

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΡΡΥΘΜΙΩΝ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Παναγιώτα Ηλιοπούλου

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

ΑΘΗΝΑ, 2015

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ανίχνευση αρρυθμιών σε ηλεκτροκαρδιογραφήματα με χρήση τεχνικών αναγνώρισης προτύπων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13η Οκτωβρίου 2015.

(Υπογραφή)	*(Υπογραφή)*	*(Υπογραφή)*
.....	.....	.....
Γεώργιος Ματσόπουλος	Παντελής Ασβεστάς	Νικόλαος Ουζούνογλου
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Επικ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Αθήνας	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

(Υπογραφή)

.....

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2015 – All rights reserved

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος για την ανίχνευση αρρυθμιών σε ηλεκτροκαρδιογραφήματα με χρήση τεχνικών αναγνώρισης προτύπων.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε χρήση τεχνικών αναγνώρισης προτύπων για το διαχωρισμό δύο κλάσεων , αυτής με φυσιολογικά ηλεκτροκαρδιογραφήματα και αυτής με παθολογικά ηλεκτροκαρδιογραφήματα τα οποία προέρχονταν από ασθενείς με αρρυθμία.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εκτεταμένη και ελεύθερα διαθέσιμη βάση με ηλεκτροκαρδιογραφήματα από το δικτυακό τόπο του UCI Machine Learning Repository η οποία περιέχει 452 περιστατικά με 279 χαρακτηριστικά για κάθε περιστατικό.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εξετάζει μεθόδους επιλογής των ουσιωδέστερων χαρακτηριστικών από τα δεδομένα ώστε να μειωθεί η διάσταση του χώρου των χαρακτηριστικών, να αναγνωριστούν εκείνα τα χαρακτηριστικά με τη μεγαλύτερη διαγνωστική ικανότητα και να εκτιμηθεί η απόδοση των μεθόδων αναγνώρισης προτύπων ως προς την ορθή ταξινόμηση των περιστατικών.

Λέξεις Κλειδιά: Επιλογή χαρακτηριστικών, Ηλεκτροκαρδιογράφημα. Ταξινόμηση Χαρακτηριστικών, Αρρυθμία

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Abstract

The scope of this thesis was the development of a framework for arrhythmia detection in electrocardiograms with the utilization of pattern recognition techniques.

In detail pattern recognition methods were utilized to discriminate between two classes, where the first one contained normal electrocardiograms while the second one contained pathological electrocardiograms from patients exhibiting arrhythmias.

For this purpose an extended and freely available database with electrocardiograms was used from the web site of the UCI Machine Learning Repository containing 452 cases with 279 characteristics for each case.

The proposed methodology investigates methods for selecting the features with highest discrimination power from the data in order to reduce the dimensionality of the feature space, identify those characteristics with the highest diagnostic value and assess the performance of pattern recognition methods with respect to the accurate classification of the cases in the above data set.

Keywords: Feature selection, Electrocardiogram, Pattern Classification, Arrythmia

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος

Στο κεφάλαιο 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιείται μία ανάλυση της ανατομίας και των λειτουργικών χαρακτηριστικών της καρδιάς, όπως επίσης και στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν από τους μηχανισμούς παραγωγής των ηλεκτρικών σημάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2 τα χαρακτηριστικά του ηλοεκτροκαρδιογραφήματος ενώ στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται βασικά αποτελέσματα στο ίδιο σύνολο δεδομένων από άλλους συγγραφείς. Στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται ανάλυση των μεθόδων επιλογής και ταξινόμησης χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται μία ανασκόπηση των βασικών στοιχείων της υλοποίησης Το κεφάλαιο 6 ολοκληρώνει την παρούσα εργασία συνοψίζοντας τα σημαντικότερα αποτελέσματα. Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει και ένα παράστημα που περιέχει τα βασικά χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων, τις κλάσεις που αυτό περιέχει και την κύρια συνάρτηση που αναπτύχθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1 Εισαγωγή 1

1.1 Ανατομία της Καρδιάς 1

1.1.1 Περικάρδιο 1

1.1.2 Καρδιά 3

1.1.3 Αριστερή κοιλία 5

1.1.4 Κατασκευή της καρδιάς 6

1.1.5 Σύστημα αγωγής της καρδιάς 7

1.1.6 Αγγείωση της καρδιάς 8

1.1.7 Νεύρωση Καρδιάς 9

1.1.8 Λειτουργία της καρδιάς 10

1.2 Ηλεκτρική Δραστηριότητα 11

1.2.1 Διέγερση του μυοκαρδίου 12

1.2.2 Δίαυλοι και διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης 15

2 Ηλεκτροκαρδιογράφημα 17

2.1 Χαρακτηριστικά ΗΚΓ 17

2.2 Δημιουργία Ηλεκτροκαρδιογραφήματος 18

2.3 Ηλεκτροκαρδιογραφική καταγραφή 19

2.3.1 Λήψη του Ηλεκτροκαρδιογραφήματος 20

2.3.2 Απαγωγές 21

2.3.3 Ο Ηλεκτρικός Άξονας της Καρδιάς 25

2.4 Η μορφολογία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος 26

3 Σχετικές Θεματικές Εργασίες 34

3.1 Θεματική Εργασία 1 34

3.2 Θεματική Εργασία 2 35

3.3 Θεματική Εργασία 3 35

3.4 Θεματική εργασία 4 35

4 Μέθοδοι επιλογής και ταξινόμησης Χαρακτηριστικών 36

4.1 Αλγόριθμοι επιλογής Χαρακτηριστικών 37

4.1.1 Μονήρη χαρακτηριστικά *37*
4.1.2 Διάνυσμα χαρακτηριστικών με διαδοχική αύξηση διαστάσεων *37*
4.1.3 Rank Features *37*
4.1.4 Sequential Forward Selection (SFS) *38*
4.1.5 Sequential Forward Floating Selection (SFFS) *39*
4.2 Αλγόριθμος ταξινόμησης Χαρακτηριστικών (SVM) 40
4.3 Κανονικοποίηση δεδομένων 42
5 Υλοποίηση προτεινόμενου συστήματος - Αποτελέσματα 43
5.1 Σύνολο δεδομένων 43
5.2 Ροή αλγορίθμου 45
5.3 Αποτελέσματα 46
6 Συμπεράσματα 63
6.1 Συνοπτικά αποτελέσματα - Συμπεράσματα 63
7 Παράρτημα Ι 65
7.1 Αναλυτικός κατάλογος χαρακτηριστικών – κλάσεων 65
7.1.1 Χαρακτηριστικά *65*
7.1.2 Κατανομή κλάσεων *68*
7.1.3 Κύρια συνάρτηση *69*
8 Βιβλιογραφία 75

1

Εισαγωγή

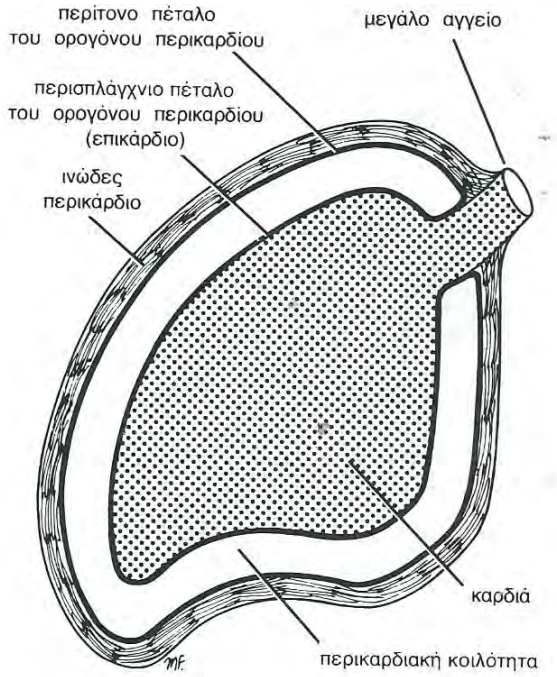
Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιούμε μία εισαγωγή στη βασική ανατομία του καρδιακού μυ, τον τρόπο με τον οποίο παράγονται και διαδίδονται οι ηλεκτρικοί παλμοί στην καρδιά και τη μηχανική λειτουργία που αυτή επιτελεί.

Η παραπάνω περιγραφή έχει πολλαπλούς στόχους. Συγκεκριμένα αποσκοπεί στην εξοικείωση του αναγνώστη με τη φυσιολογία και τη λειτουργία της καρδιάς όπως επίσης και τη σχετική ορολογία. Επίσης βοηθά τον αναγνώστη στην κατανόηση των υπολοίπων τμημάτων του κειμένου, ιδίως στα τμήματα που περιγράφονται το ηλεκτροκαρδιογράφημα και τα μετρηθέντα χαρακτηριστικά με στόχο την καλύτερη κατανόηση τους και του τρόπου που αυτά συνδέονται με τη λειτουργία της καρδιάς.

1.1 Ανατομία της Καρδιάς

1.1.1 Περικάρδιο

Το περικάρδιο είναι ένας σάκος που περικλείει την καρδιά και την αρχή των μεγάλων αγγείων [1] . Βρίσκεται στο μέσο μεσοθωράκιο όπισθεν του σώματος του στέρνου και των $2^{ου}$-$6^{ου}$ πλευρικών χόνδρων όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.



ΣΧΗΜΑ 1: ΧΩΡΟΘΕΣΙΑ ΚΑΡΔΙΑΚΟΥ ΜΥ

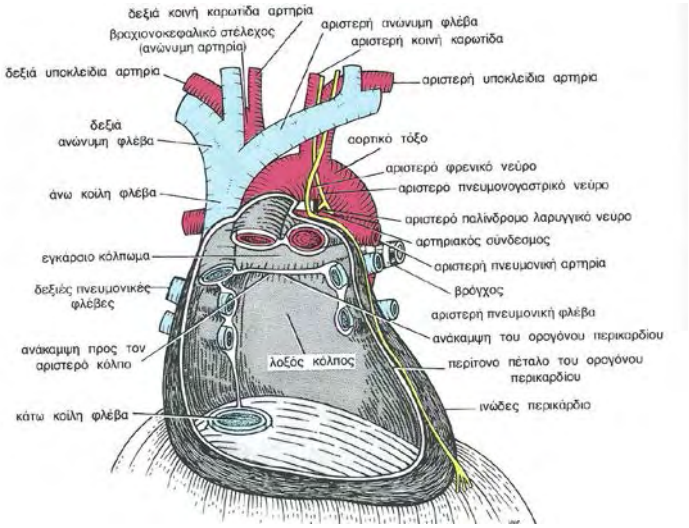
Το *ινώδες περικάρδιο* είναι η ινώδης μοίρα του σάκου και χρησιμεύει για να περιορίζει την κινητικότητα της καρδιάς. Προς τα κάτω προσφύεται στερεά προς το τενόντιο κέντρο του διαφράγματος. Προς τα άνω συνεχίζεται με τον έξω χιτώνα των μεγάλων αγγείων που το διαπερνούν, δηλ. την αορτή, το στέλεχος της πνευμονικής αρτηρίας, την άνω κοίλη φλέβα και τις πνευμονικές φλέβες όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 2. Προς τα εμπρός προσφύεται στο στέρνο με τους στερνοπερικάρδιακούς συνδέσμους.

Το *ορογόνο περικάρδιο* αποτελείται από δύο πέταλα, το τοιχωματικό και το περισπλάγχνιο. Το τοιχωματικό πέταλο υπαλείφει το ινώδες περικάρδιο γύρω από την έκφυση των μεγάλων αγγείων για να συνεχιστεί ως περισπλάγχνιο πέταλο του ορογόνου περικαρδίου.

Το περισπλάγχνιο πέταλο του ορογόνου περικαρδίου έρχεται σε στενή επαφή με την καρδιά και συχνά αναφέρεται ως επικάρδιο. Ο σχισμοειδής χώρος που βρίσκεται ανάμεσα στο περίτονο και το περισπλάγχνιο πέταλο του ορογόνου περικαρδίου ονομάζεται *περικαρδιακή κοιλότητα*. Φυσιολογικά η κοιλότητα αυτή περιέχει μικρό ποσό υγρού των ιστών, το οποίο δρα σαν λιπαντικό και διευκολύνει τις κινήσεις της καρδιάς.

Στην οπίσθια επιφάνεια της καρδιάς η ανάκαμψη του ορογόνου περικαρδίου γύρω από τις μεγάλες φλέβες σχηματίζει ένα κόλπωμα που λέγεται λοξό κόλπωμα του

περικαρδίου. Επίσης στην οπίσθια επιφάνεια της καρδιάς βρίσκεται το εγκάρσιο κόλπωμα του περικαρδίου, το οποίο είναι βραχύ πέρασμα που βρίσκεται ανάμεσα στην ανάκαμψη του ορογόνου περικαρδίου γύρω από την αορτή και τις πνευμονικές αρτηρίες και την ανάκαμψη γύρω από τις μεγάλες φλέβες.



ΣΧΗΜΑ 2: ΤΑ ΜΕΓΑΛΑ ΑΓΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΠΕΡΙΚΑΡΔΙΟΥ

1.1.2 Καρδιά

Η καρδιά είναι κοίλο μυώδες όργανο, περίπου πυραμοειδούς σχήματος και βρίσκεται στο μεσοπνευμόνιο χώρο μέσα στο περικάρδιο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Με τη βάση της συνδέεται με τα μεγάλα αγγεία ενώ κατά τη λοιπή έκταση της είναι ελεύθερη μέσα στο περικάρδιο.

Η καρδιά εμφανίζει τρεις επιφάνειες : τη στερνοπλευρική (πρόσθια), τη διαφραγματική (κάτω) και τη βασική (οπίσθια) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4. Έχει επίσης μια κορυφή, η οποία στρέφεται προς τα κάτω, πρόσω και αριστερά.

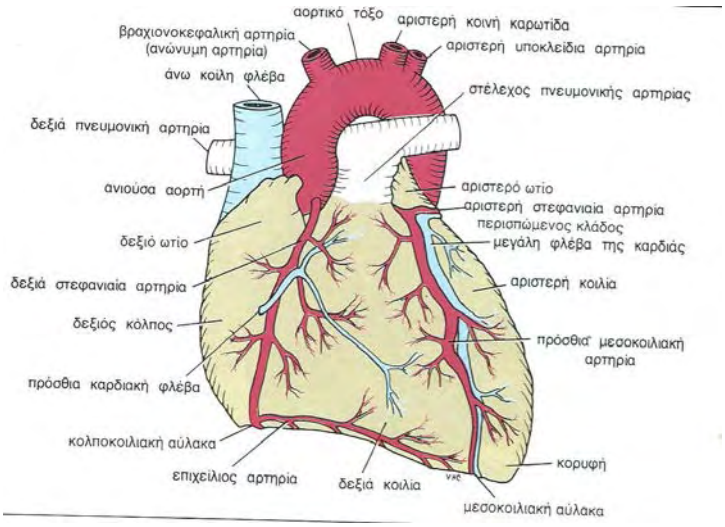
Η στερνοπλευρική επιφάνεια σχηματίζεται κυρίως από το δεξιό κόλπο και τη δεξιά κοιλία που χωρίζονται μεταξύ τους με μια κάθετη αύλακα την κολποκοιλιακή ή στεφανιαία αύλακα. Το δεξιό χείλος της καρδιάς σχηματίζεται από το δεξιό κόλπο και το αριστερό χείλος από την αριστερή κοιλία και μέρος του αριστερού ωτίου. Η δεξιά κοιλία χωρίζεται από την αριστερή κοιλία με την πρόσθια μεσοκοιλιακή αύλακα.

Η διαφραγματική επιφάνεια της καρδιάς σχηματίζεται κυρίως από τη δεξιά και την αριστερή κοιλία, που χωρίζονται με την οπίσθια μεσοκοιλιακή αύλακα. Η κάτω επιφάνεια του δεξιού κόλπου, στην οποία εκβάλλει η κάτω κοίλη φλέβα, συμμετέχει επίσης στο σχηματισμό της επιφάνειας αυτής.

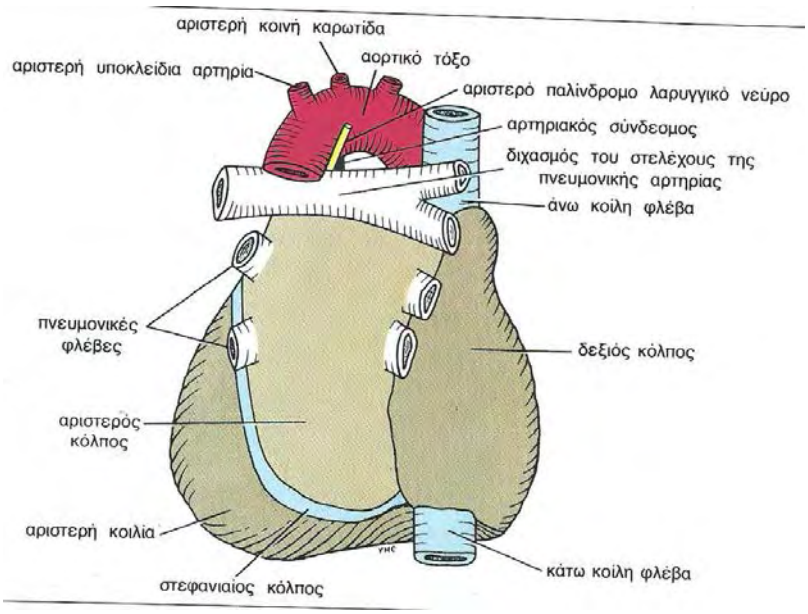
Η βάση της καρδιάς, ή οπίσθια επιφάνεια, σχηματίζεται κυρίως από τον αριστερό κόλπο, στον οποίο εκβάλλουν οι τέσσερις πνευμονικές φλέβες. Ο δεξιός κόλπος συμβάλει επίσης, σε μικρότερο βαθμό, στο σχηματισμό της επιφάνειας αυτής.

Η κορυφή της καρδιάς σχηματίζεται από την αριστερή κοιλία και κατευθύνεται προς τα κάτω, εμπρός και αριστερά. Βρίσκεται στο ύψος του 5^{ου} αριστερού μεσοπλεύριου διαστήματος 9 cm από τη μέση γραμμή. Η ώση της κορυφής της καρδιάς είναι συνήθως ορατή στην περιοχή της κορυφής της καρδιάς και μπορεί να ψηλαφηθεί.

Παρατηρήστε ότι η βασική επιφάνεια της καρδιάς ονομάζεται βάση, γιατί η καρδιά έχει πυραμοειδές σχήμα, και η βασική επιφάνεια βρίσκεται απέναντι από την κορυφή. Η καρδιά δεν ακουμπάει στη βάση της αλλά στη διαφραγματική (κάτω) επιφάνεια της.



ΣΧΗΜΑ 3: ΠΡΟΣΘΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΡΔΙΑΣ



ΣΧΗΜΑ 4: ΟΠΙΣΘΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΡΔΙΑΣ

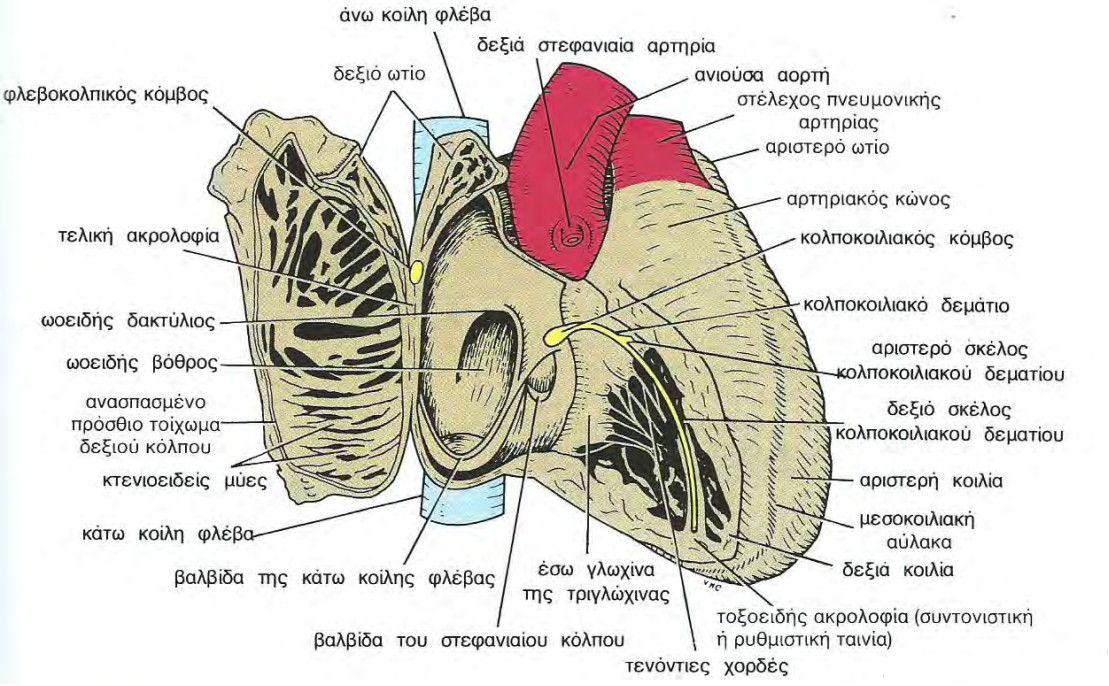
1.1.3 Αριστερή κοιλία

Η αριστερή κοιλία επικοινωνεί προς το αριστερό κόλπο με το κολποκοιλιακό στόμιο και προς την αορτή με το αορτικό στόμιο. Τα τοιχώματα της αριστερής κοιλίας όπως απεικονίζονται στο είναι τρεις φορές παχύτερα από τα της δεξιάς κοιλίας. (Η πίεση στο εσωτερικό της αριστερής κοιλίας είναι έξι φορές μεγαλύτερη από της δεξιάς κοιλίας). Σε εγκάρσια διατομή η αριστερή κοιλία έχει κυκλικό σχήμα λόγω της προβολής του μεσοκοιλιακού διαφράγματος όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5. Η αριστερή κοιλία έχει καλά ανεπτυγμένες μυϊκές δοκίδες, δύο μεγάλους θηλοειδείς μυς, αλλά δεν έχει ρυθμιστική ταινία. Το τμήμα της αριστερής κοιλίας ακριβώς κάτω από το αορτικό τρήμα ονομάζεται πρόδομος της αορτής.

Η μιτροειδής βαλβίδα φράσσει το αριστερό κολποκοιλιακό στόμιο. Η βαλβίδα αυτή εμφανίζει δύο γλωχίνες, πρόσθια και οπίσθια, η κατασκευή των οποίων είναι παρόμοια με την κατασκευή των οποίων είναι παρόμοια με την κατασκευή των γλωχίνων της τριγλώχινας βαλβίδας. Η πρόσθια γλωχίνα είναι μεγαλύτερη και παρεμβάλλεται ανάμεσα στο κολποκοιλιακό και το αορτικό στόμιο. Η πρόσφυση των τενόντιων χορδών, η λειτουργία των γλωχίνων και οι θηλοειδείς μύες είναι όμοια με αυτήν της τριγλώχινας βαλβίδας.

Η αορτική βαλβίδα φράσσει το αορτικό στόμιο και η κατασκευή της είναι σχεδόν όμοια με αυτήν της πνευμονικής βαλβίδας. Μία γλωχίνα βρίσκεται στο πρόσθιο τοίχωμα και δύο βρίσκονται στο οπίσθιο τοίχωμα. Αντίστοιχα προς τις μηνοειδείς

γλωχίνες το τοίχωμα της αορτής προέχει και σχηματίζει τους αορτικούς κόλπους. Η δεξιά στεφανιαία αρτηρία αρχίζει από τον πρόσθιο αορτικό κόλπο ενώ η αριστερή στεφανιαία αρτηρία αρχίζει από τον αριστερό οπίσθιο κόλπο.



ΣΧΗΜΑ 5: ΔΕΞΙΟΣ ΚΟΛΠΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΛΙΑ

1.1.4 Κατασκευή της καρδιάς

Τα τοιχώματα της καρδιάς αποτελούνται από παχιά στιβάδα καρδιακού μυός, το μυοκάρδιο, που καλύπτεται εξωτερικά μεν από ορογόνο περικάρδιο, που λέγεται επικάρδιο και εσωτερικά υπαλείφεται από στιβάδα ενδοθηλίου, το ενδοκάρδιο. Το κολπικό τμήμα της καρδιάς έχει σχετικά λεπτά τοιχώματα και με το μεσοκολπικό διάφραγμα υποδιαιρείται σε δεξιό και αριστερό κόλπο. Το διάφραγμα φέρεται από το πρόσθιο τοίχωμα της καρδιάς προς τα πίσω και δεξιά. Το κοιλιακό τμήμα της καρδιάς έχει παχέα τοιχώματα και με το μεσοκοιλιακό διάφραγμα υποδιαιρείται σε δεξιά και αριστερή κοιλία. Το διάφραγμα φέρεται από το πρόσθιο τοίχωμα της καρδιάς προς τα πίσω και δεξιά. Το κοιλιακό τμήμα της καρδιάς έχει παχέα τοιχώματα και με το μεσοκοιλιακό διάφραγμα υποδιαιρείται σε δεξιά και αριστερή κοιλία. Το διάφραγμα φέρεται λοξά. Η μια επιφάνεια του βλέπει προς τα πρόσω και δεξιά, ενώ η άλλη προς τα πίσω και αριστερά. Η θέση του, προβαλλόμενη στην επιφάνεια της καρδιάς υποδηλώνεται από την πρόσθια και την οπίσθια μεσοκοιλιακή

αύλακα. Το κάτω τμήμα του διαφράγματος είναι παχύ και μυώδες. Το μικρότερο άνω τμήμα του διαφράγματος είναι λεπτό και υμενώδες και προσφύεται στον ινώδη σκελετό της καρδιάς.

