

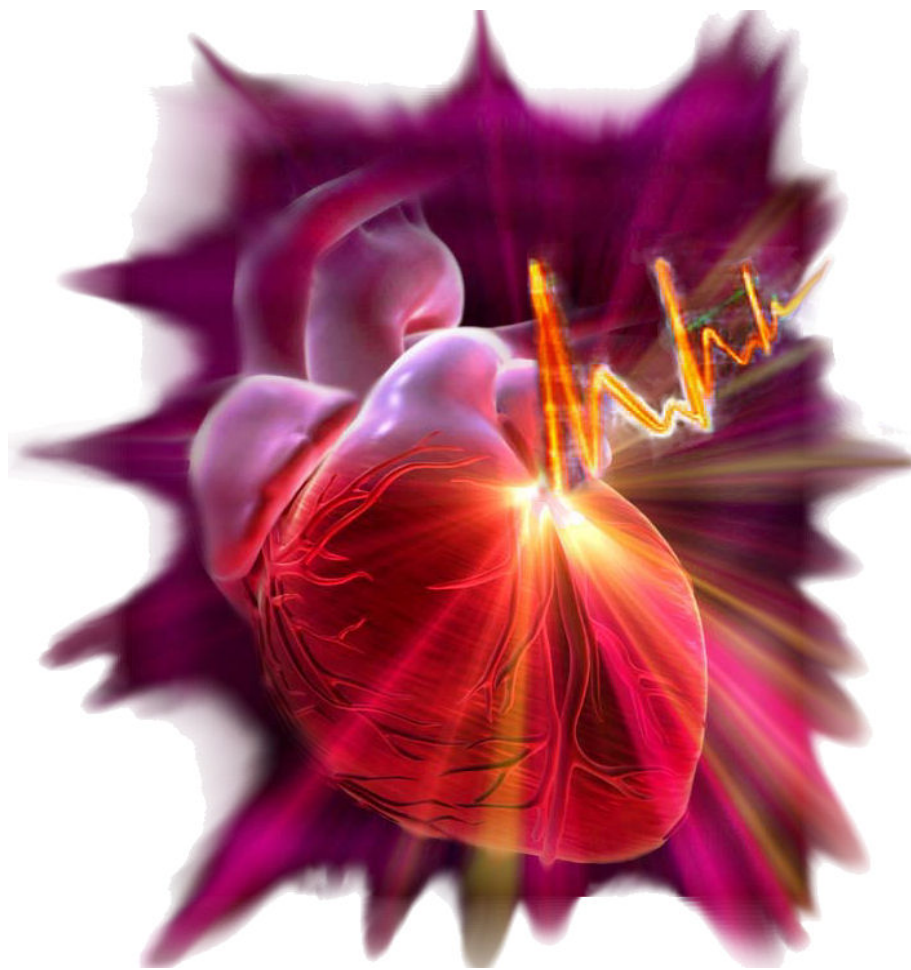


Τ.Ε.Ι. ΛΑΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΙΑΤΡΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

ΘΕΜΑ: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ (ECG)



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΑΚΑΡΟΥΝΤΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΝΑΣΙΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ
ΓΚΟΣΤΣΑΚ ΑΡΚΑΝΤΙΟΥΣ

ΛΑΜΙΑ 2005

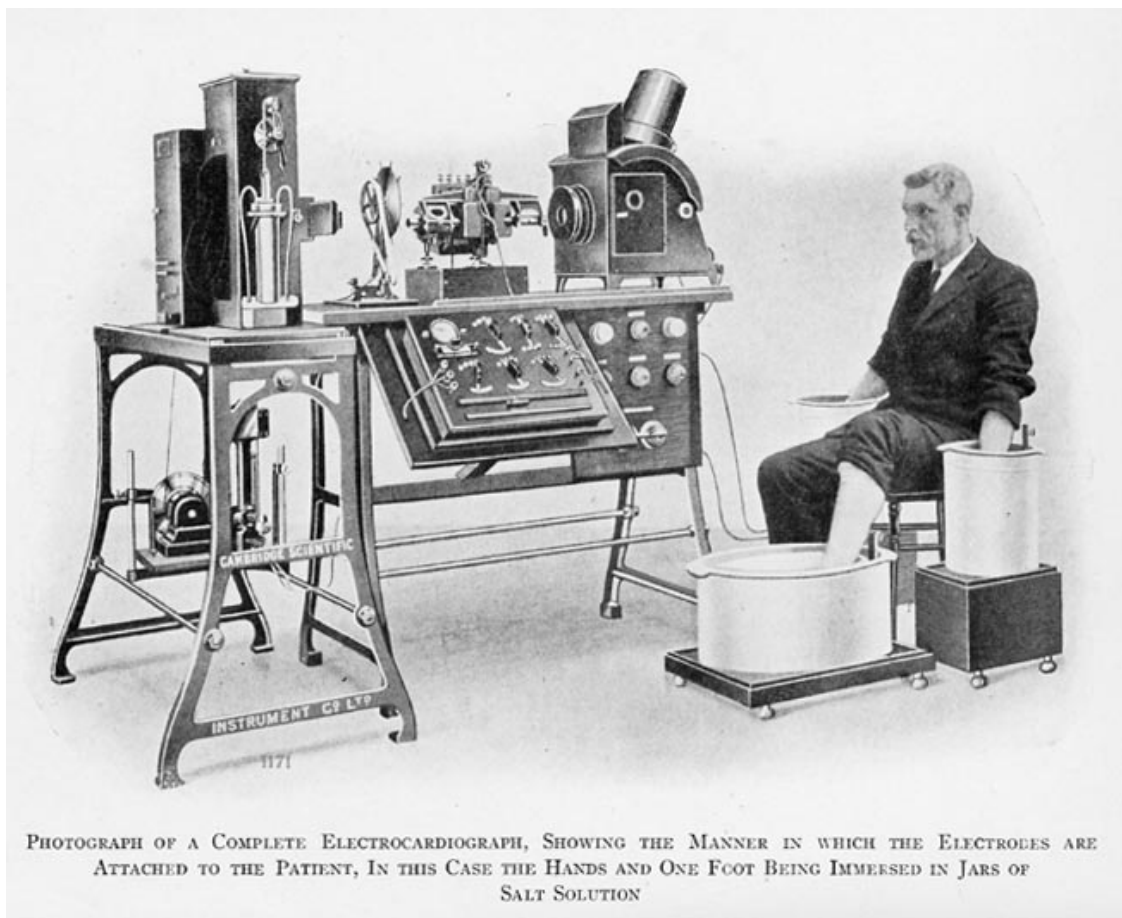
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
A. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ	2
1. Παραγωγή του ρεύματος	2
2. Καταγραφή των διεγέρσεων	4
3. Μείωση των δυναμικών στο ΗΚΓ	6
4. Ηλεκτροκαρδιογραφικές απαγωγές.....	7
5. Το ερεθισματοαγωγό σύστημα της καρδιάς	10
6. Χαρακτηριστικά και καταγραφή ενός ηλεκτροκαρδιογραφήματος	12
B. Ο ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΟΣ	22
1. Γενική περιγραφή των υποσυστημάτων ενός ηλεκτροκαρδιογράφου	23
2. Τα ηλεκτρόδια	24
3. Ηλεκτροκαρδιογραφικό χαρτί.....	25
4. Ρύθμιση της ευαισθησίας του ηλεκτροκαρδιογράφου	27
5. Προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη χρήση του ηλεκτροκαρδιογράφου	27
6. Είδη ΗΚΓ	29
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	31
ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	33

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφεύρεση του ηλεκτροκαρδιογράφου (ΗΚΓ ή ECG) έγινε το 1903 από τον Wilhelm Einthoven, ο οποίος μετά από πειραματισμούς σε γαλβανόμετρο κατάφερε πρώτος να καταγράψει την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς. Η πρώτη του μορφή ήταν μαύρες εγχαράξεις σε ροζ χαρτί. Το ΗΚΓ είναι σήμερα ένα από τα πολλά εργαλεία που παρέχουν στην ιατρική μια εξειδικευμένη τεχνική μέθοδο για την ανάλυση των καρδιακών λειτουργιών.

Το ECG προσφέρει μια πλήρη ανάλυση της καρδιάς καθώς και πληροφορίες για την



ηλεκτρική δραστηριότητα που σχετίζεται με την μετάδοση νευρικών ρευμάτων της καρδιάς και με φυσιολογική ή μη φυσιολογική αναπαράσταση ηλεκτρικών παλμών. Χάρη στην αναπαράσταση αυτή και την εξέλιξη της ιατρικής επιστήμης δημιουργήθηκαν κάποια πρότυπα γραφήματα πάνω στα οποία οι ιατροί βασίζουν την διάγνωσή τους μετά από την λήψη του ΗΚΓ ενός ασθενή.

Η εξέταση και η ανάλυση ενός ΗΚΓ για την εκπόρευση διάγνωσης βασίζεται σε μεταβολές που παρατηρούνται στο QRS, στο P-PQ, στο ST-T (τα οποία αποτελούν μέρη των παλμών του ΗΚΓ και θα αναλυθούν σε παρακάτω κεφάλαιο), σε μεταβολές της συχνότητας και τη διάρκεια του παλμού, καθώς και στη θέση της καρδιάς. Οι μεταβολές στα QRS, P-PQ, ST-T μπορούν να δηλώνουν εμφράγματα, υπερτροφίες κοιλίων, υπερτροφίες κόλπων, ισχαιμία του μυοκαρδίου, περικαρδίτιδα και άλλα, οι οποίες σε συνδυασμό μπορούν και χρησιμεύουν στη διάγνωση διαφόρων παθήσεων όπως υπέρταση, καρκίνος της καρδιάς, αναιμία, εγκεφαλικά επεισόδια και λοιπά. Σε τελική ανάλυση για την μελέτη του ΗΚΓ πρέπει προηγουμένως να γίνει η μελέτη ευαισθησίας του ηλεκτροκαρδιογράφου (νορμομέτρηση) και έπειτα να γίνει μια γενική μελέτη στο ΗΚΓ, μια τμηματική μελέτη και μελέτη αρρυθμιών ώστε να αναλυθούν κατάλληλα τα δεδομένα που λάβαμε για τον ασθενή.

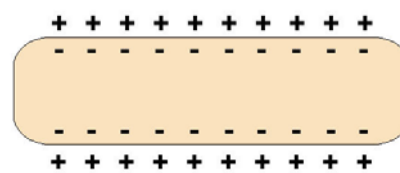
A. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ

Στο ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγράφονται τα ηλεκτρικά δυναμικά της καρδιάς. Το ρεύμα, που παράγεται κατά την διέγερση του μυοκαρδίου, μεταδίδεται στους διάφορους ιστούς και φτάνει μέχρι το δέρμα, από όπου το καταγράφουμε στον ηλεκτροκαρδιογράφο, χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρόδια των άκρων και του προκαρδίου.

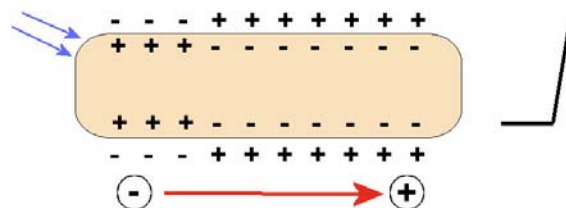
1. Παραγωγή του ρεύματος

α. Κυτταρική διπλοστοιβάδα:

Στην μεμβράνη των κυττάρων υπάρχουν θετικά φορτία, εξωτερικά, και αρνητικά φορτία εσωτερικά. Αυτό συμβαίνει στην κατάσταση ηρεμίας.

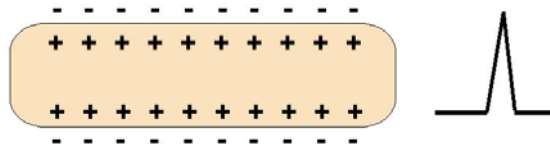


Αν το κύτταρο διεγερθεί στο ένα άκρο του (όπως δείχνουν τα γαλάζια βέλη), τα ιόντα της διπλοστοιβάδας αναστρέφονται και το κύτταρο καθίσταται ηλεκτρικό δίπολο, με κίνηση

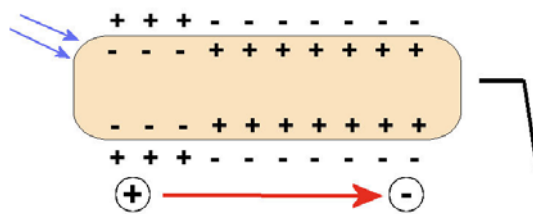


του ρεύματος όπως δείχνει το κόκκινο βέλος (η διέγερση προχωράει προς τα θετικά και ο ηλεκτροκαρδιογράφος καταγράφει θετικά δυναμικά).

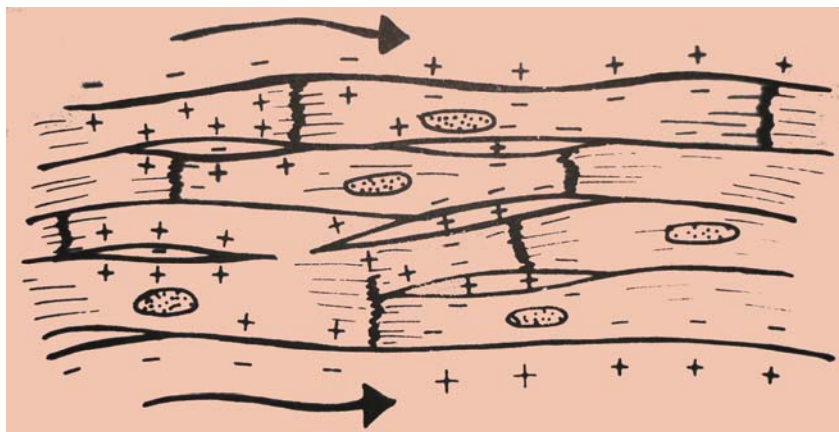
Όταν ολοκληρωθεί η διέγερση του κυττάρου, ολόκληρη η μεμβράνη εξωτερικά περιβάλλεται από αρνητικά φορτία, ενώ τα θετικά βρίσκονται εσωτερικά (εκπόλωση)



Η επαναπόλωση στο κύτταρο αρχίζει από το σημείο που άρχισε η διέγερση (γαλάζια βέλη) και προχωράει όπως δείχνει το κόκκινο βέλος (δηλαδή προς τα αρνητικά και ο ΗΚΓ καταγράφει αρνητικά δυναμικά), ενώ στο κύτταρο του μυοκαρδίου αρχίζει από εκεί όπου τελείωσε η διέγερση δημιουργώντας μία καμπύλη (θετικό έπαρμα T).



