



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**ΗΚΓ Λειτουργία – Ανάλυση σήματος με τη χρήση του λογισμικού
BioBench**

Τζιτζιλή Γεωργία

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Υπεύθυνος
Γκανέτσος Θεόδωρος
Αναπληρωτής Καθηγητής**

Λαμία, Ιούλιος 2009



**UNIVERSITY OF CENTRAL GREECE
DEPARTMENT OF INFORMATICS WITH
APPLICATIONS IN BIOMEDICINE**

ECG Operation – Signal analysis using the BioBench software

Tzitzili Georgia

GRAGUATE THESIS

Supervisor

Gkanetsos Theodoros

Associate Professor

Lamia, July 2009

Εξεταστική Επιτροπή:

- I. Γκανέτσος Θεόδωρος, Αναπληρωτής καθηγητής (επιβλέπων)
- II. Μαγκλογιάννης Ηλίας, Επίκουρος Καθηγητής
- III. Μπάγκος Παντελής, Επίκουρος Καθηγητής

Τα πνευματικά δικαιώματα (copyrights) που προκύπτουν από την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ανήκουν στους συντελεστές που συνέβαλαν στην εκπόνησή της, δηλαδή στη φοιτήτρια Τζιτζιλή Γεωργία, τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ.Θεόδωρο Γκανέτσο και το Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλλαν και βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ.Θεόδωρο Γκανέτσο για την πολύτιμη βοήθειά του και για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ.Κωνσταντίνο Καλοβρέκτη για την αποτελεσματική βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, αισθάνομαι για άλλη μια φορά την ανάγκη να ευχαριστήσω τους γονείς μου Αθανάσιο και Αγάπη, τον αδερφό μου Παναγιώτη και τους φίλους μου για την υποστήριξη και την υπομονή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ	9
ABSTRACT	11
KEYWORDS	11
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΚΓ	15
1.1. ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΙΑ	17
1.1.1. Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΖΩΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ	17
1.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΑ	21
1.1.3. Η ΠΡΩΤΗ ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΛΙΝΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	33
ΔΟΜΗ ΗΚΓ – ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	33
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΓΩΓΕΣ	35
2.1.1. ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ	37
2.1.1.1. Διπολικές απαγωγές (I, II και III)	37
2.1.1.2. Μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aVR, aVL, aVF)	41
2.1.1.3. Σχέση μεταξύ μονοπολικών και διπολικών απαγωγών των άκρων	44
2.1.2. ΠΡΟΚΑΡΔΙΕΣ (ΘΩΡΑΚΙΚΕΣ) ΑΠΑΓΩΓΕΣ	45
2.1.3. ΛΗΨΗ ΤΟΥ ΗΚΓ	47
2.1.3.1. Το ΗΚΓ των 12 απαγωγών: Απαγωγές του μετωπιαίου και οριζόντιου επιπέδου	47
2.1.4. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MONITORS) ΚΑΙ ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΗΨΗΣ	48
2.1.5. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	50
2.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΗΚΓ	51
2.2.1. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ	51
2.2.1.1. Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (nuclear magnetic resonance – NMR)	52
2.2.1.2. Το φαινόμενο της μαγνητικής αποκατάστασης	52
2.2.1.3. Ελεύθερη απόσβεση επαγωγής (FID)	52
2.2.1.4. Αντίθεση εικόνας ακολουθίες απεικόνισης	53

2.2.2. ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	54
2.2.2.1. Εφαρμογές και ακολουθίες της μαγνητικής αγγειογραφίας	54
2.2.2.2. Αγγειογραφία «χρόνου πτήσης» (Time Of Flight MRA)	55
2.2.2.3. Μαγνητική αγγειογραφία αντίθεσης φάσης (Phase Contrast angiography)	55
2.2.2.4. Απεικόνιση τριών διαστάσεων	56
2.2.2.5. Απεικόνιση χημικής μετατόπισης πρωτονίων (Proton chemical shift imaging)	56
2.2.2.6. Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (functional magnetic resonance imaging)	56
2.2.2.7. Μεταφορά μαγνήτισης	57
2.2.2.8. Δυναμική απεικόνιση (Dynamic Imaging)	57
2.2.2.9. Απεικόνιση αιμάτωσης	58
2.2.2.10. Προβολές μέγιστης έντασης (Maximum Intensity Projection – MIP)	58
2.2.2.11. Ανακατασκευή πολλαπλών επιπέδων (Multi-Planar Reconstruction – MPR)	58
2.2.2.12. Τεχνικές παράλληλης απεικόνισης (Parallel imaging techniques)	59
2.2.2.13. Η τεχνική CINE	59
2.2.2.14. Καρδιακή σήμανση (cardiac tagging, SPAMM, rest grid)	60
2.2.3. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	60
2.2.3.1. Η μορφή και τα χαρακτηριστικά των φασμάτων	61
2.2.3.2. Πυρήνες εκτός των πρωτονίων που χρησιμοποιείται για λήψη φασμάτων NMR	61
2.2.4. ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥ	61
2.2.5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ	62
2.2.5.1. Λόγος σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio – SIR)	63
2.2.5.2. Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution)	63
2.2.5.3. Αντίθεση αντικειμένου (subject contrast) ή αντίθεση ιστού (tissue contrast)	64
2.2.5.4. Αντίθεση εικόνας (image contrast) και λόγος αντίθεσης προς θόρυβο (contrast to noise ratio - CNR)	64
2.2.5.5. Ψευδενδείξεις	64
2.2.6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ	64
2.2.6.1. Δονήσεις	68
2.2.6.2. Ακουστική-παραγωγή ηχητικού θορύβου	68
2.2.6.3. Σύστημα εξαερισμού δωματίου εξέτασης	69
2.2.6.4. Επιλογή του κατασκευαστή της εγκατάστασης	69
2.2.6.5. Προκαταρκτικός σχεδιασμός	69
2.2.6.6. Τελικός σχεδιασμός	69
2.2.6.7. Ολοκλήρωση της εγκατάστασης	69
2.2.6.8. Εγκατάσταση και βαθμονόμηση	70
2.2.6.9. Επίτευξη υπεραγωγιμότητας και σταθεροποίηση στατικού μαγνητικού πεδίου	70
2.2.6.10. Εκπαίδευση χειριστών και ιατρών	70
2.2.6.11. Διαδικασίες ελέγχου αποδοχής του εγκατεστημένου συστήματος μαγνητικής τομογραφίας	70
2.2.7. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ	71
2.2.7.1. Επιπτώσεις του στατικού μαγνητικού πεδίου	71
2.2.7.2. Επιπτώσεις των βαθμιδωτών πεδίων	72
2.2.7.3. Επιπτώσεις των παλμών RF	73
2.2.7.4. Σε ποιές περιπτώσεις δεν είναι ασφαλής η μαγνητική τομογραφία;	73
2.2.7.5. Συμπερασματικά	74
2.2.8. ΨΕΥΔΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	74
2.2.8.1. Εισαγωγικά	74
2.2.8.2. Ψευδενδείξεις λόγω κίνησης	74
2.2.8.3. Ψευδενδείξεις λόγω μαγνητικής επιδεκτικότητας	76
2.2.8.4. Ψευδενδείξεις χημικής μετατόπισης	76
2.2.8.5. Ψευδενδείξεις αναδίπλωσης (aliasing-wrap around artifact)	77
2.2.8.6. Ψευδενδείξεις μερικού όγκου	77
2.2.8.7. Ψευδενδείξεις κολόβωσης	78
2.2.8.8. Zebra stripes	78
2.2.8.9. Ψευδενδείξεις λόγω επικάλυψης τομής	78
2.2.8.10. Ψευδενδείξεις υπερχειλίσης ισχύος RF	78
2.2.8.11. Ψευδενδείξεις ροής και εισόδου τομής	78

2.2.8.12. Ψευδενδείξεις Zipper	78
2.2.8.13. Ψευδενδείξεις σκίασης	79
2.2.8.14. Σφάλματα εκτύπωσης, αποθήκευσης και ανάγνωσης δεδομένων	79
2.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΚΓ	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	87
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ LABVIEW – ΒΙΟΒENCH	87
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΙΟΒENCH	89
3.1.1. ΒΗΜΑ 1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ	90
3.1.2. ΒΗΜΑ 2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΒENCH	91
3.1.3. ΒΗΜΑ 3. ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ	92
3.1.4. ΒΗΜΑ 4. ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	93
3.1.5. ΒΗΜΑ 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ	94
3.1.6. ΒΗΜΑ 6. ΕΠΙΣΤΡΩΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	95
3.2. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	96
3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	97
3.2.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	97
3.2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	101
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LabVIEW	103
4.1.1. FRONT PANEL	103
4.1.2. BLOCK DIAGRAM	104
4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	105
4.2.1. Α. ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ^ο (WESpWpECG)	106
4.2.2. Β. ΣΕΝΑΡΙΟ 2 ^ο (WESpWpPBS)	107
4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
4.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	121

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) αντανακλά τα ηλεκτρικά δυναμικά κατά την λειτουργία της καρδιάς και αποτελεί το βασικότερο μέσο ελέγχου της κατάστασής της. Αυτό σε συνδυασμό με την πίεση του αίματος παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στους γιατρούς για μηχανικές και κυκλοφορικές ατέλειες της καρδιάς του ασθενούς. Κατά την καταγραφή του ηλεκτροκαρδιογραφήματος απαραίτητη είναι η ταχύτατη απόκριση της συσκευής στις μεταβολές των δυναμικών του μυοκαρδίου καθώς και ο λιγότερος δυνατός θόρυβος. Οι συνήθεις πηγές που προκαλούν θόρυβο είναι του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα η παραμόρφωση του δικτύου των 50Hz. Ταυτόχρονα, όσο η βιοϊατρική τεχνολογία αυξάνεται, τόσο κρίνεται αναγκαιότερη η απευθείας αποθήκευση των ηλεκτροκαρδιογραφήματων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την πιο εύκολη επεξεργασία του σήματος και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Στην προσπάθεια εξεύρεσης μιας λύσης, παρουσιάζεται μια εξελιγμένη ανάπτυξη ασύρματων αισθητήρων – μαξιλαριών χρησιμοποιώντας ένα ενσωματωμένο σύστημα και το πρωτόκολλο ZigBEE για να αποφύγουμε το λευκό Γκαουσιανό θόρυβο (White Gaussian noise) και τον θόρυβο – παραμόρφωση σήματος, που οφείλεται στη συχνότητα των 50Hz του δικτύου, από τα σήματα του ΗΚΓ και την πίεση του αίματος. Όλες οι πληροφορίες μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό BioBench. Ο χρήστης – γιατρός θα μπορεί να αποκτήσει μέσω του διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο το ηλεκτροκαρδιογράφημα και την πίεση του αίματος του ασθενούς. Στο σύστημα μπορούν να συνδεθούν όργανα βιοϊατρικής μέσω του πρωτοκόλλου RS 232 και οι μετρήσεις να προβληθούν στο λογισμικό LabVIEW.

Λέξεις – κλειδιά: ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ), ανάλυση σήματος, BioBench, LabVIEW, Γκαουσιανός θόρυβος, παραμόρφωση δικτύου 50Hz.

ABSTRACT

Electrocardiogram (ECG) reflects the electric potentials of the heart's function and constitutes the most basic tool in control of its condition. The ECG plus the blood pressure, provide doctors with important information for mechanical and circulatory imperfections of patient's heart. During the recordings of electrocardiogram, the rapid responses of the appliance due to the changes of myocardium potentials and the less possible noise, are essential. The usual noise sources that affect the ECG signal come from the environment and particularly from the power line of 50HZ. Simultaneously, as the biomedicine technology improves, the direct storage of the electrocardiograms in software form, in order to have the easiest signal processing and lead to a conclusion, is becoming of vital importance. Trying to contribute in a solution to the above problem, it is presented an advanced develop of Wireless pads using embedded system and ZigBEE protocol to avoid white Gaussian noise and 50 Hz Power line noise from ECG and Blood Pressure signal measurements. All information can be imported in BioBench Software. The user-doctor can acquire from the internet in real time the electrocardiograph and the pressure blood of a patient. On the above system can be connected bio-instrumentations via RS 232 protocol and the measurements can be screened in LabVIEW Software.