Ο ινώδης σκελετός της καρδιάς αποτελείται από τους ινώδεις δακτυλίους που περιβάλλουν τα κολποκοιλιακά στόμια, το στόμιο του στελέχους της πνευμονικής αρτηρίας και το αορτικό στόμιο, και συνεχίζονται με την υμενώδη άνω μοίρα του μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Οι ινώδεις δακτύλιοι που βρίσκονται γύρω από τα κολποκοιλιακά στόμια χωρίζουν τα μυϊκά τοιχώματα των κόλπων από τα μυϊκά τοιχώματα των κοιλιών και παρέχουν πρόσφυση για μυϊκές ίνες. Οι ινώδεις δακτύλιοι στηρίζουν τις βάσεις των βαλβίδων και παρεμποδίζουν τη διάταση των βαλβίδων, η οποία θα είχε ως συνέπεια την ανεπάρκεια τους.

1.1.5 Σύστημα αγωγής της καρδιάς

Η φυσιολογική καρδιά του ανθρώπου συστέλλεται ρυθμικά με 70 συστολές κατά λεπτό (στην ήρεμη κατάσταση του ενηλίκου). Η ρυθμική διαδικασία των συστολών παράγεται αυτόματα στο σύστημα αγωγής και η παραγόμενη διέγερση πορεύεται στα διάφορα τμήματα της καρδιάς. Έτσι πρώτα συστέλλονται μαζί οι δύο κόλποι και ακολούθως συστέλλονται μαζί οι δύο κοιλίες. Η μικρή καθυστέρηση στη διέλευση της διέγερσης από τους κόλπους στις κοιλίες επιτρέπει στους κόλπους να προωθήσουν το αίμα στις κοιλίες προτού αυτές συσταλούν.

Το σύστημα παραγωγής και αγωγής των διεγέρσεων της καρδιάς αποτελείται από εξειδικευμένο καρδιακό μυϊκό ιστό, που βρίσκεται στο φλεβοκολπικό κόμβο, τον κολποκοιλιακό κόμβο, το κολποκοιλιακό δεμάτιο με το δεξιό και το αριστερό του σκέλος και στο υπενδοκαρδιακό πλέγμα των ινών του Purkinje. Ο φλεβοκολπικός κόμβος είναι η περιοχή όπου αρχίζει η παραγωγή των διεγέρσεων και η συστολή του καρδιακού μυός. Αναφέρεται συχνά ως βηματοδότης. Είναι μικρό σωμάτιο, που εκτείνεται σε ολόκληρο το πάχος του μυοκαρδίου του δεξιού κόλπου όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 5. Βρίσκεται στο άνω μέρος της τελικής αύλακας, λίγο προς τα δεξιά του στομίου εκβολής της άνω κοίλης φλέβας. Το καρδιακό ερέθισμα επεκτείνεται στο μυοκάρδιο του κόλπου και φθάνει στον κολποκοιλιακό κόμβο.

Ο κολποκοιλιακός κόμβος βρίσκεται στο κατώτερο μέρος του μεσοκολπικού διαφράγματος, ακριβώς πάνω από την πρόσφυση της έσω γλωχίνας της τριγλώχινας βαλβίδας. Από τον κόμβο αυτό το ερέθισμα φέρεται προς τις κοιλίες με το

κολποκοιλιακό δεμάτιο. Υπογραμμίζουμε εδώ ότι η μοναδική μυϊκή σύνδεση μεταξύ του μυοκαρδίου των κόλπων και του μυοκαρδίου των κοιλιών.

Το κολποκοιλιακό δεμάτιο κατέρχεται πίσω από την έσω γλωχίνα της τριγλωχίνας βαλβίδας και φθάνει στο κατώτερο όριο της υμενώδους μοίρας του μεσοκοιλιακού διαφράγματος. Κατά το άνω όριο της μυϊκής μοίρας του μεσοκοιλιακού διαφράγματος αποσχίζεται σε δύο σκέλη, ένα για κάθε κοιλία. Το δεξιό σκέλος φέρεται προς τα κάτω στη δεξιά επιφάνεια του μεσοκοιλιακού διαφράγματος και φτάνει την τοξοειδή ακρολοφία, με την οποία και περνά προς το πρόσθιο τοίχωμα της δεξιάς κοιλίας. Εδώ συνεχίζεται με τις ίνες του πλέγματος Purkinje.

Το αριστερό σκέλος του κολποκοιλιακού δεματίου τρυπά το μεσοκοιλιακό διάφραγμα φέρεται προς τα κάτω στην αριστερή επιφάνεια του μεσοκοιλιακού διαφράγματος υπό το ενδοκάρδιο. Συνήθως αποσχίζεται σε δύο κλάδους, οι οποίοι τελικά συνεχίζονται με τις ίνες του πλέγματος Purkinje στην αριστερή κοιλία.

Έτσι φαίνεται ότι το σύστημα παραγωγής και αγωγής των διεγέρσεων όχι μόνον παράγει τις ρυθμικές καρδιακές διεγέρσεις αλλά και τις μεταφέρει ταχέως σε όλο το μυοκάρδιο της καρδιάς, έτσι ώστε οι τέσσερις θάλαμοι της καρδιάς να συστέλλονται συντονισμένα και αποτελεσματικά.

Το σύστημα αυτό επηρεάζεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Τα παρασυμπαθητικά νεύρα επιβραδύνουν το ρυθμό και ελαττώνουν την ταχύτητα αγωγής και διέγερσης, τα συμπαθητικά νεύρα έχουν αντίθετη δράση.

1.1.6 Αγγείωση της καρδιάς

Οι στεφανιαίες αρτηρίες, δεξιά και αριστερή, παρέχουν την αγγείωση της καρδιάς. Οι αρτηρίες αυτές εκφύονται από την αορτή ακριβώς πάνω από την αορτική βαλβίδα όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.

Η δεξιά στεφανιαία αρτηρία εκφύεται από τον πρόσθιο μηνοειδή κόλπο της αορτής και πορεύεται προς τα εμπρός μεταξύ της πνευμονικής αρτηρίας και του δεξιού ωτίου. Στη συνέχεια κατέρχεται μέσα στη δεξιά κολποκοιλιακή αύλακα, χορηγώντας κλάδους για το δεξιό κόλπο και τη δεξιά κοιλία. Στο κάτω χείλος της καρδιάς συνεχίζεται προς τα πίσω κατά μήκος της κολποκοιλιακής αύλακας και αναστομώνεται με την αριστερή στεφανιαία αρτηρία όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6. Η αρτηρία αυτή χορηγεί τον επιχείλιο κλάδο που αρδεύει τη δεξιά κοιλία και τον οπίσθιο μεσοκοιλιακό κλάδο ο οποίος αρδεύει μέρος αμφοτέρων των κοιλιών. Ο

οπίσθιος κατιών κλάδος αναστομώνεται με τον πρόσθιο κατιόντα κλάδο της αριστερής στεφανιαίας αρτηρίας , μέσα στην οπίσθια μεσοκοιλιακή αύλακα.

Η αριστερή στεφανιαία αρτηρία, η οποία είναι ευρύτερη από δεξιά, εκφύεται από τον αριστερό οπίσθιοι μηνοειδή κόλπο της αορτής και πορεύεται προς τα εμπρός μεταξύ του στελέχους της πνευμονικής αρτηρίας και του αριστερού ωτίου. Στη συνέχεια εισέρχεται στην κολποκοιλιακή αύλακα, περικάμπτει το αριστερό χείλος της καρδιάς και αποσχίζεται στον πρόσθιο κατιόντα κλάδο και στον περισπώμενο κλάδο. Ο πρόσθιος κατιών κλάδος πορεύεται προς τα κάτω μέσα στην πρόσθια μεσοκοιλιακή αύλακα μέχρι την κορυφή της καρδιάς , αρδεύοντας και τις δύο κοιλίες και το μεσοκοιλιακό διάφραγμα. Κατόπιν ανακάμπτει στην κορυφή της καρδιάς και αναστομώνεται με τον οπίσθιο μεσοκοιλιακό κλάδο της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας.

Ο περισπώμενος κλάδος ακολουθεί την κολποκοιλιακή αύλακα, περικάμπτει το αριστερό χείλος της καρδιάς και τελειώνει αναστομούμενος με τη δεξιά στεφανιαία αρτηρία. Ο περισπώμενος κλάδος χορηγεί αίμα στον αριστερό κόλπο και την αριστερή κοιλία.

Η προηγούμενη περιγραφή των στεφανιαίων αρτηριών και των κλάδων τους πρέπει να απομνημονευθεί, αλλά παράλληλα πρέπει να γνωρίζουμε ότι υπάρχουν πολλές παραλλαγές. Οι συνηθέστερες παραλλαγές έχουν σχέση με την αιμάτωση της διαφραγματικής επιφάνειας και των δύο κοιλιών. Εδώ η προέλευση, το μέγεθος και η κατανομή της οπίσθιας μεσοκοιλιακής αρτηρίας ποικίλλουν. Στην περίπτωση της «δεξιάς επικρατήσεως» η οπίσθια μεσοκοιλιακή αρτηρία αποτελεί ευρύ κλάδο της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας, ενώ στην περίπτωση της «αριστερής επικρατήσεως» η οπίσθια μεσοκοιλιακή αρτηρία είναι κλάδος της αριστερής στεφανιαίας αρτηρίας.

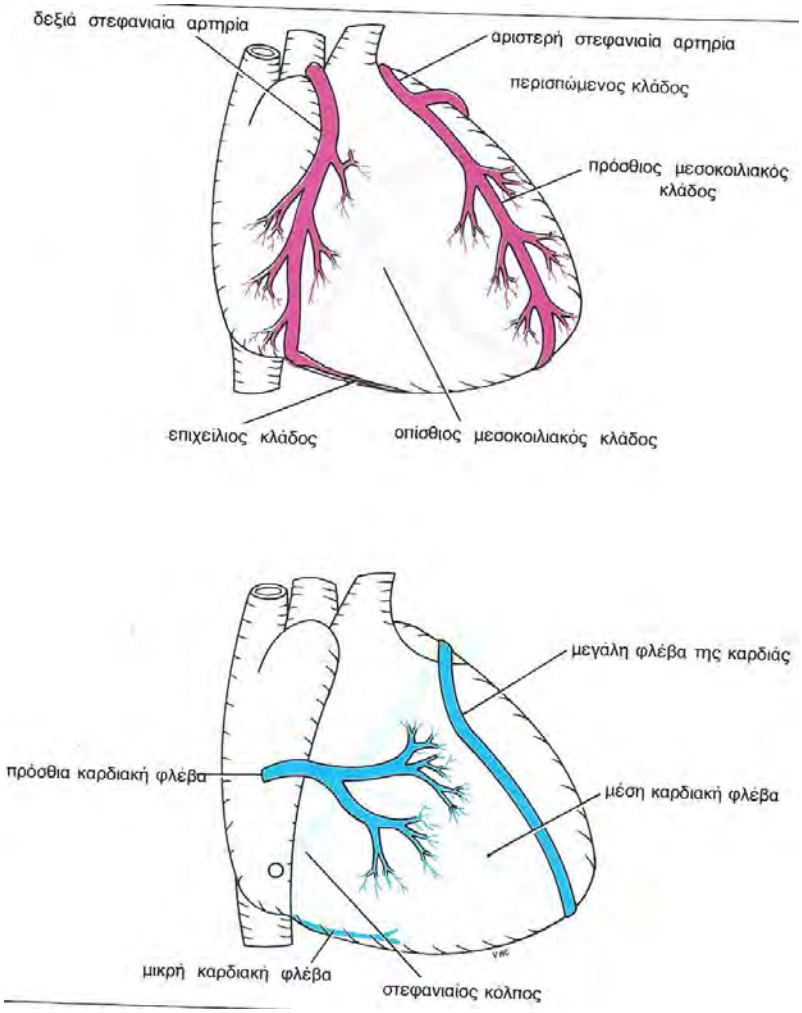
Αν και υπάρχουν αναστομώσεις μεταξύ των τελικών κλάδων των στεφανιαίων αρτηριών, οι αναστομώσεις αυτές δεν είναι αρκετά ευρείες, ώστε να παρέχουν επαρκή αιμάτωση του καρδιακού μυός, σε περίπτωση που ένας από τους μεγάλους κλάδους αποφραχθεί.

1.1.7 Νεύρωση Καρδιάς

Η καρδιά νευρώνεται από συμπαθητικές και παρασυμπαθητικές ίνες του αυτόνομου νευρικού συστήματος, οι οποίες εκπορεύονται από τα καρδιακά πλέγματα. Οι συμπαθητικές ίνες προέρχονται από την αυχενική και την άνω θωρακική μοίρα των συμπαθητικών στελεχών και οι παρασυμπαθητικές ίνες προέρχονται από τα

πνευμονογαστρικά νεύρα. Φυγόκεντρες μεταγαγγλιακές ίνες φέρονται στο φλεβοκολπικό και κολποκοιλιακό κόμβο και διανέμονται επίσης σε ολόκληρη την καρδιά ως νευρικά πλέγματα γύρω από τις στεφανιαίες αρτηρίες.

Κεντρομόλες νευρικές ίνες που πορεύονται με τα πνευμονογαστρικά νεύρα συμμετέχουν σε καρδιαγγειακά αντανακλαστικά. Οι κεντρομόλες ίνες, οι οποίες φέρονται με τα συμπαθητικά νεύρα, μεταφέρουν ερεθίσματα που φυσιολογικά δεν γίνονται συνειδητά. Παρ' όλα αυτά, αν η παροχή αίματος προς το μυοκάρδιο ελαττωθεί, τότε ερεθίσματα πόνου που μεταφέρονται με αυτή τη νευρική οδό γίνονται αισθητά.



ΣΧΗΜΑ 6: ΣΤΕΦΑΝΙΑΙΕΣ ΑΡΤΗΡΙΕΣ ΚΑΙ ΦΛΕΒΕΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ

1.1.8 Λειτουργία της καρδιάς

Η καρδιά είναι μυώδης αντλία. Η ακολουθία των μεταβολών που συμβαίνουν από τη στιγμή που γεμίζει αίμα ως τη στιγμή που αδειάζει είναι γνωστή ως καρδιακός κύκλος. Η

φυσιολογική καρδιά χτυπά περίπου 70 φορές το λεπτό στον ενήλικο σε κατάσταση ηρεμίας και 130 φορές στα νεογνά.

Η επιστροφή του αίματος στην καρδιά είναι συνεχής. Για τούτο, κατά τη διάρκεια της συστολής των κοιλιών, οπότε οι κολποκοιλιακές βαλβίδες είναι κλειστές, το αίμα συγκεντρώνεται προσωρινά στις μεγάλες φλέβες και τους κόλπους. Κατά τη διάρκεια της διαστολής των κοιλιών οι κολποκοιλιακές βαλβίδες ανοίγουν και το αίμα ρέει παθητικά από τους κόλπους στις κοιλίες. Όταν οι κοιλίες είναι σχεδόν γεμάτες , αρχίζει η συστολή των κόλπων και το υπόλοιπο αίμα εξωθείται προς τις κοιλίες. Το κύμα συστολής των κόλπων πυροδοτείται από το φλεβοκολπικό κόμβο και αρχίζει γύρω από τις εκβολές των μεγάλων φλεβών. Πρόκειται συνεπώς για περισταλτικό κύμα, που σπρώχνει το αίμα προς τις κοιλίες, παρακωλύοντας έτσι την παλινδρόμηση του προς τις φλέβες.

Όταν το δυναμικό της συστολής των κόλπων πυροδοτήσει τον κολποκοιλιακό κόμβο, η διέγερση μεταφέρεται με το κολποκοιλιακό δεμάτιο και τα σκέλη του στους θηλοειδείς μυς, που συστέλλονται και τεντώνουν τις τενόντιες χορδές. Στο μεταξύ αρχίζει η συστολή των κοιλιών και οι κολποκοιλιακές βαλβίδες κλείνουν. Η μεταβίβαση του ερεθίσματος από το δεμάτιο, τα σκέλη του και οι ίνες Purkinje διασφαλίζουν τη σχεδόν ταυτόχρονη έναρξη της συστολής σε όλα τα σημεία του μυοκαρδίου των κοιλιών.

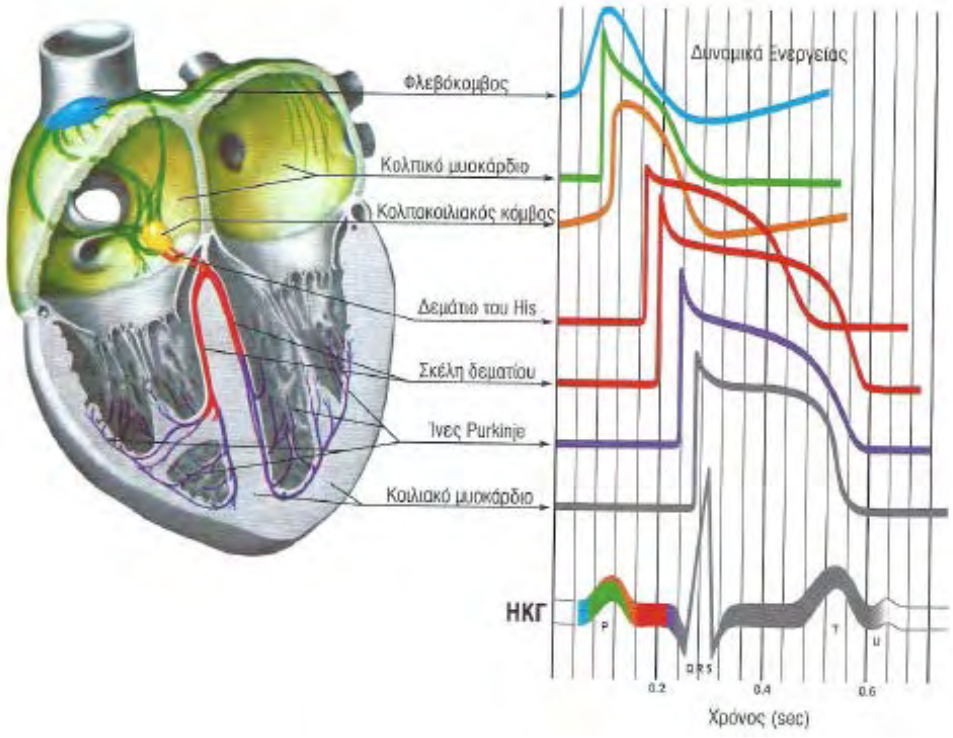
Από τη στιγμή που η ενδοκοιλιακή πίεση ξεπεράσει την ενδαρτηριακή πίεση (στην αορτή και το πνευμονικό στέλεχος), ανοίγουν οι μηνοειδής γλωχίνες και το αίμα εξωθείται από την καρδιά. Προς το τέλος της συστολής , το αίμα αρχίζει να οπισθοδρομεί προς τις κοιλίες και έτσι γεμίζει τους μηνοειδείς κόλπους των βαλβίδων, με αποτέλεσμα τη συμπλήσιαση των γλωχίνων και την πλήρη απόφραξη του στομίου του στελέχους της πνευμονικής αρτηρίας και του αορτικού στομίου.

1.2 Ηλεκτρική Δραστηριότητα

Η ηλεκτρική δραστηριότητα του μυοκαρδίου αποτελεί βασική προϋπόθεση προκειμένου να επιτευχθεί η συστολή του καρδιακού μυός [2]. Η διέγερση πραγματοποιείται από το Σύστημα Παραγωγής και Αγωγής της Διέγερσης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7 το οποίο αποτελείται από το φλεβοκόμβο που χαρακτηρίζεται ως πρωτεύον κέντρο και από τα δευτερεύοντα κέντρα τα οποία είναι ο κολποκοιλιακός κόμβος, το δεμάτιο του His, τα σκέλη του δεματίου (αριστεροδεξίο) και οι ίνες του Purkinje. Τα κύτταρα που συγκροτούν το σύστημα παραγωγής και αγωγής της διέγερσης χαρακτηρίζονται από αυτοματισμό, έχουν δηλαδή την ικανότητα αυτόματης ηλεκτρικής διέγερσης η οποία επιτυγχάνεται με μετατροπή της βιοχημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική διέγερση του

μυοκαρδίου εξαπλώνεται από το φλεβοκόμβο προς το μυοκάρδιο των κόλπων και στη συνέχεια διαμέσου του συστήματος αγωγής φθάνει στο μυοκάρδιο των κοιλιών.

Τα φλεβοκομβικά κύτταρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα αυτόματης διέγερσης από τα κύτταρα των άλλων κέντρων του συστήματος παραγωγής και αγωγής της διέγερσης και επιβάλλουν το φλεβοκομβικό ρυθμό όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7. Εάν υπάρχει αδυναμία διέγερσης του φλεβοκόμβου με συχνότητα μεγαλύτερη από τη συχνότητα των δευτερευόντων κέντρων, τότε το βηματοδοτικό ρόλο αναλαμβάνει το κέντρο που διεγείρεται με την αμέσως μεγαλύτερη συχνότητα. Γενικότερα όσο μακρύτερα από το φλεβοκόμβο βρίσκεται το κέντρο που αναλαμβάνει το βηματοδοτικό ρόλο, τόσο βραδύτερος είναι ο ρυθμός.

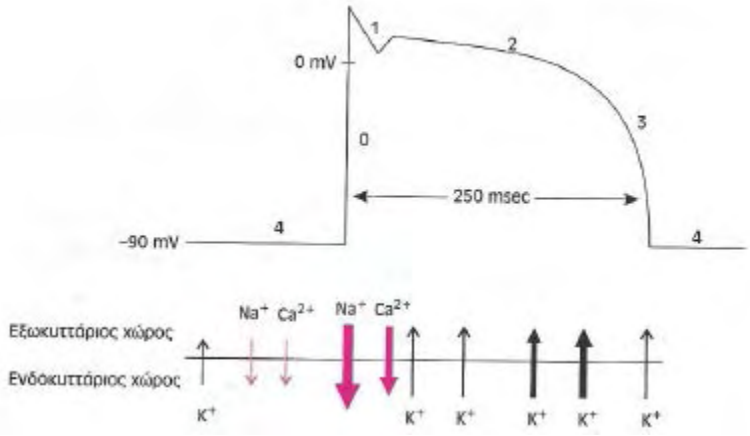


ΣΧΗΜΑ 7: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

1.2.1 Διέγερση του μυοκαρδίου

Η διέγερση του μυοκαρδίου χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις : τη φάση εκπόλωσης και τη φάση επαναπόλωσης. Τα μυοκαρδιακά κύτταρα σε φάση ηρεμίας έχουν υψηλότερη συγκέντρωση ιόντων K^+ στον ενδοκυττάριο συγκριτικά με τον εξωκυττάριο χώρο. Αντίθετα, η συγκέντρωση ιόντων Na^+ είναι υψηλότερη στον εξωκυττάριο χώρο. Η διαφορά αυτή της συγκέντρωσης των ιόντων μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου οφείλεται στη λειτουργία της αντλίας Na^+ -

K^+ της κυτταρικής μεμβράνης η οποία εισάγει 2 ιόντα K+ στο κύτταρο και εξάγει 3 ιόντα Na+ προς τον εξωκυττάριο χώρο, με αποτέλεσμα επίσης τη δημιουργία αρνητικής διαφοράς δυναμικού μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου. Κατά τη φάση της ηρεμίας η μεμβράνη των μυοκαρδιακών κυττάρων είναι αδιάβατη για τα ιόντα Na^+ . Κατά την έναρξη της εκπόλωσης παρατηρείται ταχεία άνοδος του δυναμικού ενέργειας από απότομη είσοδο των ιόντων Na^+ στον ενδοκυττάριο χώρο η οποία οφείλεται στην απότομη άυξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης για το Na^+ όπως απεικονίζεται στοΣχημα 8. Οι δίαυλοι Na^+ οι οποίοι ανοίγουν απότομα κλείνουν επίσης απότομα και έτσι σταματά ή περαιτέρω είσοδος του Na^+. Ακολούθως, αυξάνει ο ρυθμός εισόδου Ca^{+2} μέσα στο κύτταρο.



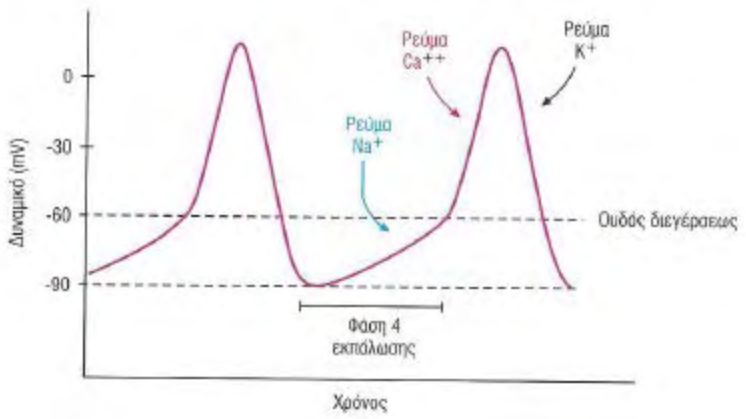
ΣΧΗΜΑ 8: ΦΛΕΒΟΚΟΜΒΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Αντίθετα, η διακίνηση των ιόντων K^+ από τον ενδοκυττάριο προς τον εξωκυττάριο χώρο είναι κατά την έναρξη της εκπόλωσης περιορισμένη, αυξάνεται όμως προοδευτικά και οδηγεί στην επαναπόλωση του κυττάρου.

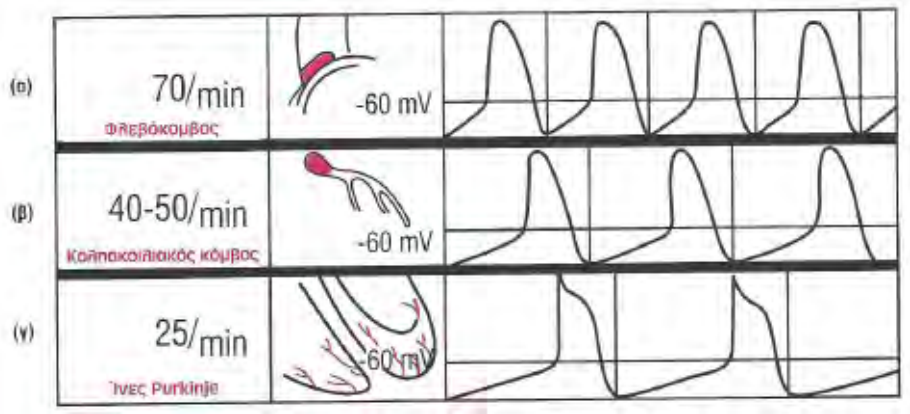
Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ενδοκυτταρίου και εξωκυτταρίου χώρου κατά τη φάση της ηρεμίας (διαστολή) ανέρχεται σε -90mV και ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας του μυοκαρδιακού κυττάρου. Για την έναρξη της εκπόλωσης και την παραγωγή του δυναμικού ενεργείας είναι απαραίτητη η ελάττωση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου μέχρι το κατώφλι διέγερσης (-60mV) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 9 (α). Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα ή προκλητά (καρδιακή βηματοδότηση).