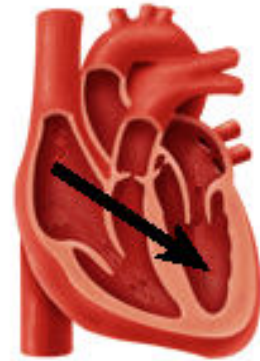
β. Μυοκαρδιακό δίπολο: Οι ίδιες μεταβολές της διπλοστοιβάδας συμβαίνουν στην μυοκρδιακή ίνα και την μυοκαρδιακή δέσμη όταν σε κάποιο σημείο της διεγερθεί, τα κύτταρα φορτίζονται αρνητικά, ενώ στο άλλο παραμένουν θετικά, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα δίπολο με κίνηση του ρεύματος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



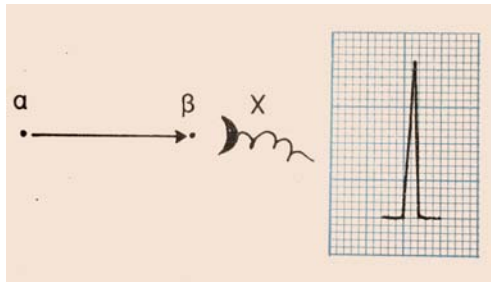
Αυτό το ρεύμα φτάνει στην επιφάνεια του σώματος και καταγράφεται στον ηλεκτροκαρδιογράφο.

2. Καταγραφή των διεγέρσεων

Το ρεύμα κατευθύνεται από τον δεξιό κόλπο (άνω αριστερά) προς την αριστερή κοιλία (κάτω δεξιά). Η κάθε απαγωγή του ΗΚΓ, όταν “βλέπει” το ρεύμα να πλησιάζει προς αυτή, καταγράφει ανάλογο (όσο και το βέλος) θετικό δυναμικό. Όταν “βλέπει” το ρεύμα να απομακρύνεται από αυτή, καταγράφει ανάλογο αρνητικό δυναμικό. Όταν το ρεύμα κινείται παράλληλα προς την απαγωγή (ούτε πλησιάζει, ούτε απομακρύνεται), δεν καταγράφει δυναμικό (ισοηλεκτρική γραμμή).

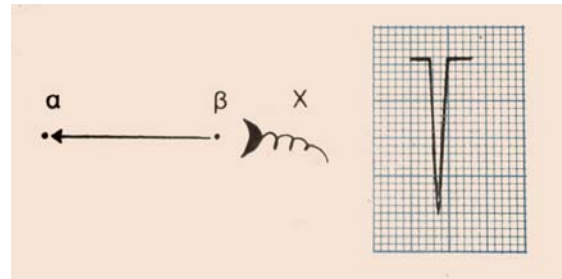


Μερικές από τις περιπτώσεις που μπορούμε να διακρίνουμε, παρουσιάζονται παρακάτω:

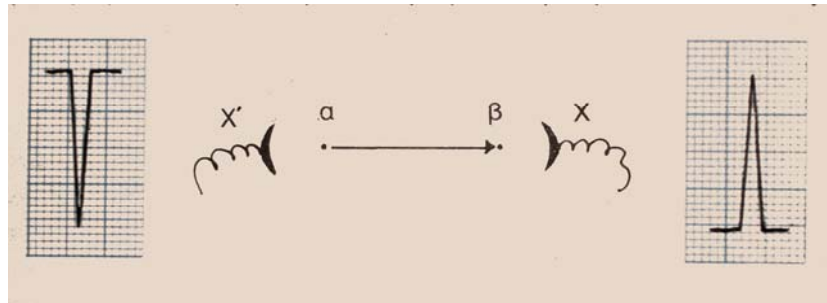


Αν το ρεύμα κινείται από το σημείο A προς το σημείο B, η απαγωγή X θα καταγράψει θετικό δυναμικό ίσο προς την διέγερση.

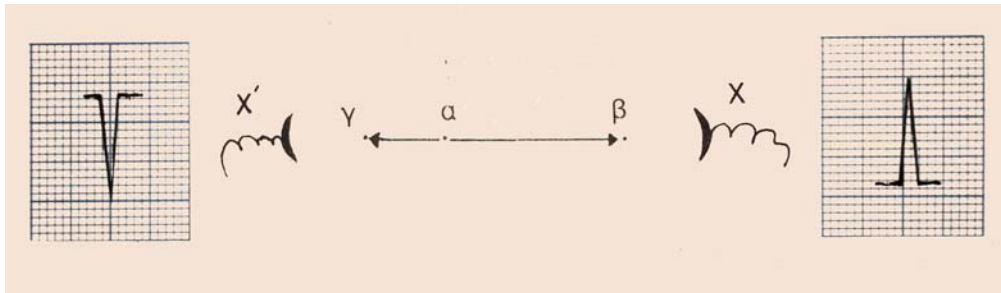
Αν το ρεύμα κινείται από το σημείο B προς το σημείο A, η απαγωγή X θα καταγράψει αρνητικό δυναμικό ίσο προς την διέγερση.



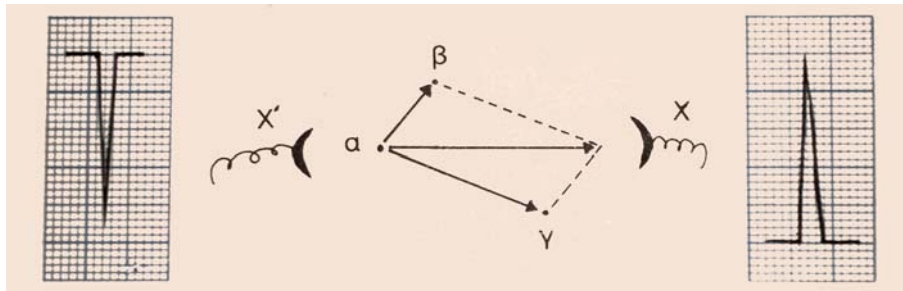
Αν το ρεύμα κινείται από το σημείο A προς το σημείο B και τοποθετήσουμε 2 απαγωγές (X,X'), η απαγωγή X θα καταγράψει θετικό δυναμικό γιατί το ρεύμα πλησιάζει προς αυτή, ενώ η απαγωγή X' θα καταγράψει αρνητικό δυναμικό γιατί το ρεύμα απομακρύνεται από αυτή.



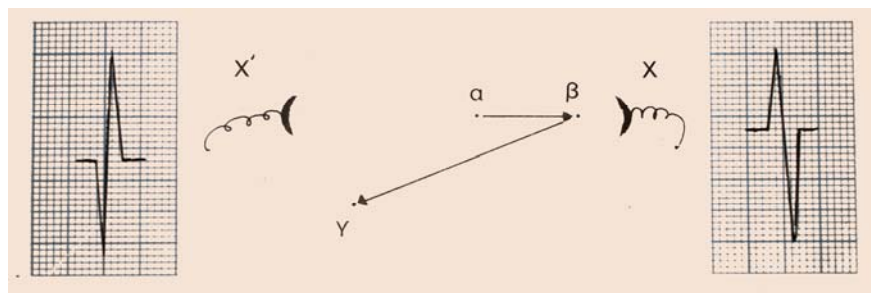
Αν το ρεύμα ξεκινά από το σημείο A και κινείται ταυτόχρονα προς δύο κατευθύνσεις, προς τα σημεία B και Γ, δημιουργούνται δύο δυναμικά AB και AΓ. Αυτά τα δυναμικά, επειδή κινούνται ταυτόχρονα, η απαγωγές τα καταγράφουν ως αλγεβρικό άθροισμα. Δηλαδή η απαγωγή X θα καταγράψει ένα θετικό (ίσο με AB-AΓ) και η απαγωγή X' ένα αρνητικό (ίσο με AΓ-AB).



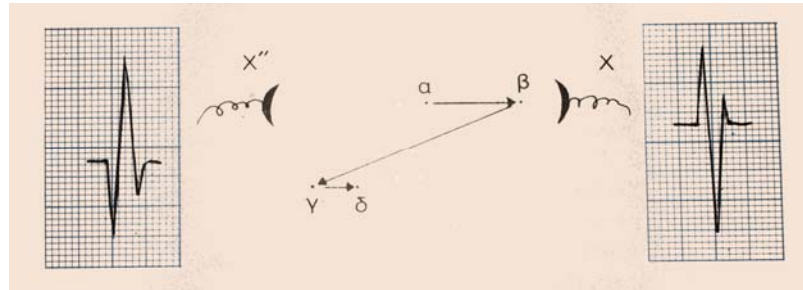
Αν το ρεύμα ξεκινάει από το σημείο A και κινείται ταυτόχρονα προς τα σημεία B και Γ οι απαγωγές θα καταγράψουν τη συνισταμένη των δύο δυναμικών. Δηλαδή η X θα καταγράψει θετικό και η X' αρνητικό έπαρμα.



Αν το ρεύμα κινηθεί αρχικά από το σημείο A στο σημείο B και μετά από το σημείο B στο σημείο Γ, τότε η απαγωγή X θα καταγράψει δύο επάρματα, ένα θετικό και ένα μεγαλύτερο αρνητικό και η απαγωγή X' θα καταγράψει, αντίθετα, ένα αρνητικό και ένα θετικό έπαρμα.

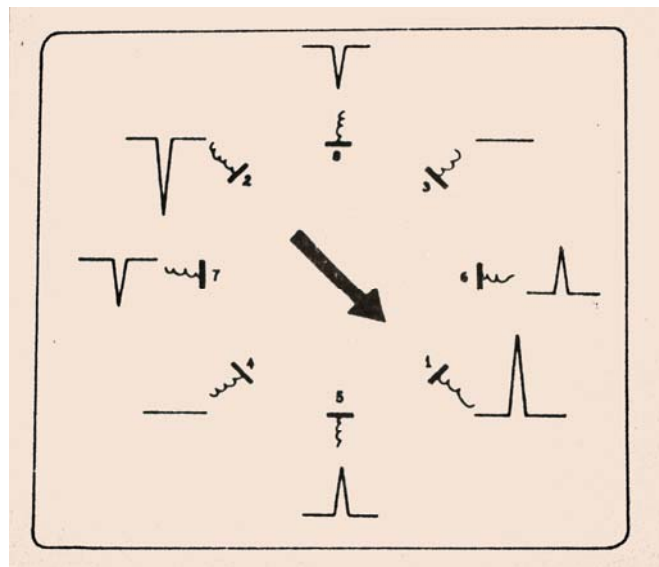


Αν το ρεύμα κινείται εξακολουθητικά από το σημείο Α στα σημεία Β, Γ και Δ, οι απαγωγές καταγράφουν αντίστοιχα επάρματα. (Η Χ θετικό, αρνητικό, θετικό και η Χ' αρνητικό, θετικό, αρνητικό)



Οι απαγωγές που “βλέπουν” την κίνηση του ρεύματος μπορεί να μην είναι μόνο δύο αλλά περισσότερες. Τότε η καθεμιά “βλέπει” από την δική της οπτική γωνία όπως θα δούμε παρακάτω.

Ας φανταστούμε μια διέγερση με τη φορά του βέλους και γύρω του οχτώ απαγωγές που την καταγράφουμε. Το μηχάνημα είναι έτσι ρυθμισμένο ώστε η απαγωγή 1, που “βλέπει” το ερέθισμα να πλησιάζει προς αυτή, να καταγράφει μεγάλο θετικό δυναμικό, η απαγωγή 2, που “βλέπει” το ερέθισμα να απομακρύνεται, να καταγράφει μεγάλο αρνητικό δυναμικό, οι απαγωγές 3 και 4 στις οποίες το ερέθισμα ούτε απόμακρύνεται ούτε πλησιάζει, να μην καταγράφουν δυναμικό (ισοηλεκτρική γραμμή), ενώ οι ενδιαμέσες απαγωγές 5, 6, 7 και 8 που “βλέπουν” λοξά την διέγερση, να καταγράφουν μεν (θετικό ή αρνητικό) δυναμικό, αλλά ενδιαμέσου μεγέθους.



3. Μείωση των δυναμικών στο ΗΚΓ

Τα δυναμικά του ΗΚΓ μειώνονται όταν ελαττωθεί το πάχος του μυοκαρδίου ή όταν αυξηθεί εξωκαρδιακή μυοκαρδική αντίσταση. Το τελευταίο συμβαίνει όταν μεταξύ του μυοκαρδίου και του απαγωγού παρεμβληθούν υγρό, αέρας ή λίπος.

4. Ηλεκτροκαρδιογραφικές απαγωγές

Οι απαγωγές, που καταγράφουν τα ηλεκτρικά δυναμικά της καρδιάς από διάφορες θέσεις, είναι 12:

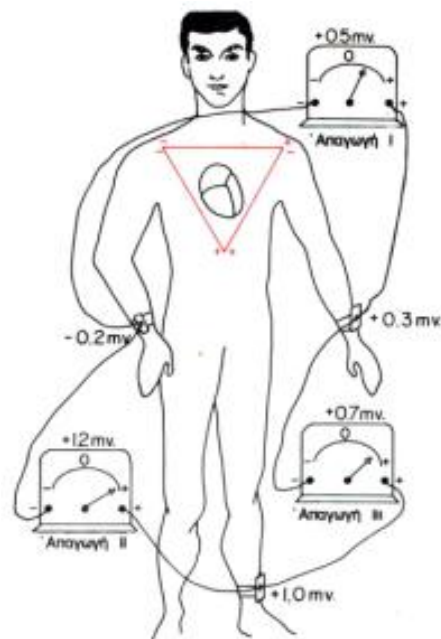
- α. Κλασικές διπολικές (I, II, III).
- β. Αυξημένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aVR, aVL, aVF)
- γ. Προκάρδιες (θωρακικές) απαγωγές ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$)

α. Οι τρεις διπολικές απαγωγές των άκρων

Με τον όρο «διπολικές» εννοείται ότι το ΗΚΓ καταγράφεται από δύο ειδικά ηλεκτρόδια, τοποθετημένα στο σώμα, και σ' αυτή την περίπτωση στα άκρα. Έτσι, η «απαγωγή» δεν συνίσταται από ένα απλό καλώδιο, με το οποίο συνδέεται το σώμα με το καταγραφικό όργανο, αλλά από δύο καλώδια και από τα ηλεκτρόδιά τους, για να σχηματίζεται ένα πλήρες ηλεκτρικό κύκλωμα με τον ηλεκτροκαρδιογράφο.