Keywords: Electrocardiogram (ECG), signal analysis, BioBench, LabVIEW, Gaussian noise, 50 Hz Power line noise

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σημαντικότητα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος εμφανίστηκε από την πρώτη κιόλας εφαρμογή του σε κλινική εξέταση. Παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση της καρδιάς, την διάγνωση πιθανής καρδιακής νόσου και την εκτίμηση της βαρύτητάς της. Όλα αυτά τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται για τη λήψη ενός καλού ατομικού ιστορικού (φάκελος ασθενή) και οικογενειακού γενικότερα.

Η δομική ή λειτουργική παθολογική κατάσταση της καρδιάς θα πρέπει να διαγιγνώσκονται εγκαίρως ακόμη και αν το άτομο βρίσκεται σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή και το ιστορικό, τόσο της οικογενείας όσο και του ίδιου, να είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμα. Για τους λόγους αυτούς, όπως και για λειτουργικούς σκοπούς (μικρότερη κατανάλωση χαρτιού) κρίνεται απαραίτητη η λήψη, αποθήκευση και επεξεργασία με σύγχρονα προγράμματα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η ηλεκτροκαρδιογραφική μελέτη αποτελεί ένα εργαλείο στα χέρια του καρδιολόγου. Η παρουσία του ηλεκτροκαρδιοκαρδιογράφου σήμερα σε κάθε καρδιολογική κλινική, στη μονάδα εντατικής θεραπείας, στα εξωτερικά ιατρεία, στο καρδιολογικό ιατρείο ή ακόμα και με τη μορφή φορητού μηχανήματος δίπλα στο κρεβάτι του ασθενούς, αναδεικνύει τη σημαντική συμβολή του στην εφαρμογή της σύγχρονης καρδιολογίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, της τηλεϊατρικής και της βιοϊατρικής τεχνολογίας μπορούν να δώσουν τη δυνατότητα για μια γρήγορη και έγκυρη διάγνωση. Κάτι τέτοιο είναι σίγουρα εφικτό με μια υπολογιστική εφαρμογή του ηλεκτροκαρδιογράφου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΚΓ

1.1. ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.1.1. Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΖΩΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

1600



Εικόνα 1. William Gilbert[1]

Ο William Gilbert, παθολόγος της βασίλισσας Ελισάβετ Ι, εισάγει τον όρο «*electricus*» για αντικείμενα (μονωτές) που έχουν στατική ηλεκτρική ενέργεια. Άντλησε τη λέξη από τα ελληνικά από το ορυκτό ήλεκτρο γνωστό και ως κεχριμπάρι. Είναι γνωστό από τους αρχαίους χρόνους ότι το κεχριμπάρι όταν τρίβεται μπορεί να ανυψώσει τα ελαφριά υλικά. Ο Gilbert πρόσθεσε άλλα παραδείγματα, όπως με το θείο, και περιέγραψε ότι έγινε αργότερα γνωστό ως «στατική ηλεκτρική ενέργεια».

1646

Ο Thomas Browne, παθολόγος, είναι ο πρώτος που χρησιμοποίησε τη λέξη «ηλεκτρισμός». Ο Browne αποκάλεσε την δύναμη της έλξης ως «ηλεκτρισμό, δηλαδή μια δύναμη που προσελκύει άχυρα ή ελαφριούς οργανισμούς, και μετατρέπει “το συνεχές ρεύμα σε συνεχόμενο εάν διαρρέει μια βελόνα”».

1660

Ο Otto Von Guericke διαμορφώνει την πρώτη γεννήτρια στατικής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2. Ανακλαστικό ©BIU Descarte[1]

1662

Η εργασία του Rene Descartes, ο οποίος ήταν Γάλλος φιλόσοφος, δημοσιεύεται (μετά το θάνατό του) και εξηγεί την ανθρώπινη κίνηση από την άποψη της σύνθετης μηχανικής αλληλεπίδρασης των νημάτων, των πόρων, των μεταβάσεων και των «ζωικών πνευμάτων». Είχε εργαστεί πάνω στις ιδέες του το 1630 αλλά είχε εγκαταλείψει τη δημοσίευση λόγω του συναγωνισμού με άλλους φιλοσόφους όπως ο Γαλιλαίος. Ο William Harvey είχε αναπτύξει παρόμοιες ιδέες αλλά δεν δημοσιεύθηκαν ποτέ.

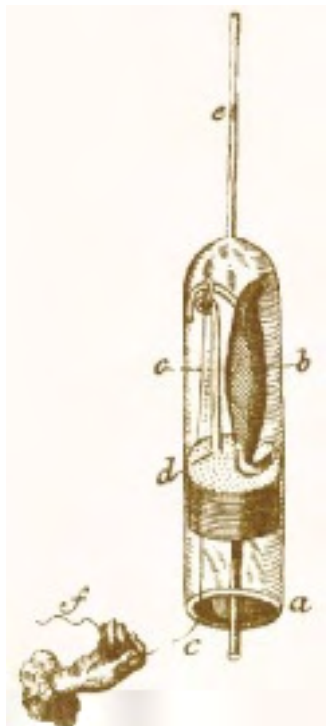
1664

Ο Jan Swammerdam, Ολλανδός, ανασκευάζει τη μηχανική θεωρία του Descartes για τη ζωική κίνηση αφαιρώντας την καρδιά ενός ζωντανού βατράχου και δείχνοντας ότι ήταν ακόμα ικανό να κολυμπήσει. Στην αφαίρεση του εγκεφάλου όλη η κίνηση σταμάτησε (σύμφωνα με τη θεωρία του Descartes) αλλά έπειτα, όταν ο βάτραχος τεμαχίστηκε, και μια διευρυμένη νευρική απόληξη διεγέρθηκε με ένα χειρουργικό νυστέρι, οι μείς σύσπασαν. Αυτό απέδειξε ότι η κίνηση ενός μυός θα μπορούσε να εμφανιστεί χωρίς οποιαδήποτε σύνδεση με τον εγκέφαλο και επομένως η μετάδοση των νευρικών ώσεων δεν ήταν απαραίτητη.

Οι ιδέες του Swammerdam δεν ήταν ευρέως γνωστές και η εργασία του δεν δημοσιεύθηκε μέχρι το θάνατό του. Ο Boerhaave δημοσίευσε βιβλίο του Swammerdam, «το βιβλίο της φύσης» ('Book of Nature') το 1730, που μεταφράστηκε στα αγγλικά το 1758.

1668

Ο Swammerdam τελειοποιεί τα πειράματά του στη μυϊκή συστολή και τη σύσπαση των νεύρων και απέδειξε μερικά από αυτά σε ξεχωριστούς ανθρώπους, όπως ο μεγάλος-δούκας Cosimo της Τοσκάνης, που επισκεπτόταν το σπίτι του πατέρα του Swammerdam στο Oude Schans του Άμστερνταμ. Σε ένα πείραμά του ανέστειλε το μυ πάνω σε έναν γάντζο ορείχαλκου, μέσα σε έναν σωλήνα γυαλιού, χρησιμοποιώντας ένα σταγονίδιο ύδατος για να ανιχνεύσει τη μετακίνηση και να «ενοχλήσει» το νεύρο με ένα ασημένιο καλώδιο. Αυτό επέφερε κίνηση του μυός και μπορεί να οφειλόταν στην επαγωγή μικρού ηλεκτρικού φορτίου - αν και ο Swammerdam δεν πρέπει να το γνώριζε.



Εικόνα 3. ηλεκτρική υποκίνηση[1]

Στο διάγραμμα δίπλα αριστερά έχουμε: a)σωλήνας γυαλιού, b)μυς, c)ασημένιο καλώδιο, d)καλώδιο

ορείχαλκου, e)πτώση του ύδατος και f)το χέρι του ερευνητή.

1729

Ο Stephen Gray, Άγγλος επιστήμονας, διακρίνει τους αγωγούς και τους μονωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Καταδεικνύει τη μεταφορά στατικού ηλεκτρικού φορτίου σε μια σφαίρα φελλού κατά μήκος 150 μέτρων υγρού λεπτού νήματος. Αργότερα, διαπίστωσε ότι η μεταφορά θα μπορούσε να επιτευχθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις με τη χρησιμοποίηση καλωδίου ορείχαλκου.

1745

Ο Ολλανδός φυσικός Pieter van Musschenbroek ανακαλύπτει ότι ένα εν μέρει γεμισμένο βάζο, με ένα καρφί που περνά από έναν φελλό στο λαιμό του μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρικό φορτίο. Το βάζο ονομάζεται «βάζο του Λάιντεν» σύμφωνα με τη θέση της εφευρέσεώς του. Ο

Ewald Georg von Kliest Pomerania εφεύρε την ίδια συσκευή ανεξάρτητα.

1769



Εικόνα 4. Βάζο του Λάιντεν (Leyden Jar)[1]

Ο Edward Bancroft, Αμερικανικός επιστήμονας, υποθέτει πως ο «κλονισμός» που προκαλούν τα ψάρια τορπιλών (Torpedo Fish) είναι

ηλεκτρικής παρά μηχανικής φύσης. Έδειξε ότι οι ιδιότητες του κλονισμού ήταν παρόμοιες με εκείνες του βάζου του Λάιντεν, δεδομένου ότι θα μπορούσαν να διευθυνθούν ή να μονωθούν με κατάλληλα υλικά. Τα ψάρια τορπιλών και άλλα είδη ήταν ευρέως γνωστά στο να προκαλούν κλονισμούς και συχνά χρησιμοποιήθηκαν έτσι για θεραπευτικούς λόγους.

Ωστόσο, η ηλεκτρική θεωρία εκείνη την στιγμή υπαγόρευε ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα διέτρεχε πάντα μέσω των αγωγών και θα διασκορπιζόταν. Δεδομένου ότι οι ζωντανοί ιστοί ήταν γνωστοί ως αγωγοί ήταν αδύνατο να φανταστεί κανείς πως μια δυσαναλογία του φορτίου θα μπορούσε να υπάρξει μέσα σε ένα ζώο και επομένως τα ζώα δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν την ηλεκτρική ενέργεια για τις νευρικές ώσεις - ή να ανταποκριθούν στους κλονισμούς. Επιπλέον, «νερό και η ηλεκτρική ενέργεια δεν συγχέονται». Έτσι η ιδέα ενός «ηλεκτρικού ψαριού» γενικά δεν έγινε αποδεκτή.



Εικόνα 5. John Walsh[1]

1773

Ο John Walsh, συνεργάτης της βασιλικής εταιρίας και μέλος του Κοινοβουλίου, έλαβε έναν ορατό σπινθήρα από ένα ηλεκτρικό χέλι το *Electricus electrophorus*. Το χέλι ήταν έξω από το νερό δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατό να παραχθεί ο σπινθήρας διαφορετικά. Δυστυχώς δεν δημοσίευσε ποτέ το πείραμα με τα χέλια, αν και κέρδισε το μετάλλιο Copley το 1774 και το 1783 για την εργασία του. Οι παρατηρήσεις των Walsh και του Bancroft λειτούργησαν προσθετικά στο ενδεχόμενο να υπάρχει κάποια μορφή ζωικής ηλεκτρικής ενέργειας.

1774

Οι κ. Sowdon και Hawes, φαρμακοποιοί, γράφουν σχετικά με τα εκπληκτικά αποτελέσματα της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια έκθεση αποκατάστασης από ξαφνικό θάνατο, που δημοσιεύεται στην ετήσια έκθεση της πρόσφατα ιδρυμένης ανθρωπιστικής εταιρίας, γνωστή και ως Βασιλική Ανθρωπιστική Εταιρία. Η Εταιρία είχε αναπτυχθεί από «το όργανο παροχής άμεσης οικονομικής ανακούφισης στα άτομα που είναι εμφανώς νεκροί από πνίξιμο». «Καθιερώθηκε το έτος 1774, για να προστατεύσει το εργατικό δυναμικό από τις μοιραίες συνέπειες των ατυχημάτων: οι νέοι και άπειροι από το να θυσιαστούν για την αναψυχή τους, τα δυστυχισμένα θύματα από την καταπιεστική, μελαγχολική και σκόπιμη αυτοκτονία και τις άθλιες συνέπειες της αυτοκαταστροφής».