Τα κύτταρα του συστήματος παραγωγής και αγωγής της διέγερσης έχουν την ικανότητα να διεγείρονται αυτόματα. Η αυτόματη διέγερση επιτυγχάνεται με τη

βραδεία είσοδο ιόντων Na^+ μέσα στα αυτοματικά κύτταρα (βραδύ ρεύμα Na^+) διαμέσου ειδικών διαύλων βραδείας εισόδου Na^+ που υπάρχουν στην κυτταρική μεμβράνη. Όταν το δυναμικό ενεργείας στο εσωτερικό του κυττάρου φθάσει το κατώφλι διεγέρσεως (-60mV) τότε πραγματοποιείται αυτόματη διέγερση όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 9 (β).



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 9: ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΕΝΔΟΚΥΤΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ

Αντίθετα , τα κοινά μυοκαρδιακά κύτταρα που ονομάζονται και εργατικά κύτταρα δεν διεγείρονται αυτόματα. Όμως, είναι δυνατόν να διεγερθούν μηχανικά ή ηλεκτρικά. Έτσι in vivo με την επίδραση ηλεκτρικής διέγερσης το δυναμικό ενεργείας του μυοκαρδιακού κυττάρου υπερβαίνει τον ουδό διέγερσης και αμέσως πραγματοποιείται η εκπόλωση του. Η ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου επεκτείνεται από τα κύτταρα του συστήματος παραγωγής της διέγερσης προς τα κοινά μυοκαρδιακά κύτταρα κατά συνέχεια ιστού.

1.2.2 Δίαυλοι και διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης

Η διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης για τα διάφορα ιόντα δεν είναι σταθερή διαχρονικά, γι' αυτό και δεν επιτρέπει στο Na^+ να εισέρχεται αθρόα στον ενδοκυττάριο χώρο καίτοι υπάρχει μεγάλη διαφορά συγκεντρώσεων του Na^+ μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου.

Οι κυτταρικές μεμβράνες χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη διπλοστιβάδας φωσφολιπιδίων με υδρόφοβο πυρήνα, ο οποίος δεν επιτρέπει γενικά την είσοδο υδρόφιλων μορίων στο εσωτερικό του κυττάρου. Στην κυτταρική μεμβράνη υπάρχουν επίσης ειδικοί δίαυλοι, από τους οποίους διέρχονται διάφορα ιόντα. Οι δίαυλοι αυτοί αποτελούνται από εξειδικευμένες πρωτεΐνες, οι οποίες διαθέτουν υδρόφιλους πόρους διαμέσου των οποίων μπορούν να περάσουν υδρόφιλα μόρια.

Οι δίαυλοι χαρακτηρίζονται κυρίως από δύο ιδιότητες , την εκλεκτικότητα προς ένα συγκεκριμένο ιόν, στο οποίο επιτρέπουν τη δίοδο και τη χρονική διάρκεια της διαπερατότητας τους. Η εκλεκτικότητα του διαύλου προς ένα ιόν εξαρτάται από τη δομή του και το μέγεθος των πόρων που διαθέτει. Έτσι υπάρχουν ειδικοί δίαυλοι για τη δίοδο ιόντων K+ και δίαυλοι για την δίοδο ιόντων Ca^{+2} .

Τα ιόντα μπορούν να διέρχονται διαμέσου των διαύλων μόνο σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της εκπόλωσης και της επαναπόλωσης του κυττάρου. Κάθε μυοκαρδιακό κύτταρο έχει ένα μεγάλο αριθμό διαύλων, οι οποίοι μπορεί να είναι ανοικτοί ή κλειστοί με βάση τη διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ ενδοκυτταρίου και εξωκυτταρίου χώρου. Κατά την εκπόλωση και επαναπόλωση του κυττάρου, οπότε μεταβάλλεται το δυναμικό ενεργείας στο επίπεδο της κυτταρικής μεμβράνης, παρατηρείται η διάνοιξη ή η σύγκλειση των διαφόρων διαύλων ανάλογα με η φάση της εκπόλωσης ή της επαναπολώσεως.

Ειδικότερα, κατά την έναρξη της διεγέρσεως του εργατικού μυοκαρδιακού κυττάρου ανοίγουν οι δίαυλοι ταχείας εισόδου του Na^+ και το Na^+ εισέρχεται ταχέως εντός του κυττάρου. Όμως οι δίαυλοι ταχείας εισόδου του Na^+ παραμένουν ανοικτοί μόνο για μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου (msec) και εν συνεχεία κλείνουν αυτόματα και παραμένουν σε αδρανή κατάσταση. (Οι δίαυλοι από την αδρανή κατάσταση , όπου παραμένουν κλειστοί δεν διανοίγονται αυτόματα γιατί ακινητοποιούνται οι πρωτεΐνες τους). Η αδρανής κατάσταση παραμένει μέχρις ότου το δυναμικό ενεργείας της μεμβράνης επανέλθει πλήρως στη φάση της πλήρους ηρεμίας (-90mV).

Χαρακτηριστικό των διαύλων ταχείας εισόδου του Na^+ είναι το γεγονός ότι παραμένουν ανενεργοί αν το δυναμικό ενεργείας της μεμβράνης κατά την επαναπόλωση δεν επανέλθει στα αρχικά του επίπεδα (-90mV). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στα τυπικά βηματοδοτικά κύτταρα του φλεβοκόμβου και του κολποκοιλιακού κόμβου, όπου το δυναμικό ενεργείας της μεμβράνης κατά την επανοπόλωση παραμένει σταθερά λιγότερο ηλεκτροαρνητικό του -60mV , οπότε δεν πραγματοποιείται είσοδος Na^+ γιατί οι δίαυλοι αυτοί του Na^+ είναι μονίμως αδρανοποιημένοι. Κατά συνέπεια η διέγερση των βηματοδοτικών κυττάρων επιτυγχάνεται με ενεργοποίηση μόνο των βραδέων διαύλων Na^+ .

Η ηλεκτρική δραστηριότητα του μυοκαρδίου ακολουθείται από τη μηχανική λειτουργία της καρδιάς. Η μηχανική λειτουργία εκδηλώνεται με τη συστολή και τη χάλαση του μυοκαρδίου. Ειδικότερα, τη φάση εκπόλωσης ακολουθεί η συστολή του μυοκαρδίου, ενώ τη φάση της επαναπόλωσης η χαλασή του.

2

Ηλεκτροκαρδιογράφημα

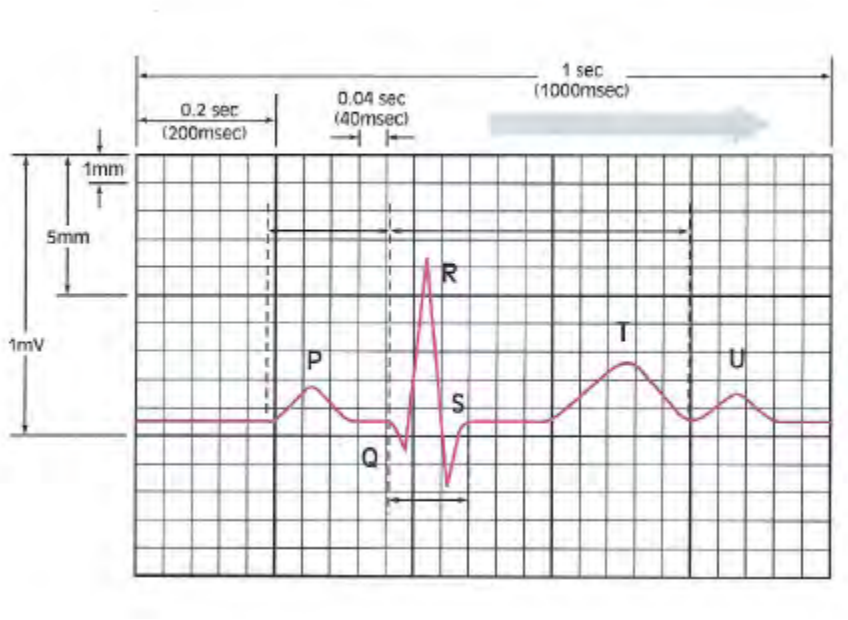
Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η μορφή των διαδιδόμενων ηλεκτρικών σημάτων της καρδιάς όπως αυτά καταγράφονται στο πρόσθιο και πλάγιο θωρακικό τοίχωμα μέσω κατάλληλων απαγωγών που τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις. Η συγκεκριμένη καταγραφή την οποία ονομάζουμε κοινά ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) αποτελεί το κυριότερο και απλούστερο μέσο για την αποτύπωση της λειτουργίας της καρδιάς.

Το ΗΚΓ όπως αυτό λαμβάνεται από τις διάφορες απαγωγές αποτελεί το αρχικό σήμα από το οποίο εξήχθησαν τα χαρακτηριστικά που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα μελέτη.

2.1 Χαρακτηριστικά ΗΚΓ

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγράφει το ηλεκτρικό δυναμικό της καρδιάς κατά τη διέγερση της, με ειδική συσκευή που ονομάζεται ηλεκτροκαρδιογράφος. Απεικονίζει τη λειτουργία ή τη δυσλειτουργία του συστήματος παραγωγής και αγωγής της διέγερσης (ταχυαρρυθμίες-βραδυαρρυθμίες) καθώς και τις παθήσεις του μυοκαρδίου και των στεφανιαίων αρτηριών, οι οποίες επηρεάζουν την ηλεκτρική διέγερση της καρδιάς και τον τρόπο επέκτασης της στο μυοκάρδιο (υπερτροφία μυοκαρδίου, ισχαιμία και έμφραγμα του μυοκαρδίου κ.λπ.). Η καταγραφή του

ηλεκτροκαρδιογραφήματος γίνεται πάνω σε ειδικό χαρτί που είναι τετραγωνισμένο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 10 . Το ύψος κάθε μικρού τετραγώνου είναι ένα χιλιοστό και αντιστοιχεί σε διαφορά δυναμικού 0,1 mV, ενώ το εύρος του ίδιου τετραγώνου καταγράφει χρονική απόσταση 40ms υπό την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα καταγραφής του ηλεκτροκαρδιογραφήματος είναι 25 mm/s. Η ταχύτητα αυτή είναι συνήθως ταχύτητα καταγραφής των ηλεκτροκαρδιογράφων.

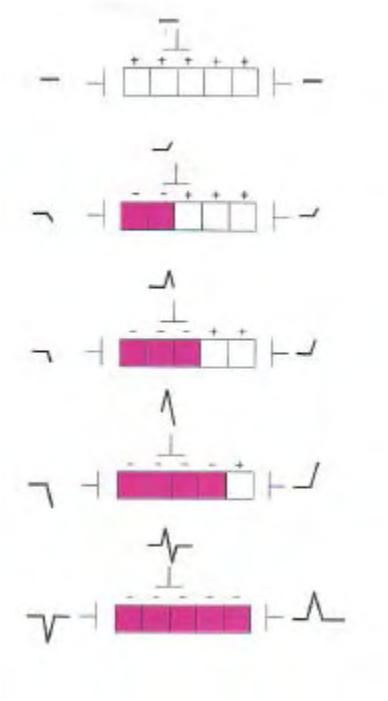


ΣΧΗΜΑ 10: ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ

2.2 Δημιουργία Ηλεκτροκαρδιογραφήματος

Το μυοκάρδιο στο σύνολο του αποτελείται από αθροίσματα μυοκαρδιακών ινών. Κατά συνέπεια το συνολικό άθροισμα των ηλεκτρικών διεγέρσεων των μυοκαρδιακών ινών ανά πάσα στιγμή προσδιορίζει την ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου καθώς και τον ηλεκτρικό άξονα της καρδιάς. Για να γίνει κατανοητή η αρχή της ηλεκτροκαρδιογραφίας, θα πρέπει να μελετηθεί η καταγραφή της διέγερσης μιας μυοκαρδιακής ίνας όπως απεικονίζεται στο Σχημα 11. Κατά την ηλεκτρική διέγερση της μυοκαρδιακής ίνας γίνεται αναστροφή του δυναμικού ηρεμίας της μεμβράνης της, δηλαδή ενώ κατά την ηρεμία, τα θετικά ηλεκτρικά φορτία υπερισχύουν στο εξωτερικό της μεμβράνης, κατά τη διέγερση τα αρνητικά φορτία αρχίζουν να υπερισχύουν μέχρις ότου αρνητικοποιηθεί όλη η εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης. Η αναστροφή των ηλεκτρικών δυναμικών της κυτταρικής μεμβράνης

από θετικά σε αρνητικά ονομάζεται εκπόλωση ενώ η επανοδός της στη φάση ηρεμίας επαναπόλωση. Το ηλεκτρόδιο το οποίο καταγράφει τη διέγερση, καταγράφει θετικά επάρματα όταν η διέγερση το πλησιάζει και αρνητικά όταν η διέγερση απομακρύνεται από αυτό.



ΣΧΗΜΑ 11: ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΜΥΟΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΙΝΑΣ

2.3 Ηλεκτροκαρδιογραφική καταγραφή

Ο φλεβοκόμβος βρίσκεται στο δεξιό κόλπο κοντά στην εκβολή της άνω κοίλης φλέβας και διεγείρεται αυτόματα με συχνότητα 60-70 διεγέρσεις ανά λεπτό. Η ηλεκτρική διέγερση επεκτείνεται στο δεξιό και αριστερό κόλπο και άγεται από το μυοκάρδιο των κόλπων προς τον κολοποκοιλιακό κόμβο. Ο κολποκοιλιακός κόμβος βρίσκεται στη βάση του δεξιού κόλπου ακριβώς επάνω από την τριγλώχινα βαλβίδα. Η αγωγή της διέγερσης στον κολποκοιλιακό κόμβο είναι βραδύτερη από ότι στο κολπικό μυοκάρδιο. Ακολούθως, η διέγερση κινείται στο δεμάτιο και τα σκέλη του δεματίου του His με μεγαλύτερη ταχύτητα. Το δεμάτιο του His βρίσκεται στο πρόσθιο μέρος του μεσοκοιλιακού διαφράγματος και αποτελεί τη συνέχεια του κολποκοιλιακού κόμβου. Όταν το δεμάτιο φθάσει στο επίπεδο της μυώδους μοίρας

του μεσοκοιλιακού διαφράγματος διχάζεται σε δεξιό και αριστερό σκέλος και στη συνέχεια διακλαδίζεται στον υπενδοκαρδιακό χώρο δημιουργώντας το δίκτυο των ινών του Purkinje.

Το δεξιό σκέλος του δεματίου του His είναι ενιαίο ενώ το αριστερό διακλαδίζεται σε δύο κύριους κλάδους, τον πρόσθιο και τον οπίσθιο. Η εκπόλωση των κοιλιών επεκτείνεται από το μεσοκοιλιακό διάφραγμα προς το ενδοκάρδιο και από το ενδοκάρδιο στο επικάρδιο. Η επαναπόλωση γίνεται από το επικάρδιο προς το ενδοκάρδιο δηλαδή σε αντίθετη φορά με την εκπόλωση.

Η παραγωγή και η αγωγή του ερεθίσματος στην καρδία καταγράφεται από τα επάρματα P , QRS και T όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 12.

- **P :** Το έπαρμα P απεικονίζει τη διέγερση των κόλπων. Η διέγερση του φλεβοκόμβου δεν καταγράφεται στο ηλεκτροκαρδιογράφημα.
- **PR :** Το διάστημα PR απεικονίζει το χρόνο από τη φλεβοκομβική διέγερση μέχρι και το δεμάτιο του His. Το PR μετράται από την αρχή του P έως την αρχή του Q. Ονομάζεται PR διότι σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπάρχει Q, οπότε η αρχή του κοιλιακού συμπλέγματος είναι η έναρξη του κύματος R.
- **QRS :** Το σύμπλεγμα QRS απεικονίζει τη διέγερση του μεσοκοιλιακού διαφράγματος (Q) και ολοκληρώνεται με τη συνολική διέγερση των κοιλιών (R και S).
- **Το έπαρμα T:** Το έπαρμα T καταγράφει την επαναπόλωση των κοιλιών και φυσιολογικά έχει πάντα την ίδια φορά με το QRS.

2.3.1 Λήψη του Ηλεκτροκαρδιογραφήματος

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα λαμβάνεται κλασικά με τον ηλεκτροκαρδιογράφο των 12 απαγωγών ο οποίος διαθέτει ηλεκτρόδια για τη λήψη και την καταγραφή των δυναμικών της καρδιάς κατά την εκπόλωση και την επαναπόλωση του μυοκαρδίου.

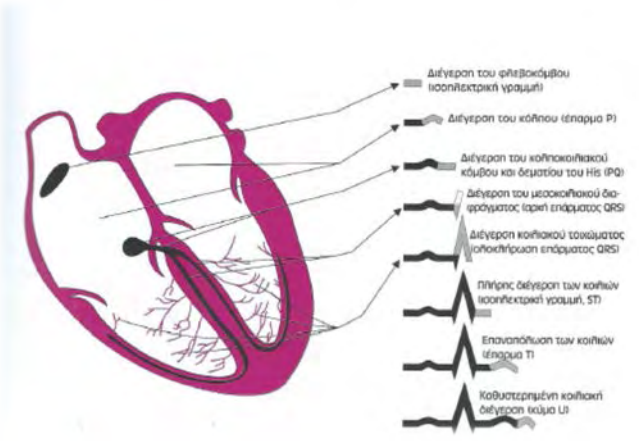
Η καταγραφή θετικών ή αρνητικών κυμάτων ακολουθεί την αρχή με την οποία καταγράφονται θετικά ή αρνητικά τα κύματα κατά τη διέγερση της μεμονωμένης μυοκαρδιακής ίνας. Όταν δεν υπάρχουν διαφορές δυναμικού, το ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγράφει ευθεία οριζόντια γραμμή που ονομάζεται ισοηλεκτρική γραμμή.

2.3.2 Απαγωγές

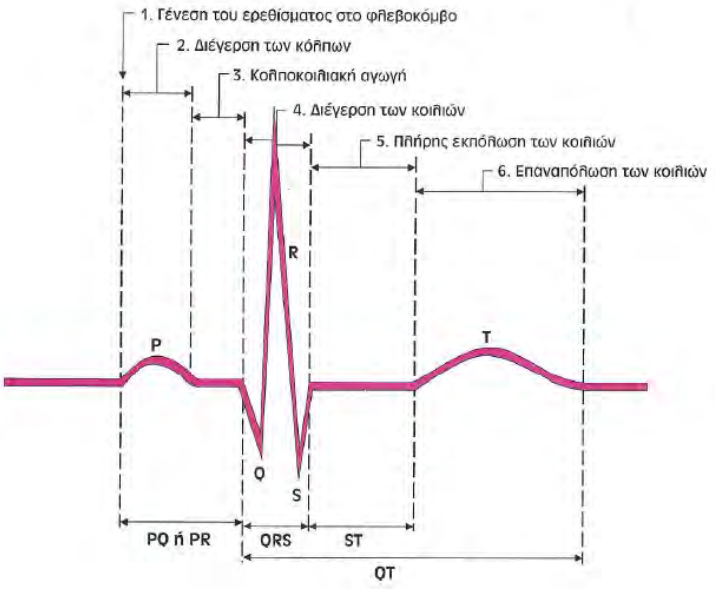
Η απαγωγή είναι η θέση της οπτικής γωνίας από την οποία το ηλεκτρόδιο βλέπει και καταγράφει την εκπόλωση και την επαναπόλωση της καρδιάς. Οι διάφορες απαγωγές βλέπουν τις μεταβολές του δυναμικού της καρδιάς από διάφορες αποστάσεις με διάφορες οπτικές γωνίες και καταγράφουν τις μεταβολές των ηλεκτρικών δυναμικών.

Οι απαγωγές διακρίνονται στις 3 κλασικές διπολικές απαγωγές (I, II, III), τις 3 μονοπολικές των άκρων (aVL, aVR, aVF) και τις 6 μονοπολικές προκάρδιες (V1, V2).

Τα ηλεκτρόδια στις διπολικές απαγωγές τοποθετούνται στα άνω και κάτω άκρα.



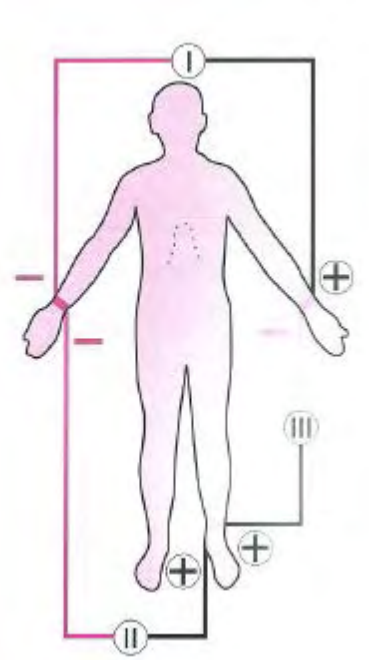
(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 12: ΚΑΡΔΙΑΚΑ ΕΠΑΡΜΑΤΑ

- **Διπολικές απαγωγές των άκρων (**Σχήμα 13**):**
  - I: στην απαγωγή I το θετικό ηλεκτρόδιο (συνδεδεμένο με το θετικό πόλο του ηλεκτροκαρδιογράφου) τοποθετείται στον καρπό του αριστερού χεριού και το αρνητικό (συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο του ηλεκτροκαρδιογράφου) στον καρπό του δεξιού χεριού.
  - II: στην απαγωγή II το θετικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στην αριστερή κνήμη και το αρνητικό στον καρπό του δεξιού χεριού.
  - III: στην απαγωγή III το θετικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στην αριστερή κνήμη και το αρνητικό ηλεκτρόδιο στον καρπό του αριστερού χεριού.



ΣΧΗΜΑ 13 : ΔΙΠΟΛΙΚΕΣ ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΑΚΡΩΝ

- **Μονοπολικές απαγωγές (προκάρδιες και άκρων)**

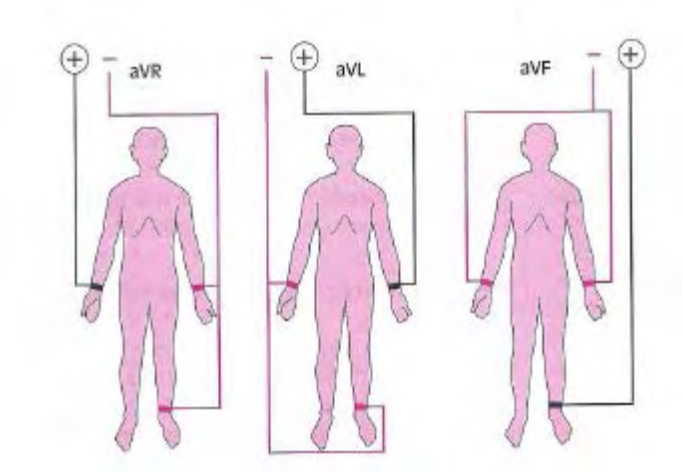
Διεθνώς οι μονοπολικές απαγωγές συμβολίζονται με το γράμμα V. Το γράμμα a (augmented) υποδηλώνει ότι τα επάρματα που καταγράφονται είναι μεγαλύτερα και ενισχυμένα κατά 50%. Οι απαγωγές αυτές χαρακτηρίζονται ως ενισχυμένες απαγωγές των άκρων και ονομάζονται aVL, aVR, aVF. Το θετικό ηλεκτρόδιο αντιστοιχεί στην απαγωγή που αναφέρεται πχ για την απαγωγή aVR στο δεξί άνω άκρο ενώ ο αρνητικός πόλος είναι η συνισταμένη των απαγωγών των δυο άλλων άκρων.

- **Ενισχυμένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων (**Σχήμα 14**):**
  - aVL: το ηλεκτρόδιο καταγραφής βρίσκεται στον καρπό του αριστερού χεριού.
  - aVR: το ηλεκτρόδιο καταγραφής βρίσκεται στον καρπό του δεξιού χεριού.
  - aVF: το ηλεκτρόδιο καταγραφής βρίσκεται στην κνήμη του αριστερού ποδιού.

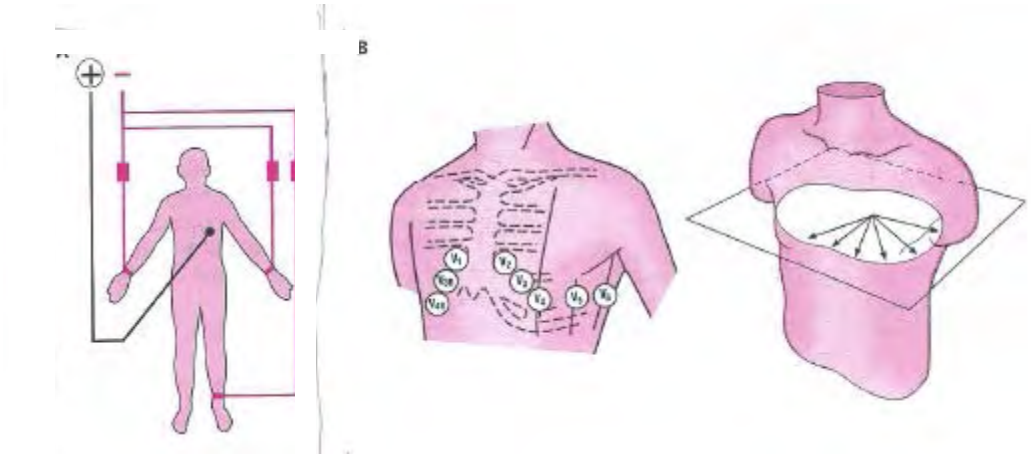
- **Μονοπολικές προκάρδιες απαγωγές (**Σχήμα 15**):**
  - V1 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο $4^{ο}$ μεσοπλεύριο διάστημα δεξιά του στέρνου.