Απαγωγή I: Κατά την καταγραφή με την απαγωγή I, το αρνητικό ηλεκτρόδιο του ηλεκτροκαρδιογράφου τοποθετείται στο δεξιό άνω άκρο και το θετικό ηλεκτρόδιο στο αριστερό άνω άκρο. Κατά συνέπεια, όταν το δεξιό άνω άκρο είναι ηλεκτραρνητικό σε σχέση με το αριστερό άνω άκρο, ο ηλεκτροκαρδιογράφος καταγράφει θετικό έπαρμα.

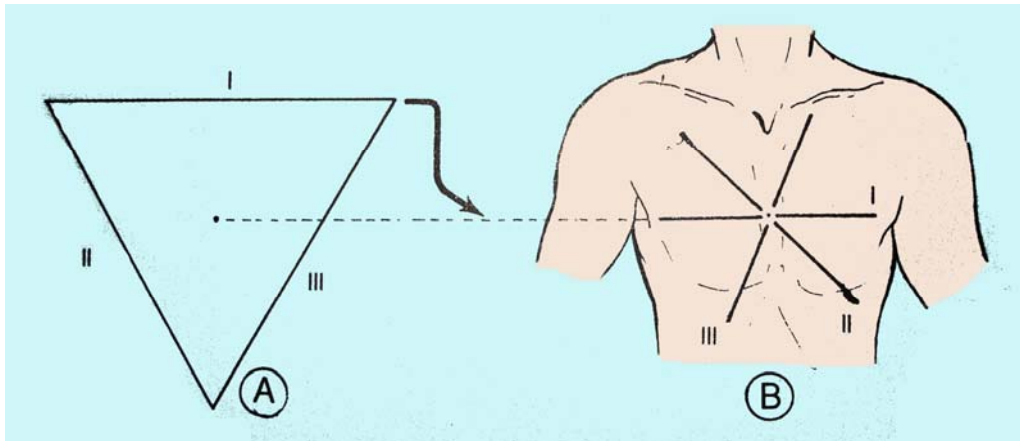
Απαγωγή II: Κατά την καταγραφή με την απαγωγή II, το αρνητικό ηλεκτρόδιο του ηλεκτροκαρδιογράφου τοποθετείται στο δεξιό άνω άκρο και το θετικό ηλεκτρόδιο στο αριστερό κάτω άκρο. Κατά συνέπεια, όταν η φορά του ρεύματος είναι από το δεξιό άνω άκρο προς το αριστερό κάτω άκρο, ο ηλεκτροκαρδιογράφος καταγράφει θετικό έπαρμα.



Απαγωγή III: Κατά την καταγραφή με την απαγωγή III, το αρνητικό ηλεκτρόδιο του ηλεκτροκαρδιογράφου τοποθετείται στο αριστερό άνω άκρο, και το θετικό ηλεκτρόδιο στο

αριστερό κάτω άκρο. Δηλαδή η απαγωγή III “βλέπει” από το αριστερό κάτω άκρο με κατεύθυνση προς το αριστερό άνω άκρο. Στο δεξί κάτω άκρο τοποθετείται η γείωση.

Οι τρεις αυτές κλασικές απαγωγές δημιουργούν το τρίγωνο του Einthoven. Εάν οι τρεις πλευρές του μετακινηθούν προς ο κέντρο, ώστε να διέρχονται από το ίδιο σημείο (την καρδιά) κατανοούμε από ποια σημεία ακριβώς “βλέπουν” την διέγερση του μυοκαρδίου.



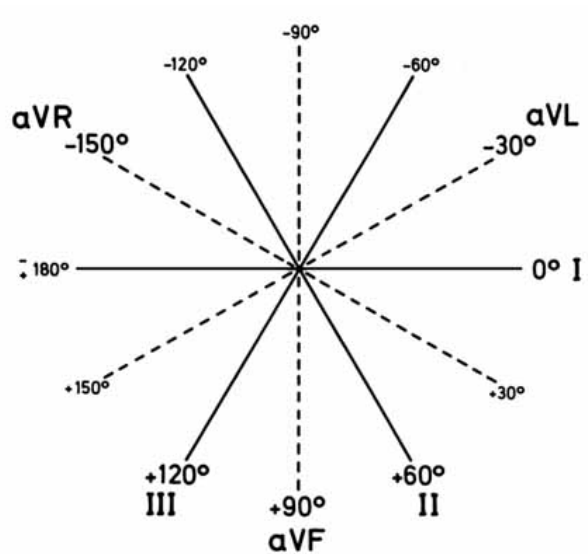
Επειδή τα ΗΚΓ που λαμβάνονται με όλες τις διπολικές απαγωγές είναι όμοια μεταξύ τους, δεν έχει μεγάλη σημασία ποια απαγωγή χρησιμοποιείται, όταν επιδιώκεται η διάγνωση των διάφορων αρρυθμιών της καρδιάς, γιατί η διάγνωση των αρρυθμιών εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από τις χρονικές αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων κυμάτων του καρδιακού παλμού. Από την άλλη μεριά, όταν απαιτείται η διάγνωση βλάβης στο μυοκάρδιο των κοιλιών ή των κόλπων, είτε στο σύστημα αγωγής των διεγέρσεων, ενδιαφέρει πάρα πολύ η απαγωγή που χρησιμοποιείται, γιατί οι ανωμαλίες που εμφανίζονται στο μυοκάρδιο μεταβάλλουν τη μορφή του ΗΚΓ κατά τρόπο σημαντικό σε ορισμένες απαγωγές, χωρίς να επηρεάζονται άλλες απαγωγές.

β. Οι ενισχυμένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων

Ένα άλλο σύστημα απαγωγών σε ευρεία χρήση είναι η «ενισχυμένη μονοπολική απαγωγή άκρου». Στην απαγωγή αυτού του τύπου, δύο άκρα συνδέονται, με την παρεμβολή ηλεκτρικών αντιστάσεων, με τον αρνητικό πόλο του ηλεκτροκαρδιογράφου, ενώ το τρίτο άκρο συνδέεται με τον θετικό πόλο. Όταν το θετικό ηλεκτρόδιο συνδέεται με δεξιό άνω άκρο, η απαγωγή ονομάζεται aVR, όταν συνδέεται με το αριστερό άνω άκρο, ονομάζεται απαγωγή aVL και όταν συνδέεται με το αριστερό κάτω άκρο, ονομάζεται απαγωγή aVF.

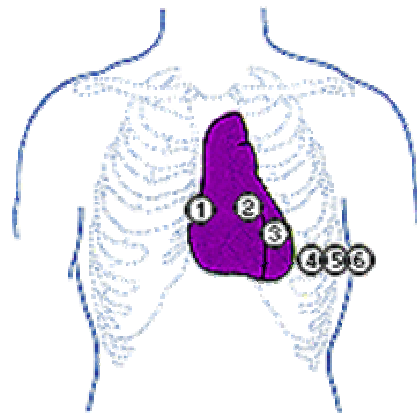
Τα φυσιολογικά ΗΚΓ που λαμβάνονται με τις ενισχυμένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων είναι όμοια με εκείνα των κλασσικών διπολικών απαγωγών των άκρων, εκτός από την απαγωγή aVR, στην οποία το ΗΚΓ είναι ανεστραμμένο.

Οι μονοπολικές αυτές απαγωγές σε συνδυασμό με το τρίγωνο του Einthoven δημιουργούν το εξαζονικό σύστημα του Bayley με όλες τις απαγωγές των άκρων και την αντιστοιχία τους σε μοίρες.



γ. Προκάρδιες (θωρακικές) απαγωγές

Συχνά ΗΚΓ λαμβάνονται με το ένα ηλεκτρόδιο τοποθετημένο στην πρόσθια επιφάνεια του θώρακα, σε έξι ξεχωριστά σημεία. Αυτό το ηλεκτρόδιο συνδέεται με τον θετικό πόλο του ΗΚΓ, ενώ το αρνητικό ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται αδιάφορο ηλεκτρόδιο, συνδέεται συνήθως, με την παρεμβολή ηλεκτρικών αντιστάσεων, με το δεξιό και αριστερό άνω άκρο, καθώς και με το αριστερό κάτω άκρο, όπως απεικονίζεται στο σχήμα. Συνήθως λαμβάνονται έξι διαφορετικές πρότυπες απαγωγές από το πρόσθιο θωρακικό τοίχωμα, με τη διαδοχική τοποθέτηση του θωρακικού ηλεκτροδίου στα έξι σημεία που σημειώνονται στο σχήμα. Τα ΗΚΓ που λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή, φέρονται ως απαγωγές V1, V2, V3, V4, V5 και V6.



Επειδή οι διάφορες επιφάνειες της καρδιάς είναι πολύ κοντά στο θωρακικό τοίχωμα, με την κάθε μια προκαρδια απαγωγή καταγράφεται, κατά κύριο λόγο, το ηλεκτρικό δυναμικό του μυοκαρδίου, που βρίσκεται αμέσως κάτω από το ηλεκτρόδιο. Για αυτό το λόγο, σχετικά μικρές ανωμαλίες στις κοιλίες, και ιδιαίτερα στο πρόσθιο κοιλιακό τοίχωμα, συχνά προκαλούν εκσεσημασμένες αλλοιώσεις στα ΗΚΓ που λαμβάνονται με τις προκαρδίες απαγωγές.

Στον επόμενο πίνακα ξεχωρίζουμε ποιες απαγωγές “βλέπουν” τα διάφορα τμήματα του μυοκαρδίου.

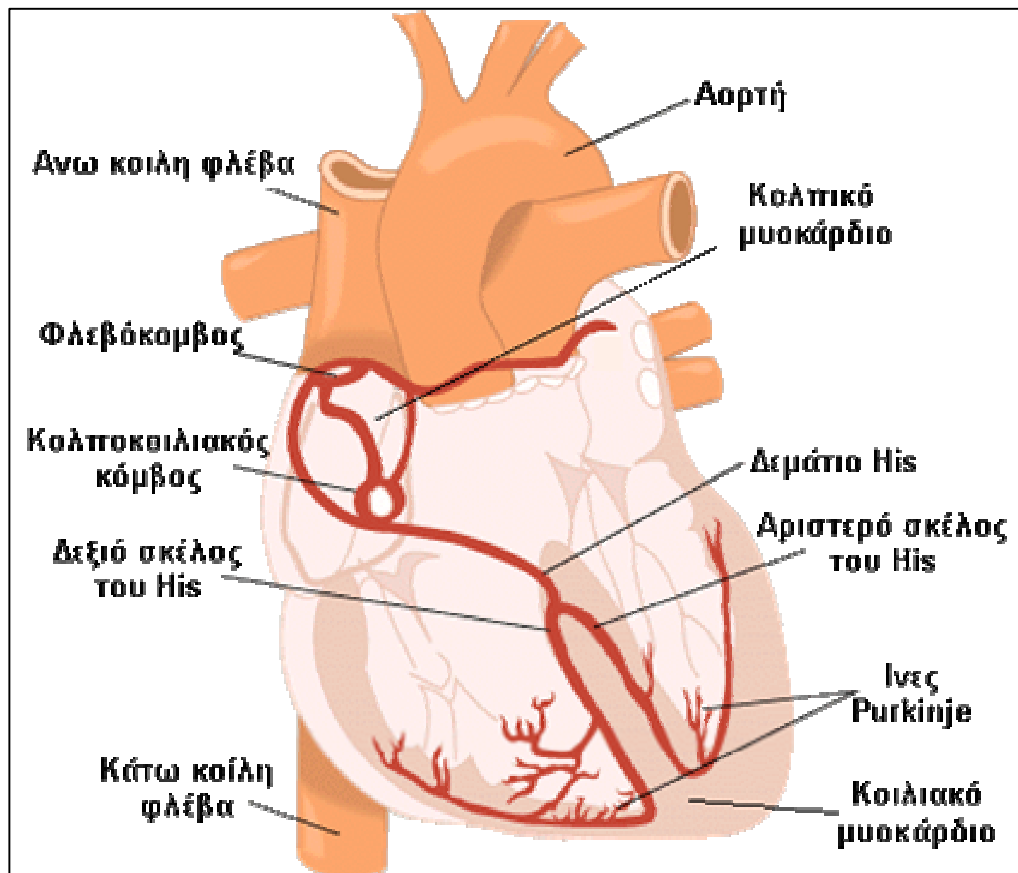
Τμήματα του μυοκαρδίου	Απαγωγές που τα “βλέπουν”
Αριστερά κοιλία	I, aVL, V ₅ , V ₆ (λιγότερο η II και η V ₄)
Δεξιά κοιλία	V ₁ , V ₂ (λιγότερο η III)
Μεσοκοιλιακό διάφραγμα	V ₃ , V ₄
Κάτω τοίχωμα	II, III, aVF
Ενδοκοιλιακά	aVR
Οπίσθιο τοίχωμα	Καμιά από τις 12 συνήθεις (κατάλληλη η οισοφαγική ή οι V ₇ , V ₈)

Στις απαγωγές V₁ και V₂, το σύμπλεγμα QRS της φυσιολογικής καρδιάς είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος του αρνητικό, γιατί στις απαγωγές αυτές το προκάρδιο ηλεκτρόδιο είναι πλησιέστερα στη βάση παρά στην κορυφή της καρδιάς, προς την οποία βάση είναι η κατεύθυνση της ηλεκτραρνητικότητας κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της διεργασίας της εκπόλωσης των κοιλιών. Αντίθετα, το σύμπλεγμα QRS στις απαγωγές V₄, V₅ και V₆ είναι, κατά το μεγαλύτερο μέρος του θετικό, γιατί το θωρακικό ηλεκτρόδιο σ’ αυτές τις απαγωγές είναι πλησιέστερα προς την κορυφή της καρδιάς, προς την κατεύθυνση της οποίας παρατηρείται ηλεκτροθετικότητα κατά το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας της διεργασίας εκπόλωσης των κοιλιών.