Ο κ. Squires, της οδού Wardour, στο Soho έζησε απέναντι από το σπίτι από το οποίο ένα τριάχρονο κορίτσι, η Catherine Sophia Greenhill είχε πέσει από το παράθυρο του πρώτου ορόφου τη 16η Ιουλίου 1774. Αφότου δήλωσε ο φαρμακοποιός ότι τίποτα δεν θα μπορούσε να γίνει για το παιδί, ο κ. Squires, «με τη συγκατάθεση των γονέων, πολύ ανθρώπινα, δοκίμασε τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής ενέργειας. Τουλάχιστον είκοσι λεπτά είχαν παρέλθει προτού να μπορέσει να εφαρμόσει τον κλονισμό, τον οποίο έδωσε στα διάφορα μέρη του σώματος χωρίς οποιαδήποτε προφανή επιτυχία, αλλά επί μακράν πάνω στη διαβίβαση μερικών κλονισμών μέσω του θώρακα, αντιλήφθηκε έναν μικρό παλμό. Σύντομα το παιδί άρχισε να αναστενάζει, και να αναπνέει, εν τούτοις με μεγάλη δυσκολία. Σε περίπου δέκα λεπτά έκανε εμετό, ένα είδος κατάπληξης, από την κατάθλιψη του κρανίου, διήρκησε για μερικές ημέρες, αλλά χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεθόδους αποκαταστάθηκε τέλεια η υγεία και το πνεύμα του κοριτσιού μέσα σε περίπου μια εβδομάδα.

«Ο κ. Squires έδωσε αυτήν την καταπληκτική περίπτωση αποκατάστασης σε ανωτέρω κυρίους, με κινητήριο μόνο την επιθυμία προώθησης του αγαθού της ανθρωπότητας και ελπίδας για το μέλλον ότι κανένα πρόσωπο δεν θα παραδοθεί στον θάνατο, μέχρι τα διάφορα μέσα που υπάρχουν να έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποκατάστασή τους».

1775

Ο Abildgaard δείχνει ότι οι κότες μπορούν να καταστούν άψυχες με την εφαρμογή ηλεκτρικών ωθήσεων και να αποκτήσουν και πάλι σφυγμό με ηλεκτρικούς κλονισμούς στο στήθος. «Με έναν κλονισμό στο κεφάλι, το ζώο καταστάθηκε άψυχο, και ανέκυψε με έναν δεύτερο κλονισμό στο στήθος. Ωστόσο, αφότου επαναλήφθηκε το πείραμα σχετικά συχνά, η κότα ήταν εντελώς ζαλισμένη, περπατούσε με κάποια δυσκολία, και

δεν έφαγε για μια μέρα και μια νύχτα. Κατόπιν ήταν πολύ καλά και έκανε ακόμη και ένα αυγό».



Εικόνα 6. Luigi Galvani[1]

1786

Ο Ιταλός ανατόμος Luigi Galvani αποδεικνύει ότι τα πόδια ενός τεμαχισμένου βατράχου κάνουν συσπάσεις όταν αγγίζονται με ένα χειρουργικό μεταλλικό νυστέρι. Το ίδιο καλοκαίρι μελετούσε τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής ενέργειας στους ζωικούς ιστούς.

Στις 20 Σεπτεμβρίου 1786 έγραψε «είχα τεμαχίσει και είχα προετοιμάσει έναν βάτραχο, όπως συνήθως, και ενώ ανταποκρινόμουν σε κάτι άλλο τον έβαλα σε ένα τραπέζι πάνω στο οποίο ήταν μια ηλεκτρική μηχανή σε κάποια απόσταση και τον χώριζε ένα ιδιαίτερα ικανοποιητικό διάστημα. Όταν ένα από τον παρόντα άτομα άγγιξε τυχαία και ελαφριά τα εσωτερικά μηριαία νεύρα του βατράχου με την άκρη ενός χειρουργικού νυστεριού, όλοι οι μύες των ποδιών φάνηκαν να συστέλλονται επανειλημμένα».

Αργότερα έδειξε ότι η άμεση επαφή με μια ηλεκτρική γεννήτρια ή το έδαφος μέσω ενός ηλεκτρικού αγωγού οδηγούσε σε συστολή των μυών και έδειξε επίσης ότι η ηλεκτρική υποκίνηση της καρδιάς ενός βατράχου οδηγεί στην καρδιακή μυϊκή συστολή. Το όνομα του Galvani δίνεται στο «γαλβανόμετρο» που είναι ένα όργανο για τη μέτρηση (και την καταγραφή) της ηλεκτρικής ενέργειας - αυτό είναι ουσιαστικά και ένας ηλεκτροκαρδιογράφος: ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο.

1788

Ο Charles Kite κερδίζει το ασημένιο μετάλλιο της Ανθρωπιστικής Εταιρίας με ένα δοκίμιο για τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στη διάγνωση και τη νεκρανάσταση σχεδόν νεκρών ανθρώπων. Αυτό το δοκίμιο αναφέρεται συχνά ως πρώτο αρχείο της καρδιακής απινιδώσης αλλά η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που προτείνεται από τον κ. Kite είναι πολύ διαφορετική. Παραδείγματος χάριν, στην περιγραφή μιας περίπτωσης από το 1785 όπου η νεκρανάσταση έχει προσπαθηθεί με την τεχνητή αναπνοή, τη ζεστασιά, τον καπνό, «πτητικές ουσίες που ρίχνονται στο στομάχι, τριβές, και διάφορα μικρότερα ερεθίσματα» για σχεδόν μια ώρα, υπενθυμίζει τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. «Η ηλεκτρική ενέργεια εφαρμόστηκε μετά, και οι κλονισμοί στάλισαν κατευθείαν σε κάθε πιθανή κατεύθυνση, οι μύες μέσω των οποίων το ρευστό (η ηλεκτρική ενέργεια) πέρασε, ρίχτηκαν στις ισχυρές συστολές». Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ηλεκτρική ενέργεια ήταν ένα πολύτιμο εργαλείο που θα μπορούσε να καθορίσει εάν ένα πρόσωπο, προφανώς νεκρό, θα μπορούσε ή όχι να αναζωογονηθεί επιτυχώς.



Εικόνα 7. Alessandro Volta[1]

1792

Ο Alessandro Volta, Ιταλός επιστήμονας και εφευρέτης, προσπαθεί να ανασκευάσει τη θεωρία του Galvani «της ζωικής ηλεκτρικής ενέργειας» αποδεικνύοντας ότι το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται από το συνδυασμό δύο ανόμοιων μετάλλων. Ο ισχυρισμός του ήταν ότι το ηλεκτρικό ρεύμα προήλθε από τα μέταλλα και όχι τους ζωικούς ιστούς. (Τώρα ξέρουμε ότι και Galvani και Volta ήταν σωστοί). Για να αποδείξει τη θεωρία του, αναπτύσσει το 1800 τη βολταϊκή σωρό (μια στήλη εναλλασσόμενων μεταλλικών δίσκων - ψευδάργυρος με χαλκό ή ασήμι - που χωρίζονται από χαρτόνι που ενυδατώνεται σε αλάτι) η οποία μπορεί να παραδώσει ηλεκτρισμό, σημαντικής ποσότητας και σταθερότητας. Ο ενθουσιασμός για χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί στις περαιτέρω προσπάθειες στην

επαναδραστηριοποίηση των νεκρών με τα πειράματα στους πρόσφατα κρεμασμένους εγκληματίες. Ο Giovanni Aldini (ανιψιός του Galvani) πραγματοποιεί ένα πείραμα στο βασιλικό κολλέγιο χειρουργών το 1803 στο Λονδίνο. Ένας εκτελεσμένος εγκληματίας βρέθηκε σε θερμοκρασία 30 F για μια ώρα και μεταφέρθηκε στο κολλέγιο. «Κατά τη διάρκεια εφαρμογής αγωγών ηλεκτρισμού στο αυτί και το ορθό έντερο, εκτελέσθηκαν τόσο βίαιες μυϊκές συστολές, όσο χρειαζόταν για να εμφανίσουν την επαναδραστηριοποίηση».

1.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΙΚΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΑ

1819

Καταδεικνύοντας στους σπουδαστές τη θέρμανση ενός καλωδίου από λευκόχρυσο με την ηλεκτρική ενέργεια από μια βολταϊκή σωρό στο πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, ο Δανός φυσικός Hans Christian Oersted παρατηρεί ότι μια κοντινή μαγνητισμένη βελόνα πυξίδας κινείται κάθε φορά που ανοίγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Ανακαλύπτει τον ηλεκτρομαγνητισμό στον οποίο δίνεται μια θεωρητική βάση από τον Andre Marie Ampere.

1820

Ο Johann Schweigger από τη Νυρεμβέργη αυξάνει τη κίνηση των μαγνητισμένων βελόνων στους ηλεκτρομαγνητικούς τομείς. Διαπίστωσε ότι με το τύλιγμα του ηλεκτρικού καλωδίου σε μια σπείρα 100 στροφών η επίδραση στη βελόνα πολλαπλασιάστηκε. Απέδειξε ότι ένα μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται γύρω από ένα καλώδιο που φέρνει ρεύμα, που αποδείχθηκε αργότερα από Michael Faraday. Ο Schweigger είχε εφεύρει το πρώτο γαλβανόμετρο και ανήγγειλε την εφεύρεσή του στο πανεπιστήμιο του Halle στις 16 Σεπτεμβρίου 1820.

1825

Ο Leopold Nobili, καθηγητής της φυσικής στη Φλωρεντία, αναπτύσσει ένα «αστατικό γαλβανόμετρο». Χρησιμοποιώντας δύο ίδιες μαγνητικές βελόνες αντίθετης πολικότητας, είτε αυτές ενώθηκαν μεταξύ τους με έναν αριθμό οχτώ διατάξεων βρόχων καλωδίων (σε προηγούμενες εκδόσεις), είτε μιας κινητής βελόνας με έναν βρόχο καλωδίων και έναν με κλίμακα (σε πιο πρόσφατες εκδόσεις), τα αποτελέσματα του γήινου μαγνητικού πεδίου αντισταθμιστηκαν. Το 1827, χρησιμοποιώντας αυτό το όργανο, κατόρθωσε να ανιχνεύσει τη ροή του ρεύματος στο σώμα ενός βατράχου από τους μυς στο νωτιαίο μυελό. Ανίχνευσε την ηλεκτρική ενέργεια που τρέχει κατά μήκος του υγραμένου με αλάτι νήματος βαμβακιού, που ενώνει τα τεμαχισμένα πόδια του βατράχου σε ένα βάζο με το σώμα του σε ένα άλλο βάζο. Ο Nobili δούλεψε για να υποστηρίξει τη θεωρία της ζωικής ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό τελικά το κατάφερε.

1838



Εικόνα 8. Carlo Matteucci[1]

Ο Carlo Matteucci, καθηγητής της φυσικής στο πανεπιστήμιο της Πίζας, και μαθητής του Nobili, αποδεικνύει ότι το ηλεκτρικό ρεύμα συνοδεύει κάθε χτύπο της καρδιάς. Χρησιμοποίησε μια προετοιμασία γνωστή ως «ρεοσκοπικός βάτραχος» στην οποία το νεύρο ενός ποδιού του βατράχου χρησιμοποιήθηκε ως ηλεκτρικός αισθητήρας και η σύσπασση του μυός χρησιμοποιήθηκε ως οπτικό σημάδι της ηλεκτρικής δραστηριότητας. Χρησιμοποίησε επίσης το αστατικό γαλβανόμετρο του Nobili για τη μελέτη της ηλεκτρικής ενέργειας στους μύες παρεμβάλλοντας χαρακτηριστικά ένα καλώδιο γαλβανομέτρων στο ανοικτό τέλος του τεμαχισμένου μυός και το άλλο στην επιφάνεια του μυός. Πήγε να δοκιμάσει και να καταδείξει τη ροή του ρεύματος στο

νεύρο αλλά ήταν ανίκανος να το κάνει (δεδομένου ότι τα γαλβανόμετρα του δεν ήταν αρκετά ευαίσθητα).