- V2 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο 4^{o} μεσοπλεύριο διάστημα αριστερά του στέρνου.
- V3 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται μεταξύ της θέσης V2 και V4.
- V4 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο 5^{o} μεσοπλεύριο διάστημα στην αριστερή μεσοκλειδική γραμμή.
- V5 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο 5^{o} μεσοπλεύριο διάστημα στην πρόσθια μασχαλιαία γραμμή.
- V6 : Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο 5^{o} μεσοπλεύριο διάστημα στη μέση μασχαλιαία γραμμή.

Προκειμένου να διερευνηθούν ηλεκτροκαρδιογραφικά και άλλες περιοχές του μυοκαρδίου τοποθετούνται καταγραφικά ηλεκτρόδια και σε άλλες θέσεις. Οι δεξιές προκάρδιες απαγωγές λαμβάνονται και αναφέρονται με το γράμμα R (Right) ως V3R, V4R, V5R, V6R. Οι απαγωγές αυτές χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της δεξιάς κοιλίας ιδίως σε περιπτώσεις εμφράγματος της δεξιάς κοιλίας.



Σχημα 14: ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΕΣ ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΑΚΡΩΝ

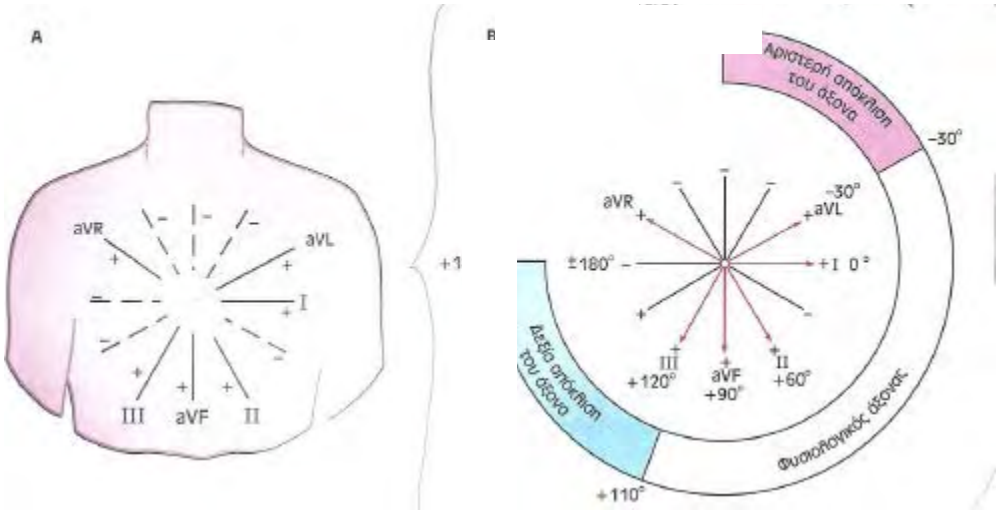


ΣΧΗΜΑ 15: ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΕΣ ΠΡΟΚΑΡΔΙΕΣ ΑΠΑΓΩΓΕΣ

Συμπερασματικά οι διπολικές απαγωγές των άκρων (I, II, III) και οι ενισχυμένες απαγωγές των άκρων (aVL, aVR, aVF) μελετούν τις ηλεκτρικές μεταβολές της καρδιάς σε μετωπιαίο επίπεδο με μεγάλη οπτική γωνία. Αντίθετα, οι μονοπολικές προκάρδιες μελετούν τις ίδιες ηλεκτρικές μεταβολές σε οριζόντιο επίπεδο με μικρότερη οπτική γωνία. Ειδικότερα, οι αριστερές π.χ. προκάρδιες απαγωγές καταγράφουν ηλεκτρικά δυναμικά από μικρής εκτάσεως μυοκάρδιο της αριστερής κοιλίας σε αντίθεση με τις αντίστοιχες κλασικές και ενισχυμένες απαγωγές των άκρων οι οποίες καταγράφουν δυναμικά από μυοκάρδιο της αριστερής κοιλίας μεγαλύτερης εκτάσεως. Τέλος, το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με το θετικό πόλο του ηλεκτροκαρδιογράφου είναι πάντα το καταγραφικό ηλεκτρόδιο σε όλες τις απαγωγές.

2.3.3 Ο Ηλεκτρικός Άξονας της Καρδιάς

Ο ηλεκτρικός άξονας της διεγέρσεως του μυοκαρδίου των κόλπων ή των κοιλιών είναι αποτέλεσμα του αθροίσματος των στιγμιαίων διεγέρσεων των αντίστοιχων μυοκαρδιακών ινών. Ο μέσος ηλεκτρικός άξονας είναι το συνολικό άθροισμα των επιμέρους ηλεκτρικών αξόνων κατά το χρονικό διάστημα της διεγέρσεως. Ο ηλεκτρικός άξονας της καρδιάς ορίζεται ως ο μέσος ηλεκτρικός άξονας της διεγέρσεως του μυοκαρδίου των κοιλιών σε μετωπιαίο επίπεδο (άξονας QRS) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 10. Χαρακτηρίζεται ως φυσιολογικός όταν κυμαίνεται μεταξύ -30^{o} και 110^{o}, με αριστερή απόκλιση μεταξύ -30^{o} και -90^{o} και με δεξιά απόκλιση μεταξύ $+110^{o}$ και 180^{o} .



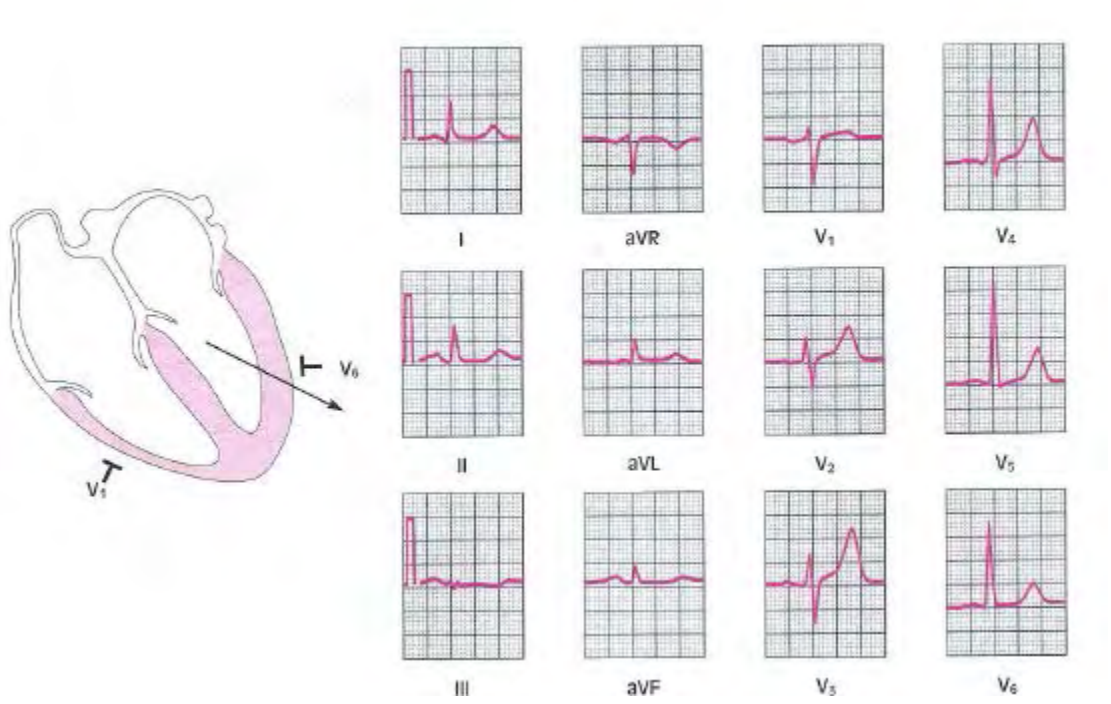
ΣΧΗΜΑ 16: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ

Ο υπολογισμός του ηλεκτρικού άξονα στην καθημερινή πράξη γίνεται με βάση το ύψος του R και το ισοδιφασικό R/S στις απαγωγές των άκρων. Ο ηλεκτρικός άξονας της καρδιάς είναι παράλληλος στην απαγωγή με το ψηλότερο R και κάθετος στην απαγωγή με το ισοφασικό R/S.

Η σημασία του ηλεκτρικού άξονα της καρδιάς στη καθημερινή κλινική πράξη είναι σήμερα περιορισμένη. Η υπερφόρτιση και υπερτροφία της αριστερής κοιλίας συνήθως συνοδεύεται με αριστερότυπο άξονα ενώ αντίθετα η υπερφόρτιση και η υπερτροφία της δεξιάς κοιλίας συνοδεύεται με δεξιότυπο άξονα. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο αριστερότυπος άξονας στην μεσοκολπική επικοινωνία και σε κυανωτική συγγενή καρδιοπάθεια. Ο αριστερότυπος άξονας στη μεσοκολπική επικοινωνία συνηγορεί διαγνωστικά υπέρ του πρωτογενούς μεσοκολπικού ελλείμματος (ostium primum), ενώ σε κυανωτική συγγενή καρδιοπάθεια υπέρ αρτησίας της τριγχωλίνας.

2.4 Η μορφολογία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος

Το φυσιολογικό ηλεκτροκαρδιογράφημα όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 17 χαρακτηρίζεται από κύματα θετικά ή αρνητικά που απεικονίζουν μεταβολές του δυναμικού της καρδιάς και έχουν ύψος και διάρκεια που θα πρέπει να βρίσκονται μέσα σε ορισμένα πλαίσια τα οποία χαρακτηρίζονται ως φυσιολογικά.



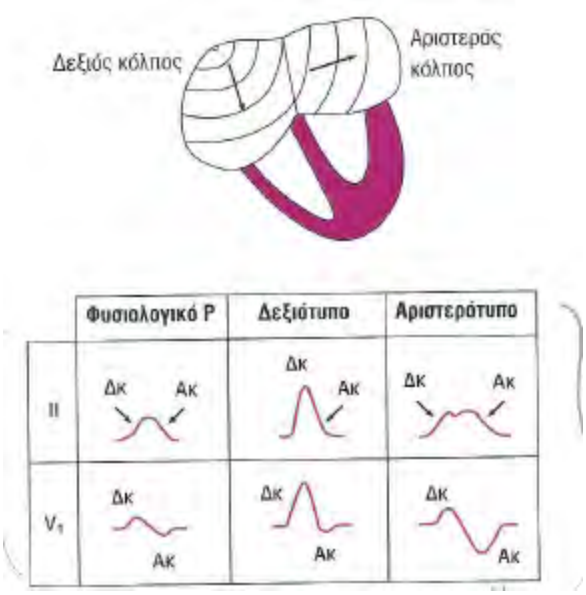
ΣΧΗΜΑ 17: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Το κύμα P όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 18 καταγράφει την ηλεκτρική διέγερση και των δυο κόλπων. Θετικό έπαρμα P καταγράφεται στις απαγωγές I, II, III, aVF, αρνητικό στην aVR και θετικό ή αρνητικό ή διφασικό στις απαγωγές III, aVL, V1 και V2 γιατί η διέγερση επεκτείνεται εκ δεξιών προς τα αριστερά και εκ των άνω προς τα κάτω. Το ύψος του επάρματος P δεν υπερβαίνει τα 3mm και η διάρκεια του τα msec.

Παθολογικό P έπαρμα εμφανίζεται ως:

- Υψικόρυφο: Υπερβαίνει σε ύψος τα 3 mm ως αποτέλεσμα της διάτασης του δεξιού κόλπου (P πνευμονικό).
- Ευρύ και κομβωμένο: Διαμορφώνεται λόγω καθυστερημένης διέγερσης του αριστερού κόλπου όταν ο αριστερός κόλπος υπερτρέφεται ή διατείνεται (μιτροειδικό P). Στις V1 το P εμφανίζεται διφασικό με μικρό θετικό έπαρμα και βαθύ, διευρυμένο αρνητικό έπαρμα.
- Ανάστροφο: Εμφανίζεται αρνητικό στις απαγωγές όπου αναμένεται να είναι θετικό. Αυτό οφείλεται σε μη φυσιολογική διέγερση και επέκταση της διέγερσης στους κόλπους (έκτοπη εστία στους κόλπους, έκτοπη εστία στις κοιλίες με ανάδρομη αγωγή, κομβοκοιλιακή ταχυκαρδία, δεξιοκαρδία κτλ).

- Ανύπαρκτο : Δεν καταγράφεται φλεβοκομβικό Ρ λόγω παρουσίας κομβικού ρυθμού, φλεβοκομβοκολπικού αποκλεισμού, κολπικής μαρμαρυγής ή κολπικού πτερυγισμού.



ΣΧΗΜΑ 18: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΥΜΑΤΟΣ Ρ

Το διάστημα PR Καλύπτει το διάστημα της διέγερσης από το φλεβοκόμβο εως το δεμάτιο του His. Στο τμήμα αυτό δεν καταγράφεται η διέγερση του δεματίου του His καίτοι περιλαμβάνεται σε αυτό. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη ταχύτητα της διέγερσης κατά μήκος του δεματίου του His και στο μικρό ύψος του επάρματος το οποίο δεν είναι δυνατόν να καταγραφεί στο ηλεκτροκαρδιογράφημα επιφανείας των 12 απαγωγών. Τα ανωτέρω φυσιολογικά όρια του PR διαστήματος κυμαίνονται από 160-200ms και εξαρτώνται από την ηλικία και την καρδιακή συχνότητα. Το PR είναι ανάλογο της ηλικίας και αντιστρόφως ανάλογο της καρδιακής συχνότητας. Ελαττωμένο PR διάστημα παρατηρείται σε περιπτώσεις ύπαρξης παραπληρωματικών δεματίων όπως το σύνδρομο Wolf-Parkinson-White(WPW) κ.λπ. Αντίθετα το PR είναι παρατεταμένο σε πρώτου και δευτέρου βαθμού κολποκοιλιακό αποκλεισμό (φαινόμενο Wenckenbach) ή σε αγωγή του ερεθίσματος με τον κολποκοιλιακό κόμβο σε σχετική ανερέθιστη περίοδο.

Το σύμπλεγμα QRS όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 19 καταγράφει την εκπόλωση του μυοκαρδίου των κοιλιών.

- Ως Q ορίζεται το πρώτο αρνητικό κύμα του κοιλιακού συμπλέγματος. Εάν το Q κύμα δεν ακολουθείται από θετικό έπαρμα τότε το κοιλιακό σύμπλεγμα ονομάζεται QS.
- Ως R ορίζεται το πρώτο θετικό κύμα της διέγερσης των κοιλιών. Εάν καταγράφονται δύο θετικά επάρματα κατά τη διέγερση των κοιλιών το δεύτερο αποκαλείται R'. Εάν το θετικό έπαρμα είναι μικρού ύψους τότε συμβολίζεται με το μικρό γράμμα r ή r'.
- Ως S ορίζεται το πρώτο αρνητικό κύμα που ακολουθεί το R.

Η διέγερση των κοιλιών αρχίζει από το μεσοκοιλιακό διάφραγμα και επεκτείνεται εξ αριστερών προς τα δεξιά (Φάση 1). Ακολούθως διεγείρονται η κορυφή και τα τοιχώματα των κοιλιών με αποτέλεσμα το άθροισμα των ηλεκτρικών διεγέρσεων (τελικό άνυσμα) να κατευθύνεται προς τα αριστερά λόγω του ότι τα τοιχώματα της αριστερής κοιλίας είναι παχύτερα της δεξιάς (Φάση 2). Τέλος διεγείρονται οι βάσεις των κοιλιών (Φάση 3). Τα θετικά ή αρνητικά επάρματα της διέγερσης των κοιλιών καταγράφονται ανάλογα με το εάν το καταγραφικό ηλεκτρόδιο βλέπει τη διέγερση να το πλησιάζει ή να απομακρύνεται από αυτό. Στην εικόνα, η V6 καταγράφει κοιλιακό σύμπλεγμα qRs ενώ ταυτόχρονα η V1 κοιλιακό σύμπλεγμα rSr'.

Το φυσιολογικό κύμα Q δεν υπερβαίνει σε διάρκεια τα 30 ms και σε βάθος τα 2 mm. QS σύμπλεγμα είναι αναμενόμενο στις απαγωγές aVR και V1. Το διευρυμένο και βαθύ κύμα Q απαντάται στο έμφραγμα του μυοκαρδίου, σε μυοκαρδιοπάθειες και σε μυοκαρδίτιδα και υποδηλώνει κατά κανόνα νέκρωση ή βαρεία βλάβη του μυοκαρδίου από την ανάπτυξη ινώδους ιστού.

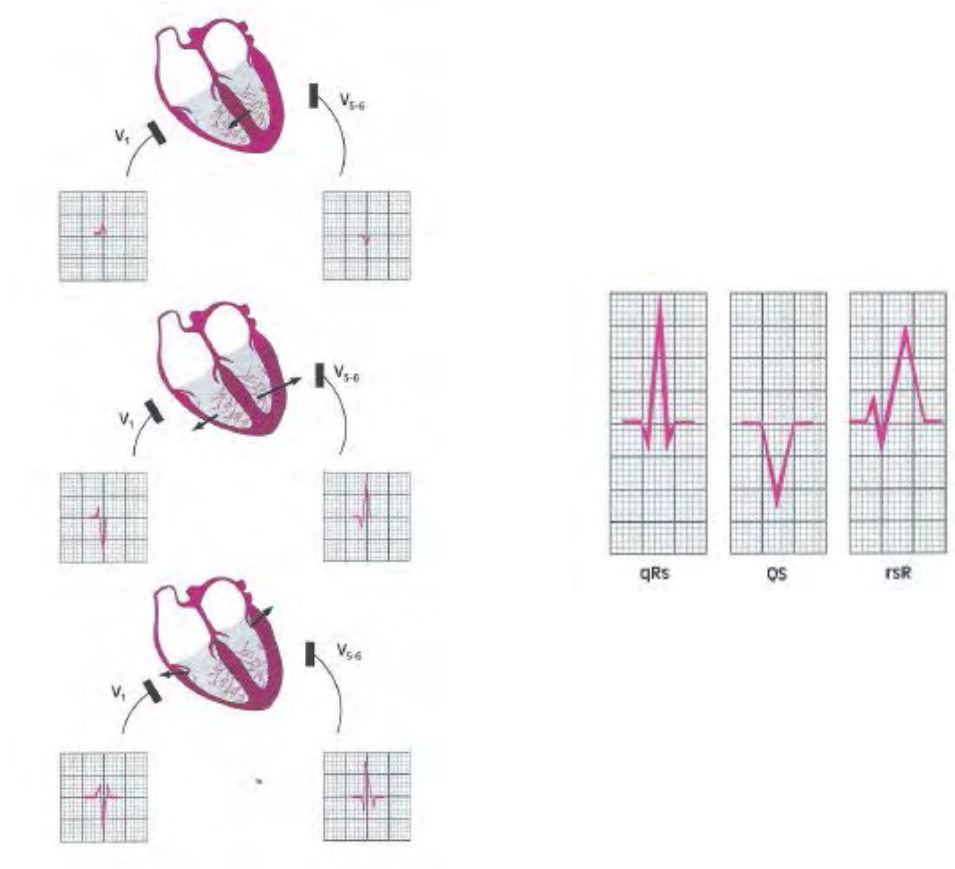
Βαθύ Q στην απαγωγή III αξιολογείται όταν παραμένει σταθερό στη βαθιά εισπνοή. Θεωρείται κατά κανόνα παθολογικό όταν καταγράφεται παθολογικό Q και στις απαγωγές II και aVF.

Η διάρκεια του συμπλέγματος QRS κυμαίνεται από 6-80 ms και θεωρείται παθολογική όταν υπερβαίνει τα 120 ms.

Ευρύ σύμπλεγμα QRS παρατηρείται συνηθέστερα στην υπερτροφία του μυοκαρδίου, στους αποκλεισμούς των σκελών του His, στον κοιλιακό ρυθμό και την αλλοδρομία.

Το εύρος του κοιλιακού συμπλέγματος QRS είναι δυνατόν να προσδιορίσει την προέλευση του. Ευρέα και ανώμαλα σε μορφολογία QRS συμπλέγματα όταν δεν έχουν σύζευξη με το προηγούμενο κύμα P κατά κανόνα έχουν κοιλιακή προέλευση.

Εντούτοις, είναι δυνατόν να καταγράφονται ευρέα QRS συμπλέγματα ως αποτέλεσμα υπερκοιλιακών συστολών οι οποίες άγονται με αλλοδρομία ή προδιέγερση. Αλλοδρομία δημιουργείται σε πολύ πρώιμες υπερκοιλιακές συστολές ή σε υπερκοιλιακές ταχυκαρδίες όταν η διέγερση άγεται με αποκλεισμό ενός σκέλους του δεματιού του His (συνήθως του δεξιού) λόγω του ότι το σκέλος αυτό βρίσκεται σε ανερέθιστη περίοδο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 19 (α).



(α) (β)

ΣΧΗΜΑ 19 : ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ QRS

Επίσης, ευρύ σύμπλεγμα QRS με χαρακτηριστικό κύμα δ καταγράφεται σε σύνδρομο προδιέγερσης τύπου Wolf-Parkinson-White (WPW). Το σύμπλεγμα QRS στο σύνδρομο προδιέγερσης δημιουργείται από συγχώνευση αφενός της

διέγερσης που κατέρχεται από το παραπληρωματικό δεμάτιο και αφετέρου από τον κολποκοιλιακό κόμβο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 19 (β).

Το κύμα Τ καταγράφει την επαναπόλωση των κοιλιών. Φυσιολογικά, ακολουθεί τη φορά του ηλεκτρικού άξονα του QRS καθώς η επαναπόλωση των κοιλιών ακολουθεί αντίθετη φορά από αυτή που ακολουθεί η εκπόλωση και λαμβάνει χώρα από το επικάρδιο προς το ενδόκάρδιο.

Φυσιολογικό θεωρείται το έπαρμα Τ όταν ο άξονας του δεν εμφανίζει ηλεκτρική απόκλιση μεγαλύτερη των 50^o από τον άξονα του QRS. Συνήθως το κύμα Τ είναι θετικό έπαρμα. Είναι όμως δυνατό να εμφανίζεται ανεστραμμένο στις απαγωγές aVR, III,aVL, aVF ανάλογα με τη φορά του ηλεκτρικού άξονα της καρδιάς.

Το ύψος του κύματος Τ δεν υπερβαίνει τα 5 mm στις κλασικές απαγωγές και τα 10 mm στις προκάρδιες. Υψικόρυφα κύματα Τ καταγράφονται στην υπερκαλιαιμία και την υπεροξεία φάση του οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου.

Επιπέδωση του κύματος Τ ανευρίσκεται στην υποκαλιαιμία και το μυξοίδημα. Είναι όμως δυνατόν να καταγραφεί επιπεδωμένο κύμα Τ σε γενικότερη καταγραφή χαμηλού δυναμικού καθώς και ως μη ειδική αλλοίωση σε καταστάσεις όπως όπως ο υπεραερισμός από βαθιές συνεχείς αναπνοές, από το κάπνισμα κ.λπ.

Οι συνηθέστερες παθολογικές καταστάσεις που απεικονίζονται με ανεστραμμένο κύμα Τ είναι:

- Η ισχαιμία ή το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου.
- Η υπερτροφία του μυοκαρδίου των κοιλιών.
- Οι αποκλεισμοί των σκελών του δεματίου του His.

Το διάστημα QT μετράται από την αρχή του Q ή του R εάν δεν υπάρχει Q μέχρις ότου το έπαρμα Τ επανέλθει στην ισοηλεκτρική γραμμή (Φ.Τ. < 440 msec).

Το QT εκφράζει το χρονικό διάστημα της εκπόλωσης και της επαναπόλωσης των κοιλιών. Η αύξηση της συχνότητας ελαττώνει το QT διάστημα για αυτό η εκτίμηση του γίνεται σε σύγκριση με το ιδανικό QT της φυσιολογικής συχνότητας.

Ο διορθωμένος χρόνος του διαστήματος QT με βάση τη συχνότητα (QT_c) δίδεται αυτόματα από τους σύγχρονους ηλεκτροκαρδιογράφους. Ο υπολογισμός όμως του QT_c γίνεται με βάση τον τύπο του Bazet :

$$QT_c = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$$

Από κλινικής πλευράς, η παράταση του QT διαστήματος συσχετίζεται με την εκδήλωση Torsades de Pointes ή αιφνιδίου θανάτου. Η παράταση του QT διαστήματος είναι συνήθως συγγενής νόσος που οφείλεται σε γονιδιακή διαταραχή. Μπορεί όμως να προκληθεί φαρμακευτικά από λήψη κινιδίνης, δισοπυραμίδης, αμιωδαρόνης, σοταλόλης και τρικυκλικών αντικαταθλιπτικών.

Το διάστημα ST Αρχίζει από το τέλος του συμπλέγματος QRS και φθάνει μέχρι την αρχή του κύματος Τ. Η σύνδεση του κύματος S με το ST ονομάζεται σημείο J. Αντιστοιχεί στη φάση 2 του δυναμικού ενέργειας και δεν καταγράφει διαφορά δυναμικού με θετική ή αρνητική απόκλιση.

Το φυσιολογικό διάστημα ST αντιστοιχεί σε ισοηλεκτρική γραμμή ή έχει ανιούσα φορά. Οριζόντια πτώση του ST διαστήματος μεγαλύτερη του 0,5mm κάτω από την ισοηλεκτρική γραμμή θεωρείται παθολογικό εύρημα και αποδίδεται σε ισχαιμία του μυοκαρδίου. Αντίθετα, ανάσπαση του ST διαστήματος πάνω από την ισοηλεκτρική γραμμή μέχρι 1 mm στις κλασικές απαγωγές ή 2 mm στις προκάρδιες είναι δυνατόν να θεωρηθεί φυσιολογική παραλλαγή.

Οι συνηθέστερες παθολογικές μεταβολές του ST διαστήματος παρατηρούνται στις εξής καταστάσεις:

- Οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου και ανεύρυσμα του μυοκαρδίου
- Οξεία ισχαιμία του μυοκαρδίου
- Περικαρδίτιδα- Μυοκαρδίτιδα
- Υπερτροφία του μυοκαρδίου
- Φλεβοκομβική ταχυκαρδία
- Δακτυλιδισμός – Υποκαλιαιμία - Υπερκαλιαιμία

Τέλος το κύμα U είναι ένα έπαρμα χαμηλού δυναμικού που εμφανίζεται στο φυσιολογικό ηλεκτροκαρδιογράφημα. Είναι δυνατόν να είναι ιδιαίτερα εμφανές στην υποκαλιαιμία και στο δακτυλιδισμό.