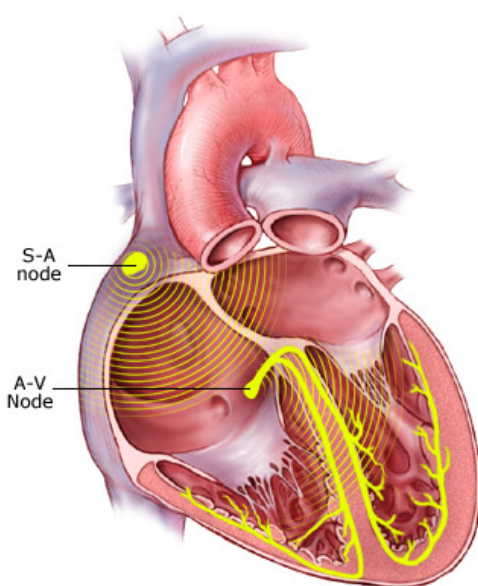
5. Το ερεθισματοαγωγό σύστημα της καρδιάς

Το ερεθισματοαγωγό σύστημα της καρδιάς αποτελείται από :

- α. Το φλεβόκομβο (s-a node)
- β. Το κολπικό μυοκάρδιο
- γ. Το κολποκοιλιακό κόμβο (a-v node)
- δ. Το δεμάτιο του his
- ε. Τα σκέλη του his
- στ. Το κοιλιακό μυοκάρδιο



Το ερέθισμα στην καρδιά φυσιολογικά παράγεται από τον φλεβόκομβο που είναι ένας μικρός ανατομικός σχηματισμός που εντοπίζεται στο άνω και πίσω τμήμα του δεξιού κόλπου πλησίον της εκβολής της άνω κοίλης φλέβας στον δεξιό κόλπο.



Μετά διαχέεται στους κόλπους τους οποίους και διεγείρει και φθάνει στον κολποκοιλιακό κόμβο που είναι ένας μικρός σχηματισμός μεταξύ κόλπων και κοιλιών και είναι το μοναδικό σημείο ηλεκτρικής σύνδεσης κόλπων και κοιλιών.

Το ερέθισμα καθυστερεί για λίγο μέσα στον κολποκοιλιακό κόμβο και μετά μέσω του δεματίου του His διαχέεται στις κοιλίες για να τις διεγείρει. Το δεμάτιο του His είναι συνέχεια του

κολποκοιλιακού κόμβου και πορεύεται υπενδοκαρδιακά στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα σαν κοινό στέλεχος που στην συνέχεια διακλαδίζεται σε δύο σκέλη το αριστερό και το δεξιό σκέλος. Το αριστερό σκέλος χωρίζεται περιφερικότερα σε πρόσθιο και οπίσθιο ημισκέλος.

Επειδή το ερεθισματοαγωγό σύστημα βρίσκεται υπενδοκαρδιακά, η διέγερση του μυοκαρδίου γίνεται από μέσα προς τα έξω, δηλαδή από το ενδοκάρδιο προς το επικάρδιο.

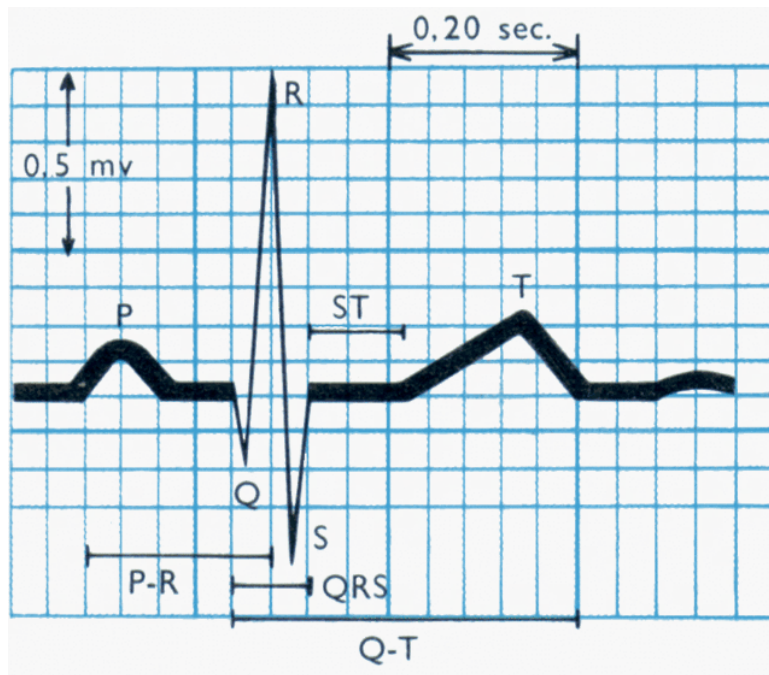
Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις ταχύτητες της διέγερσης σε κάθε τμήμα του ερεθισματοαγωγού συστήματος.

Τμήμα Ερεθισματοαγωγού Συστήματος	Ταχύτητα αγωγής (cm/sec)
Κολπικό Μυοκάρδιο	80-100
Κολποκοιλιακός Κόμβος	20
Δωμάτιο His	30-80
Σκέλη His	400
Κοιλιακό Μυοκάρδιο	40

6. Χαρακτηριστικά και καταγραφή ενός ηλεκτροκαρδιογραφήματος

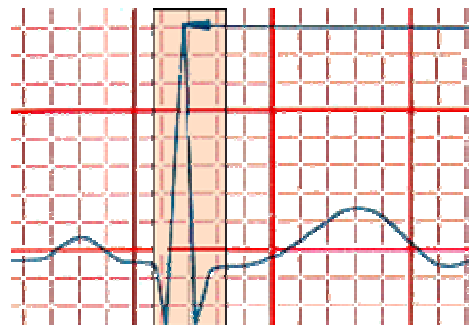
Ο καρδιακός παλμός αποτελείται από μία περίοδο χάλασης που ονομάζεται *διαστολή*, κατά τη διάρκεια της οποίας η καρδιά γεμίζει με αίμα, και ακολουθείται από μία περίοδο συστολής, που ονομάζεται *συστολή*. Το φυσιολογικό ηλεκτροκαρδιογράφημα αποτελείται από ένα έπαρμα (κύμα) P, ένα «σύμπλεγμα» QRS και ένα έπαρμα T. Πρόκειται περί ηλεκτρικών δυναμικών, τα οποία παράγονται από την καρδιά και καταγράφονται με τον ηλεκτροκαρδιογράφο από την επιφάνεια του σώματος. Το κύμα P προκαλείται από την επέκταση της εκπόλωσης στο μυοκάρδιο των κόλπων, η οποία ακολουθείται από τη συστολή των κόλπων, με αποτέλεσμα την ελαφρά ανύψωση της καμπύλης της ενδοκολπικής πίεσης, αμέσως μετά το κύμα P. Μετά από 0,16 sec περίπου από την έναρξη του κύματος P εμφανίζεται το σύμπλεγμα QRS, το οποίο συνήθως αποτελείται από τρία διαφορετικά επάρματα, το έπαρμα Q, το έπαρμα R και το έπαρμα S, και οφείλονται στην εκπόλωση των κοιλιών, η οποία προκαλεί την έναρξη της συστολής των κοιλιών και την ανιούσα φορά της ενδοκοιλιακής πίεσης. Έτσι, το σύμπλεγμα QRS αρχίζει ελάχιστο χρόνο

πριν από τη συστολή των κοιλιών. Κατά συνέπεια, τόσο το έπαρμα P, όσο και τα επάρματα που αποτελούν το σύμπλεγμα QRS, είναι επάρματα εκπόλωσης. Το έπαρμα T προκαλείται από ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία παράγονται κατά την ανάνηψη των κοιλιών από την κατάσταση της εκπόλωσης. Η διεργασία αυτή επιτελείται στο μυοκάρδιο των κοιλιών 0,25 ως 0,35 sec μετά την εκπόλωση, αυτό δε το έπαρμα χαρακτηρίζεται ως έπαρμα επαναπόλωσης. Μετά την επαναπόλωση επικρατεί ηλεκτρική ηρεμία και στον ηλεκτροκαρδιογράφο καταγράφεται η ισοηλεκτρική γραμμή T-P, μέχρι δηλαδή την επόμενη κολπική διέγερση. Συνεπώς, το ηλεκτροκαρδιογράφημα αποτελείται τόσο από επάρματα εκπόλωσης, όσο και από επάρματα επαναπόλωσης. Για τον λόγο αυτό η διάκριση μεταξύ των κυμάτων εκπόλωσης και επαναπόλωσης θεωρείται πολύ σημαντική στην ηλεκτροκαρδιογραφία.



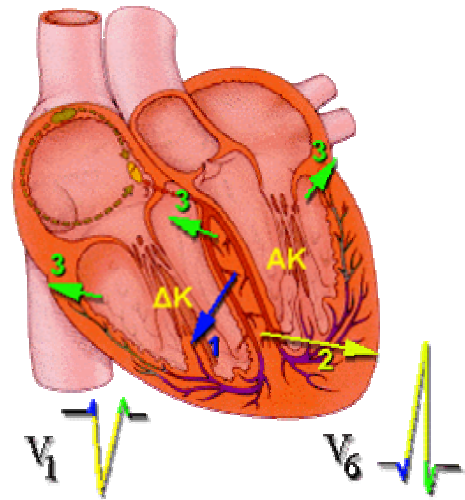
α. Σύμπλεγμα QRS

Το σύμπλεγμα QRS αντιπροσωπεύει την εκπόλωση του κοιλιακού μυοκαρδίου. Μετά την κάθοδο του ερεθίσματος δια του κολποκοιλιακού κόμβου και του δεματίου του His, αρχίζει η διέγερση των κοιλιών.



Το πρώτο τμήμα που εκπολώνεται είναι το μεσοκοιλιακό διάφραγμα με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά παράγοντας στην απαγωγή V1 ένα μικρό θετικό (έπαρμα r) ενώ στην V6 ένα μικρό αρνητικό έπαρμα (έπαρμα q).

Ακολουθεί η ταυτόχρονη εκπόλωση του τοιχώματος της δεξιάς και αριστερής κοιλίας με κατεύθυνση από δεξιά προς αριστερά λόγω επικράτησης της εκπόλωσης της αριστερής κοιλίας (μεγαλύτερη μυϊκή μάζα) παράγοντας στην V1 βαθύ αρνητικό (έπαρμα S) ενώ στην V6 ψηλό θετικό έπαρμα (έπαρμα R).



Τέλος εκπολώνονται το οπισθοβασικό τμήμα της αριστερής κοιλίας και η οπίσθια μείρα του μεσοκοιλιακού διαφράγματος.

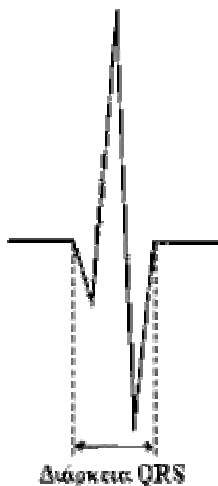
i. Χαρακτηριστικά του συμπλέγματος QRS

Διάρκεια

Φυσιολογικά, εφόσον οι δύο κοιλίες εκπολώνονται ταυτόχρονα η διάρκεια του QRS είναι ίση ή μικρότερη των 0.10sec (2,5 μικρά κουτάκια στο ηλεκτροκαρδιογραφικό χαρτί).

Διαδοχική διέγερση των κοιλιών αυξάνει την διάρκεια του QRS και παρατηρείται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Αποκλεισμό αριστερού ή δεξιού σκέλους
- Πρώιμη διέγερση μιας εκ των δύο κοιλιών (σύνδρομο προδιέγερσης)
- Έναρξη διέγερσης από την μια εκ των δύο κοιλιών. (Κοιλιακές συστολές)



Πολικότητα

Όταν η διάρκεια του QRS είναι φυσιολογική, η φορά του στην απαγωγή V1 είναι φυσιολογικά αρνητική. Όταν το στενό QRS στην V1 είναι θετικό πιθανά υπάρχουν τα παρακάτω:

- Ατελής αποκλεισμός δεξιού σκέλους
- Υπερτροφία δεξιάς κοιλίας

- Αυστηρά οπίσθιο έμφραγμα μυοκαρδίου

Όταν το QRS στη V1 είναι ευρύ και θετικό πρόκειται για:

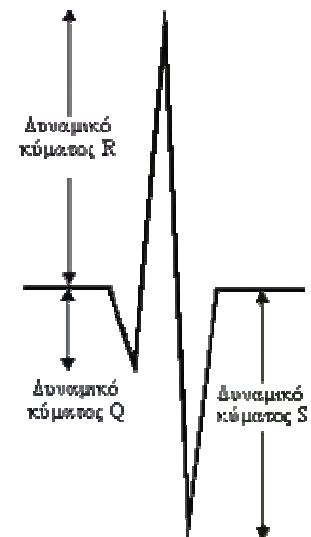
- Πλήρη αποκλεισμό δεξιού σκέλους ή
- Σύνδρομο προδιέγερσης (Τύπος A)

ενώ όταν είναι ευρύ και αρνητικό πρόκειται για:

- α. Αποκλεισμό αριστερού σκέλους ή
- β. Σύνδρομο προδιέγερσης (Τύπος B)

Δυναμικό

Το συνολικό δυναμικό του QRS προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους θετικών και αρνητικών επαρμάτων. Αύξηση του δυναμικού του QRS παρατηρείται σε υπερτροφία μυοκαρδίου. Ένα από τα κριτήρια υπερτροφίας μυοκαρδίου είναι ο δείκτης Sokolon (άθροισμα του S στην V1 και του R στη V5 ή V6 μεγαλύτερο ή ίσο των 35mm).