1840

Ο Δρ Golding Bird, παθολόγος, ολοκλήρωσε φαρμακοποιός και μέλος της “Ηλεκτρικής Εταιρίας” του Λονδίνου, ανοίγει ένα “ηλεκτρικό δωμάτιο θεραπείας” στο νοσοκομείο Guy, στο Λονδίνο θεραπεύοντας μια μεγάλη σειρά ασθενειών. Αν και η εφαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν δημοφιλής δεν θεωρήθηκε θέμα αντάξιο σοβαρής έρευνας. Λόγω της φήμης του Bird, η ηλεκτρική θεραπεία προκάλεσε δημοτικότητα μεταξύ των παθολόγων του Λονδίνου συμπεριλαμβανομένου και του συμβούλου του Δρ Thomas Addison.



Εικόνα 9. Emil du bois-Reymond[1]

1843

Ο Γερμανός φυσιολόγος Emil Du Bois-Reymond περιγράφει ένα «δυναμικό δράσης» που συνοδεύει κάθε μυϊκή συστολή. Ανίχνευσε το μικρό δυναμικό τάσης που υπάρχει όταν ο μυς χαλαρώνει και σημείωσε ότι αυτό μίκρυνε με τη συστολή του μυός. Για να το ολοκληρώσει ανέπτυξε ένα από τα πιο ευαίσθητα γαλβανόμετρα της εποχής του. Η συσκευή του είχε μια σπείρα καλωδίων με πάνω από 24.000 στροφές - 5 χλμ καλώδιο. Ο Du Bois Reymond επινόησε μια σημείωση για το γαλβανόμετρό του που την αποκάλεσε «καμπύλη διαταραχής». Το «ο» ήταν το σταθερό σημείο ισοροπίας της αστατικής βελόνας του γαλβανομέτρου και το p, το q, το r και το s (καθώς και το k και το h) ήταν άλλα σημεία στην εκτροπή της καμπύλης.

1850

Οι παράξενες ανεξέλεγκτες ενέργειες των κοιλιών (αργότερα αποκαλούμενες ως κοιλιακός ινιδισμός) περιγράφονται από τον Hoffa κατά τη διάρκεια πειραμάτων με ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα στις καρδιές των σκυλιών και των γατιών. Κατέδειξε ότι ένας ενιαίος ηλεκτρικός σφυγμός μπορεί να προκαλέσει τον ινιδισμό.

1856

Ο Rudolph Von Koelliker και ο Heinrich Muller επιβεβαιώνουν ότι ηλεκτρικό ρεύμα συνοδεύει κάθε χτύπο της καρδιάς με την εφαρμογή ενός γαλβανομέτρου στη βάση και την κορυφή μιας εκτεθειμένης κοιλίας. Εφάρμοσαν επίσης μια νεύρο-μυϊκή προετοιμασία, παρόμοια με του Matteucci, στην κοιλία και παρατήρησαν ότι μια σύσπαση του μυός εμφανίστηκε ακριβώς πριν από την κοιλιακή συστολή και επίσης μια πολύ μικρότερη σύσπαση μετά τη συστολή. Αυτές οι συσπάσεις θα αναγνωρίζονταν αργότερα πως προκαλούνται από τα ηλεκτρικά ρεύματα των κυμάτων QRS και T.

1858

Ο William Thompson, καθηγητής της φυσικής φιλοσοφίας στο πανεπιστήμιο της Γλασκώβης, εφευρίσκει το «γαλβανόμετρο καθρεφτών» για την υπερατλαντική τηλεγραφία.

1867

Ο Thompson βελτιώνει τις μεταδόσεις των τηλεγράφων με το «όργανο καταγραφής σιφωνίων». Πριν από τον d'Arsonval (1880), ο Thompson χρησιμοποιεί μια λεπτή σπείρα που αναστέλλεται σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Συνδεδεμένο με τη σπείρα αλλά απομονωμένο από τον εβονίτη (ένας μονωτής) ήταν ένα σιφώνι μελανιού. Στο σιφώνι δόθηκε υψηλή τάση έτσι ώστε το μελάνι να ψεκαστεί επάνω στο έγγραφο που κινήθηκε πέρα από μια επιχρωματωμένη επιφάνεια μετάλλων. Το

όργανο καταγραφής σιφωνίων θα μπορούσε επομένως όχι μόνο να ανιχνεύσει τα ρεύματα αλλά θα μπορούσε επίσης να τα καταγράψει επάνω στο χαρτί.

1869-70

Ο Alexander Muirhead, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός και πρωτοπόρος της τηλεγραφίας, μπορούσε να έχει καταγράψει ένα ανθρώπινο ηλεκτροκαρδιογράφημα στο νοσοκομείο του St Bartholomew, στο Λονδίνο αν και αυτό είναι συζητήσιμο. Εάν το είχε κάνει τότε θα θεωρούνταν ότι έχει χρησιμοποιήσει ένα όργανο καταγραφής σιφωνίων του Thompson. Η Elizabeth Muirhead, η σύζυγός του, έγραψε ένα βιβλίο για τη ζωή του και υποστήριξε ότι δεν προέβη στην έκδοση της εργασίας του από φόβο μήπως και παραπλανήσει άλλους.

1872

Ο κ. Green, χειρουργός, δημοσιεύει ένα έγγραφο για τη νεκρανάσταση μιας σειράς ασθενών που είχαν υποστεί την καρδιακή ή/και αναπνευστική ανακοπή κατά τη διάρκεια αναισθησίας με χλωροφόρμιο. Χρησιμοποίησε έναν γαλβανικό σωρό (μπαταρία) 200 κυττάρων που παράγει 300 Volts και το εφάρμοσε στον ασθενή ως εξής «ένας πόλος εφαρμόστηκε στο λαιμό και ο άλλος στο χαμηλότερο πλευρό στην αριστερή πλευρά». Αν και αυτό έχει αναφερθεί για παράδειγμα της καρδιοαναπνευστικής νεκρανάστασης είναι ασαφές το τι μηχανισμός φαίνεται να είναι ακριβώς. Είναι απίθανο να είναι μια ηλεκτρική έκδοση της καρδιάς (cardioversion) ή εξωτερικός ρυθμός. Φαίνεται να είναι ένα άλλο παράδειγμα ηλεκτροφρενικής (electrophrenic) υποκίνησης (δείτε επίσης Duchenne 1872).



Εικόνα 10. Ένα «ηλεκτρικό» χαμόγελο[1]

1872

Ο Guillaume Benjamin Amand Duchenne de Boulogne, πρωτοποριακός νευροφυσιολόγος, στην τρίτη έκδοση του εγχειριδίου του «ιατρικές χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας» περιγράφει τη νεκρανάσταση ενός πνιγμένου κοριτσιού με την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό το επεισόδιο έχει περιγραφεί μερικές φορές ως ο πρώτος «τεχνητός βηματοδότης» αλλά χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρικό ρεύμα για να προκληθεί

ηλεκτροφρενική (electrophrenic) παρά μυοκαρδιακή υποκίνηση.

1875

Ο Richard Caton, ένας παθολόγος από τη Λίβερπουλ, παρουσιάζει στη βρετανική ιατρική ένωση τον Ιούλιο του 1875 στο Εδιμβούργο. Χρησιμοποιώντας ένα, κατά τον Thompson, «γαλβανόμετρο καθρεφτών» στα ζώα, παρουσιάζει πως ήταν δυνατό να ανιχνευθούν τα «αδύναμα ρεύματα ποικίλης κατεύθυνσης, όταν τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια σε δύο σημεία της εξωτερικής επιφάνειας, ή ένα ηλεκτρόδιο στο γκρίζο “θέμα” και ένα στην επιφάνεια του κρανίου». Αυτό είναι η πρώτη έκθεση του ΗΚΓ (ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος). Ο Caton αποδεικνύει μία ακόμη υπόθεση ενός άλλου παθολόγου, του John Hughlings Jackson, ο οποίος πρότεινε το 1873 ότι η επιληψία οφειλόταν στην υπερβολική ηλεκτρική δραστηριότητα στο γκρίζο “θέμα” του εγκεφάλου.

1876

Ο Marey χρησιμοποιεί το ηλεκτρόμετρο για να καταγράψει την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς ενός εκτεθειμένου βατράχου.

1880

Ο Γάλλος φυσικός Arsène d'Arsonval μαζί με τον Marcel Deprez, βελτιώνει το γαλβανόμετρο. Αντί μιας μαγνητισμένης βελόνας που κινείται όταν κουλουριάζουν οι ηλεκτρικές τρέχουσες ροές μέσω ενός περιβάλλοντος καλωδίων, το γαλβανόμετρο

του Deprez-d'Arsonval έχει έναν σταθερό μαγνήτη και μια κινητή σπείρα. Εάν ένας δείκτης είναι συνδεδεμένος με τη σπείρα μπορεί να κινηθεί σε μια κατάλληλα βαθμολογημένη κλίμακα. Το γαλβανόμετρο του d'Arsonval είναι η βάση για τα περισσότερα σύγχρονα γαλβανόμετρα.

1887

Ο Βρετανός φυσιολόγος Augustus D. Waller δημοσιεύει το πρώτο ανθρώπινο ηλεκτροκαρδιογράφημα. Καταγράφεται με ένα τριχοειδές ηλεκτρόμετρο του Thomas Goswell, τεχνικό του εργαστηρίου του.

1891

Οι Βρετανοί φυσιολόγοι William Bayliss και Edward Starling του πανεπιστημιακού κολlegίου στο Λονδίνο βελτιώνουν το τριχοειδές ηλεκτρόμετρο. Συνδέουν τα τερματικά με το δεξί χέρι και με το δέρμα πάνω από την κορυφή του χτύπου και παρουσιάζουν μια «τριφασική παραλλαγή που συνοδεύει (ή μάλλον που προηγείται) κάθε ένα χτύπο της καρδιάς». Αυτές οι εκτροπές καλούνται αργότερα το P, QRS και T. Καταδεικνύουν επίσης μια καθυστέρηση περίπου 0.13 δευτερολέπτων μεταξύ της ενδοκοιλιακής υποκίνησης και της κοιλιακής εκπόλωσης (πιό πρόσφατο αποκαλούμενο ως διάστημα PR).

1893

Ο Willem Einthoven εισάγει τον όρο «ηλεκτροκαρδιογράφημα» σε μια συνεδρίαση της ολλανδικής ιατρικής ένωσης.

1.1.3. Η ΠΡΩΤΗ ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΛΙΝΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ



Εικόνα 11. Einthoven[1]

1895

Ο Einthoven, χρησιμοποιώντας ένα βελτιωμένο ηλεκτρόμετρο και έναν τύπο διορθώσεων που αναπτύσσονται ανεξάρτητα από του Burch, διακρίνει πέντε εκτροπές που ονομάζει ως το P, το Q, το R, το S και το T. Γιατί PQRST και όχι ABCDE; Οι τέσσερις εκτροπές πριν από τον τύπο διορθώσεων ονομάστηκαν ABCD και οι 5 παραγόμενες εκτροπές ονομάστηκαν PQRST. Η επιλογή του P είναι μαθηματική σύμβαση (όπως χρησιμοποιείται επίσης από τον Du Bois-Reymond στη «καμπύλη διαταραχής» του γαλβανόμετρου του 50 έτη πριν) με τη χρησιμοποίηση των γραμμάτων από το δεύτερο μισό της αλφάβητου. Το N έχει άλλες έννοιες στα μαθηματικά και το O χρησιμοποιείται για την προέλευση των καρτεσιανών συντεταγμένων. Στην πραγματικότητα ο Einthoven χρησιμοποίησε το O X για να χαρακτηρίσει την υπόδειξη ως προς το χρόνο στα διαγράμματά του. Το P είναι απλά το επόμενο γράμμα. Εργάστηκε πολύ για να αποκαλύψει το αληθινό ηλεκτρικό κυματοειδές του ΗΚΓ με την εξάλειψη της επίδρασης της απόσβεσης των κινούμενων μερών στους ενισχυτές και τη χρησιμοποίηση των τύπων των διορθώσεων. Εάν εξετάσετε το διάγραμμα στο έγγραφο του 1895 του Einthoven θα δείτε πόσο «στενά» είναι στις καταγραφές γαλβανόμετρων σειράς και τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα που βλέπουμε σήμερα. Η εικόνα του διαγράμματος PQRST αντιπροσωπεύει αρκετά ώστε να υιοθετείται από τους ερευνητές ως μια αληθινή αναπαράσταση της ελλοχεύουσας μορφής. Θα ήταν έπειτα λογικό να συνεχιστεί η ίδια ονομαζόμενη σύμβαση όταν άρχισαν τα πιο εξελιγμένα γαλβανόμετρα όπως τα ηλεκτροκαρδιογραφήματα μερικά έτη αργότερα.

