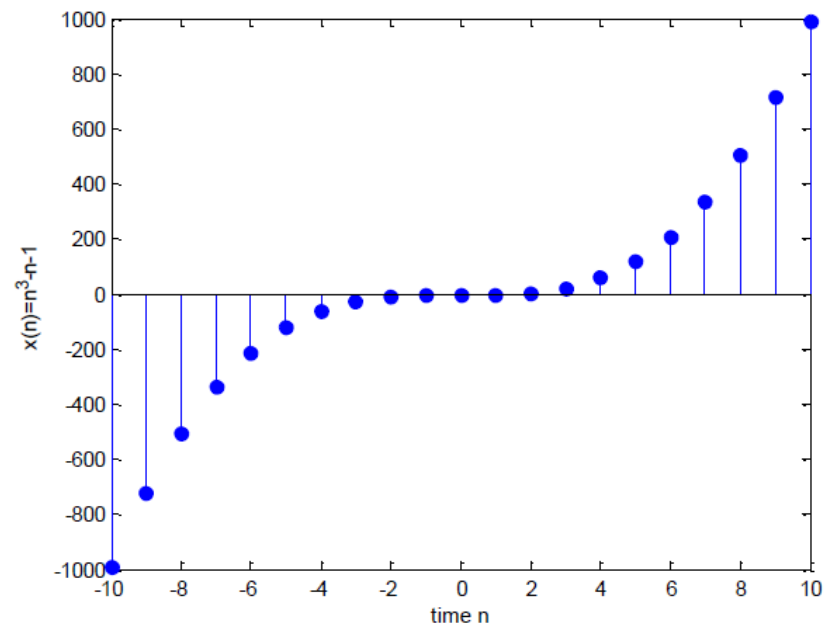
| Σήμα | Χρόνος | Πλάτος |
|------------------|-----------|----------|
| Διακριτού χρόνου | Διακριτός | Συνεχές |
| | Διακριτός | Διακριτό |
| Συνεχούς χρόνου | Συνεχής | Συνεχές |
| | Συνεχής | Διακριτό |

Σήματα

Σήμα συνεχούς χρόνου



Σήμα διακριτού χρόνου



Σήματα

Αναπαράσταση σημάτων & Δειγματοληψία

- ❖ Για να μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε ένα αναλογικό σήμα στο Matlab/Octave θα πρέπει να εφαρμόσουμε κατάλληλη δειγματοληψία. Η συχνότητα ή ρυθμός δειγματοληψίας μετριέται σε Hertz και μας δείχνει πόσα δείγματα έχουν ληφθεί από τον δειγματολήπτη σε διάρκεια ενός δευτερολέπτου.
- ❖ Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας f_s είναι 1000Hz σημαίνει ότι ο δειγματολήπτης δημιουργεί 1000 δείγματα σε κάθε δευτερόλεπτο σήματος. Η χρονική απόσταση των δειγμάτων υπολογίζεται από τον τύπο $f_s = \frac{1}{T_s}$, όπου το T_s είναι η περίοδος δειγματοληψίας.
- ❖ Σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας Nyquist-Shannon τα σήματα μπορούν να ανακατασκευαστούν πλήρως από την δειγματοληπτημένη μορφή τους εάν η συχνότητα δειγματοληψίας (f_s) είναι μεγαλύτερη ή ίση από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητάς τους ($2f_0$ συχνότητα Nyquist), δηλαδή, $f_s \geq 2f_0$.

Βιβλιογραφικές πηγές

1. Αλεξόπουλος Λεωνίδας, “Εμβιομηχανική – Βιοϊατρική Τεχνολογία (1ο Κεφάλαιο - Η επιστήμη της Βιοϊατρικής Τεχνολογίας σήμερα)”, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, 2004.
2. Τσιπούρας Μάρκος, Γιαννακέας Νικόλαος, Καρβούνης Ευάγγελος, Τζάλλας Αλέξανδρος, «Ιατρική Πληροφορική (Ψηφιακή Επεξεργασία Βιοϊατρικών Σημάτων)», <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2975>
3. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications (3rd Edition) by John G. Proakis, Dimitris Manolakis, Prentice Hall, 1996.
4. Πισσαρίδης Κώστας, «ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΚΓ) ΚΑΙ Ο ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ»,2017, [web-source](#)

Εκπαιδευτικοί στόχοι

- ❖ Στόχοι μας για αυτό το τμήμα του μαθήματος είναι:
 - Να κατανοήσουμε την λειτουργία της καρδιάς
 - Να κατανοήσουμε το ηλεκτροκαρδιογράφημα
 - Να εφαρμόσουμε τεχνικές ανάλυσης ηλεκτροκαρδιογραφικού σήματος
 - Να εφαρμόσουμε υπολογιστικές μεθόδους για την αναγνώριση άρρυθμου ηλεκτροκαγραφήματος



Q & A