3

Σχετικές Θεματικές Εργασίες

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζουμε εργασίες και αποτελέσματα που έχουν προκύψει από επεξεργασία του συνόλου δεδομένων το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Δεδομένου του πολύ μεγάλου πλήθους εργασιών που έχουν δημοσιευθεί με χρήση του συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων παρουσιάζονται οι σημαντικότερες, νεότερες και όσες στις οποίες υπήρχε πρόσβαση ώστε να είναι δυνατή η αποτύπωση και σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία γίνεται διάκριση μεταξύ των φυσιολογικών ΗΚΓ και της κατηγορίας με τις πιο συχνά εμφανιζόμενες αρρυθμίες ενώ σε πολλές εργασίες οι κατηγοριοποιήσεις στις οποίες διαχωρίζεται το σύνολο δεδομένων είναι διαφορετικές.

3.1 Θεματική Εργασία 1

Η βασικότερη εργασία που έχει δημοσιευτεί για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων είναι η εργασία των δημιουργών της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων [2]. Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται μία παραλλαγή του αλγορίθμου VFI (Voting Feature Intervals) για την ταξινόμηση με βάση ένα χαρακτηριστικό και πραγματοποιείται σύγκριση του συγκεκριμένου αλγορίθμου σε σχέση με ταξινομητές

Bayesian και κοντινότερου γείτονα. Στο συγκεκριμένο αλγόριθμο στον οποίο οι συγγραφείς αναφέρονται ως VFI5 το ποσοστό ορθών ταξινομήσεων για ένα χαρακτηριστικό είναι 62% το οποίο αυξάνει σε ποσοστό 68% όταν χρησιμοποιηθούν όλα τα χαρακτηριστικά με κάποια βάρη που καθορίζονται από τον αλγόριθμο. Σημειώνεται ότι οι ταξινομητές Bayesian και κοντινότερου γείτονα επιτυγχάνουν ποσοστό 50% και 53% αντίστοιχα.

3.2 Θεματική Εργασία 2

Στη συγκεκριμένη μελέτη [3] γίνεται χρήση ενός νευρωνικού δικτύου για την ταξινόμηση των περιστατικών του δείγματος της βάσης δεδομένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ένα πολυεπίπεδο δίκτυο Perceptron (MLP) για να ταξινομηθούν τα περιστατικά σε κανονικά και παθολογικά. Τα πειραματικά αποτελέσματα που αναφέρονται στη συγκεκριμένη μελέτη όσον αφορά το ποσοστό της ορθής ταξινόμησης 86.67%.

3.3 Θεματική Εργασία 3

Η συγκεκριμένη εργασία [4] εκπονήθηκε από τους ίδιους συγγραφείς με την εργασία [3] και αποτελεί επέκταση της προηγούμενης. Συγκεκριμένα εξετάζονται και σε αυτή την περίπτωση νευρωνικά δίκτυα στα οποία μεταβάλλεται ο αριθμός των επιπέδων που διαθέτουν και πραγματοποιείται σύγκριση με διάφορους ταξινομητές. Στη συγκριτική μελέτη που παρατίθεται οι συγγραφείς χρησιμοποιούν ένα βασικό σχήμα αντεπικύρωσης και παραθέτουν ένα μέγιστο ποσοστό ορθής ταξινόμησης το οποίο προσεγγίζει το 82.5%.

3.4 Θεματική εργασία 4

Η συγκεκριμένη εργασία [5] υλοποιεί ένα αλγόριθμο που στοχεύει στη μείωση των χαρακτηριστικών ενός προβλήματος και την ταξινόμηση των δειγμάτων χωρίς να μειώνει το ποσοστό της ορθής ταξινόμησης. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος (HITON) εφαρμόζεται σε ένα σύνολο βάσεων δεδομένων ετερόκλητων χαρακτηριστικών και σε σχέση με τη βάση δεδομένων που αναφερόμαστε στη συγκεκριμένη εργασία αναφέρει ένα μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης ίσο με 68.85 % με μειώνοντας το σύνολο των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιεί σε συνολικά 63 από τα 279.

4

Μέθοδοι επιλογής και ταξινόμησης Χαρακτηριστικών

Στο σύστημα που θα αναπτυχθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται όπως έχει ήδη αναφερθεί σε τεχνικές αναγνώρισης προτύπων. Συγκεκριμένα θα εκτιμηθεί η απόδοση διαφόρων τεχνικών επιλογής χαρακτηριστικών, σε συνδυασμό με μία μέθοδο ταξινόμησης των δειγμάτων σε δύο κλάσεις. Για την επιλογή χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται όλα τα πιθανά μονήρη χαρακτηριστικά, αλλά και διανύσματα χαρακτηριστικών με διαρκώς αυξανόμενο πλήθος χαρακτηριστικών που επιλέγονται είτε σειριακά είτε με βάση κάποιο κριτήριο διαχωρισιμότητας. Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για την ταξινόμηση και συνεπώς αποτίμησης των αποτελεσμάτων από τα διάφορα διανύσματα χαρακτηριστικών είναι ο αλγόριθμος Support Vector Machines (SVM). Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται επίσης αναφορά και στη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την κανονικοποίηση των δεδομένων του συνόλου που χρησιμοποιήθηκε.

4.1 Αλγόριθμοι επιλογής Χαρακτηριστικών

4.1.1 Μονήρη χαρακτηριστικά

Η πρώτη μέθοδος επιλογής χαρακτηριστικών για την οποία εκτελέστηκαν πειράματα χρησιμοποιεί ξεχωριστά κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά ως είσοδο στον αλγόριθμο ταξινόμησης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας ως μέθοδος αναφοράς με την οποία θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των υπολοίπων μεθόδων.

Συγκεκριμένα με τη συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιείται ταξινόμηση των δειγμάτων στις δύο ορισμένες κλάσεις για κάθε ένα χαρακτηριστικό και η τιμή που προκύπτει για το μέσο ποσοστό ορθών ταξινομήσεων (λόγω του ότι επιπλέον χρησιμοποιείται και μία τεχνική αντεπικύρωσης) ορίζεται ως η αντιπροσωπευτική τιμή για τη διαχωριστική ικανότητα του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού.

4.1.2 Διάνυσμα χαρακτηριστικών με διαδοχική αύξηση διαστάσεων

Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τη σειριακή διαδοχική αύξηση του πλήθους των χαρακτηριστικών με την αρχική τους διάταξη όπως αυτά ορίζονται στο σύνολο των δεδομένων και είσοδο των διαφορετικών διανυσμάτων στον αλγόριθμο ταξινόμησης ώστε να εκτιμηθεί πώς επηρεάζει η διαρκής αύξηση των όχι απαραίτητα ουσιωδών χαρακτηριστικών τη σταθερότητα του αλγορίθμου ταξινόμησης.

4.1.3 Rank Features

Η τρίτη μέθοδος είναι μια παραλλαγή της δεύτερης μεθόδου στην οποία γίνεται προσπάθεια εφαρμογής ενός κριτηρίου για την επιλογή των ουσιωδέστερων χαρακτηριστικών. Η μέθοδος είναι γνωστή ως Rank Features. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση θεωρούνται όλα τα χαρακτηριστικά ανεξάρτητα μεταξύ τους και όπως ήδη αναφέρθηκε εκτιμάται η διαχωριστική ικανότητα του χαρακτηριστικού με τη χρήση ενός κριτηρίου το οποίο στην περίπτωση της παρούσας εργασίας είναι το κριτήριο t-test [6].

Αναλυτικά το πρόβλημα μεταφράζεται στην αποτίμηση κάθε χαρακτηριστικού και την αξιολόγηση της διαχωριστικής του ικανότητας. Στην περίπτωση όπου η διαχωριστική του ικανότητα είναι χαμηλή το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό εξαιρείται από το σύνολο των ουσιωδών χαρακτηριστικών.

Όπως αναφέρθηκε το κριτήριο που χρησιμοποιείται σκοπό αυτό είναι το κριτήριο t-test. Η βασική υπόθεση που έχει γίνει είναι ότι τα δεδομένα που ανήκουν σε κάθε μία από τις δύο ορισμένες κλάσεις ακολουθούν κανονικές κατανομές. Στην συνέχεια με το συγκεκριμένο κριτήριο ελέγχεται αν οι μέσες τιμές του χαρακτηριστικού μεταξύ των δύο κλάσεων διαφέρει σημαντικά.

Το βασικό σύνολο υποθέσεων για το συγκεκριμένο κριτήριο περιλαμβάνει τη μηδενική υπόθεση (H_0) σύμφωνα με την οποία η μέση τιμή της κατανομής του χαρακτηριστικού στις δύο κλάσεις είναι ίδια και την εναλλακτική της (H_1) σύμφωνα με την οποία η μέση τιμή για το χαρακτηριστικό μεταξύ των δύο κλάσεων είναι διαφορετική.

Σε κάθε περίπτωση αν επαληθευθεί η μηδενική υπόθεση το χαρακτηριστικό εξαιρείται από το σύνολο των ουσιωδών χαρακτηριστικών.

Στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας τα διατεταγμένα χαρακτηριστικά ως προς την διαχωριστική ικανότητα χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή διανυσμάτων χαρακτηριστικών στα οποία συνεχώς αυξανόταν το πλήθος των χαρακτηριστικών και εισάγονταν στον ταξινομητή ώστε να εκτιμηθεί το βέλτιστο σύνολο χαρακτηριστικών το οποίο σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στο διαχωρισμό μεταξύ των δύο κλάσεων.

4.1.4 Sequential Forward Selection (SFS)

Για τη δόμηση του βέλτιστου διανύσματος χαρακτηριστικών θα έπρεπε να εξεταστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί χαρακτηριστικών. Η συγκεκριμένη διαδικασία θα μπορούσε να εκτελεστεί για διανύσματα μικρών διαστάσεων ωστόσο όσο αυξάνει το μέγεθος των διανυσμάτων η εξαντλητική εξέταση όλων των πιθανών συνδυασμών καθίσταται απαγορευτική. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται υποβέλτιστες μέθοδοι όπως η μέθοδος SFS που αναλύεται στο παρόν εδάφιο και η μέθοδος SFFS που αναλύεται στο επόμενο.

Η συγκεκριμένη μέθοδος (SFS) επιλέγει ένα υποσύνολο χαρακτηριστικών (στην περίπτωση μας το ορίσαμε κατά μέγιστο ίσο με 50) τα οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταξινομήσει στις κατηγορίες τις διαφορετικές καταχωρήσεις του διανύσματος χαρακτηριστικών με το μικρότερο δυνατό σφάλμα.

Η μέθοδος ξεκινά από ένα κενό διάνυσμα χαρακτηριστικών και προσθέτει χαρακτηριστικά εφαρμόζοντας ένα κριτήριο επιλογής για τα χαρακτηριστικά που προστίθενται στο διάνυσμα και μία μέθοδο αντεπικύρωσης ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο διάνυσμα.

Το κριτήριο επιλογής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία [6] κάνει χρήση της διασποράς για ένα χαρακτηριστικό εντός της ίδιας κλάσης και της διασποράς της μέσης τιμής της κλάσης σε σχέση με τη μέση τιμή σε όλες τις κλάσεις. Η μέθοδος που περιγράφεται [6] χρησιμοποιεί την μετρική J3 για τον υπολογισμό του κριτηρίου επιλογής ώστε να αποτιμήσει τη μέση διακύμανση του χαρακτηριστικού μεταξύ των κλάσεων.

Η μέθοδος σταματά όταν συμπληρωθεί ένα όριο στο σύνολο των χαρακτηριστικών που θα περιέχει το διάνυσμα χαρακτηριστικών ή όταν η προσθήκη νέων χαρακτηριστικών δε βελτιώνει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης.

Για τη δόμηση του διανύσματος χρησιμοποιήθηκε η υλοποίηση που προτείνεται στο [6] και προστέθηκε μια μέθοδος αντεπικύρωσης με χρήση του ταξινομητή SVM ώστε τελικά να κατασκευαστεί το διάνυσμα με την καλύτερη διαχωριστική ικανότητα.

Στη βασική μέθοδο προστέθηκε επιπλέον ένας έλεγχος για τον υπολογισμό του βέλτιστου διανύσματος χαρακτηριστικών με τρόπο ώστε να επιλέγεται κάθε φορά το διάνυσμα που πετυχαίνει τον καλύτερο διαχωρισμό ωστόσο περιλαμβάνει το μικρότερο πλήθος χαρακτηριστικών.

4.1.5 Sequential Forward Floating Selection (SFFS)

Στη προηγούμενη μέθοδο η δόμηση του διανύσματος είναι πάντα προσθετική. Αυτό σημαίνει ότι εφόσον κάποια χαρακτηριστικά δεν είναι κατάλληλα δεν αφαιρούνται από το διάνυσμα δεδομένων. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου φαινομένου χρησιμοποιούνται δυναμικές μέθοδοι για την επιλογή των χαρακτηριστικών όπως η μέθοδος Sequential Forward Floating Selection (SFFS). Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την τελευταία μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή του διανύσματος χαρακτηριστικών.

Η δυναμική δόμηση του διανύσματος χαρακτηριστικών έγκειται στο γεγονός ότι σε κάθε βήμα προστίθεται στο διάνυσμα χαρακτηριστικών ένα βέλτιστο σύμφωνα με κάποιο κριτήριο χαρακτηριστικό, ωστόσο υπάρχει και η δυνατότητα να αφαιρεθεί ένα

χαρακτηριστικό αν αυτό βελτιστοποιεί το κριτήριο για την ορθή ταξινόμηση των περιπτώσεων του προβλήματος.

Για λόγους υπολογιστικής πολυπλοκότητας στη μέθοδο αυτή τέθηκε ο περιορισμός του μέγιστου μεγέθους του διανύσματος χαρακτηριστικών να είναι 15. Ως υλοποίηση του βασικού αλγορίθμου έγινε χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου στο [6]. Μεταξύ των διανυσμάτων που προκύπτουν επιλέγεται πάντα αυτό με το ελάχιστο πλήθος συνιστωσών και το ελάχιστο ποσοστό λανθασμένων ταξινομήσεων.

4.2 Αλγόριθμος ταξινόμησης Χαρακτηριστικών (SVM)

Στα προηγούμενα αναπτύχθηκε και εξετάστηκε ένα σύνολο μεθόδων για τη δόμηση διανυσμάτων χαρακτηριστικών. Κάθε διάνυσμα που δημιουργήθηκε όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι βέλτιστο σύμφωνα με τον αλγόριθμο που επιλέχθηκε κάθε φορά για την κατασκευή του υπό τον περιορισμό των διαστάσεων που έχουν τεθεί όσον αφορά το σύνολο των χαρακτηριστικών του. Η επιπλέον διερεύνηση που έχει πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία είναι ο υπολογισμός μεταξύ όλων των πολυδιάστατων διανυσμάτων που έχουν προκύψει από επαναληπτικές εκτελέσεις των αλγορίθμων που περιγράφηκαν αυτού με την μικρότερη διάσταση και την καλύτερη διαχωριστική ικανότητα.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα σύστημα ταξινόμησης με αντεπικύρωση των αποτελεσμάτων το οποίο για κάθε διάνυσμα πραγματοποιεί μία ταξινόμηση των δειγμάτων με kfold=10 ώστε να εξαχθεί το ποσοστό ορθών ταξινομήσεων για κάθε διάνυσμα.

Ο ταξινομητής που χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό είναι ο ταξινομητής SVM [7] ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε προβλήματα ταξινόμησης ιδιαίτερα όταν αυτά αφορούν ταξινόμηση σε 2 κλάσεις και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στο θόρυβο που εισάγεται από την αύξηση των διαστάσεων των διανυσμάτων χαρακτηριστικών.

Αναλυτικά ο αλγόριθμος ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων επιτηρούμενης μάθησης . Ο αλγόριθμος κάνει χρήση ενός συνόλου διανυσμάτων εκπαίδευσης για τα οποία είναι γνωστές στον αλγόριθμο οι δύο κλάσεις στις οποίες ανήκουν κατασκευάζοντας ένα μοντέλο για την ανάθεση των νέων δειγμάτων. Δεδομένου ότι τα διανύσματα χαρακτηριστικών μπορεί να έχουν πολλές διαστάσεις ο αλγόριθμος κατασκευάζει ένα υπερεπίπεδο το οποίο έχει τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση από τα πιο κοντινά σημεία στα όρια των δύο κλάσεων όπως αυτά προέκυψαν από το

διάνυσμα εκπαίδευσης. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται το μικρότερο δυνατό σφάλμα στα άγνωστα διανύσματα που θα δοθούν προς ταξινόμηση από τον ταξινομητή.

Πρακτικά για την δημιουργία του υπερεπιπέδου που διαχωρίζει βέλτιστα τις δύο κλάσεις μπορούν να κατασκευαστούν τα κυρτά πολύγωνα που εμπεριέχουν τα σημεία των κλάσεων και να βρεθεί το υπερεπίπεδο εκείνο που διχοτομεί τη «γραμμή» που ενώνει τις κοντινότερες ακμές των δύο κυρτών πολυγώνων.

Αν θεωρήσουμε ότι διαθέτουμε ένα σύνολο από n περιπτώσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από τα διανύσματα χαρακτηριστικών $x_1, x_2, \dots, x_n$, τα οποία επελέγησαν με κάποια από τις προαναφερθείσες μεθόδους. Για κάθε διάνυσμα δίνεται στον ταξινομητή και η πληροφορία για την κλάση στην οποία ανήκει. Θεωρώντας επίσης την περίπτωση του ταξινομητή SVM για την ταξινόμηση σε δύο κλάσεις C_1 και C_2 κάποια από αυτά τα δείγματα θα ανήκουν στην κλάση C_1 χωρίς παθολογικά χαρακτηριστικά ενώ κάποια δείγματα θα ανήκουν στην κλάση C_2 στην οποία τα διανύσματα χαρακτηρίζουν περιστατικά με παθολογικά χαρακτηριστικά αρρυθμίας. Τα δείγματα για τα οποία γνωρίσουμε την κλάση στην οποία ανήκουν χαρακτηρίζονται ως διανύσματα εκπαίδευσης και χρησιμοποιούνται για να επιλέξουμε τους συντελεστές σε μια γραμμική συνάρτηση ταξινόμησης της μορφής $g(x) = w^t x$. Στη συνέχεια αναζητήσουμε ένα διάνυσμα το οποίο ταξινομεί σωστά όλα τα δείγματά μας. Αν υπάρχει τέτοιο διάνυσμα, τότε τα δείγματα είναι γραμμικά διαχωρίσιμα. Ένα δείγμα x_i ταξινομείται σωστά, αν $w^t x > 0$ και αποδίδεται στην κλάση C_1 και αντίστοιχα αν $w^t x < 0$ και αποδίδεται στην κλάση C_2. Αυτό πρακτικά αποτελεί ενός είδους κανονικοποιήση που απλοποιεί την αντιμετώπιση του διαχωρισμού δειγμάτων που ανήκουν σε δύο κλάσεις. Αυτού του είδους η κανονικοποιήση μας επιτρέπει να αναζητήσουμε ένα διάνυσμα τέτοιο ώστε: $w^t x > 0$ για όλα τα δείγματα. Ένα τέτοιο διάνυσμα αποκαλείται διάνυσμα διαχωρισμού. Η γραφική απεικόνιση του διανύσματος αυτού είναι ένα επίπεδο σε χώρο αντίστοιχων διαστάσεων με το διάνυσμα χαρακτηριστικών. Συνεπώς, το υπερεπίπεδο σε n-διάστατο χώρο είναι ένα επίπεδο υποσύνολο $n-1$ διαστάσεων. Μέσα από τη διαδικασία ταξινόμησης των διανυσμάτων εκπαίδευσης κατασκευάζεται το υπερεπίπεδο εκείνο που μας δίνει το μεγαλύτερο περιθώριο ανάμεσα στις ορισμένες κλάσεις.

4.3 Κανονικοποίηση δεδομένων

Το σύνολο των δεδομένων περιέχει δεδομένα τα οποία καταγράφουν διαφορετικές ποσότητες σε διαφορετικές κλίμακες. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να κανονικοποιηθούν τα δεδομένα του συνόλου βάση του z-score. Το z-score υπολογίζεται από τη σχέση

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

όπου x η τιμή του χαρακτηριστικού , μ, σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό.

Η χρήση της παραπάνω κανονικοποίησης πραγματοποιήθηκε ώστε να αποκτήσουν όλα τα χαρακτηριστικά παρόμοια κλίμακα και να εξαιρεθεί η συγκεκριμένη παράμετρος από τους παράγοντες εκείνους που μπορεί να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της ταξινόμησης.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε πριν εφαρμοστεί η οποιαδήποτε μέθοδος επιλογής διανυσμάτων ή ταξινόμησης.

5

Υλοποίηση προτεινόμενου συστήματος - Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο συμπεριλαμβάνονται όλες οι λεπτομέρειες της υλοποίησης. Πραγματοποιείται περιγραφή του συνόλου των δεδομένων και δίνεται αδρή περιγραφή της ροής του αλγορίθμου. Περιλαμβάνονται επίσης και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση του συγκεκριμένου αλγορίθμου.

5.1 Σύνολο δεδομένων

Το αρχείο δεδομένων περιέχει συνολικά 452 περιστατικά από ασθενείς οι οποίοι ανήκουν σε 16 διαφορετικές κατηγορίες ή κλάσεις. Χρησιμοποιώντας το ΗΚΓ κάθε ασθενή έχει εξαχθεί ένα σύνολο από 279 χαρακτηριστικά.

Αναλυτικά η κλάση με αριθμό 1 αντιστοιχεί σε κανονικό ΗΚΓ, η κλάση 2 σε ισχαιμικές αλλαγές (Στεφανιαία Νόσος), η κλάση 3 σε παλιό πρόσθιο έμφραγμα του μυοκαρδίου, η κλάση 4 σε παλιό κατώτερο έμφραγμα του μυοκαρδίου, η κλάση 5 σε ταχυκαρδία κόλπων, η κλάση 6 σε βραδυκαρδία κόλπων, η κλάση 7 σε πρώιμη κοιλιακή συστολή (PVC), η κλάση 8 σε υπερκοιλιακή πρώιμη συστολή (PVC), η

κλάση 9 σε αποκλεισμό του αριστερού κλάδου (κλάδος του δεματίου του His) ενώ η κλάση 10 σε αποκλεισμό του δεξιού κλάδου.

Η κλάση 11 αντιστοιχεί σε κολποκοιλιακό αποκλεισμό 1ου βαθμού , η κλάση 12 σε 2ου και η κλάση 13 σε 3ου βαθμού. Η κλάση 14 αντιστοιχεί σε υπερτροφία της αριστερής κοιλίας, η κλάση 15 σε κολπική μαρμαρυγή ή πτερυγισμό και η κλάση 16 αναφέρεται σε άλλες παθολογικές καταστάσεις.

Τα 9 πρώτα χαρακτηριστικά είναι: f1-ηλικία, f2-φύλο, f3-ύψος, f4-βάρος, f5-μέση διάρκεια του QRS σε msec, f6-η μέση διάρκεια της μεταξύ της έναρξης των κυμάτων P και Q, f7-η μέση διάρκεια της μεταξύ της έναρξης του Q και της αντιστάθμισης του κύματος T σε msec, f8-η μέση διάρκεια μεταξύ δυο διαδοχικών κυμάτων T σε msec, f9- η μέση διάρκεια μεταξύ δυο διαδοχικών κυμάτων P σε msec.

Τα χαρακτηριστικά f10 έως f14 είναι οι κλίσεις των ανυσμάτων των μετώπων QRS (f10), T(f11), P(f12), QRST (f13) και J (f14) αντίστοιχα. Το χαρακτηριστικό f15 είναι ο καρδιακός ρυθμός, δηλαδή ο αριθμός των καρδιακών ρυθμών ανά λεπτό.

Τα ακόλουθα 11 χαρακτηριστικά μετριούνται από το κανάλι DI και αναλυτικά έχουν ως ακολούθως: f16-μέσο πλάτος του κύματος Q σε msec, f17- μέσο πλάτος του κύματος R σε msec, f18- μέσο πλάτος του κύματος S σε msec, f19- μέσο πλάτος του κύματος R' σε msec, f20- μέσο πλάτος του κύματος S' σε msec, f21-αριθμός εσωτερικών εγγενών αποκλίσεων, f22- ύπαρξη διφασικού κύματος R, f23-ύπαρξη χαραγμένου επάρματος R, f24- ύπαρξη χαραγμένου επάρματος P, f25- ύπαρξη διφασικού κύματος P, f26- ύπαρξη χαραγμένου επάρματος T, f27- ύπαρξη διφασικού κύματος T.

Τα 11 παραπάνω χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία μετρούνται για το κανάλι DI, μετρούνται επίσης για το DII (f28-f39), DIII (f40-f51), AVR (f52-f63),AVL (f64-f75), AVF (f76-f87), V1 (f88-f99), V2 (f100-f111), V3(f112-f123), V4(f124-f135), V5(f136-f147), V6(f148-f159).

Τα επόμενα 9 χαρακτηριστικά μετρούνται από το κανάλι DI : Κατάσπαση σημείου J (f160) μετριέται σε mvolts, το πλάτος του επάρματος Q (f161) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος R (f162) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος S (f163) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος R' (f164) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος S' (f1615) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος P (f166) σε mvolts, το πλάτος του επάρματος T (f167) σε mvolts, QRSA (f168) το άθροισμα όλων των εμβαδών των τμημάτων

διαιρούμενο με 10, QRSTA (f169) που είναι ίσο με το QRSA+0,5*πλάτος του T*0,1*ύψος του T επάρματος.