1897

Ο Clement Ader, ένας Γάλλος ηλεκτρολόγος μηχανικός, εκθέτει το σύστημά του για τα σήματα του κώδικα Μορς που διαβιβάζονται σύμφωνα στις υποθαλάσσιες γραμμές τηλεγράφων. Δεν προορίστηκε ποτέ να χρησιμοποιηθεί ως γαλβανόμετρο. Ο Einthoven ανέφερε αργότερα την εργασία του Ader αλλά φαίνεται να αναπτύσσει την ενισχυμένη συσκευή του ανεξάρτητα.

1899

Οι Jean-Louis Prevost, καθηγητής βιοχημείας, και Frederic Batelli, καθηγητής φυσιολογίας, και οι δύο από τη Γενεύη ανακαλύπτουν ότι οι μεγάλες ηλεκτρικές τάσεις που εφαρμόζονται πάνω στην καρδιά ενός ζώου μπορούν να σταματήσουν τον κοιλιακό ινιδισμό.

1901

Ο Einthoven εφευρίσκει ένα νέο γαλβανόμετρο για την παραγωγή των ηλεκτροκαρδιογραφημάτων χρησιμοποιώντας μια λεπτή σειρά χαλαζία που καλύπτεται από ασήμι, βασισμένο στις ιδέες του Deprez και d'Arsonval (που χρησιμοποίησαν μια σπείρα καλωδίων). Το «σειριακό γαλβανόμετρο» ζυγίζει 272,16 κιλά. Ο Einthoven αναγνώρισε το παρόμοιο σύστημα του Ader αλλά αργότερα (1909) υπολόγισε ότι το γαλβανόμετρό του ήταν στην πραγματικότητα περισσότερο ευαίσθητο.

1902

Ο Einthoven δημοσιεύει το πρώτο ηλεκτροκαρδιογράφημα που καταγράφηκε σε ένα σειριακό γαλβανόμετρο.

1903

Ο Einthoven συζητά την εμπορική παραγωγή ενός σειριακού γαλβανόμετρου.

1905

Ο Einthoven αρχίζει να καταγράφει ηλεκτροκαρδιογραφήματα από το νοσοκομείο στο εργαστήριό του 1.5 χλμ μακριά μέσω τηλεφωνικών καλωδίων. Στις 22 Μαρτίου το πρώτο «ηλεκτροκαρδιογράφημα» καταγράφεται από έναν υγιή και σφριγηλό άνδρα και τα ψηλά κύματα P αποδίδονται στην ανακύκλωσή του από το εργαστήριο στο νοσοκομείο για την καταγραφή.

1906

Ο Einthoven δημοσιεύει την πρώτη οργανωμένη παρουσίαση κανονικών και ανώμαλων ηλεκτροκαρδιογραφημάτων που καταγράφονται με ένα σειριακό γαλβανόμετρο. Τώρα περιγράφονται η αριστερή και δεξιά κοιλιακή υπερτροφία, η αριστερή και δεξιά ενδοκοιλιακή υπερτροφία, το κύμα U (για πρώτη φορά), το «σκάλισμα» του QRS, ο πρόωρος κοιλιακός χτύπος, η κοιλιακή διδυμία, ο ενδοκοιλιακός αρρυθμίες και οι πλήρεις καρδιακοί αποκλεισμοί.

1906

Ο Cremer καταγράφει το πρώτο οισοφαγικό ηλεκτροκαρδιογράφημα που επέτυχε με τη βοήθεια ενός επαγγελματικού οργάνου κατάποσης. Το οισοφαγικό ηλεκτροκαρδιογράφημα αναπτύχθηκε αργότερα, στη δεκαετία του '70, για να βοηθήσει στο να διαφοροποιηθούν οι ενδοκοιλιακές αρρυθμίες. Καταγράφει επίσης το πρώτο εμβρυϊκό ηλεκτροκαρδιογράφημα από την κοιλιακή επιφάνεια μιας εγκύου γυναίκας.

1907

Ο Arthur Cushny, καθηγητής της φαρμακολογίας σε ένα πανεπιστημιακό κολλέγιο του Λονδίνου, δημοσιεύει την πρώτη περίπτωση έκθεσης ενδοκοιλιακού ινιδισμού. Η ασθενής του ήταν 3 ημέρες αναίσθητη μετά από τη χειρουργική επέμβαση στο «ίνωμα των ωοθηκών» όταν ανέπτυξε έναν «πολύ ανώμαλο» σφυγμό σε ποσοστό 120 - 160 bpm. Ο σφυγμός που καταγράφηκε με ένα

«σφυγμοχρονογράφημα του Jacques», παρουσιάζει ακτινωτή πίεση ενάντια στο χρόνο - σαν τις αρτηριακές καταγραφές πίεσης αίματος που χρησιμοποιούνται στην εντατική παρακολούθηση σήμερα.

1908

Ο Edward Schafer του πανεπιστημίου του Εδιμβούργου είναι ο πρώτος που αγόρασε ένα σειριακό γαλβανόμετρο για κλινική χρήση.

1909

Ο Thomas Lewis του πανεπιστημιακού νοσοκομείου στο Λονδίνο αγοράζει ένα σειριακό γαλβανόμετρο και το ίδιο κάνει και ο Alfred Cohn του νοσοκομείου AM Sinae στη Νέα Υόρκη. Ο Thomas Lewis δημοσιεύει ένα έγγραφο στο BMJ απαριθμώντας τις προσεκτικές κλινικές και ηλεκτροκαρδιογραφικές παρατηρήσεις ενδοκοιλιακού ινιδισμού.

1909

Οι Nicolai και Simmons εκθέτουν τις αλλαγές στο ηλεκτροκαρδιογράφημα κατά τη διάρκεια της στηθάγχης.

1910

Οι Walter James, του πανεπιστημίου της Κολούμπια, και Horatio Williams, του ιατρικού πανεπιστημιακού κολλεγίου του Cornell, στη Νέα Υόρκη δημοσιεύουν την πρώτη αμερικανική αναθεώρηση ηλεκτροκαρδιογραφίας. Περιγράφει την κοιλιακή υπερτροφία, το ενδοκοιλιακό και κοιλιακό εκτοπισμό, τον ενδοκοιλιακό ινιδισμό και τον κοιλιακό ινιδισμό. Οι καταγραφές στάλησαν από τους θαλάμους στο δωμάτιο ηλεκτροκαρδιογραφημάτων με ένα σύστημα καλωδίων. Υπάρχει μια μεγάλη εικόνα ενός ασθενή που έχει ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα καταγραμμένο με τίτλο «ηλεκτρόδια σε λειτουργία».

1912

Ο Einthoven απευθύνεται στην κλινική εταιρία Chelsea στο Λονδίνο και περιγράφει ένα ισόπλευρο τρίγωνο που διαμορφώνεται από τους τυποποιημένους μολύβδους I, II και III αργότερα αποκαλούμενοι ως «τρίγωνο Einthoven». Αυτό είναι η πρώτη αναφορά σε ένα αγγλικό άρθρο που έχει σύντμηση «ΗΚΓ».

1918

Ο Bousfield περιγράφει τις αυθόρμητες αλλαγές στο ηλεκτροκαρδιογράφημα κατά τη διάρκεια της στηθάγχης.

1920

Ο Hubert Mann του καρδιογραφικού εργαστηρίου, στο νοσοκομείο Sinai, περιγράφει την παραγωγή ενός «μονοκαρδιογράμματος».

1920

Ο Harold Pardee, στη Νέα Υόρκη, δημοσιεύει το πρώτο ηλεκτροκαρδιογράφημα ενός οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου σε έναν άνθρωπο και περιγράφει το κύμα T ως υψηλό.

1924

Ο Willem Einthoven κερδίζει το βραβείο Νόμπελ για την εφεύρεση του ηλεκτροκαρδιογράφου.

1924

Ο Woldemar Mobitz δημοσιεύει την θέση του για τους καρδιακούς αποκλεισμούς (Mobitz τύπος I και τύπος II) βασισμένοι στο ηλεκτροκαρδιογράφημα και τα φλεβικά συμπεράσματα των κυματοειδών σφυγμών των ασθενών με καρδιακό αποκλεισμό δεύτερου βαθμού.

1926

Ένας γιατρός του Σύδνεϋ, που θέλησε να παραμείνει ανώνυμος, αναζωογονεί ένα νεογέννητο μωρό με μια ηλεκτρική συσκευή αποκαλούμενη αργότερα ως «βηματοδότης».

1928

Οι Ernstine και Levine εκθέτουν τη χρήση των κενών-σωλήνων για να ενισχύσουν το ηλεκτροκαρδιογράφημα αντί της μηχανικής ενίσχυσης του σειριακού γαλβανομέτρου.

1928

Η επιχείρηση του Frank Sanborn (που ιδρύεται το 1917 και την οποία αποκτά η Hewlett Packard το 1961 και μέχρι το 1999, ιατρικά συστήματα Philips) μετατρέπει σε επιτραπέζια μηχανή το πρότυπο ηλεκτροκαρδιογράφημα στην πρώτη φορητή έκδοσή του που ζυγίζει 22,68 κιλά και που τροφοδοτείται από μια (6 Volt) κινητή μπαταρία.

1930

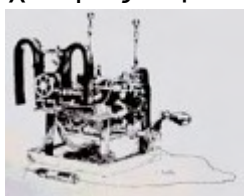
Οι Wolff, Parkinson και White εκθέτουν ένα ηλεκτροκαρδιογραφικό σύνδρομο σύντομου διαστήματος PR, ευρέως QRS και παροξυσμικές ταχυκαρδίες. Αργότερα, όταν εξετάστηκαν άλλες δημοσιευμένες εκθέσεις για τα στοιχεία της προ-διέγερσης, τα παραδείγματα του «Wolff - Parkinson - White» συνδρόμου προσδιορίστηκαν πως δεν ήταν αναγνωρισμένα ως κλινικές οντότητες τότε. Το πιο πρόωρο παράδειγμα δημοσιεύθηκε από τον Hoffmann το 1909.

1930

Οι Sanders περιγράφουν αρχικά το έμφραγμα της δεξιάς κοιλίας.

1931

Οι Charles Wolferth και Francis Wood περιγράφουν τη χρήση άσκησης για να ανταπεξέλθουν στις επιθέσεις της στηθάγχης. Ερεύνησαν τις αλλαγές του ΗΚΓ σε φυσιολογικές καταστάσεις αλλά και εκείνες με τη στηθάγχη, απομάκρυναν όμως την τεχνική ως πάρα πολύ επικίνδυνη «να προκαλέσει στηθαγχικές κρίσεις».



Εικόνα 12. Ο πρώτος κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας βηματοδότης[1]

1931

Ο Albert Hyman, ιατρός, κατοχυρώνει τον πρώτο «τεχνητό καρδιακό βηματοδότη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας» που υποκινεί την καρδιά με τη χρησιμοποίηση μιας θωρακικής μετακινούμενης βελόνας. Ο στόχος του ήταν να δημιουργήσει μια συσκευή που ήταν αρκετά μικρή ώστε να χωράει στην τσάντα ενός γιατρού και να υποκινήσει ώστε να βρεθεί η σωστή ενδοκοιλιακή περιοχή της καρδιάς με μια κατάλληλα μονωμένη βελόνα. Τα πειράματά του ήταν στα ζώα. Η αρχική μηχανή του τροφοδοτήθηκε από έναν στροφαλοφόρο άξονα. «Μέχρι την 1η Μαρτίου 1932 ο τεχνητός βηματοδότης χρησιμοποιήθηκε 43 φορές, με επιτυχή έκβαση σε

14 περιπτώσεις».

1932

Οι Goldhammer και Scherf προτείνουν τη χρήση του ηλεκτροκαρδιογραφήματος μετά από μια μέτρια άσκηση ως ενίσχυση στη διάγνωση της στεφανιαίας ανεπάρκειας.