Μείωση του δυναμικού του QRS παρατηρείται σε:

- Ατροφία του μυοκαρδίου
- Περικαρδιακή συλλογή
- Παχυσαρκία
- Πνευμονικό εμφύσημα

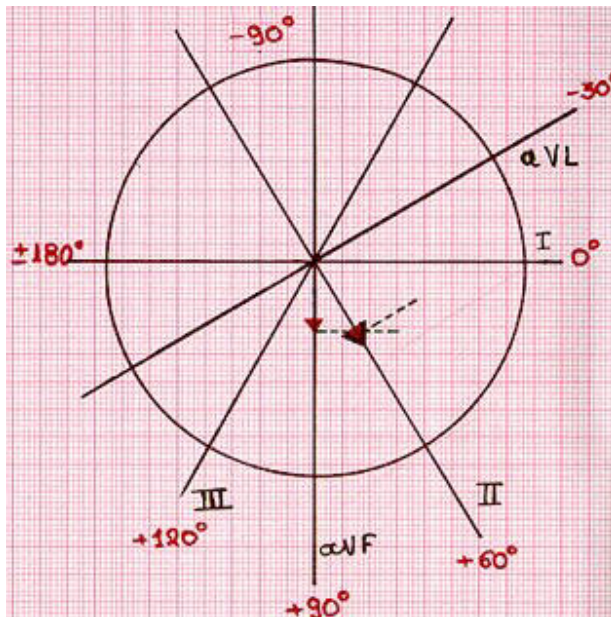
Χαμηλά δυναμικά υπάρχουν όταν το άθροισμα των δυναμικών του QRS στις απαγωγές I, II, III είναι λιγότερο ή ίσο με 15mm ή όταν στην καθεμία χωριστά από τις παραπάνω απαγωγές το δυναμικό του QRS είναι μικρότερο ή ίσο με 5mm.

Άξονας

Ο ηλεκτρικός άξονας της καρδιάς είναι η κατεύθυνση της εκπόλωσης του μυοκαρδίου των κοιλιών σε μετωπιαίο επίπεδο.

Οι απαγωγές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ηλεκτρικού άξονα είναι οι απαγωγές των άκρων.

Η μετωπιαία επιφάνεια του σώματος θεωρείται ένας κύκλος με κέντρο το μεσοκοιλιακό διάφραγμα, στην επιφάνεια του οποίου τοποθετούνται οι απαγωγές των άκρων. Πάνω στις απαγωγές τοποθετείται αντίστοιχα το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών του QRS από το ΗΚΓ. Από την συνισταμένη αυτών ανυσμάτων υπολογίζεται ο άξονας.



Στην κλινική πράξη γίνεται αδρότερος προσδιορισμός του άξονα με βάση τους παρακάτω κανόνες:

- Ο άξονας βρίσκεται μεταξύ δύο απαγωγών που εμφανίζουν ψηλά R ίσου ύψους περίπου και δεύτερον
- Ο άξονας σχηματίζει ορθή γωνία (είναι κάθετος) προς την απαγωγή με διφασικά QRS και έχει φορά προς τις απαγωγές με υψηλό R.

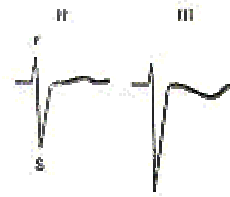
Ο άξονας του QRS μπορεί να είναι:

- Φυσιολογικός άξονας της καρδιάς ο οποίος βρίσκεται μεταξύ 0° και $+90^\circ$ με ακραίες τιμές -30° έως $+100^\circ$.
- Με αριστερή απόκλιση (αριστερός), παίρνει τιμές από 0° έως -90° και το ηλεκτροκαρδιογράφημα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η απαγωγή I εμφανίζει ψηλό R.



ii. Η απαγωγή II και III εμφανίζει RS με βάθος S μεγαλύτερο από το ύψος του R.

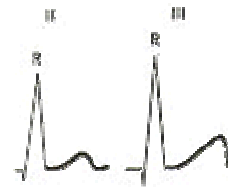


γ. Με δεξιά απόκλιση (δεξιός), παίρνει τιμές από $+90^\circ$ έως 180° και το ηλεκτροκαρδιογράφημα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

i. Η απαγωγή I εμφανίζει σύμπλεγμα τύπου RS με βάθος του S μεγαλύτερο από το ύψος του R

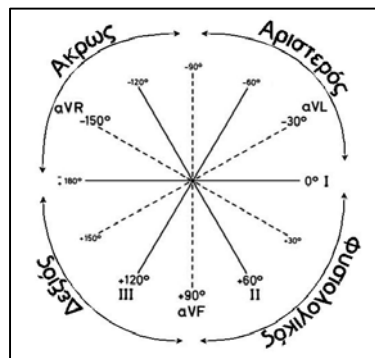


ii. Το έπαρμα R στην απαγωγή III είναι ψηλότερο από την II.



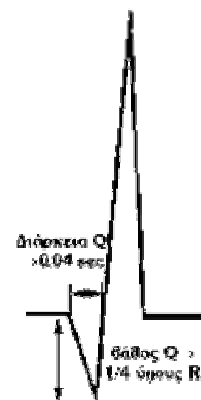
δ. Άκρος ο οποίος παίρνει τιμές από -90° έως 180° .

ε. Απροσδιόριστος ο οποίος δεν προσδιορίζεται στο χώρο.



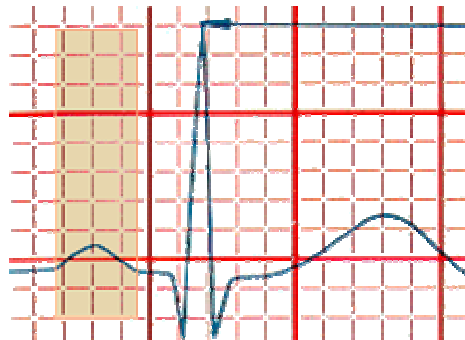
ii. Παθολογικά κύματα Q

Το φυσιολογικό κύμα Q έχει διάρκεια μικρότερη των 0.03 sec. Παθολογικό είναι το Q όταν η διάρκεια του είναι μεγαλύτερη από 0.04 sec και το δυναμικό του μεγαλύτερο από το 1/4 του R της ίδιας απαγωγής. Φυσιολογικά Q υπάρχει στην απαγωγή aVR. Επίσης μπορεί να υπάρχει στενό Q στις απαγωγές I, aVL, V5 και V6, στην απαγωγή III και σπανιότερα στην aVF. Παθολογικό κύμα Q συνήθως χαρακτηρίζει το έμφραγμα του μυοκαρδίου.



β. Κύμα P

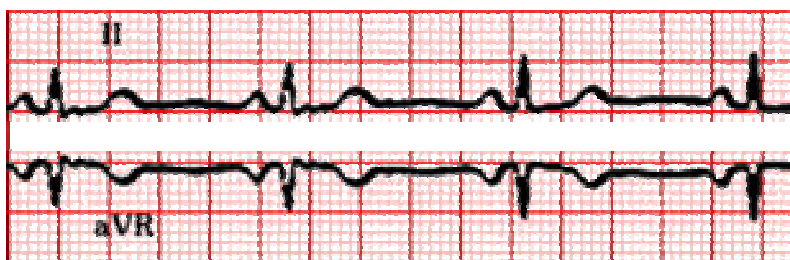
Το κύμα P αντιπροσωπεύει την εκπόλωση (συστολή) των κόλπων. Είναι μία αμβλεία επαναλαμβανόμενη απόκλιση της ισοηλεκτρικής γραμμής, που προηγείται του συμπλέγματος QRS.



Χαρακτηριστικά του κύματος P

Πολικότητα

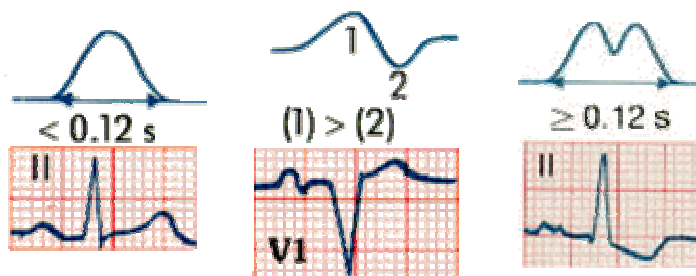
Στην απαγωγή II το P είναι πάντα θετικό και στην απαγωγή aVR πάντα αρνητικό όταν υπάρχει ο φυσιολογικός φλεβοκομβικός ρυθμός.



Διάρκεια

Φυσιολογικά η διάρκεια του P είναι μικρότερη από 0.12 sec (3 μικρά τετράγωνα), όταν η ταχύτητα καταγραφής είναι 25 mm/sec. Το κύμα P φυσιολογικά είναι μονοκόρυφο, ενώ στην απαγωγή V1 μπορεί να έχει μικρό αρχικό σκέλος θετικό και ένα μικρό τελικό αρνητικό.

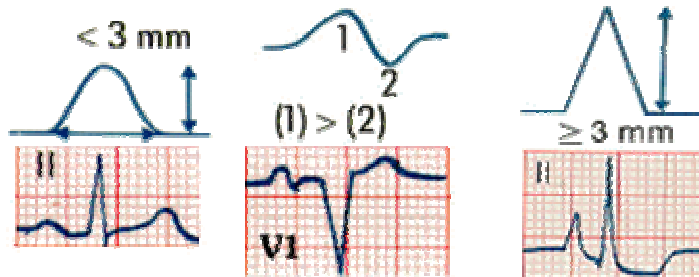
Σε διάταση του αριστερού κόλπου η διάρκεια του κύματος P είναι μεγαλύτερη από



0.12 sec και στην απαγωγή V1 έχει δικόρυφη μορφολογία με το δεύτερο αρνητικό σκέλος πιο ευρύ. Η παραπάνω μορφολογία του κύματος P ονομάζεται μιτροειδικό P.

Δυναμικό

Σε όλες τις απαγωγές το δυναμικό του κύματος P είναι μικρότερο από 2.5 mm (2,5 μικρά τετράγωνα), όταν η ευαισθησία είναι 10 mm.

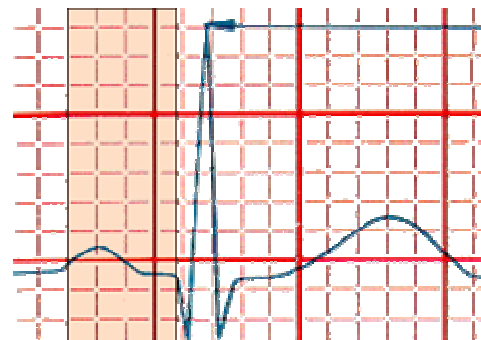


Σε διάταση του δεξιού κόλπου (πνευμονοπάθεια, συγγενής καρδιοπάθεια) αυξάνεται το δυναμικό του κύματος P πάνω από 3 mm. Η παραπάνω μορφολογία του κύματος P ονομάζεται πνευμονικό P.

γ. Διάστημα PQ (PR)

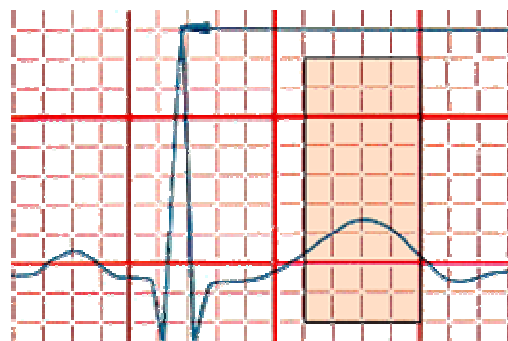
Το διάστημα PR είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ερέθισμα να φθάσει από τον φλεβόκομβο στον κολποκοιλιακό κόμβο. Μετράται από την αρχή του κύματος P μέχρι την αρχή του συμπλέγματος QRS. Σε φυσιολογικά άτομα κυμαίνεται μεταξύ 0,12 και 0,20 sec.

Διάστημα PQ βραχύτερο από 0,12 sec χαρακτηρίζει τα σύνδρομα προδιέγερσης, ενώ μεγαλύτερο από 0,20 sec χαρακτηρίζει συνήθως τους κολποκοιλιακούς αποκλεισμούς.



δ. Κύμα T

Το κύμα T ακολουθεί πάντα το σύμπλεγμα QRS και παριστάνει την πορεία της αναπόλωσης. Είναι αμβλεία απόκλιση της ισοηλεκτρικής γραμμής, που χωρίζεται από το QRS με ένα βραχύ περίπου οριζόντιο ισοηλεκτρικό τμήμα, το τμήμα ST. Η μετάβαση από το ST στο T είναι συχνά ασαφής.



Κατά την εξέταση του κύματος T πρέπει να παρατηρηθούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του κύματος T:

Πολικότητα

Στην ίδια απαγωγή, εφόσον η μορφή του QRS είναι σταθερή, το κύμα T έχει την ίδια φορά με το QRS, θετικό T όταν έχουμε θετικό QRS (επικράτηση των R) και αρνητικό T όταν έχουμε αρνητικό QRS (επικράτηση των S).



Δυναμικό

Πολύ υψηλά T πάνω από 8 mm στις προκάρδιες κυρίως απαγωγές έχουν αιτία τους την βαγοτονία. Άλλα σημαντικά αίτια είναι η υπερκαλιαιμία και υπεροξεία φάση του εμφράγματος του μυοκαρδίου. Χαμηλά ή ισοηλεκτρικά T σε όλες τις προκάρδιες απαγωγές συναντώνται σε υποκαλιαιμία, μυξοίδημα και συμπιεστική περικαρδίτιδα.

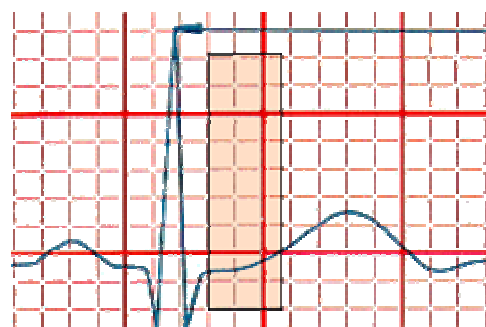
ε. Τμήμα ST

Το τμήμα ST αντιστοιχεί στο μεσοδιάστημα από την πλήρη εκπόλωση μέχρι την έναρξη της επαναπόλωσης. Μετράται από το τέλος του QRS μέχρι την αρχή του κύματος T.