Τα ανώτερα 9 χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν για το κανάλι DI μετρούνται επίσης για τα κανάλια DII (f170-179), DIII (f180-f189), AVR (f190-f199), AVL (f200-f209), AVF (f210-f219), V1 (f220-f229), V2(f230-239), V3(f240-f249), V4(f250-f259), V5(f260-f269) και V6(f270-279). Οι τιμές αυτών των χαρακτηριστικών έχουν μετρηθεί χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα νοσοκομείων IBM –Mt. Sinai.

Περίπου το 0,33% από τις τιμές των χαρακτηριστικών στο σύνολο δεδομένων λείπει. Η κατανομή των περιστατικών μεταξύ των κλάσεων αυτού του συνόλου δεδομένων είναι άνιση και οι περιπτώσεις των κλάσεων 11, 12 και 13 δεν υπάρχουν στο τρέχον σύνολο. Η κλάση 1 (φυσιολογικά ΗΚΓ) είναι η πιο συχνή. Παρόλο που το ΗΚΓ κάποιων ασθενών, παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά περισσοτέρων της μια αρρυθμίας, στους χαρακτηρισμούς του συνόλου δεδομένων έχει γίνει η υπόθεση πως κανένας ασθενής δεν έχει περισσότερες από μια καρδιακές αρρυθμίες.

Για τη χρήση στην παρούσα υλοποίηση έχουν εξαιρεθεί τα χαρακτηριστικά τα οποία περιέχουν ελλείπουσες τιμές. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα f11-f15. Ο πλήρης πίνακας χαρακτηριστικών όπως αναφέρεται στην περιγραφή του συνόλου δεδομένων περιλαμβάνεται στο παράρτημα Ι.

5.2 Ροή αλγορίθμου

Το σύνολο των χαρακτηριστικών που περιγράφηκε μετατράπηκε σε μορφή .xlsx και διορθώθηκαν διάφορα σφάλματα στις μορφοποιήσεις αλλά και την κωδικοποίηση του κειμένου που είχαν εισαχθεί στο αρχικό αρχείο .csv. Το διορθωμένο και μορφοποιημένο αρχείο .xlsx περιλαμβάνεται μαζί με τα αρχεία κώδικα που συνοδεύουν την παρούσα εργασία.

Το μορφοποιημένο αρχείο με τα χαρακτηριστικά εισάγεται στο MATLAB μέσω ενός παραθύρου διαλόγου που επιτρέπει την αναζήτηση στον κατάλογο του υπολογιστή.

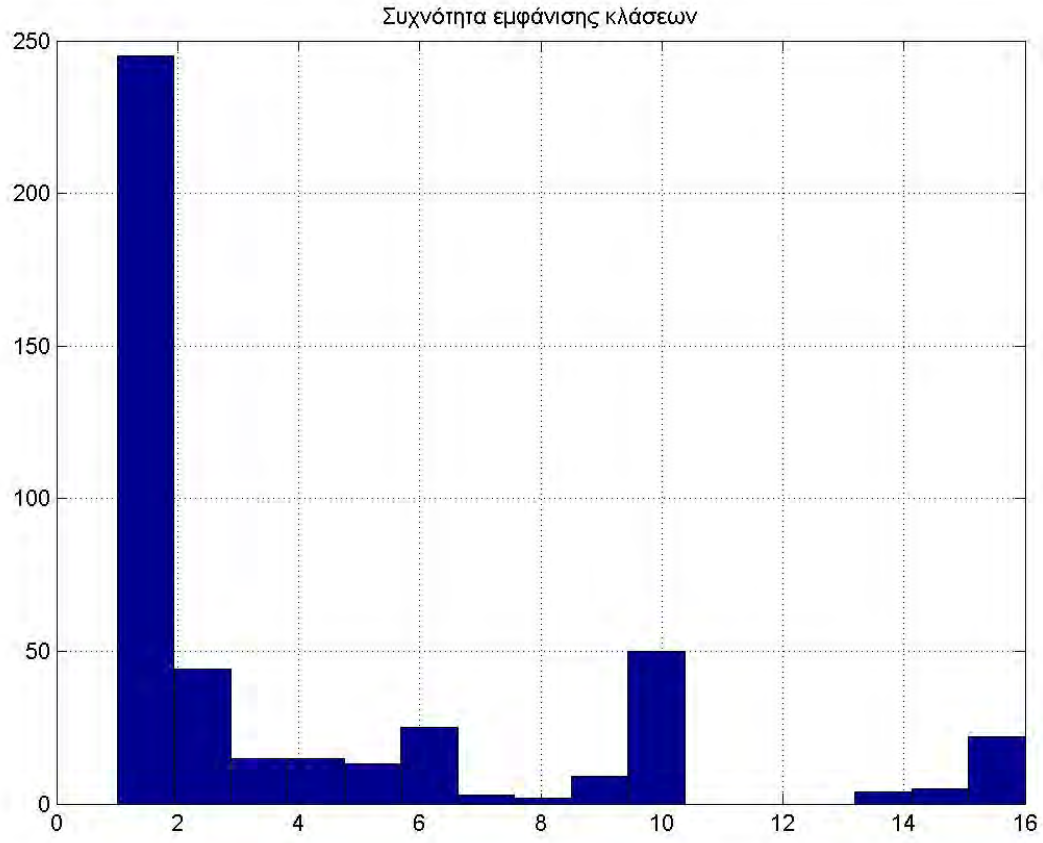
Στη συνέχεια πραγματοποιείται αφαίρεση των χαρακτηριστικών που έχουν ελλείπουσες τιμές ανιχνεύοντας τα κελιά εκείνα όπου παρουσιάζονται μη αριθμητικά δεδομένα (NaN) όπως περιγράφεται από το αντίστοιχο χαρακτηριστικό.

Στα δεδομένα που προκύπτουν υπολογίζεται η κατανομή των κλάσεων και επιλέγονται οι κλάσεις ενδιαφέροντος για τις οποίες θα πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα εκτελεί σειριακά τους αλγορίθμους επιλογής χαρακτηριστικών και για κάθε περίπτωση κατασκευάζει το βέλτιστο διάνυσμα χαρακτηριστικών αφού εκτελέσει και τη διαδικασία ταξινόμησης με χρήση του ταξινομητή SVM. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό κομμάτι ότι χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις η τεχνική της αντεπικύρωσης με k=10, δηλαδή εκτέλεσης 10 πειραμάτων και εξαγωγή των μέσων ποσοστών. Για κάθε περίπτωση παράγονται τα σχετικά διαγράμματα που περιγράφουν την απόδοση του αλγορίθμου στην κάθε περίπτωση.

5.3 Αποτελέσματα

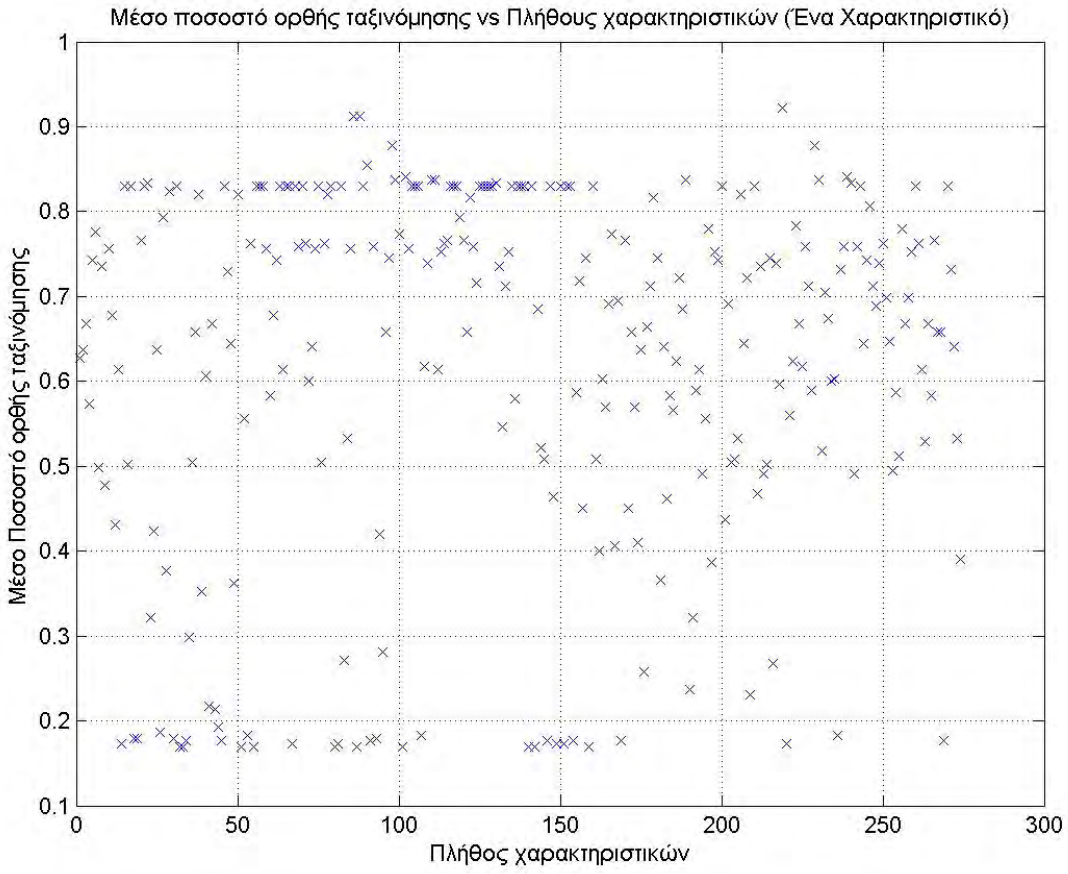
Αρχικά υπολογίστηκε η συχνότητα εμφάνισης των περιστατικών σε κάθε κλάση η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 15. Οι κλάσεις που θα ληφθούν υπόψη στην παρούσα εργασία είναι η κλάση που περιέχει τους ασθενείς με φυσιολογικά καρδιογραφήματα δηλαδή η κλάση 1 και αυτή που περιέχει τους περισσότερους ασθενείς που παρουσιάζουν κάποιο είδος αρρυθμίας δηλαδή την κλάση 10.



ΣΧΗΜΑ 20: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΚΛΑΣΗ

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη χρήση των διαφορετικών τεχνικών για την επιλογή χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν μετρικές που προκύπτουν από τη διαδικασία ταξινόμησης των δειγμάτων. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε το ποσοστό των δειγμάτων που ταξινομήθηκαν ορθά από τον ταξινομητή, και η ευαισθησία και ειδικότητα που προκύπτει για κάθε διαδικασία ταξινόμησης. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής SVM ο οποίος αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

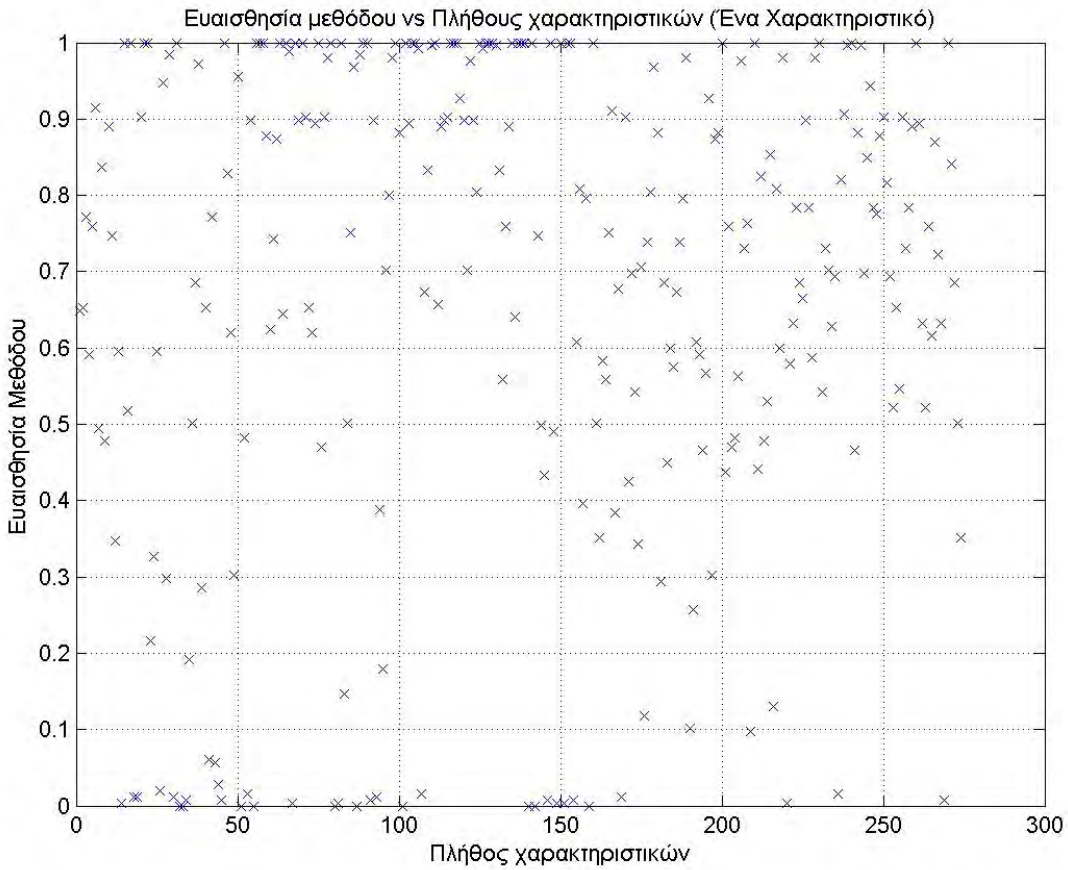
Αρχικά πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των περιστατικών με χρήση του ταξινομητή SVM και αντεπικύρωσης (κ=10) μεταξύ των δύο κλάσεων με χρήση καθενός από τα χαρακτηριστικά που είναι διαθέσιμα. Συνοπτικά τα αποτελέσματα για τα στατιστικά που περιγράφηκαν περιλαμβάνονται στα παρακάτω σχήματα.



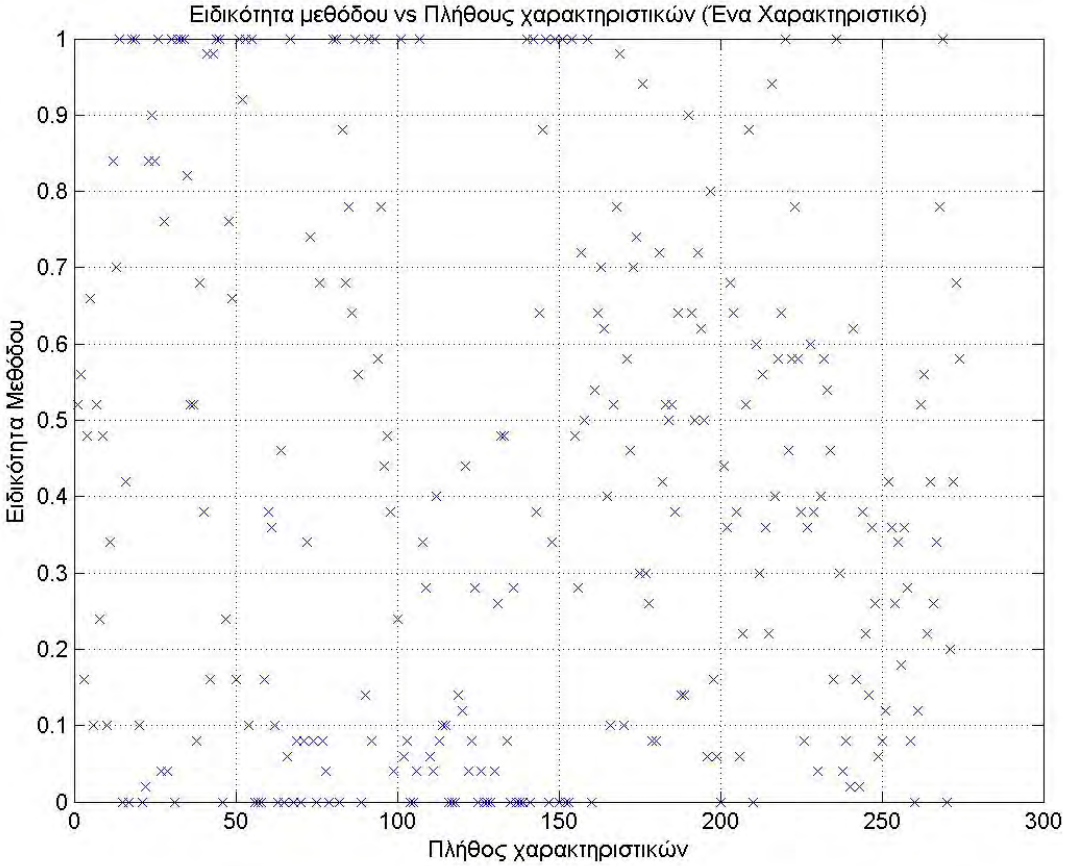
ΣΧΗΜΑ 21: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Όπως παρατηρούμε το μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης με τη χρήση ενός μόνο χαρακτηριστικού που απεικονίζεται στο Σχήμα 16 παρουσιάζει ορισμένες κορυφές με μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης που ξεπερνά σε κάποιες περιπτώσεις το 0.9 (90%).

Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά που ξεπερνούν το 90% σε μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης είναι κατά σειρά τα χαρακτηριστικά f91,f93,f224. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά προκύπτουν από μετρήσεις της απαγωγής V1.



ΣΧΗΜΑ 22: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ

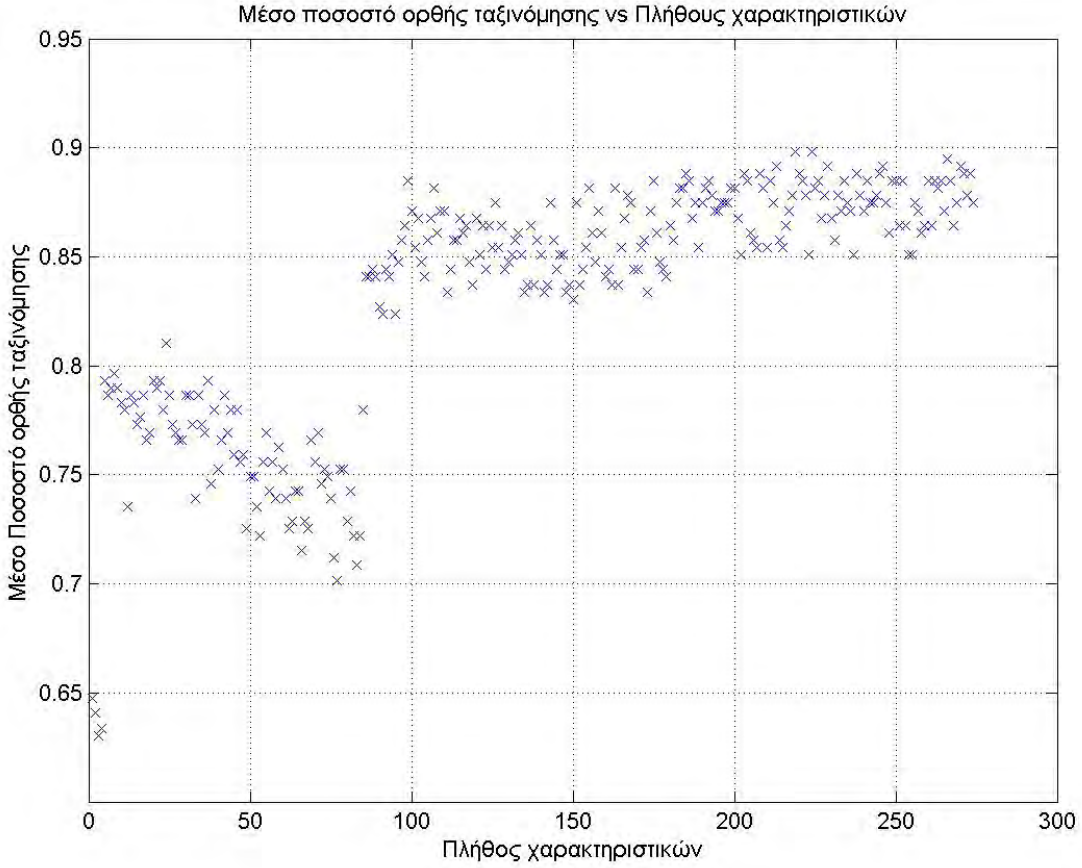


ΣΧΗΜΑ 23: ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ

Σε σχέση με την ευαισθησία και την ειδικότητα της μεθόδου διαπιστώνεται ότι υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά με καλή ευαισθησία ή / και ειδικότητα όπως αυτά απεικονίζονται στο Σχήμα 17 και Σχήμα 18 .

Στη συνέχεια για την εκτίμηση της σταθερότητας του ταξινομητή με την αύξηση του πλήθους των χαρακτηριστικών και της εν γένει συμπεριφοράς των χαρακτηριστικών εκτελέστηκαν επαναληπτικά ταξινομήσεις με συνεχή αύξηση των συμμετεχόντων χαρακτηριστικών χωρίς ωστόσο να έχει προηγηθεί κάποιου είδους επιλογή τους ως προς τη διαχωριστική τους αξία.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πειράματος απεικονίζονται στα σχήματα που ακολουθούν.



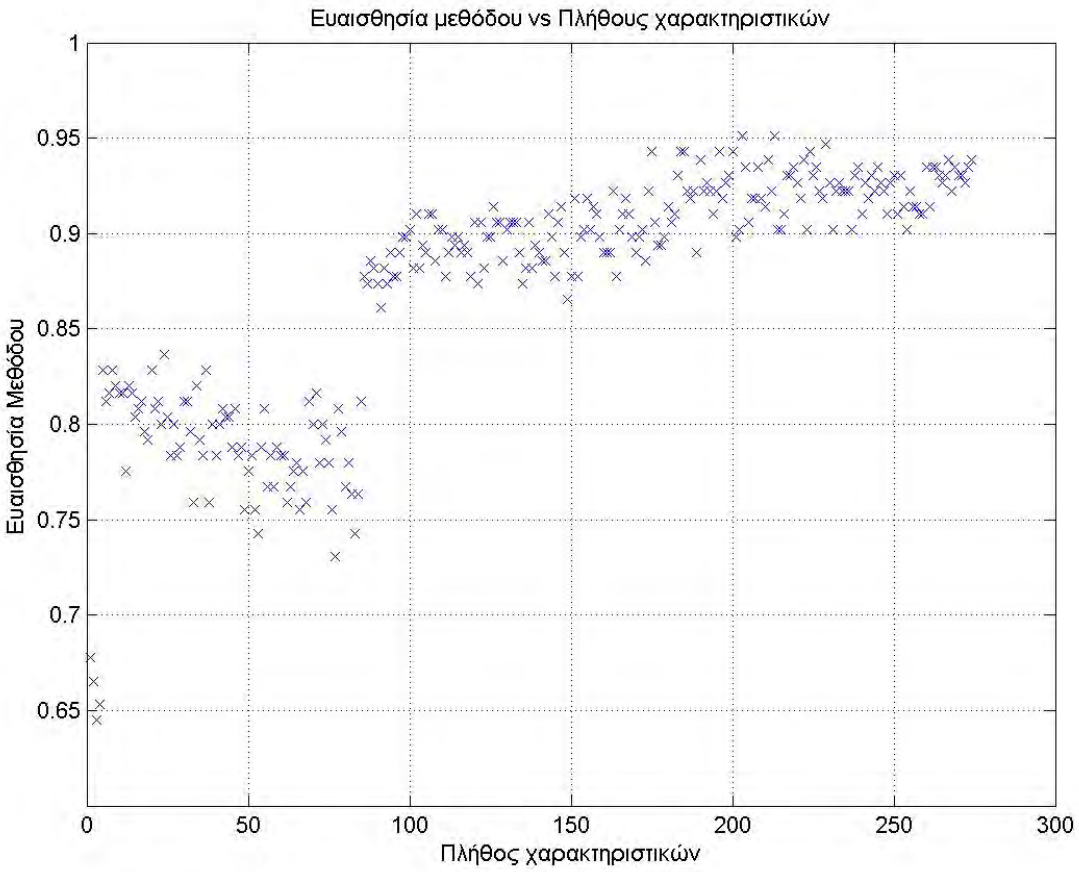
ΣΧΗΜΑ 24: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΟ ΠΛΗΘΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό η μέθοδος χρησιμοποιώντας τα πρώτα χαρακτηριστικά παρουσιάζει μία αυξομείωση του μέσου ποσοστού ορθής ταξινόμησης το οποίο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 19 κυμαίνεται αρχικά από 0.4(40%) έως περίπου 0.82(82%) το οποίο μπορεί να αποδοθεί στο ότι ενδεχόμενα κάποια χαρακτηριστικά όπως προστίθενται σειριακά επηρεάζουν έντονα το ποσοστό ορθής ταξινόμησης.