1932

Οι Charles Wolferth και Francis Wood περιγράφουν την κλινική χρήση των θωρακικών μολύβδων.

1934

Με την ένωση των καλωδίων από το σωστό βραχίονα, ο αριστερός βραχίονας και το αριστερό πόδι με τους αντιστάτες του Frank Wilson 5000 Ohm καθορίζουν ένα «αδιάφορο ηλεκτρόδιο» αργότερα αποκαλούμενο ως το «κεντρικό τερματικό Wilson».

Ο συνδεδεμένος μόλυβδος ενεργεί ως γείωση και είναι συνδεδεμένος με το αρνητικό τερματικό του ΗΚΓ. Ένα ηλεκτρόδιο που συνδέεται με το θετικό τερματικό κατόπιν γίνεται «μονοπολικό» και μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε στο σώμα. Ο Wilson καθορίζει τους μονοπολικούς μόλυβδους των άκρων VR, VL και VF όπου το 'V' αντιπροσωπεύει την τάση (η τάση που φαίνεται επί του τόπου του μονοπολικού ηλεκτροδίου).

1935

Οι McGinn και White περιγράφουν τις αλλαγές στο ηλεκτροκαρδιογράφημα κατά τη διάρκεια του οξέος πνευμονικού εμβολισμού συμπεριλαμβανομένου του S1 Q3 και T3 σχεδίου.

1938

Η Αμερικανική Ένωση Καρδιάς και η Καρδιακή Εταιρία της Μεγάλης Βρετανίας καθορίζουν τις τυποποιημένες θέσεις, την καλωδίωση και τους θωρακικούς μόλυβδους V1 - V6. Το 'V' αντιπροσωπεύει την τάση.

1938

Ο Tomaszewski σημειώνει τις αλλαγές στο ηλεκτροκαρδιογράφημα σε ένα άτομο που πέθανε από υποθερμία.

1939

Ο Langendorf αναφέρει μια περίπτωση ενδοκοιλιακού εμφράγματος που ανακαλύπτεται στην αυτοψία που, στην αναδρομική εξέταση, θα μπορούσε να έχει εντοπιστεί από τις αλλαγές στο ΗΚΓ.

1942

Ο Emanuel Goldberger αυξάνει την τάση των μονοπολικών μόλυβδων Wilson κατά 50% και δημιουργεί το αυξημένο άκρο που οδηγεί σε aVR, aVL και aVF. Όταν προστίθενται μόλυβδοι στα τρία άκρα του Einthoven και τους έξι θωρακικούς μόλυβδους φθάνουμε στο ηλεκτροκαρδιογράφημα 12 μόλυβδων που χρησιμοποιείται σήμερα.

1942

Ο Arthur Master, τυποποιεί δοκιμαστική άσκηση σε δύο στάδια (τώρα γνωστή ως κύρια σε δύο στάδια) για την καρδιακή λειτουργία.

1944

Οι Young και Koenig εκθέτουν το τμήμα P-R μίας σειράς ασθενών με ενδοκοιλιακό έμφραγμα.

1947

Ο Claude Beck, ένας πρωτοποριακός καρδιαγγειακός χειρουργός του Κλήβελαντ, κατάφερε να εξαφανίσει την μαρμαρυγή (ινιδισμό) από μια ανθρώπινη καρδιά κατά τη διάρκεια της καρδιακής χειρουργικής επέμβασης. Ο ασθενής ήταν αγόρι 14 χρονών ενώ 6 άλλοι ασθενείς είχαν αποτύχει να ανταποκριθούν στην απινίδωση. Ακολούθησαν πειράματα απινίδωσης πρωτοτύπου Beck σε ζώα που εκτελέστηκαν από τον Carl J. Wiggers, καθηγητή της φυσιολογίας στο δυτικό πανεπιστήμιο της Reserve.

1948



Εικόνα 13. Σύγχρονο όργανο ελέγχου «Holter»[1]

Ο Rune Elmqvist, Σουηδός μηχανικός που είχε εκπαιδευτεί ως γιατρός αλλά δεν το είχε ασκήσει ποτέ σαν επάγγελμα, εισάγει τον πρώτο εκτυπωτή Inkjet για τη μεταγραφή των αναλογικών φυσιολογικών σημάτων. Καταδεικνύει τη χρήση του στην καταγραφή ΗΚΓ στο πρώτο διεθνές συνέδριο της καρδιολογίας στο Παρίσι το 1950. Η μηχανή (minkograph) αναπτύχθηκε από τον ίδιο στην επιχείρηση που έγινε αργότερα η Siemens. (Luderitz, 2002)

1949

Ο παθολόγος Norman Jeff Holter από τη Μοντάνα αναπτύσσει ένα μηχάνημα 34,02 κιλών που μπορεί να καταγράψει το ΗΚΓ και να διαβιβάσει το σήμα. Το σύστημά του, το όργανο ελέγχου Holter, πολύ αργότερα μειώνεται σε μέγεθος, συνδυάζεται με την ταινία (την ψηφιακή καταγραφή) και χρησιμοποιείται για να καταγράψει ΗΚΓ κατά το περπάτημα.

1949

Ο Sokolow και η Lyon προτείνουν διαγνωστικά κριτήρια για την αριστερή κοιλιακή υπερτροφία δηλ. η LVH (αριστερή κοιλιακή υπερτροφία) υπάρχει σε περίπτωση που το ποσό του μεγέθους του κύματος του S (V1) και του κύματος P (V6) υπερβαίνει τα 35 χιλ.

1950

Ο John Horps, ένας Καναδός ηλεκτρολόγος μηχανικός και ερευνητής για το Εθνικό Ερευνητικό Συμβούλιο, μαζί με δύο παθολόγους (Wilfred Bigelow, του πανεπιστημίου του Τορόντου και τον εκπαιδευόμενό του, John C. Callaghan) δείχνουν ότι μια συντονισμένη συστολή των καρδιακών μυών μπορεί να υποκινηθεί από μια ηλεκτρική ώθηση που παραδίδεται στο φλεβόκόμβο. Η συσκευή, ο πρώτος καρδιακός βηματοδότης, 30cm, λειτουργεί σε κενά αγγεία και τροφοδοτείται από το οικιακό 60Hz ηλεκτρικό ρεύμα.

1955

Ο Richard Langendorf δημοσιεύει το «κανόνα “bigeminy”» με το οποίο η κοιλιακή διδυμία τείνει να διαιωνιστεί.

1956

Ο Paul Zoll, ένας καρδιολόγος, χρησιμοποιεί ισχυρότερη απινίδωση και εκτελεί τη κλειστο-θωρακική απινίδωση σε έναν άνθρωπο.

1957



Εικόνα 14.
Μακροχρόνιο QT
σύνδρομο[1]

Ο Anton Jervell και ο Fred Lange-Nielsen από το Όσλο περιγράφουν ένα αυτοχρωμοσωματικό υπολειπόμενο σύνδρομο του διαστήματος μακρύ-QT, της κώφωσης και του ξαφνικού θανάτου γνωστό αργότερα ως σύνδρομο Jervell-Lange-Nielsen.

1958

Ο καθηγητής Ake Senning, της Σουηδίας, τοποθετεί τον πρώτο εμφυτεύσιμο καρδιακό βηματοδότη που σχεδιάζεται από τον Rune Elmqvist σε ένα 43χρονο ασθενή με πλήρες καρδιακό αποκλεισμό και συγκοπή (Arne Larsson).

1959

Ο Myron Prinzmetal περιγράφει μια διαφορετική μορφή στηθάγχης στην οποία το τμήμα του ST είναι ανυψωμένο παρά πιεσμένο.

1960

Ο Smirk και ο Palmer δίνουν έμφαση στον κίνδυνο ξαφνικού θανάτου από τον κοιλιακό ινιδισμό ιδιαίτερα όταν ο πρόωρος κοιλιακός χτύπος εμφανίζεται ταυτόχρονα με το κύμα Tα, το φαινόμενο «P στο T».

1963

Ο Ιταλός παιδίατρος C. Romano και ο Ιρλανδός παιδίατρος O. Connor Ward (το επόμενο έτος) ανεξάρτητα εκθέτουν ένα αυτοχρωμοσωματικό κυρίαρχο σύνδρομο του διαστήματος μακρύ-QT, αργότερα γνωστό ως σύνδρομο Romano-Ward.

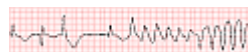
1963

Εικόνα 15. Άσκηση ΗΚΓ[1]

Οι Baule και McFee είναι οι πρώτοι που ανίχνευσαν το μαγνητοκαρδιογράφημα που είναι ο ηλεκτρομαγνητικός τομέας που παράγεται από την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς. Είναι μια μέθοδος που μπορεί να ανιχνεύσει το ΗΚΓ χωρίς τη χρήση των ηλεκτροδίων στο δέρμα. Αν και ενδεχομένως είναι μια χρήσιμη τεχνική, δεν έχει κερδίσει ποτέ κλινική αποδοχή, εν μέρει λόγω της μεγάλης δαπάνης της.

1966

Ο Mason και ο Likar τροποποιούν το σύστημα του 12-μολύβδου ΗΚΓ για τη χρήση κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άσκησης. Το σωστό ηλεκτρόδιο βραχιόνων τοποθετείται σε ένα σημείο στον υποκλείδιο διάμεσο στα σύνορα του δελτοειδούς μυός, 2 εκατ. κάτω από τα χαμηλότερα όρια της κλείδωσης. Το αριστερό ηλεκτρόδιο βραχιόνων τοποθετείται ομοίως στην αριστερή πλευρά. Το αριστερό ηλεκτρόδιο ποδιών τοποθετείται στον αριστερό ιλιακό λόφο. Αν και αυτό το σύστημα μειώνει τη μεταβλητότητα στην καταγραφή ΗΚΓ κατά τη διάρκεια της άσκησης δεν είναι ακριβώς ισοδύναμο με τις τυποποιημένες θέσεις μολύβδου. Το σύστημα μολύβδου Mason -Likar τείνει να διαστρεβλώσει το ΗΚΓ με μια μετατόπιση του άξονα QRS, μια μείωση του εύρους κυμάτων P του μολύβδου I και aVL, και μια σημαντική αύξηση στο εύρος κυμάτων P στους μολύβδους II, III και aVF.

1966

Εικόνα 16. Torsade de pointes[1]

Ο François Dessertenne δημοσιεύει την πρώτη περίπτωση «Στρίψιμο των ακρών» (Torsade de pointes) της κοιλιακής ταχυκαρδίας.

1968

Το περιοδικό Electrocardiography, η Επίσημη Εφημερίδα της Διεθνούς Εταιρίας για την αυτοματοποιημένη ηλεκτροκαρδιολογία και της Διεθνούς Εταιρίας Ηλεκτροκαρδιολογίας, ιδρύεται από τον Zao και τον Lepschkin.

1968

Ο Henry Marriott εισάγει τον τροποποιημένο θωρακικό μολύβδο 1 (MCL1) για τον έλεγχο της στεφανιαίας αρτηρίας των ασθενών.

1974

Ο Jay Cohn, του ιατρικού πανεπιστημίου της Μινεσότας, περιγράφει το «σύνδρομο της δεξιάς κοιλιακής δυσλειτουργίας στον καθορισμό του οξέος κατώτερου μυοκαρδιακού εμφράγματος».

1974

Ο Gozensky και ο Thorne εισάγουν τον όρο «αυτιά κουνελιών» στην ηλεκτροκαρδιογραφία. Τα αυτιά κουνελιών περιγράφουν την εμφάνιση του σύνθετου QRS στο μολύβδο V1 με ένα σχέδιο rSR (καλό κουνέλι) που είναι χαρακτηριστικό του δεξιού φραγμού αρτηριών και ενός RSr (κακό κουνέλι) προτείνοντας μια κοιλιακή προέλευση π.χ. κοιλιακή εκτροπή/ ταχυκαρδία.

1976

Ο Erhardt και οι συνάδελφοί του περιγράφουν τη χρήση ενός σωστά-πλαισιωμένου μολύβδου στη διάγνωση του δεξιού κοιλιακού εμφράγματος που πριν ήταν πιθανώς ηλεκτροκαρδιογραφικά σιωπηλό.