Το τμήμα ST είναι φυσιολογικά ισοηλεκτρικό.

Μικρή ανάσπαση ή κατάσπαση του ST (μικρότερη του 1mm) μπορεί να εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα.

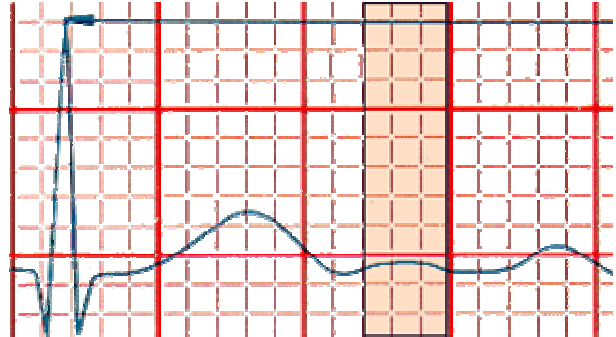
Ανάσπαση ή κατάσπαση του τμήματος ST και η ποσοστιαία μετατόπιση τους χρησιμεύουν στη κατανόηση προβλημάτων στην καρδιά.



στ. Κύμα U

Το κύμα U εμφανίζεται περί το τέλος του T και έχει την ίδια φορά με αυτό. Η σημασία του είναι ασαφής.

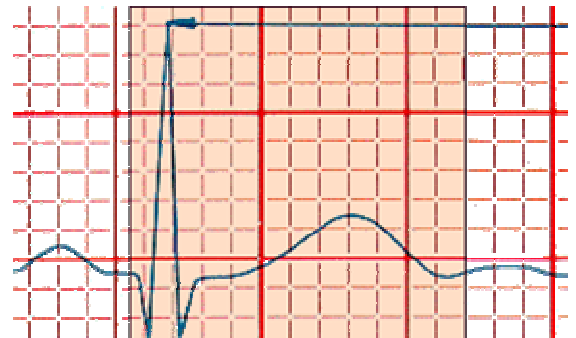
Αρνητικοποίηση του επάρματος U είναι ενδεικτική παθολογικής κατάστασης (αρτηριακή υπέρταση, ισχαιμία μυοκαρδίου), ακόμα και εάν παρουσιάζεται σε ένα καρδιογράφημα χωρίς άλλα παθολογικά ευρήματα.



Φυσιολογικά, είναι πολύ μικρό, ορατό στις προκάρδιες κυρίως απαγωγές ή δεν φαίνεται καθόλου. Γίνεται ιδιαίτερα έκδηλο με την χρήση αντιαρρυθμικών (ομάδα κινιδίνης και αμιωδαρόνης) συμβάλλοντας στην επιμήκυνση του διαστήματος QT και στην υποκαλιαιμία.

ζ. Διάστημα QT

Το διάστημα QT αντιστοιχεί στην συνολική διάρκεια της κοιλιακής εκπόλωσης και επαναπόλωσης. Μετράται από την αρχή του QRS μέχρι το τέλος του επάρματος T. Η διάρκειά του είναι μεταξύ 0.35 και 0.44 sec και επηρεάζεται από την καρδιακή συχνότητα. Όσο αυξάνει η καρδιακή συχνότητα το QT διάστημα μικραίνει και το αντίστροφο. Γενικά όμως διάστημα QT μεγαλύτερο από το μισό δύο διαδοχικών R-R επαρμάτων θεωρείται αυξημένο. Επιμήκυνση ή βράχυνση του QT μπορεί να παρατηρηθεί σε διάφορες καταστάσεις όπως υποκαλιαιμία και υπερκαλιαιμία αντίστοιχα.



Β. Ο ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΟΣ

Ο ηλεκτροκαρδιογράφος είναι ένα ευαίσθητο βολτόμετρο το οποίο καταγράφει μέσω ηλεκτροδίων τις διαφορές δυναμικού στην επιφάνεια του σώματος που προκύπτουν κατά την λειτουργία της καρδιάς.



Οι καταγραφές του ΗΚΓ γίνονται τόσο με ηλεκτροκαρδιογράφους διαφορετικού τύπου, όσον αφορά το ΗΚΓ που λαμβάνεται, όσο και με ηλεκτροκαρδιογράφους διαφορετικών προδιαγραφών (δηλαδή με μηχανήματα που, ενώ παράγουν μορφολογικά ίδιο ΗΚΓ, τα ίδια τα μηχανήματα παρουσιάζουν διαφορές στις συχνότητες αποκοπής των φίλτρων, στην ενίσχυση των προενισχυτών τους, στον αριθμό των Bits ψηφιοποίησης κ.τ.λ.).

Έτσι, οι ηλεκτροκαρδιογράφοι χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες, ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών που δίνουν ως έξοδο:

α. Μονοκαναλικοί: Ένα πολύ γνωστό είδος μονοκαναλικού καρδιογράφου είναι ο His-Purkinje καρδιογράφος για τον οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικά στη συνέχεια της ενότητας αυτής.

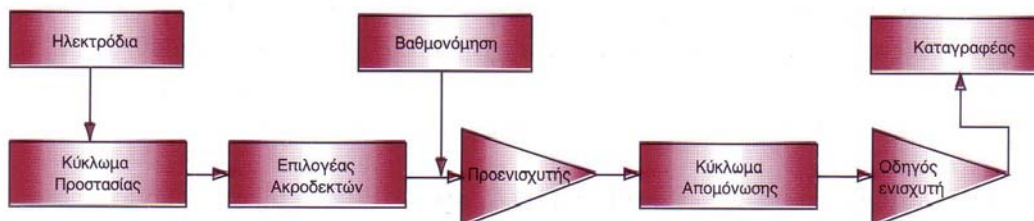
β. 12-καναλικοί: Η κατηγορία αυτή είναι η πιο διαδεδομένη από όλες τις άλλες, ενώ τα μηχανήματα που υπάγονται σε αυτήν δίνουν το πιο γνωστό ΗΚΓ που στη διεθνή βιβλιογραφία ονομάζεται normal ECG.

γ. Πολυκαναλικοί: Στην κατηγορία αυτήν υπάγονται συστήματα που δίνουν ΗΚΓ σε 32 έως 256 κανάλια. Οι καρδιογράφοι αυτοί δεν έχουν ευρεία κλινική εφαρμογή (εκτός από το πολύ γνωστό τεστ κοπώσεως) και χρησιμοποιούνται κυρίως για πειραματικούς σκοπούς. Παρά την περιορισμένη κλινική τους χρήση (κυρίως λόγω της υψηλής τιμής τους), το ΗΚΓ που δίνουν είναι πολύ σημαντικό για τους ερευνητές που μελετούν τη λειτουργία της καρδιάς, γιατί είναι πολύ λεπτομερές, αφού χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια σε όλη την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος για την απόκτηση του.

Για όλα τα παραπάνω είδη καρδιογράφων απαιτείται η χρήση ογκώδους hardware. Επιπλέον, ένα μεγάλο δείκτη πολυπλοκότητας αποτελεί και ο αριθμός των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση του ΗΚΓ. Όσο περισσότερα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότεροι ενισχυτές και απομονωτές εισόδου απαιτούνται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος του αναλογικού hardware, γεγονός που πρέπει να αποφεύγεται, αφού τα αναλογικά ηλεκτρονικά είναι πολύ ευαίσθητα σε περιβάλλον θορύβου.

1. Γενική περιγραφή των υποσυστημάτων ενός ηλεκτροκαρδιογράφου

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τα βασικά υποσυστήματα ενός ηλεκτροκαρδιογράφου. Ο ηλεκτροκαρδιογράφος είναι, ουσιαστικά, ένας ενισχυτής που ακολουθείται από ένα καταγραφέα, και η βασική του λειτουργία είναι η λήψη του ασθενούς ηλεκτρικού σήματος της καρδιάς, όπως αυτό φτάνει στην επιφάνεια του σώματος, και η ενίσχυση του πλάτους του για περαιτέρω επεξεργασία, καταγραφή ή αποθήκευση.



Τα βασικά υποσυστήματα ενός ηλεκτροκαρδιογράφου είναι τα ακόλουθα (όπως φαίνονται και στο παραπάνω σχήμα):

- 1) Τα **ηλεκτρόδια** τα οποία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς.
- 2) Τα **κυκλώματα προστασίας** και απομόνωσης για την ασφάλεια του ατόμου του οποίου το ΗΚΓ καταγράφεται. Είναι διατάξεις απομόνωσης υπερτάσεων στις εισόδους της συσκευής.
- 3) Ο **επιλογέας ακροδεκτών** για την επιλογή της επιθυμητής προς καταγραφή απαγωγής. Ένας τυπικός ηλεκτροκαρδιογράφος περιλαμβάνει τουλάχιστον 12 ακροδέκτες εισόδου για να μπορούμε να παίρνουμε συγκεκριμένου τύπου ΗΚΓ.

- 4) Ο **προενισχυτής**, ο οποίος πραγματοποιεί την πρώτη προενίσχυση που δέχεται το σήμα. Πρέπει να έχει πολύ υψηλό λόγο απόρριψης κοινού σήματος (CMRR) και συνήθως υλοποιείται με τελεστικούς ενισχυτές. Τα ηλεκτρόδια καταγράφουν τάσεις από 0,1mV μέχρι 4mV. Έτσι χρησιμοποιείται ο προενισχυτής για να “φέρει” το σήμα σε μια τάση της τάξης των 5 με 10V.
- 5) Το **κύκλωμα απομόνωσης**, το οποίο είναι ένα ζωνοπερατό φίλτρο στα 50 Hz για την αποκοπή των παρεμβολών του ηλεκτρικού δικτύου της ΔΕΗ. Προστατεύει επίσης τον ασθενή από τυχόν ρεύματα διαρροής από ή προς τα μεταλλικά της συσκευής.
- 6) Το **κύκλωμα οδήγησης** δεξιού κάτω άκρου, το οποίο παρέχει αναφορά τάσεων, ορίζει δηλ. μία γείωση, και το κύκλωμα κύριας ενισχυτικής βαθμίδας, το οποίο ενισχύει το σήμα όσο χρειάζεται ώστε να αποδοθεί ικανοποιητικά από τη συσκευή καταγραφής.
- 7) Ο **καταγραφέας**, ο οποίος εξασφαλίζει την εκτύπωση της οθόνης στο χαρτί. Σε ψηφιακούς ηλεκτροκαρδιογράφους υπάρχει και σύστημα μνήμης το οποίο επιτρέπει την καταγραφή των δεδομένων σε δίσκο μαζί με προσωπικά δεδομένα του ασθενούς.
- 8) Το **σήμα βαθμονόμησης**, το οποίο εξασφαλίζει την αρχικοποίηση από τυχόν αποκλίσεις.

2. Τα ηλεκτρόδια

Ο ποιο αποτελεσματικός τρόπος για να κάνουμε λήψη ηλεκτρικών σημάτων, με την μέγιστη ευαισθησία, που παράγει η καρδιά θα ήταν η απευθείας τοποθέτηση καλωδίων στο μυοκαρδιακό ιστό και η σύνδεσή τους απευθείας σε ένα monitor.

Η ηλεκτρική τάση των κυμάτων στο φυσιολογικό ΗΚΓ εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στην επιφάνεια του σώματος. Όταν το ένα ηλεκτρόδιο τοποθετείται αμέσως πάνω από την καρδιά, και το δεύτερο ηλεκτρόδιο τοποθετείται σε κάποιο άλλο σημείο του σώματος, η ηλεκτρική τάση του συμπλέγματος QRS μπορεί να φτάνει τα 3 ή 4 mV. Αλλά ακόμη και αυτή η τάση είναι



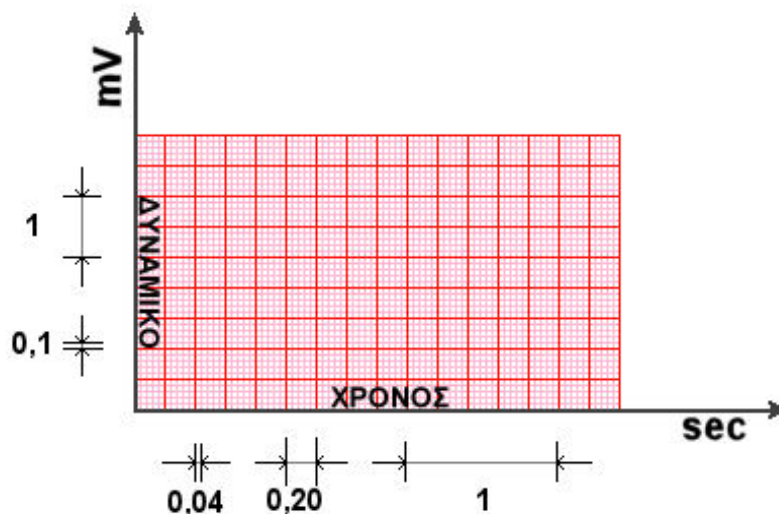
πολύ μικρή, σε σύγκριση με το μονοφασικό δυναμικό ενέργειας των 110 mV, όπως καταγράφεται, με άμεσο τρόπο, από την κυτταρική μεμβράνη μυϊκής ίνας του μυοκαρδίου. Όταν το ΗΚΓ καταγράφεται με ηλεκτρόδια τοποθετημένα στα δυο άνω άκρα, είτε σε ένα άνω και σε ένα κάτω άκρο, η ηλεκτρική τάση του συμπλέγματος QRS είναι συνήθως 1 mV από

την κορυφή του επάρματος R μέχρι το κάτω μέρος του επάρματος S. Εξάλλου η ηλεκτρική τάση του επάρματος P είναι 0,1 ως 0,3 mV και του επάρματος T από 0,2 ως 0,3 mV

Η πλειοψηφία των εξωτερικών ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα διαθέτουν στη μια πλευρά (κάτω) μια κολλητική ταινία που στην κολλώδη της μεριά διαθέτει αγωγίμη επαφή η οποία με τη χρήση ειδικού αγωγίμου ζελέ έρχεται σε επαφή με καθαρό σημείο δέρματος. Στην άλλη πλευρά (πάνω) βρίσκεται το άλλο άκρο της αγωγίμης επαφής όπου συνδέεται το καλώδιο που θα συνδεθεί στο monitor. Στους 12-κάναλους ΗΚΓ ο αριθμός και το σημείο τοποθέτησής τους στο σώμα είναι καθορισμένο με μεγάλη ακρίβεια. Τα ηλεκτρόδια είναι συνολικά 10 αλλά τα σήματα που προκύπτουν είναι 12 και λαμβάνονται από τις απαγωγές στήθους ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$) και τις απαγωγές των άκρων. Ηλεκτρονικά η απαγωγές στήθους προκύπτουν με σύγκριση του σήματος αναφοράς (δεξί πόδι) και κάθε μία από τις απαγωγές στήθους. Από τις απαγωγές άκρων όμως προκύπτουν έξι επιπλέον σήματα: Τα V_I, V_{rI}, V_{fI} που προκύπτουν με σύγκριση των R, L., F με το σήμα αναφοράς και τα σήματα I, II, III που προκύπτουν με σύγκριση των L, R, F με το ηλεκτρονικό τους άθροισμα (το οποίο πρέπει να είναι 0V).