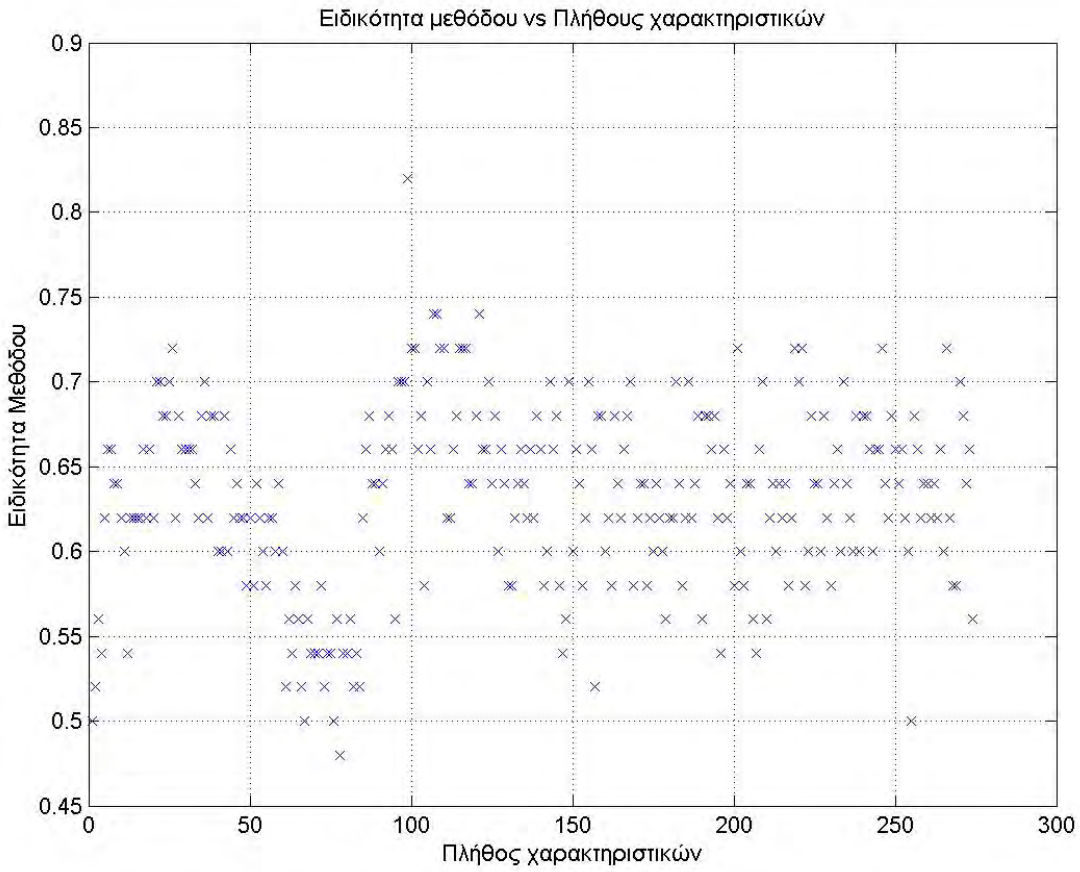
Στη συνέχεια μετά την προσθήκη χαρακτηριστικών τα οποία βρίσκονται στην περιοχή από f90-f100 παρατηρούμε ραγδαία αύξηση του ποσοστού ορθής ταξινόμησης το οποίο πλέον σταθεροποιείται στην περιοχή από 0.82(82%) έως 0.9(90%) παρουσιάζοντας μικρότερη διακύμανση.

Οι δύο παράγοντες που συντείνουν σε αυτό το αποτέλεσμα είναι αφενός μεν η αυξημένη διαχωριστική ικανότητα που έχουν τα χαρακτηριστικά της περιοχής που αναφέρθηκε και αφετέρου η σταθερότητα του ταξινομητή που επιλέξαμε στην

αύξηση των διαστάσεων με προσθήκη νέων χαρακτηριστικών τα οποία δεν είναι απαραίτητα υψηλής διαχωριστικής ικανότητας ή αυξημένου θορύβου.



ΣΧΗΜΑ 25: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

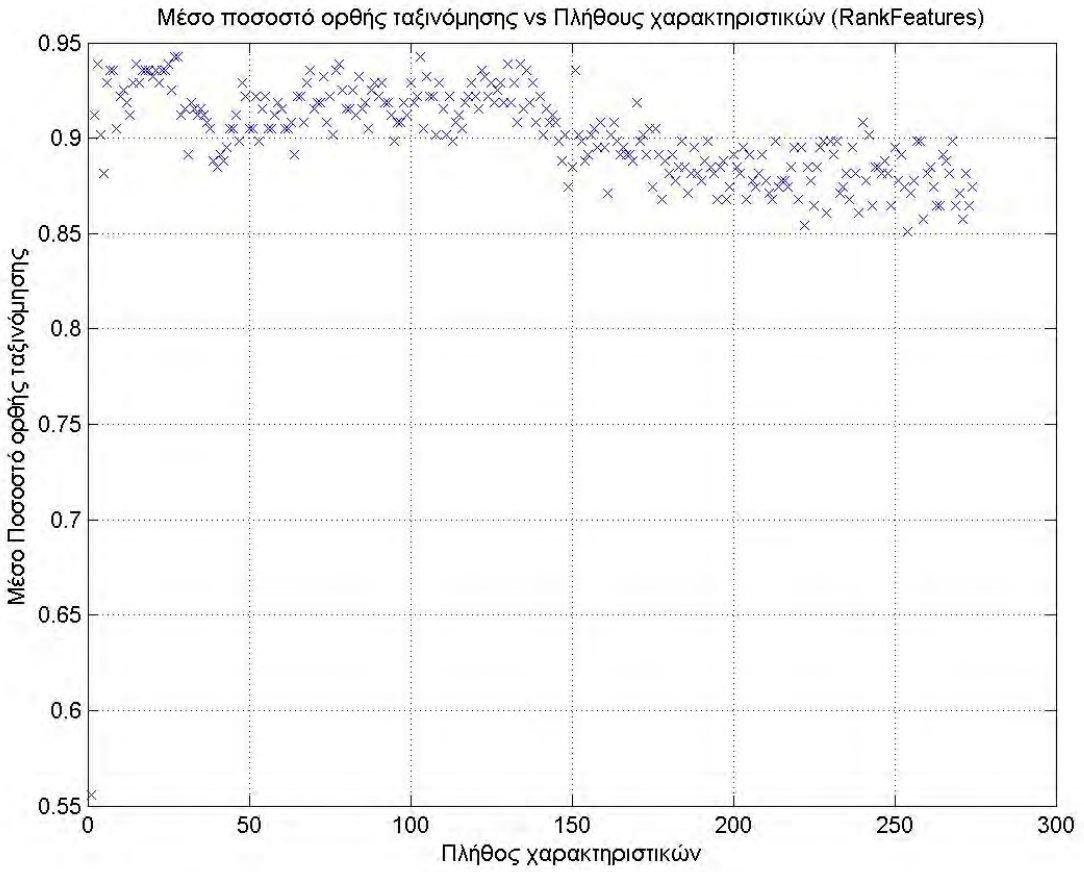


ΣΧΗΜΑ 26: ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

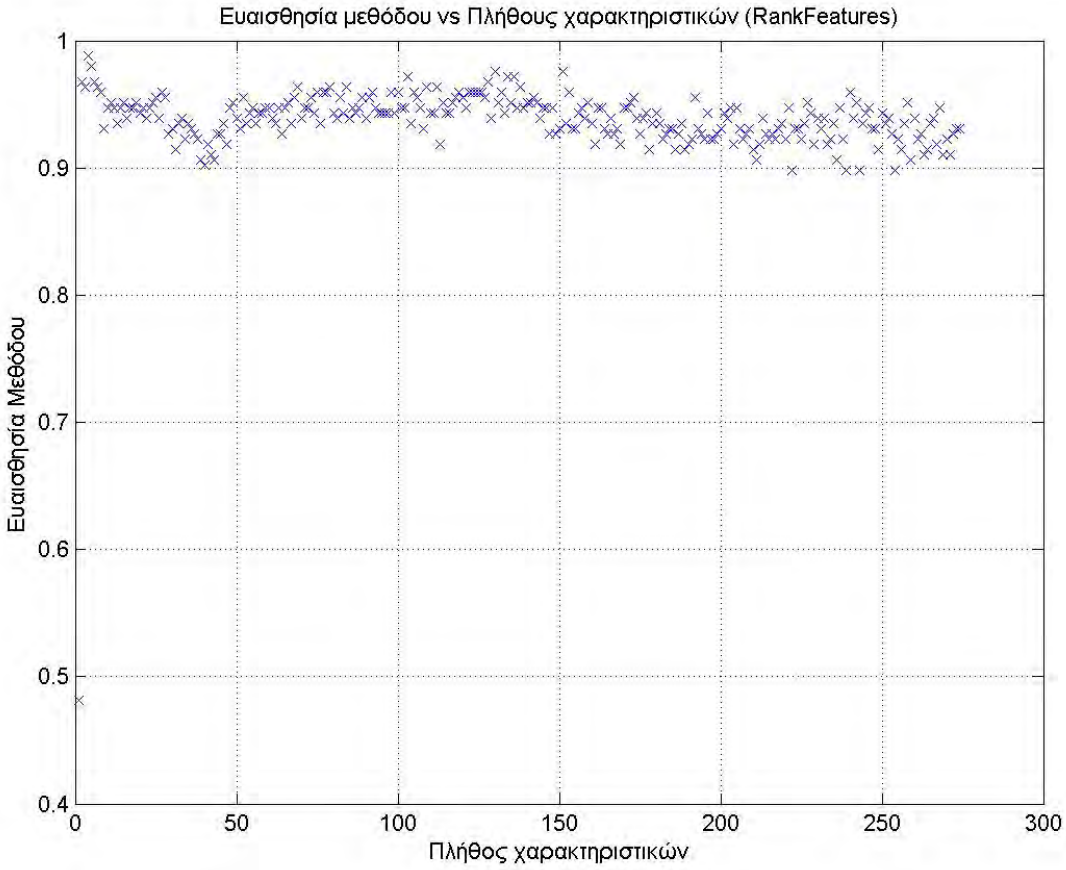
Παρατηρούμε από το Σχήμα 20 και το Σχήμα 21 ότι ενώ οι τιμές της ευαισθησίας της μεθόδου ακολουθούν την ίδια τάση με τις τιμές του μέσου ποσοστού ορθής ταξινόμησης οι τιμές της ειδικότητας παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις με την προσθήκη χαρακτηριστικών. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει το παραπάνω είναι ότι το πλήθος των περιστατικών των δύο ομάδων διαφέρει σημαντικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μεταβολή του παρανομαστή της ειδικότητας να μεταβάλλεται έντονα καθότι στον παρανομαστή το μικρό πλήθος των αληθώς αρνητικών επηρεάζεται έντονα από το πλήθος των ψευδώς θετικών.

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν αν θεωρήσουμε τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ως ανεξάρτητα και υπολογίσουμε τη διαχωριστική τους ικανότητα. Με τον τρόπο αυτό διατάσουμε τα χαρακτηριστικά από αυτό με τη μεγαλύτερη διαχωριστική ικανότητα έως αυτό με τη μικρότερη και στη συνέχεια πραγματοποιούμε ταξινόμηση στις δύο κλάσεις προσθέτωντας διαδοχικά

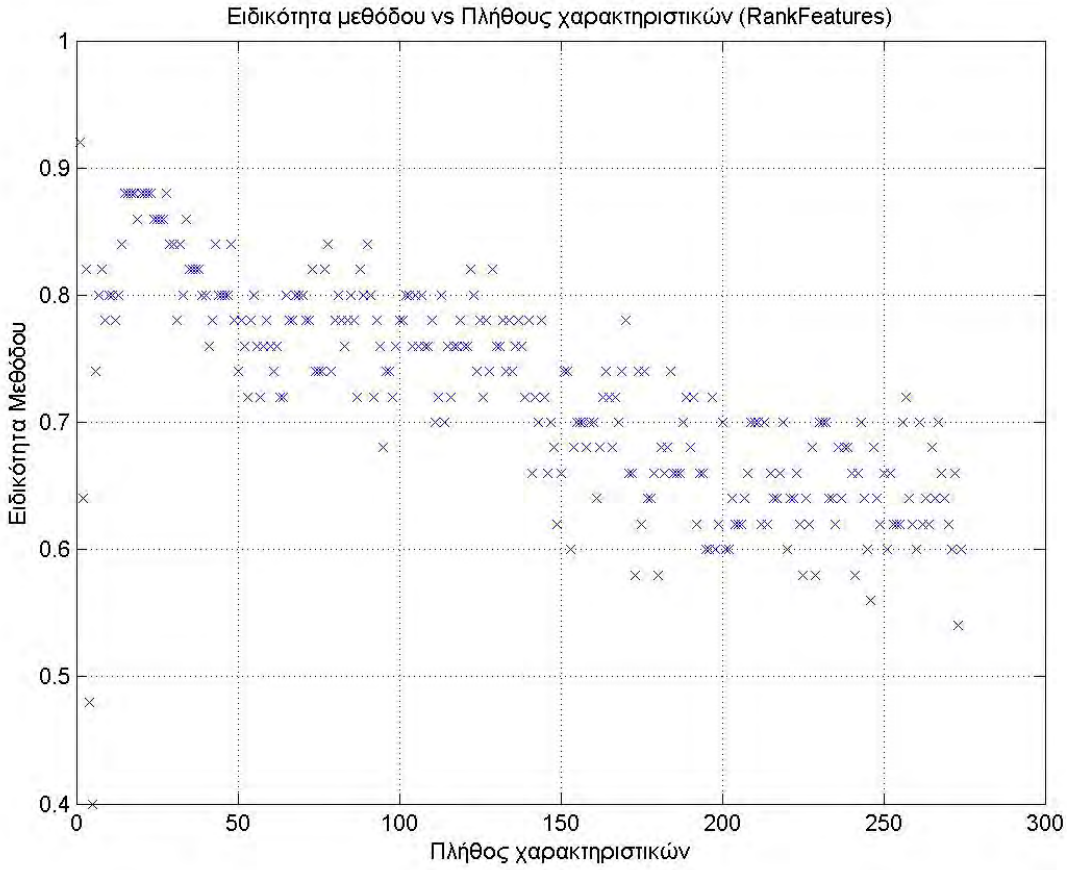
χαρακτηριστικά με μικρότερη διαχωριστική ικανότητα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν.



ΣΧΗΜΑ 27: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ RANK FEATURES



ΣΧΗΜΑ 28: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ RANK FEATURES



ΣΧΗΜΑ 29: ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ RANK FEATURES

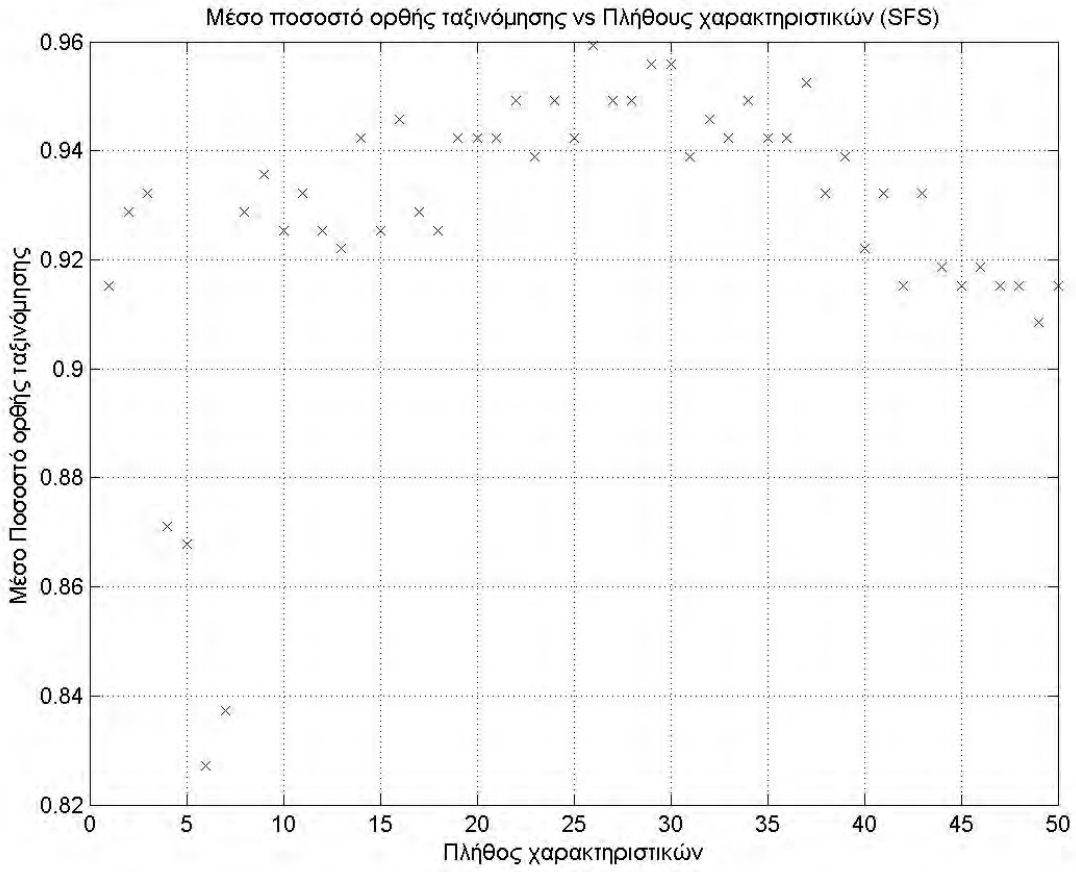
Οι σημαντικότερες παρατηρήσεις στο συγκεκριμένο πείραμα καταδεικνύουν ότι τα πρώτα χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτουν τη μεγαλύτερη διαχωριστική ικανότητα προσφέρουν σαφώς μεγαλύτερο μέσο ποσοστό ορθών ταξινομήσεων που αγγίζει το 0.95(95%) το οποίο διατηρείται σχετικά σταθερό στη ζώνη 0.95(95%) έως 0.85(85%). Η ευαισθησία της μεθόδου διατηρείται επίσης σχετικά σταθερή σε υψηλά ποσοστά ενώ η ειδικότητα παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις και πτωτική τάση λόγω του γεγονότος στο οποίο ήδη έχουμε αναφερθεί στα προηγούμενα.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τον αλγόριθμο SFS για την επιλογή των χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα εκτελούμε τον αλγόριθμο ένα μεγάλο πλήθος επαναληψεων διαλέγοντας κάθε φορά και διαφορετικό πλήθος από βέλτιστα χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζουν καλή διαχωρισιμότητα. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο βέλτιστος συνδυασμός, δηλαδή αυτός που επιτυγχάνει το βέλτιστο αποτέλεσμα για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Στην παρούσα εργασία

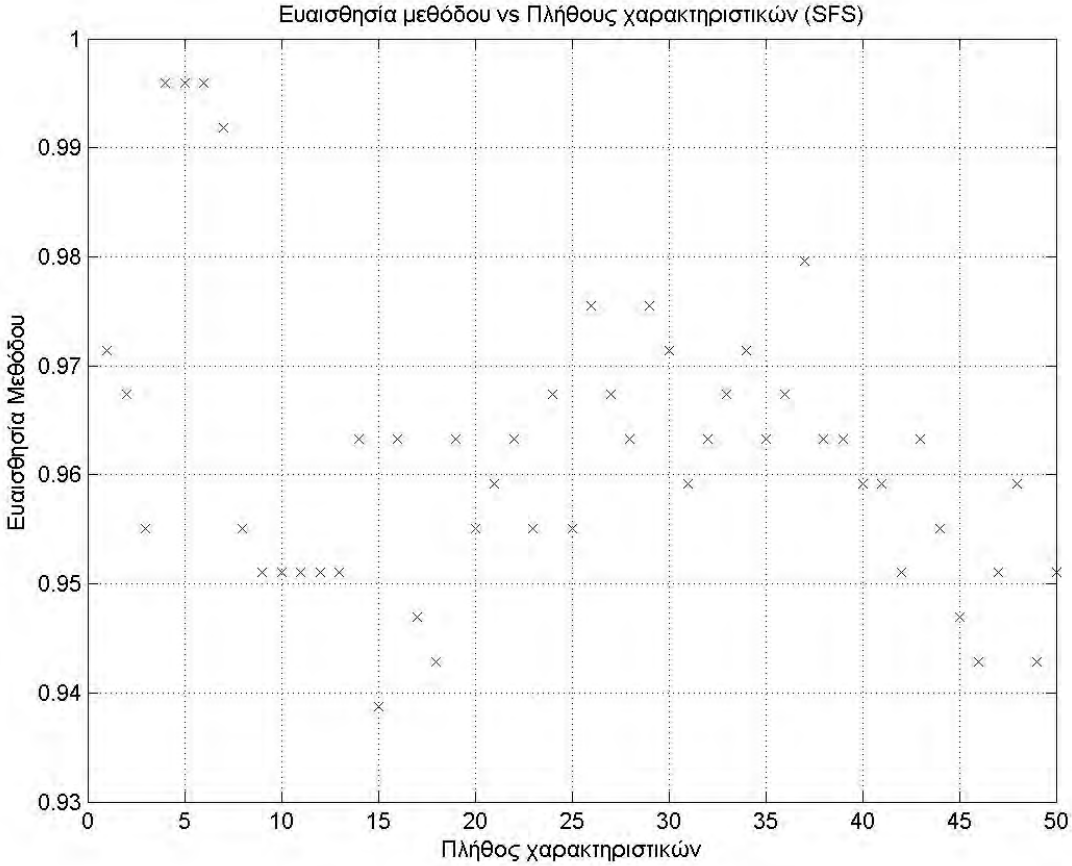
πραγματοποιείται διερεύνηση όλων των δυνατών ομάδων χαρακτηριστικών μέχρι την τιμή 50.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση έχει ληφθεί μέριμνα ώστε στην πείπτωση όπου προκύψουν περισσότερα του ενός διανυσμάτων με το ίδιο ποσοστό ορθής ταξινόμησης επιλέγεται αυτό που περιέχει το μικρότερο πλήθος χαρακτηριστικών.

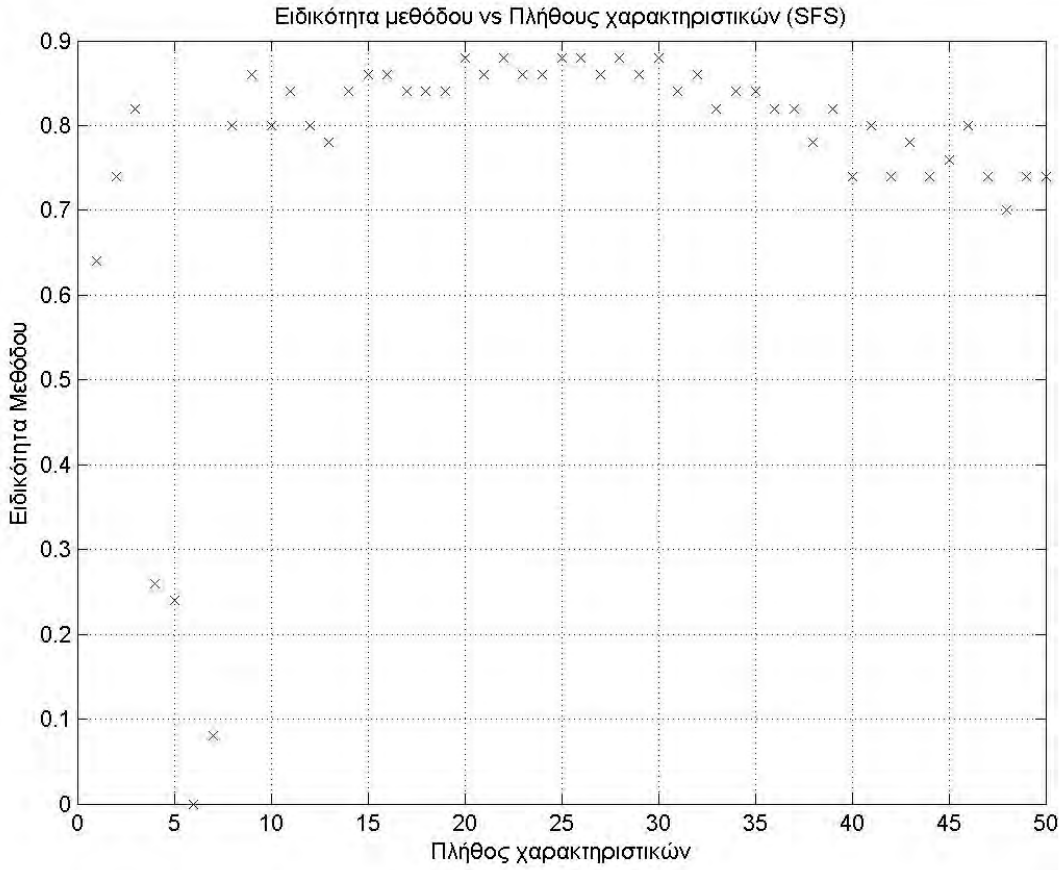
Εκτελώντας τα συγκεκριμένα πειράματα προκύπτει ότι ο βέλτιστος συνδυασμός χαρακτηριστικών στο παραπάνω εύρος είναι μοναδικός, περιλαμβάνει 26 χαρακτηριστικά και επιτυγχάνει ένα ποσοστό 0.9593(95.93%), ευαισθησία 0.9755(97.55%) και ειδικότητα 0.88(88%) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 25 - Σχήμα 27.



ΣΧΗΜΑ 30: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SFS



ΣΧΗΜΑ 31: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ SFS



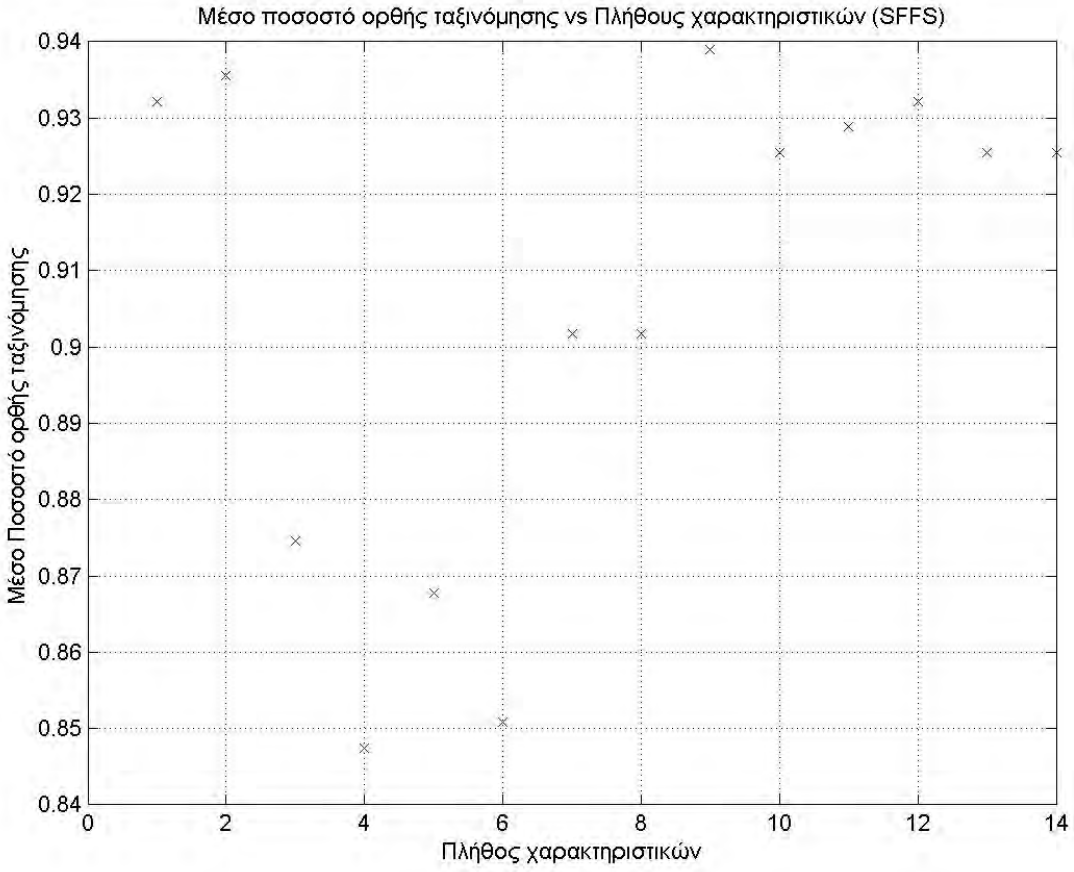
ΣΧΗΜΑ 32: ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ SFS

Ο συνδυασμός των 26 χαρακτηριστικών που επιτυγχάνει το παραπάνω αποτέλεσμα αναλυτικά περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά f3, f8, f20, f64, f69, f85, f86, f88, f90, f98, f102, f106, f107, f110, f111, f112, f162, f177, f182, f195, f197, f215, f224, f229, f234, f249.