1988

Ο καθηγητής John Pope Boineau της ιατρικής πανεπιστημιακής σχολής της Ουάσιγκτον δημοσιεύει μια 30-ετών προοπτική απεικόνισης στη σύγχρονη ιστορία της ηλεκτροκαρδιογραφίας.

1992



Ο Pedro Brugada και ο Josep Brugada της Βαρκελώνης δημοσιεύουν μια σειρά 8 περιπτώσεων ξαφνικού θανάτου, του σωστού σχεδίου φραγμού αρτηριών και της ανύψωσης του ST στα V1 - V3 σε φαινομενικά υγιή άτομα. Αυτό το «σύνδρομο Brugada» μπορεί να αποτελέσει 4-12% των απροσδόκητων ξαφνικών θανάτων και είναι η πιο κοινή αιτία του ξαφνικού καρδιακού θανάτου στα άτομα ηλικίας κάτω των 50 ετών στη Νότια Ασία. Η τεχνολογία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, που είναι άνω των 100 ετών, μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να ανακαλύψει τις νέες κλινικές οντότητες στην καρδιολογία.

1993

Ο Robert Zelenki, καθηγητής της έκτακτης ιατρικής ανάγκης, σε κρατικό πανεπιστήμιο του Νητρόιτ, και οι συνάδελφοί του δημοσιεύουν ένα άρθρο σχετικά με την κλινική χρήση του 15 μολύβδου ECG με χρήσεις V4R, V8 και V9 στη διάγνωση των οξέων στεφανιαίων συνδρόμων. Όπως στην προσθήκη των 6 τυποποιημένων μονοπολικών θωρακικών μολύβδων το 1938, αυτοί οι πρόσθετοι μολύβδοι αυξάνουν την ευαισθησία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος στην ανίχνευση του μυοκαρδιακού εμφράγματος.



Εικόνα 17. MAC 5000, 15 μολύβδος ΗΚΓ[1]

1999

Ερευνητές από το Τέξας δείχνουν ότι οι 12-μόλυβδοι ΗΚΓ που διαβιβάζονται μέσω της ασύρματης τεχνολογίας στους φορητούς υπολογιστές είναι εφικτοί και μπορεί να ερμηνευθούν σοβαρά από τους καρδιολόγους.

2000

Παθολόγοι από τη κλινική Mayo περιγράφουν μια νέα κληρονομική μορφή σύντομου QT συνδρόμου που συνδέεται με τη συγκοπή και τον ξαφνικό θάνατο που ανακάλυψαν το 1999. Διάφορα γονίδια έχουν εμπλακεί από τότε.

2005

Δανοί καρδιολόγοι εκθέτουν την επιτυχή μείωση του χρόνου μεταξύ της αρχής του θωρακικού πόνου και της πρόωρης αγγειοπλαστικής όταν το ΗΚΓ των ασθενών διαβιβάζεται ασύρματα από το ασθενοφόρο στο φορητό PDA του καρδιολόγου (προσωπικός ψηφιακός βοηθός). Ο νοσοκομειακός γιατρός μπορεί να λάβει μια άμεση απόφαση να επαναπροσανατολίσει τους ασθενείς στα εργαστήρια μεταξύ των τμημάτων νοσοκομείων ώστε να κερδίσουν χρόνο κατά τη μεταφορά [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΔΟΜΗ ΗΚΓ – ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

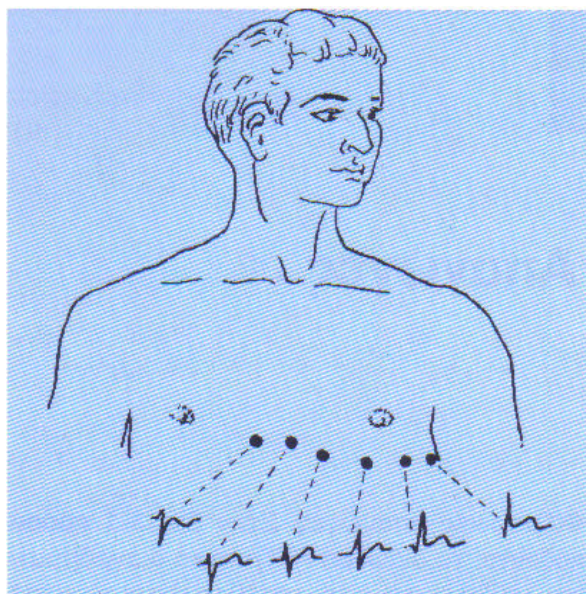
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΓΩΓΕΣ

Η λειτουργία της καρδιάς συνίσταται στο να συστέλλεται και να εξωθεί αίμα στους πνεύμονες για οξυγόνωση και μετά να εξωθεί αυτό το οξυγονωμένο αίμα στη γενική (συστηματική) κυκλοφορία. Το σήμα για την καρδιακή συστολή είναι η διάδοση ηλεκτρικών ρευμάτων δια μέσω του καρδιακού μυός. Τα ρεύματα αυτά παράγονται τόσο από τα κύτταρα βηματοδοτών και εξειδικευμένο στην αγωγή τους νευρικό ιστό μέσα στην καρδιά, όσο και από τον ίδιο τον καρδιακό μυ. Το ΗΚΓ καταγράφει μόνο τα ρεύματα που παράγονται από τον καρδιακό μυ.

Το φυσιολογικό ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι η καταγραφή των διακυμάνσεων του δυναμικού της ηλεκτρικής ενέργειας της καρδιάς οι οποίες συνοδεύονται στη φάση αυτή με τη συστολή ή και ακόμα πιο ακριβέστερα, το ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι μια σύνθετη καμπύλη επί της οποίας καταγράφονται, ως επάρματα ή κύματα, οι φάσεις εκπόλωσης (depolarization) και επαναπόλωσης (repolarization) των κόλπων και των κοιλιών. Υποδιαιρείται στο κολπικό και στο κοιλιακό σύμπλεγμα, γνωστά και ως κολπογράφημα, που συγκροτείται από τις αποκλίσεις P και Ta, και ως κοιλιολογράφημα αποτελούμενο από το QRS και T.

Το έπαρμα P ή κολπικό έπαρμα αποτελεί την εκδήλωση της εκπόλωσης των κόλπων. Το κύμα επαναπόλωσης των κόλπων Ta φυσιολογικός δεν είναι εμφανές και βρίσκεται στα πλαίσια των διαστημάτων PR ή QRS. Σε περιπτώσεις κολποκοιλιακού αποκλεισμού, όπου και βραδύνει η διαδικασία συστολής των κοιλιών και άρα το PR είναι μεγαλύτερης διάρκειας, το Ta είναι εμφανές και προκαλεί την εμβάθυνση του PR. Το φυσιολογικό P είναι διάρκειας 0,08" ύψους 1,5 χιλστ. και κατά ανώτερο όριο 0,11" και 2,5 χιλστ.

Το σύμπλεγμα QRS απαρτίζεται από τα κύματα Q,R και S τα οποία ενωμένα αποτελούν ηλεκτροκαρδιογραφική μονάδα, την ομάδα ή το σύμπλεγμα QRS. Το QRS αποτελεί εκδήλωση της εξάπλωσης του κύματος εκπόλωσης των κοιλιών. Κανονικής μορφής QRS σημαίνει ότι το κέντρο αυτοματισμού εδρεύει στο φλεβόκομβο, το κύμα μεταδόθηκε ομαλά και μέσω της φυσιολογικής οδού στην κοιλία. Το φυσιολογικό QRS,μετρούμενο από την αρχή του Q, και το τέλος του S, είναι διάρκειας κατά μέσο όρο 0,08", κατά ανώτατο όριο 0,10" και ύψους 5-15 χιλστ. Αναλυτικότερα, το Q αναπαριστά την άφιξη και την εξάπλωση του κύματος εκπολώσεως στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα, για αυτό καλείται και διαφραγματικό Q ή septal Q. Είναι πάντοτε αρνητικό κύμα. Θεωρείται φυσιολογικό όταν δεν υπερβαίνει το 25% του ύψους του R στην ίδια απαγωγή. Το R είναι πάντοτε θετικό και είναι το μόνο έπαρμα το οποίο υπάρχει σε όλες τις απαγωγές εκτός από συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως η οξεία μαλπίγγειονεφρίτιδα, η ρευματική καρδιόπαθεια και ο υποθυρεοειδισμός. Το S είναι πάντοτε αρνητικό κύμα, ανώτατο του φυσιολογικού βάθους στους ενήλικες



Εικόνα 18. Πολλαπλές προκάρδιες απαγωγές που δίνουν μια τρισδιάστατη εικόνα της ηλεκτρικής καρδιακής δραστηριότητας. Αυτές παρουσιάζονται ως ΗΚΓ γραφικά διαγράμματα που λαμβάνονται όταν τοποθετούνται ηλεκτρόδια σε διάφορα σημεία του θώρακα[2].

των 6 χιλστ. Το κύμα αυτό είναι πιθανόν να λείπε σε τρεις κλασικές απαγωγές αλλά και να υφίσταται σε όλες.

Το έπαρμα T αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα τον απαιτούμενο για την επαναπόλωση των κοιλιών και καταγράφεται όλο το χρόνο όσο διαρκεί η συστολή των κοιλιών. Ηλεκτροκαρδιογραφικά, η συστολή των κοιλιών ανέρχεται αμέσως μετά τη χάραξη της κορυφής του R και συμπληρώνεται με το τέλος του T. Είναι διάρκειας 0,2", ύψους 2-6 χιλστ. αποτελεί την πιο ευαίσθητη απόκλιση του ηλεκτροκαρδιογραφήματος και επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες. Αύξηση του T προκαλεί πχ. Η γυμναστική, ο υποθυρεοειδισμός και ελάττωση ο υποσιτισμός, το ψύχος, η ηλικία, η κατάχρηση καπνού ή φαρμάκων.

Η καρδιά λοιπόν, παράγει ηλεκτρικά ρεύματα (παρόμοια με της γνωστής μπαταρίας (ξηρού συσσωρευτή)). Η ισχύς ή η τάση (δυναμικό) αυτών των ρευμάτων και ο τρόπος που κατανέμονται σε ολόκληρο το σώμα μπορεί να μετρηθεί με ένα κατάλληλο καταγραφικό όργανο, όπως ο ηλεκτροκαρδιογράφος.

Το σώμα ενεργεί ως αγωγός του ηλεκτρισμού. Γι' αυτό, καταγραφικά ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε κάποια απόσταση από την καρδιά όπως στα αντιβράχια, στις κνήμες ή στο θωρακικό τοίχωμα, μπορούν να ανιχνεύσουν τα δυναμικά των καρδιακών ρευμάτων που μεταφέρονται σ' αυτές τις θέσεις. Ο συνηθισμένος τρόπος καταγραφής αυτών των δυναμικών της καρδιάς είναι με τις 12 κλασικές ΗΚΓγραφικές απαγωγές. Στην πραγματικότητα οι απαγωγές δείχνουν τις διαφορές δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων τοποθετημένων στην επιφάνεια του σώματος.

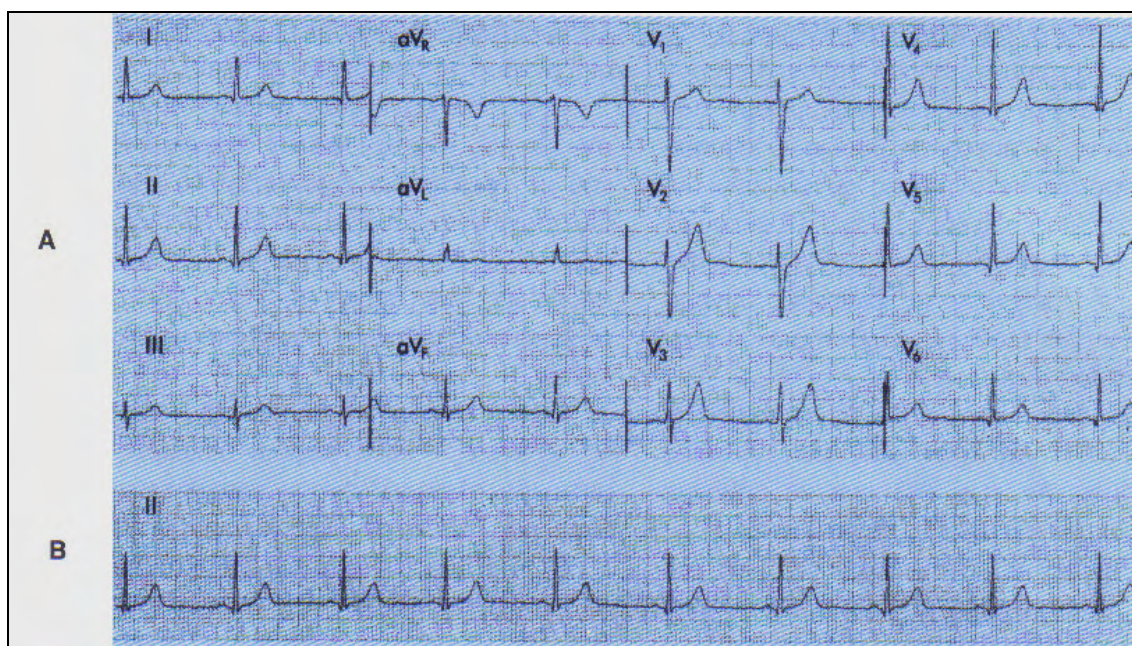
Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι, για να μπορέσουμε να περιγράψουμε με αρκετή πληρότητα την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς είναι ανάγκη να ληφθούν πολλές ΗΚΓγραφικές απαγωγές.