3. Ηλεκτροκαρδιογραφικό χαρτί

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγράφεται από την ακίδα του ηλεκτροκαρδιογράφου πάνω σε ένα μιλιμετρέ χαρτί. Στο ηλεκτροκαρδιογραφικό χαρτί η απόσταση μεταξύ δύο κάθετων γραμμών δείχνει τον χρόνο. Όταν το χαρτί κινείται με ταχύτητα 25mm/sec (η οποία είναι και η συνηθέστερη) η απόσταση μεταξύ δύο καθέτων λεπτών γραμμών αντιστοιχεί σε χρόνο 0,04sec, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο χοντρών καθέτων γραμμών αντιστοιχεί σε 0,20sec συνεπώς τα 5 τετράγωνα σε 1sec. Η απόσταση μεταξύ 2 οριζοντίων γραμμών

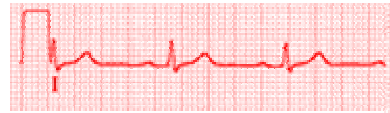


αντιστοιχεί σε δυναμικό. Είναι έτσι ρυθμισμένος ο καρδιογράφος ώστε ύψος 1mm στο χαρτί να αντιστοιχεί σε δυναμικό 0,1mV, και 1cm ύψος να αντιστοιχεί σε 1mV.

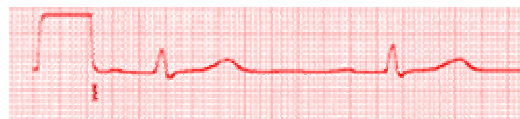
Μερικές φορές η καταγραφή μπορεί να γίνει με μεγαλύτερες ή μικρότερες ταχύτητες.



Ταχύτητα = 25 mm/sec



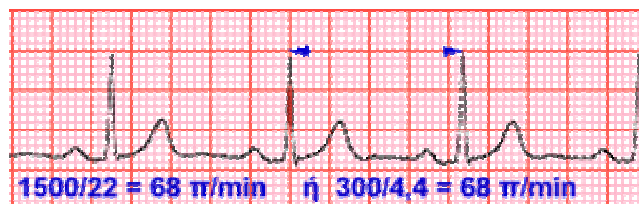
Ταχύτητα = 50 mm/sec
Ευαισθησία 1mV = 10 mm



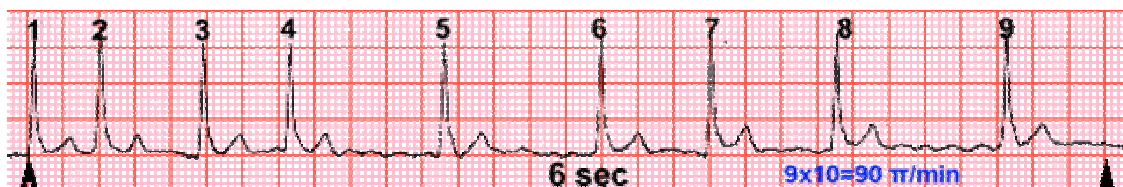
Ταχύτητα = 100 mm/sec

Από τις μετρήσεις του ηλεκτροκαρδιογράφου μπορούμε να μετρήσουμε την καρδιακή συχνότητα. Με τον όρο καρδιακή συχνότητα εννοούμε τους καρδιακούς κύκλους (δηλαδή το διάστημα R-R) σε ένα λεπτό. Για να βρούμε λοιπόν την συχνότητα, διαιρούμε το ένα λεπτό με το χρόνο (το εύρος) του καρδιακού κύκλου R-R εφαρμόζοντας τους παρακάτω κανόνες :

- α. Όταν έχουμε ομαλό καρδιακό ρυθμό η συχνότητα αντιστοιχεί με το πηλίκο του αριθμού 300 προς τον αριθμό των μεγάλων τετραγώνων μεταξύ δύο διαδοχικών QRS ή του αριθμού 1500 προς τον αριθμό των μικρών τετραγώνων μεταξύ δύο διαδοχικών QRS.



- β. στην περίπτωση του ανώμαλου καρδιακού ρυθμού (π.χ. κολπική μαρμαρυγή) η συχνότητα υπολογίζεται από το γινόμενο του αριθμού των QRS που περιέχονται σε 6 sec επί τον αριθμό 10.

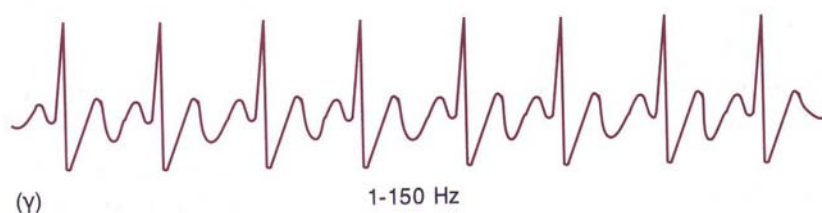
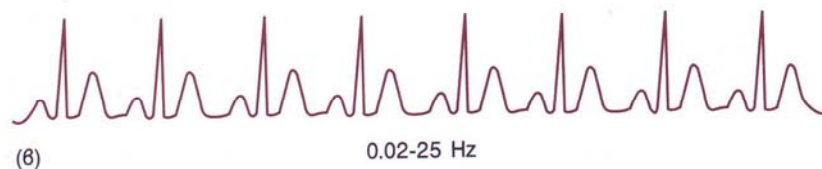


4. Ρύθμιση της ευαισθησίας του ηλεκτροκαρδιογράφου

Πριν από κάθε καταγραφή του ηλεκτροκαρδιογραφήματος πρέπει να γίνεται ρύθμιση της ευαισθησίας του ηλεκτροκαρδιογράφου. Έτσι με την βοήθεια ενός κουμπιού που βρίσκεται ενσωματωμένο στον ηλεκτροκαρδιογράφο απελευθερώνεται ηλεκτρικό ρεύμα 1mV που στις συνήθεις καταγραφές πρέπει να παράγει θετική απόκλιση της ακίδας ίση με 10mm (2 μεγάλα τετράγωνα). Σπανιότερα χρησιμοποιείται μεγαλύτερη ή μικρότερη ευαισθησία.

5. Προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη χρήση του ηλεκτροκαρδιογράφου

Παραμόρφωση συχνότητας. Συμβαίνει κατά τη διέλευση του σήματος από κύκλωμα που έχει ελαχιστοποιήσει το κέρδος στις χαμηλές ή υψηλές συχνότητες, οπότε στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται στο ΗΚΓ παραμόρφωση συχνότητας. Στο σχήμα (α) φαίνεται η λήψη ενός κανονικού ΗΚΓ με διάταξη που είχε τη σωστή απόκριση συχνότητας (0,02-150 Hz). Στο σχήμα (β) φαίνεται το ΗΚΓ του (α) το οποίο έχει καταγραφεί με διάταξη που είχε απόκριση συχνότητας από 0,02-25 Hz. Στην περίπτωση αυτή έχουμε παραμόρφωση υψηλών συχνοτήτων και μείωση του πλάτους του QRS συμπλέγματος. Στο σχήμα (γ) φαίνεται το ΗΚΓ του (α) το οποίο έχει καταγραφεί με διάταξη που είχε απόκριση συχνότητας από 1-150 Hz. Στην περίπτωση αυτή έχουμε παραμόρφωση χαμηλών συχνοτήτων.



Κορεσμός ενισχυτή και παραμόρφωση ψαλιδισμού. Είναι αποτέλεσμα κακής αντιστάθμισης ή κακού συντονισμού βαθμίδων και μπορεί να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τη μορφή του ΗΚΓ. Στο σχήμα (α) παρουσιάζεται ένα κανονικό ΗΚΓ. Στο σχήμα (β) φαίνεται η παραμόρφωση της κυματομορφής λόγω κορεσμού. Στην περίπτωση αυτή ο συνδυασμός του πλάτους του σήματος εισόδου και της τάσης απόκλισης οδηγεί τον ενισχυτή σε κορεσμό κατά τη διάρκεια τμήματος του QRS συμπλέγματος. Επομένως οι κορυφές του QRS συμπλέγματος ψαλιδίζονται επειδή η έξοδος του ενισχυτή δεν μπορεί να υπερβεί την τάση κορεσμού. Το σχήμα (γ) δείχνει μία παρόμοια περίπτωση στην οποία τα χαμηλότερα τμήματα του ΗΚΓ κόβονται. Αυτό προκύπτει από αρνητικό κορεσμό του ενισχυτή. Κορυφές των κυμάτων P και T μπορούν ακόμα να φανούν στις καταγραφές, ή μπορεί να είναι χαμηλότερα από το επίπεδο αποκοπής έτσι ώστε να εμφανίζεται μόνο το κύμα R.



Βρόγχοι γείωσης. Εμφανίζονται λόγω του γεγονότος ότι ο ασθενής συνδέεται ταυτόχρονα και με άλλες συσκευές εκτός του ηλεκτροκαρδιογράφου.

Ελεύθεροι αγωγοί. Το πρόβλημα οφείλεται στην κακή επαφή μιας απαγωγής σήματος που δρα πλέον ως δέκτης (κεραία) όλων των παρακείμενων παρεμβολών.

Αλλοιώσεις λόγω ισχυρών μεταβατικών φαινομένων. Περίπτωση απινίδωσης.

Παρεμβολές από άλλες γειτονικές συσκευές. Λόγω χωρητικότητων ζεύξης από τις γειτονικές γραμμές μεταφοράς με τις απαγωγές.

6. Είδη ΗΚΓ

Το ΗΚΓ αποτελεί την ηλεκτρική καταγραφή της καρδιακής δραστηριότητας. Η μηχανική λειτουργία της καρδιάς συνδέεται στενά με την ηλεκτρική της δραστηριότητα. Συνεπώς, το ΗΚΓ αποτελεί χρήσιμο διαγνωστικό εργαλείο στην εκτίμηση της σωστής καρδιακής λειτουργίας.

Η επεξεργασία του ΗΚΓ γίνεται με σκοπό την παρουσίαση της καρδιακής δραστηριότητας με όσο το δυνατό λεπτομερέστερο σήμα. Το αντίστροφο πρόβλημα στην καρδιολογία ορίζεται ως η μέγιστη δυνατότητα εντόπισης της ηλεκτρικής δραστηριότητας του φαινομένου που λαμβάνει χώρα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αν και κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο λόγω της υπερβολικής πολυπλοκότητας που παρουσιάζει το νευρικό δένδρο αγωγής της καρδιάς, μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί και εφαρμοστεί με επιτυχία αρκετά είδη καρδιογράφων που εξασφαλίζουν ικανοποιητικά την παραπάνω συνθήκη.

Το μεγαλύτερο μέρος των υπαρχόντων ηλεκτροκαρδιογράφων πραγματοποιεί ηλεκτρικές μετρήσεις στην επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος. Ένα απλό ΗΚΓ αποτελείται από το PQRSΤ σύμπλεγμα με εύρος μόλις λίγων millivolts. Συνήθως το εύρος ζώνης ενός τέτοιου σήματος κυμαίνεται στην περιοχή 0,05-100Hz, όπου περιέχεται σχεδόν όλη η ενέργεια του.

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία του ΗΚΓ είναι η αναγνώριση του R κύματος. Η αναγνώριση αυτή πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους συγχρονισμού συνεχόμενων R-R παλμών. Η ανάλυση του διαστήματος είναι μια πολύ χρήσιμη διαδικασία που χρησιμοποιείται πρωτίστως στην εξάλειψη του θορύβου από το σήμα αλλά και στην ανάλυση κυματιδίου. Πολλή προσπάθεια έχει γίνει στην ανάπτυξη αλγορίθμων αυτόματης επεξεργασίας του ΗΚΓ, τη συμπίεση του και την κατάταξη του σε διακριτές τάξεις.

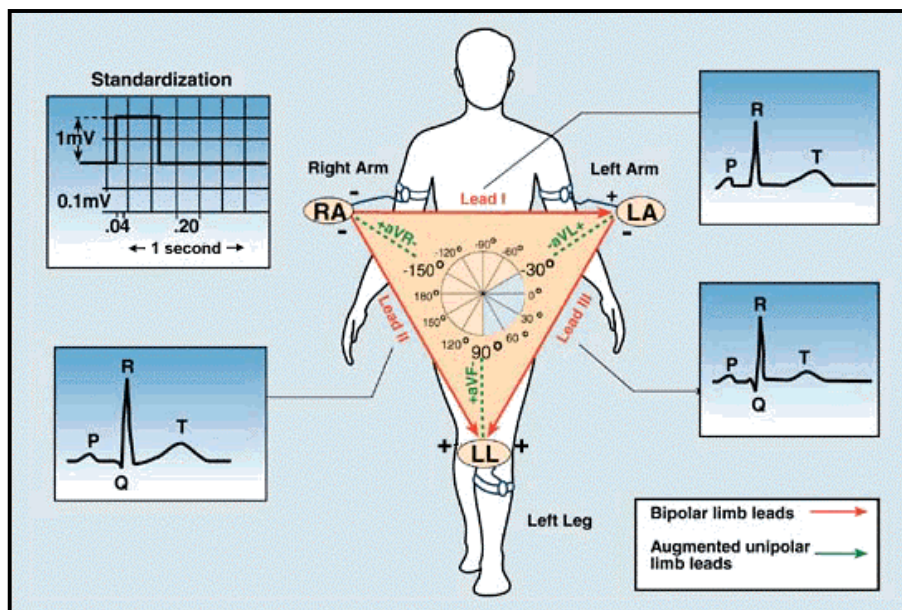
Τα πιο γνωστά είδη καρδιογραφημάτων είναι τα ακόλουθα:

ΗΚΓ υψηλής συχνότητας. Έχει διαπιστωθεί ότι η υψηλή περιοχή συχνοτήτων 100-1000 Hz περιέχει επιπρόσθετη πληροφορία της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς. Κυματομορφές που καλούνται notch και slurs έχουν καταγραφεί υπερτεθειμένες στο γνωστό QRS σύμπλεγμα.