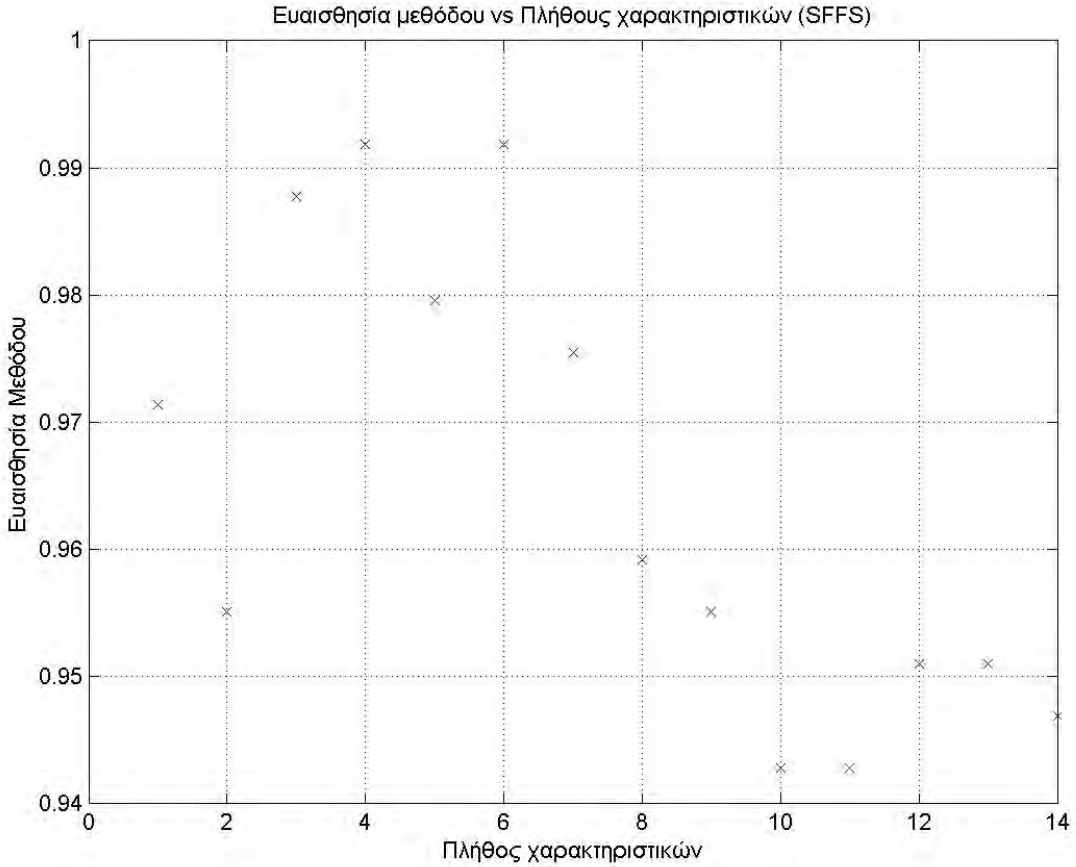
Τέλος παραθέτουμε τα αποτελέσματα με τον αλγόριθμο SFFS για την επιλογή των χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα όπως και στην προηγούμενη περίπτωση εκτελούμε τον αλγόριθμο ένα μεγάλο πλήθος επαναληψεων διαλέγοντας κάθε φορά και διαφορετικό πλήθος από βέλτιστα χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζουν καλή διαχωρισιμότητα. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο βέλτιστος συνδυασμός, δηλαδή αυτός που επιτυγχάνει το βέλτιστο αποτέλεσμα για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση όλων των δυνατών ομάδων χαρακτηριστικών μέχρι την τιμή 15 όπως αναφέρθηκε για λόγους υπολογιστικής πολυπλοκότητας του αλγορίθμου.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στα προηγούμενα αλλά και στο κεφάλαιο που αφορά την υλοποίηση έχει ληφθεί μέριμνα ώστε στην πείπτωση όπου προκύψουν περισσότερα του ενός διανυσμάτων με το ίδιο ποσοστό ορθής ταξινόμησης επιλέγεται αυτό που περιέχει το μικρότερο πλήθος χαρακτηριστικών.

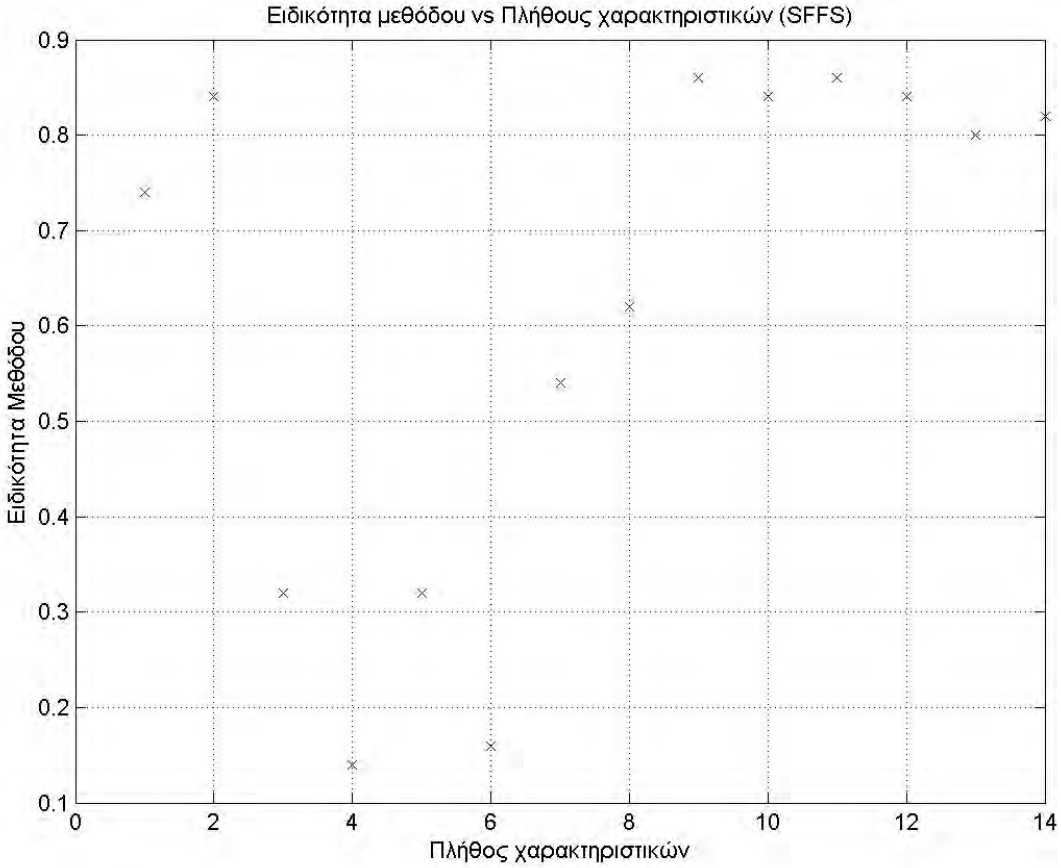
Εκτελώντας τα συγκεκριμένα πειράματα προκύπτει ότι ο βέλτιστος συνδυασμός χαρακτηριστικών στο παραπάνω εύρος είναι μοναδικός, περιλαμβάνει 9 χαρακτηριστικά και επιτυγχάνει ένα ποσοστό 0.939(93.9%), ευαισθησία 0.9551(95.51%) και ειδικότητα 0.86(86%) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 25 - Σχήμα 27.



ΣΧΗΜΑ 33: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΡΘΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SFFS



ΣΧΗΜΑ 34: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ SFFS



ΣΧΗΜΑ 35: ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ SFFS

6

Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίσουμε τα βασικότερα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη μας και τα βασικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν.

6.1 Συνοπτικά αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Στον Πίνακα 1 περιέχονται συγκεντρωτικά τα κυριότερα αποτελέσματα για κάθε μία από τις μεθόδους οι οποίες μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μέθοδος	*Μέσο Ποσοστό ορθής Ταξινόμησης(%)*	*Ευαισθησία (%)*	*Ειδικότητα (%)*
Μονήρη Χαρακτηριστικά	>90	>95	>95
Αυξανόμενο Πλήθος Χαρακτηριστικών	<90	>94	>80
Rank Features	>90	>95	>85

SFS	>95	>99	>85
SFFS	>90	>99	>85

Οι βασικές παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν με βάση τον τελευταίο πίνακα είναι ότι δεν παρατηρείται μεγάλη διακύμανση μεταξύ των διαφόρων μεθόδων, συγκρίνοντας πάντα τα καλύτερα διανύσματα που προέκυψαν για κάθε μέθοδο.

Επίσης παρατηρούμε ότι όπως ήταν αναμενόμενο η αύξηση των χαρακτηριστικών ενός διανύσματος χωρίς κάποιο κριτήριο βελτιστοποίησης οδηγεί σε αύξηση διαστάσεων χωρίς την αύξηση της διαχωρισιμότητας των κλάσεων και παρότι ο ταξινομητής SVM είναι ανθεκτικός στο θόρυβο που εισάγεται με την αύξηση των διαστάσεων.

Τέλος προκύπτει ότι οι τρείς μέθοδοι (Rank Features, SFS και SFFS) παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούν ,με την καλύτερη απόδοση να την επιτυγχάνει ο ταξινομητής για τον οποίο τα χαρακτηριστικά επιλέγονται με βάση τον αλγόριθμό SFS. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση ωστόσο τα ποσοστά που επιτυγχάνονται είναι ιδιαίτερα υψηλά.

Επιπλέον απόδοση μπορεί να επιτευχθεί με συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών όπως επίσης και με αύξηση του πλήθους των δειγμάτων ώστε να είναι πολύ περισσότερα από το πλήθος των χαρακτηριστικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση του δείγματος.

7

Παράρτημα Ι

Στο παράρτημα Ι περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά όπως έχουν οριστεί στο πρωτότυπο δείγμα και η βασική συνάρτηση που αναπτύχθηκε για την υλοποίηση των πειραμάτων. Ο πλήρης κώδικας της διπλωματικής καθώς και τα δεδομένα περιλαμβάνεται στα ηλεκτρονικά αρχεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

7.1 Αναλυτικός κατάλογος χαρακτηριστικών – κλάσεων

7.1.1 Χαρακτηριστικά

1 Age: Age in years , linear

2 Sex: Sex (0 = male; 1 = female) , nominal

3 Height: Height in centimeters , linear

4 Weight: Weight in kilograms , linear

5 QRS duration: Average of QRS duration in msec., linear

6 P-R interval: Average duration between onset of P and Q waves in msec., linear

7 Q-T interval: Average duration between onset of Q and offset of T waves in msec., linear

8 T interval: Average duration of T wave in msec., linear

9 P interval: Average duration of P wave in msec., linear

Vector angles in degrees on front plane of:, linear

10 QRS

11 T

12 P

13 QRST

14 J

15 Heart rate: Number of heart beats per minute ,linear

Of channel DI:

Average width, in msec., of: linear

16 Q wave

17 R wave

18 S wave

19 R' wave, small peak just after R

20 S' wave

21 Number of intrinsic deflections, linear

22 Existence of ragged R wave, nominal

23 Existence of diphasic derivation of R wave, nominal

24 Existence of ragged P wave, nominal

25 Existence of diphasic derivation of P wave, nominal

26 Existence of ragged T wave, nominal

27 Existence of diphasic derivation of T wave, nominal

Of channel DII:

28 .. 39 (similar to 16 .. 27 of channel DI)

Of channels DIII:

40 .. 51

Of channel AVR:

52 .. 63

Of channel AVL:

64 .. 75

Of channel AVF:

76 .. 87

Of channel V1:

88 .. 99

Of channel V2:

100 .. 111

Of channel V3:

112 .. 123

Of channel V4:

124 .. 135

Of channel V5:

136 .. 147

Of channel V6:

148 .. 159

Of channel DI:

Amplitude , * 0.1 milivolt, of

160 JJ wave, linear

161 Q wave, linear

162 R wave, linear

163 S wave, linear

164 R' wave, linear

165 S' wave, linear

166 P wave, linear

167 T wave, linear

168 QRSA , Sum of areas of all segments divided by 10,
(Area= width * height / 2), linear

169 QRSTA = QRSA + 0.5 * width of T wave * 0.1 * height of T
wave. (If T is diphasic then the bigger segment is
considered), linear

Of channel DII:

170 .. 179

Of channel DIII:

180 .. 189

Of channel AVR:

190 .. 199

Of channel AVL:

200 .. 209

Of channel AVF:

210 .. 219

Of channel V1:

220 .. 229

Of channel V2:

230 .. 239

Of channel V3:

240 .. 249

Of channel V4:

250 .. 259

Of channel V5:

260 .. 269

Of channel V6:

270 .. 279

7.1.2 Κατανομή κλάσεων

Class code :	Class :	Number of instances:
01	Normal	245
02	Ischemic changes (Coronary Artery Disease)	44
03	Old Anterior Myocardial Infarction	15
04	Old Inferior Myocardial Infarction	15
05	Sinus tachycardy	13
06	Sinus bradycardy	25
07	Ventricular Premature Contraction (PVC)	3

08	Supraventricular Premature Contraction	2
09	Left bundle branch block	9
10	Right bundle branch block	50
11	1. degree AtrioVentricular block	0
12	2. degree AV block	0
13	3. degree AV block	0
14	Left ventricule hypertrophy	4
15	Atrial Fibrillation or Flutter	5
16	Others	22

7.1.3 Κύρια συνάρτηση

```
% Υλοποίηση σε MATLAB 2014a
% Χρησιμοποιήθηκαν ενσωματωμένες συναρτήσεις του MATLAB καθώς
% ελεύθερα διαθέσιμες συναρτήσεις στο διαδίκτυο (Οι συγγραφείς τους
% περιλαμβάνονται στα σχόλια των αντίστοιχων συναρτήσεων)

%% Αρχικοποίηση
clear all
close all
warning off
%% Ανάγνωση Δεδομένων απο Αρχείο Χαρακτηριστικών
[FileName,PathName,FilterIndex] = uigetfile('*.xlsx');


fileID = fopen([PathName FileName]);

[num,txt,alldata]=xlsread([PathName FileName]);

% Εύρεση χαρακτηριστικών με ελλίπουσες τιμές (θα εξαιρεθούν απο τη μελέτη)
NaNFeatures=find(sum(isnan(num))>0);

% Εύρεση ιστογράμματος συχνότητας εμφάνισης διαφορετικών κλάσεων
nel=hist(num(:,end),16);
figure
hist(num(:,end),16)
title('Συχνότητα εμφάνισης κλάσεων')
grid on

% Ταξινόμηση κλάσεων με βάση τη συχνότητα (1=Φυσιολογικά 2-16=παθολογικά)
[b,id]=sort(nel,'descend' );

% Ανάθεση δείκτη φυσιολογικής κλάσης
normalid=id(1);
```

```
% Ανάθεση δείκτη παθολογικής(-ων) κλάσης(-εων)
pathid=id(2);

% Τροποποίηση πίνακα χαρακτηριστικών ώστε να περιέχει μόνο τα περιστατικά
% των κλάσεων φυσιολογικά και όσες παθολογικές έχουμε επιλέξει, αλλά και
% εξαίρεσης των χαρακτηριστικών που έχουν ελλείπουσες τιμές
classesid=find(num(:,end)==normalid | num(:,end)==pathid);
featureids=1:size(num,2);
featureids(:,NaNFeatures)=[];
features=num(classesid,:);
features(:,NaNFeatures)=[];
features(:,1:end-1)=zscore(features(:,1:end-1));

%% Εφαρμογή Αλγορίθμων επιλογής Χαρακτηριστικών και αποτελέσματα
ταξινόμησης
%1. Χρήση ενός χαρακτηριστικού για την ταξινόμηση με τον SVM
ccr_singleSVM=[];
sens_singleSVM=[];
spec_singleSVM=[];

for i=1:size(features,2)-1

   [cp_SVM] = SVM_Classifier([features(:,i) features(:,end)], 10 );
   disp(['single' num2str(i)])
   ccr_singleSVM=[ccr_singleSVM cp_SVM.CorrectRate];
   sens_singleSVM=[sens_singleSVM cp_SVM.Sensitivity];
   spec_singleSVM=[spec_singleSVM cp_SVM.Specificity];
end

figure
plot(1:size(features,2)-1,ccr_singleSVM,'bx')
title('Μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης vs Πλήθους χαρακτηριστικών (Ένα
Χαρακτηριστικό)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Μέσο Ποσοστό ορθής ταξινόμησης')
grid on

figure
plot(1:size(features,2)-1,sens_singleSVM,'bx')
title('Ευαισθησία μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (Ένα Χαρακτηριστικό)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ευαισθησία Μεθόδου')
grid on

figure
plot(1:size(features,2)-1,spec_singleSVM,'bx')
title('Ειδικότητα μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (Ένα Χαρακτηριστικό)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ειδικότητα Μεθόδου')
```

```
grid on

%2. Χρήση όλων των χαρακτηριστικών απο τον ταξινομητή SVM χωρίς μέθοδο
%επιλογής χαρακτηριστικών
ccr_SVM=[];
sens_SVM=[];
spec_SVM=[];

for i=1:size(features,2)-1

   [cp_SVM] = SVM_Classifier([features(:,1:i) features(:,end)], 10 );
   disp(num2str(i))
   ccr_SVM=[ccr_SVM cp_SVM.CorrectRate];
   sens_SVM=[sens_SVM cp_SVM.Sensitivity];
   spec_SVM=[spec_SVM cp_SVM.Specificity];
end

figure
plot(1:size(features,2)-1,ccr_SVM,'bx')
title('Μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης vs Πλήθους χαρακτηριστικών')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Μέσο Ποσοστό ορθής ταξινόμησης')
grid on
figure
plot(1:size(features,2)-1,sens_SVM,'bx')
title('Ευαισθησία μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ευαισθησία Μεθόδου')
grid on
figure
plot(1:size(features,2)-1,spec_SVM,'bx')
title('Ειδικότητα μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ειδικότητα Μεθόδου')
grid on

%3. Rank Features
[IDX, Z] = rankfeatures(features(:,1:end-1)', features(:,end)');

ccr_RankSVM=[];
sens_RankSVM=[];
spec_RankSVM=[];

for i=1:length(IDX)

   [cp_SVM] = SVM_Classifier([features(:,IDX(1:i)) features(:,end)], 10 );
disp(['Rank' num2str(i)])
   ccr_RankSVM=[ccr_RankSVM cp_SVM.CorrectRate];
   sens_RankSVM=[sens_RankSVM cp_SVM.Sensitivity];
   spec_RankSVM=[spec_RankSVM cp_SVM.Specificity];
```

```
end

figure
plot(1:size(features,2)-1,ccr_RankSVM,'bx')
title('Μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης vs Πλήθους χαρακτηριστικών
(RankFeatures)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Μέσο Ποσοστό ορθής ταξινόμησης')
grid on
figure
plot(1:size(features,2)-1,sens_RankSVM,'bx')
title('Ευαισθησία μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (RankFeatures)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ευαισθησία Μεθόδου')
grid on
figure
plot(1:size(features,2)-1,spec_RankSVM,'bx')
title('Ειδικότητα μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (RankFeatures)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ειδικότητα Μεθόδου')
grid on

%4.Sequential Forward Selection
indnormal=find(features(:,end)==normalid);
indpath=find(features(:,end)==pathid);

ccr_SFSSVM=[];
sens_SFSSVM=[];
spec_SFSSVM=[];

for i=1:50

[cLbestSFS,JSFS]=SequentialForwardSelection(features(indnormal,1:end-
1)',features(indpath,1:end-1)','ScatterMatrices',i);
% fprintf('\n Sequential Forward Selection -> Best of two: ');
% fprintf('(%d) ',inds(cLbestSFS));

  [cp_SFSSVM] = SVM_Classifier([features(:,cLbestSFS) features(:,end)], 10 );
disp(['SFS' num2str(i)])
    ccr_SFSSVM=[ccr_SFSSVM cp_SFSSVM.CorrectRate];
    sens_SFSSVM=[sens_SFSSVM cp_SFSSVM.Sensitivity];
    spec_SFSSVM=[spec_SFSSVM cp_SFSSVM.Specificity];
end
% Εύρεση βέλτιστου συνδυασμού χαρακτηριστικών ως προς το μέσο ποσοστό
% ταξινόμησης. Σε περίπτωση ύπαρξης πολλών δυνδυασμών επιλογή αυτού με το
% μικρότερο πλήθος χαρακτηριστικών
bcombSFS=find(ccr_SFSSVM==max(ccr_SFSSVM),1,'first');
```

```
[cLbestSFSbcomb,JSFS]=SequentialForwardSelection(features(indnormal,1:end-
1)',features(indpath,1:end-1)','ScatterMatrices',bcombSFS);

figure
plot(1:length(ccr_SFSSVM),ccr_SFSSVM,'bx')
title('Μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Μέσο Ποσοστό ορθής ταξινόμησης')
grid on

figure
plot(1:length(sens_SFSSVM),sens_SFSSVM,'bx')
title('Ευαισθησία μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ευαισθησία Μεθόδου')
grid on

figure
plot(1:length(spec_SFSSVM),spec_SFSSVM,'bx')
title('Ειδικότητα μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ειδικότητα Μεθόδου')
grid on

%5. Sequential Forward Floating Selection
ccr_SFFSSVM=[];
sens_SFFSSVM=[];
spec_SFFSSVM=[];
for i=2:15

[cLbestSFFS,JSFS]=SequentialForwardFloatingSelection(features(indnormal,1:end-
1)',features(indpath,1:end-1)','ScatterMatrices',i);
% fprintf('\n Sequential Forward Selection -> Best of two: ');
% fprintf('(%d) ',inds(cLbestSFS));

  [cp_SFFSSVM] = SVM_Classifier([features(:,cLbestSFFS) features(:,end)], 10 );
disp(['SFFS' num2str(i)])
    ccr_SFFSSVM=[ccr_SFFSSVM cp_SFFSSVM.CorrectRate];
    sens_SFFSSVM=[sens_SFFSSVM cp_SFFSSVM.Sensitivity];
    spec_SFFSSVM=[spec_SFFSSVM cp_SFFSSVM.Specificity];
end
% Εύρεση βέλτιστου συνδυασμού χαρακτηριστικών ως προς το μέσο ποσοστό
% ταξινόμησης. Σε περίπτωση ύπαρξης πολλών δυνδυασμών επιλογή αυτού με το
% μικρότερο πλήθος χαρακτηριστικών
bcombSFFS=find(ccr_SFFSSVM==max(ccr_SFFSSVM),1,'first');
[cLbestSFFSbcomb,JSFS]=SequentialForwardFloatingSelection(features(indnormal,1
:end-1)',features(indpath,1:end-1)','ScatterMatrices',bcombSFFS);

figure
plot(1:length(ccr_SFFSSVM),ccr_SFFSSVM,'bx')
```

```
title('Μέσο ποσοστό ορθής ταξινόμησης vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Μέσο Ποσοστό ορθής ταξινόμησης')
grid on

figure
plot(1:length(sens_SFFSSVM),sens_SFFSSVM,'bx')
title('Ευαισθησία μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ευαισθησία Μεθόδου')
grid on

figure
plot(1:length(spec_SFFSSVM),spec_SFFSSVM,'bx')
title('Ειδικότητα μεθόδου vs Πλήθους χαρακτηριστικών (SFFS)')
xlabel('Πλήθος χαρακτηριστικών')
ylabel('Ειδικότητα Μεθόδου')
grid on
```

8

Βιβλιογραφία

1. R. Snell, Κλινική Ανατομική, Εκδόσεις Λίτσας, 2009
2. Καρδιολογία Τόμος Ι, Δημήτριος Κρεμαστινός, εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, 2009, 2η έκδοση
3. H.A. Guvenir, S. Acar, G. Demiroz, A. Cekin, "A supervised machine learning algorithm for arrhythmia analysis," in Computers in Cardiology 1997, pp.433-436, 1997
4. S.M. Jadhav, S.L. Nalbalwar, A. Ghatol, "Artificial Neural Network based cardiac arrhythmia classification using ECG signal data," in Electronics and Information Engineering (ICEIE), pp.V1-228-V1-231, 2010
5. S.M. Jadhav, S.L. Nalbalwar, A. Ghatol, "Modular neural network based arrhythmia classification system using ecg signal data, " International Journal of Information Technology and Knowledge Management, vol. 4(1), pp. 205-209, 2011
6. C.F. Aliferis, I. Tsamardinos, and A. Statnikov. “HITON: A Novel Markov Blanket Algorithm for Optimal Variable Selection,” AMIA Annual Symposium Proceedings, pp. 21–25, 2003
7. S. Theodoridis, A. Pikrakis, K. Koutroumbas, D. Cavouras, Introduction to Pattern Recognition: A Matlab Approach, 1st edition, Academic Press, 2009

8. S. Theodoridis and K. Koutroumbas, Pattern Recognition, 4th Edition, Academic Press, 2009