Εμβρυακό ΗΚΓ. Το είδος αυτό αφορά τα διαφορετικά ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή του (ηλεκτρόδια με όχι λεία επιφάνεια). Το βασικότερο πρόβλημα σε αυτό το ΗΚΓ είναι οι μεγάλες παρεμβολές που υπερτίθενται στο σήμα από την ηλεκτρική δραστηριότητα μυών που βρίσκονται κοντά στην περιοχή της καρδιάς. Προσαρμοστικά φίλτρα (adaptive filters) έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο, στο συγκεκριμένο είδος ΗΚΓ.

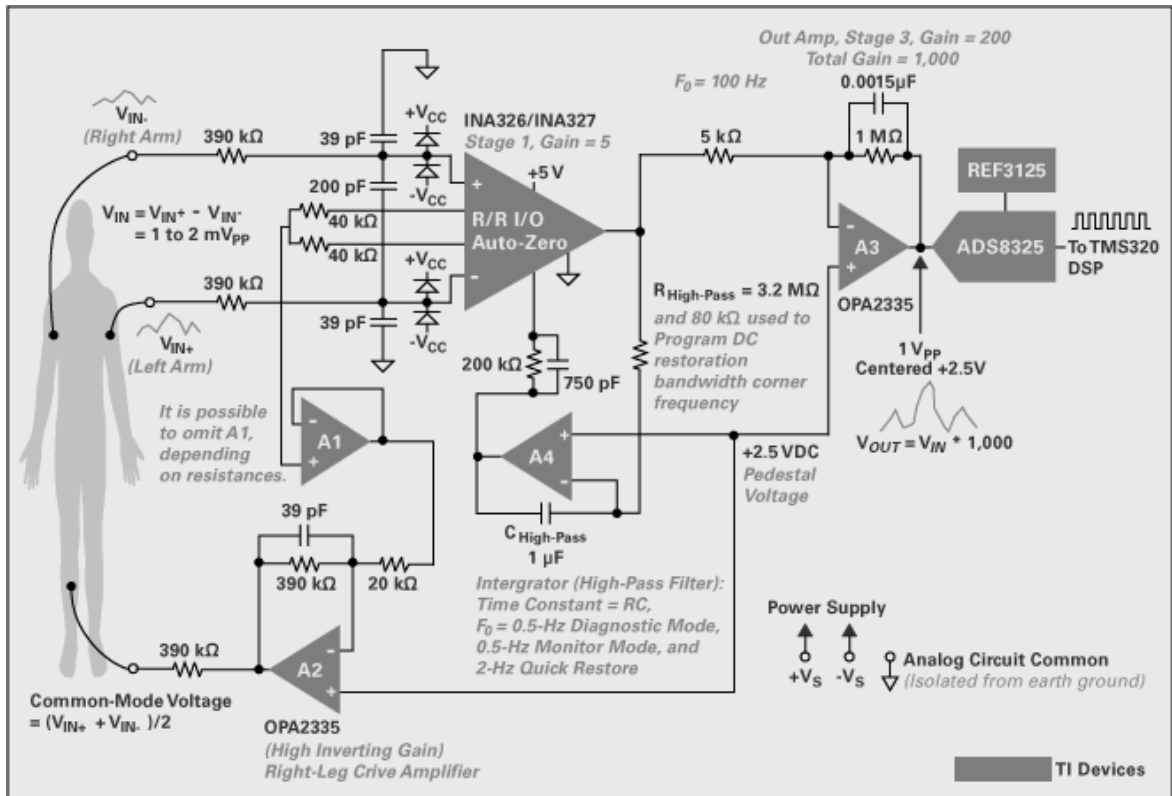
His-purkinje ΗΚΓ. Αυτό το ΗΚΓ γίνεται με καθετηριασμό και αφορά την απευθείας καταγραφή του ηλεκτρικού δυναμικού του His-purkinje νευρικού δένδρου. Το σήμα που καταγράφεται έχει εύρος 1-10μV. Σήματα με τόσο μικρό εύρος απαιτούν συγχρονισμένες τεχνικές averaging για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Διανυσματικά ΗΚΓ. Αντί να καταγράφονται ηλεκτρικά δυναμικά από τα ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του σώματος σε συνάρτηση με το χρόνο, είναι δυνατό να καταγράφεται και να παρουσιάζεται η ηλεκτρική δραστηριότητα του ενός ηλεκτροδίου σε σχέση με την ηλεκτρική δραστηριότητα κάποιου άλλου ή κάποιου συνδυασμού άλλων ηλεκτροδίων. Έτσι, υιοθετώντας μια συγκεκριμένη τοπολογία πάνω στην επιφάνεια του σώματος για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, μπορεί να μετρηθεί η προβολή του δίπολου της καρδιάς (μοντελοποίηση) στα επίπεδα (x,y), (y,z) και (x,z). Ορισμένοι γνωστοί συνδυασμοί ηλεκτροδίων είναι το Frank σύστημα συντεταγμένων το τετράεδρο και το κυβικό διανυσματικό ΗΚΓ.

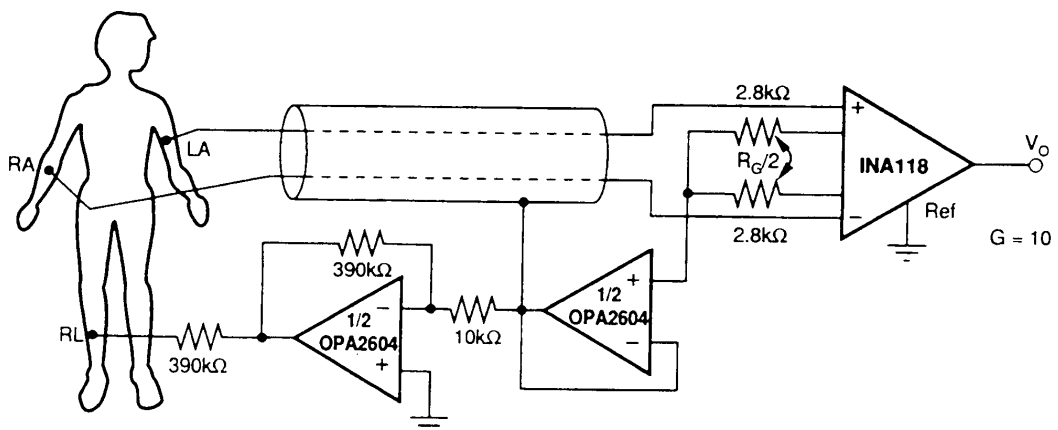


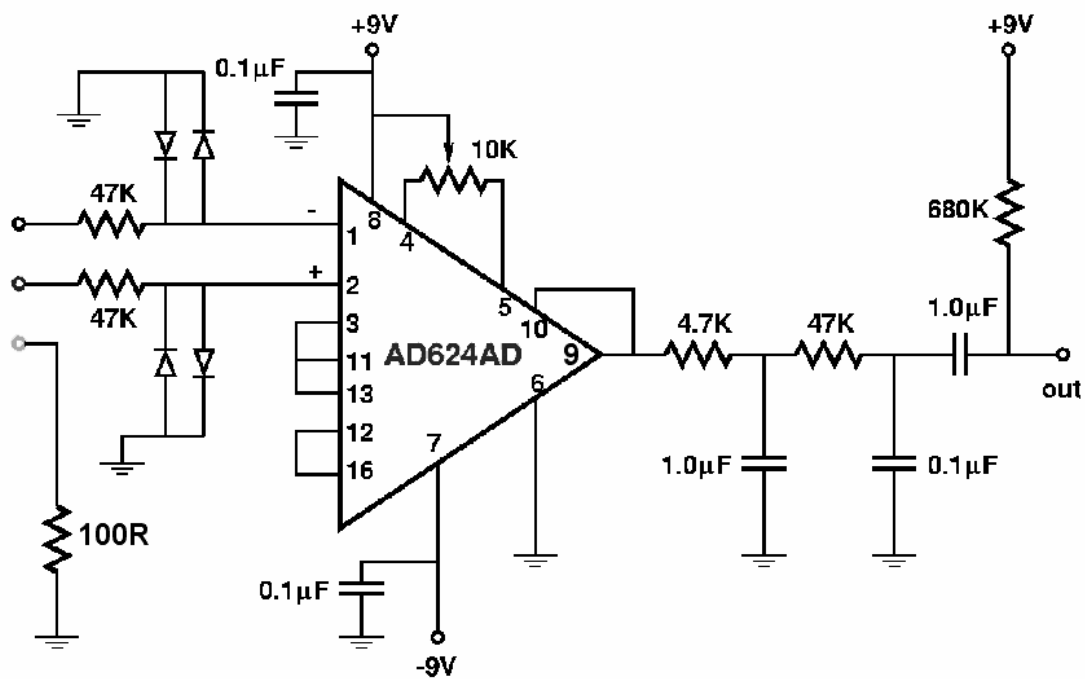
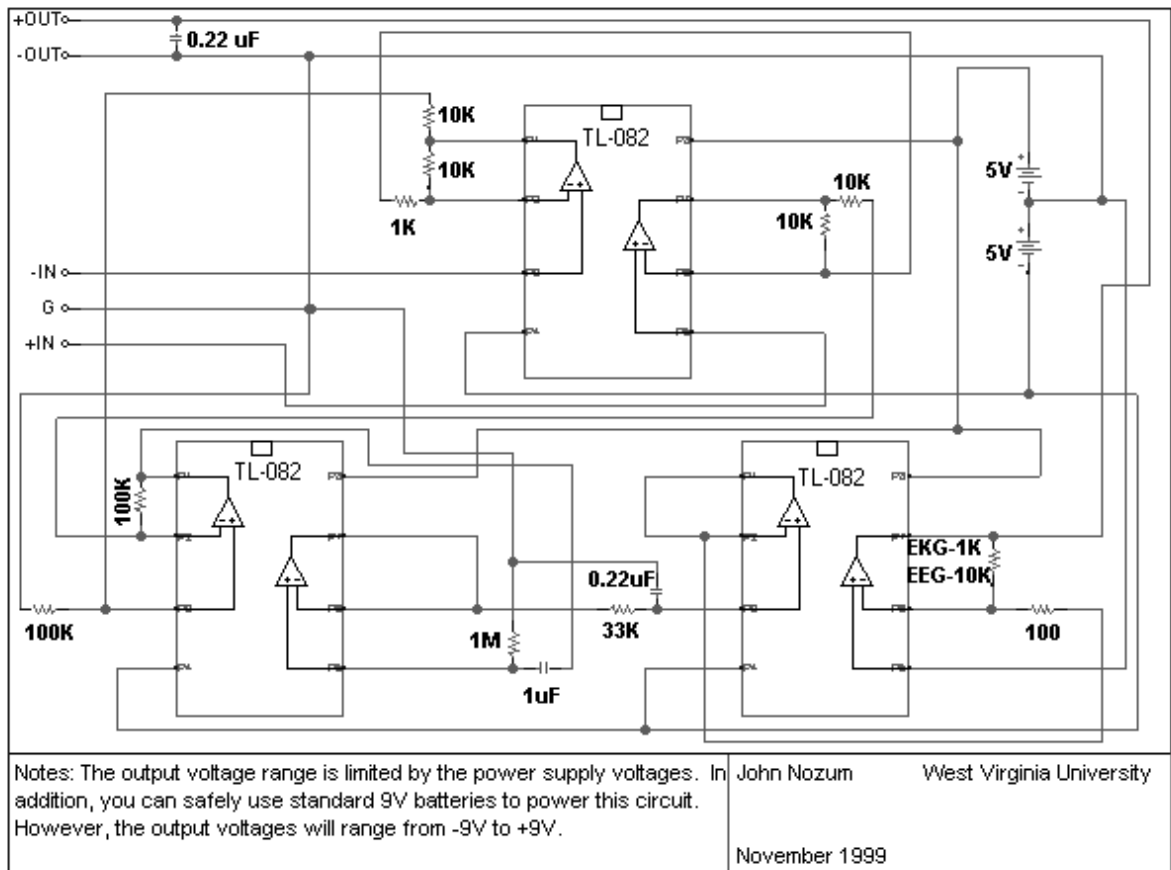
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω βλέπουμε διάφορες υλοποιήσεις κυκλωμάτων ECG και ενισχυτών για ECG:



ECG AMPLIFIER WITH RIGHT LEG DRIVE





ΠΗΓΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **“Το Ηλεκτροκαρδιογράφημα στην Κλινική Πράξη”**, Γεώργιος Παπαζάχος
Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας
2. **“Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων”**,
Δ. Κουτσούρης, Σ. Παυλόπουλος, Α. Πρέντζα, *Εκδόσεις Τζιόλα*
3. **“The Only EKG Book You’ll Ever Need”**, Malcolm S. Thaler
Lippincott Williams & Wilkins
4. **“Guide To ECG Analysis”**, Joseph T. Catalano
Lippincott
5. http://www.biomed.ntua.gr/BelSite/Educational_Activities/Undergraduate/Lesson2/notes2.htm
6. <http://www.incardiology.gr>
7. <http://www.hugo-sachs.de/amplif~1/ecg.htm>
8. <http://www.picotech.com/applications/ecg.html>
9. http://www.plus1plus1plus.org/Resources/EEG_EKG
10. <http://home.att.net/~jnozum/EKGHappy.htm>
11. <http://www.picotech.com/applications/ecg.html>