Οι απαγωγές μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο ομάδες: στις έξι απαγωγές των άκρων (παρουσιάζονται στις δύο αριστερές στήλες της εικόνας 19) και στις έξι θωρακικές (προκάρδιες) απαγωγές (παρουσιάζονται στις δύο δεξιές στήλες της εικόνας 19).

Οι έξι απαγωγές των άκρων - I, II, III, aV_R , aV_L και aV_F - καταγράφουν διαφορές δυναμικού με ηλεκτρόδια τοποθετημένα στα άκρα. Οι απαγωγές αυτές μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε δύο υποομάδες: στις διπολικές απαγωγές των άκρων (I, II και III) και στις μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aV_R , aV_L και aV_F).

Οι έξι προκάρδιες απαγωγές - V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 και V_6 - καταγράφουν διαφορές δυναμικού με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις του θωρακικού τοιχώματος.

Οι 12 ΗΚΓγραφικές απαγωγές μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως 12 «κανάλια». Σε αντίθεση, όμως, με τα «κανάλια» της τηλεόρασης (που μπορούν να συντονισθούν προς διάφορα γεγονότα), τα ηλεκτροκαρδιογραφικά «κανάλια» (απαγωγές) είναι όλα συντονισμένα στο ίδιο γεγονός (στον κύκλο P-QRS-T), το οποίο κάθε απαγωγή παρατηρεί από διαφορετική γωνία [2][3][4][5].



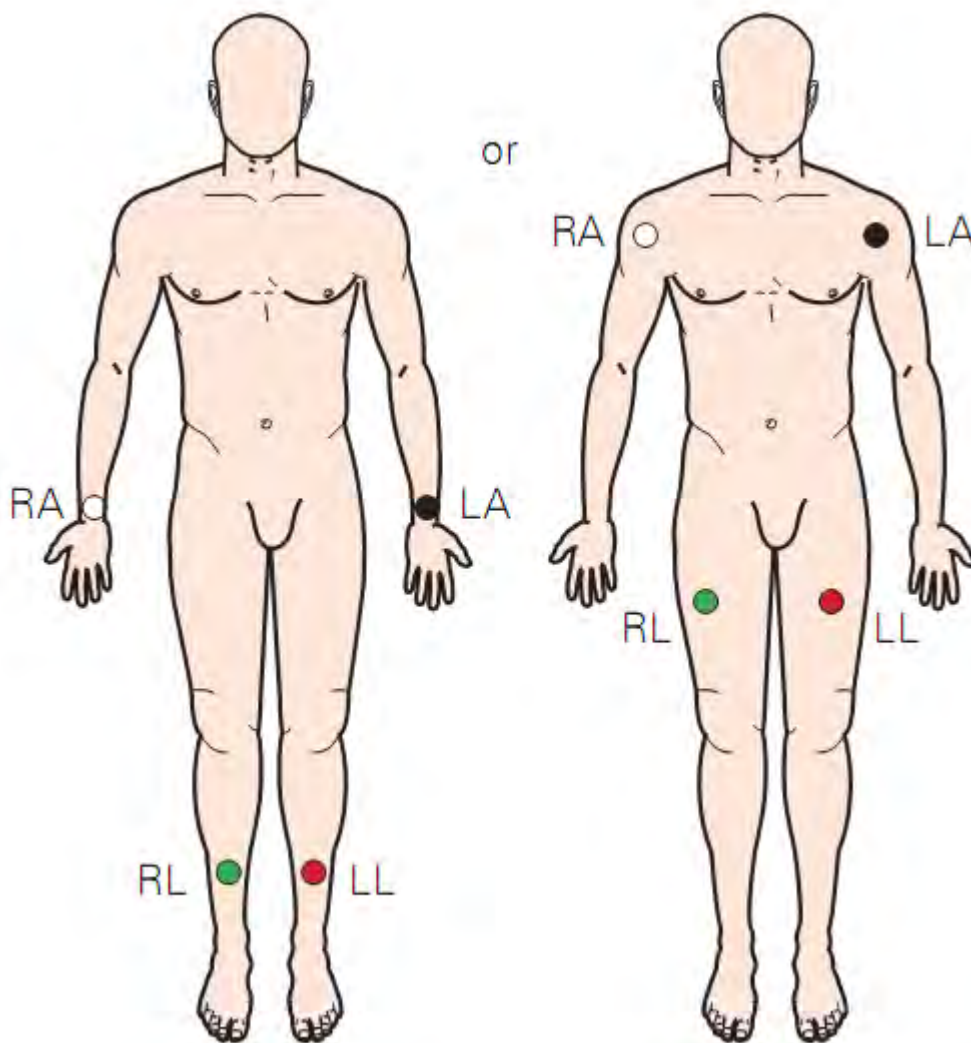
Εικόνα 19. Α: Δείγμα ΗΚΓ με τις 12 κλασικές απαγωγές. Β: ΗΚΓ της απαγωγής II [2].

2.1.1. ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ

2.1.1.1. Διπολικές απαγωγές (I, II και III)

Θα αρχίσουμε με τις απαγωγές των άκρων, επειδή αυτές καταγράφονται πρώτες. Για να συνδέσουμε τον ασθενή στον ηλεκτροκαρδιογράφο τοποθετούμε πρώτα μεταλλικά ηλεκτρόδια στα αντιβράχια και στις κνήμες του. Το ηλεκτρόδιο της δεξιάς κνήμης λειτουργεί μόνο ως ηλεκτρική γείωση, κι έτσι δεν χρειάζεται να μας απασχολήσει περισσότερο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 20 τα ηλεκτρόδια των αντιβραχίων τοποθετούνται αμέσως επάνω από τον καρπό, ενώ των κνημών προσδένονται επάνω από τα σφυρά.

Τα ηλεκτρικά δυναμικά της καρδιάς άγονται, διαμέσου του κορμού, προς τα άκρα. Κατά συνέπεια, ένα ηλεκτρόδιο τοποθετημένο στο δεξιό καρπό θα ανιχνεύει ηλεκτρικά δυναμικά ισοδύναμα με αυτά που καταγράφονται χαμηλότερα από το δεξιό ώμο. Παρομοίως, τα δυναμικά που ανιχνεύονται στον αριστερό καρπό ή οπουδήποτε αλλού στο αριστερό άνω άκρο θα είναι ισοδύναμα με τα δυναμικά που καταγράφονται χαμηλότερα από τον αριστερό ώμο. Τέλος, τα δυναμικά που ανιχνεύονται από το ηλεκτρόδιο της αριστερής κνήμης θα μπορούν να παραβληθούν με εκείνα που καταγράφονται στον αριστερό μηρό ή κοντά στη βουβωνική χώρα. Στην κλινική πράξη τα ηλεκτρόδια προσαρμόζονται στους καρπούς και στα σφυρά απλώς για ευκολία.



Εικόνα 20. Μεταλλικά ηλεκτρόδια τοποθετημένα στον ασθενή για τη λήψη ηλεκτροκαρδιογραφήματος [3].

Όπως αναφέρθηκε, οι απαγωγές των άκρων αποτελούνται από δύο ομάδες: τις διπολικές (I, II και III) και τις μονοπολικές (aV_R , aV_L και aV_F) απαγωγές. Οι διπολικές ονομάζονται έτσι επειδή καταγράφουν τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ δύο άκρων.

Για παράδειγμα, η απαγωγή I καταγράφει τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του αριστερού άνω άκρου (LA) (Left Arm) και του δεξιού άνω άκρου (RA) (Right Arm).

$$\text{Απαγωγή I} = \text{LA} - \text{RA}$$

Η απαγωγή II καταγράφει τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του αριστερού κάτω άκρου (LL) (Left Leg) και του δεξιού άνω άκρου (RA).

$$\text{Απαγωγή II} = \text{LL} - \text{RA}$$

Η απαγωγή III καταγράφει τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του αριστερού κάτω άκρου (LL) και του αριστερού άνω άκρου (LA).

$$\text{Απαγωγή III} = \text{LL} - \text{LA}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται τι συμβαίνει όταν βάζουμε σε λειτουργία τον ηλεκτροκαρδιογράφο στην απαγωγή I. Το ηλεκτρόδιο LA ανιχνεύει τα ηλεκτρικά δυναμικά της καρδιάς που μεταβιβάζονται στο αριστερό άνω άκρο. Το ηλεκτρόδιο RA ανιχνεύει τα ηλεκτρικά δυναμικά που μεταβιβάζονται στο δεξιό άνω άκρο. Μέσα στον

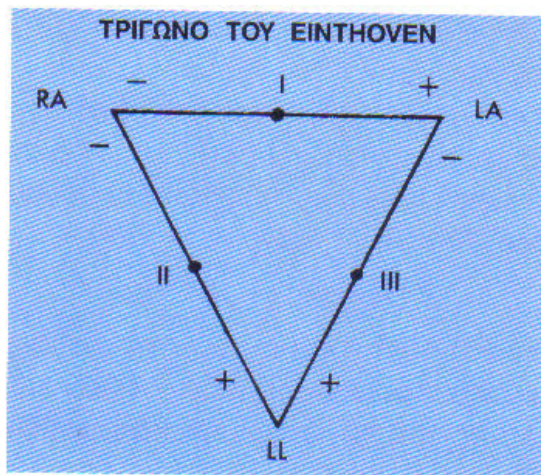
ηλεκτροκαρδιογράφο τα δυναμικά RA αφαιρούνται από τα δυναμικά LA και η διαφορά τους εμφανίζεται ως απαγωγή I. Όταν καταγράφεται η απαγωγή II, το ανάλογο συμβαίνει και για τα δυναμικά LL και RA. Κατά την καταγραφή της απαγωγής III, το ίδιο συμβαίνει και για τα δυναμικά LL και LA.

Οι απαγωγές I, II και III μπορούν να παρασταθούν σχηματικά με ένα τρίγωνο, που ονομάζεται τρίγωνο του Einthoven (από το όνομα του Ολλανδού γιατρού που εφεύρε τον ηλεκτροκαρδιογράφο στις αρχές του εικοστού αιώνα). Στην αρχή το ΗΚΓ αποτελούσαν μόνον οι απαγωγές I, II και III. Το τρίγωνο του Einthoven (Εικόνα 21) δείχνει τον προσανατολισμό στο χώρο των τριών διπολικών απαγωγών των άκρων (I, II και III). Όπως βλέπουμε, η απαγωγή I είναι οριζόντια. Ο αριστερός της πόλος (LA) είναι θετικός και ο δεξιός (RA) αρνητικός. Συνεπώς απαγωγή I = LA - RA. Η απαγωγή II προσανατολίζεται διαγώνια προς τα κάτω. Ο κάτω πόλος της (LL) είναι θετικός και ο άνω (RA) αρνητικός, άρα απαγωγή II = LL - RA. Η απαγωγή III προσανατολίζεται επίσης διαγώνια προς τα κάτω. Ο κάτω πόλος της (LL) είναι θετικός και ο άνω (LA) είναι αρνητικός. Συνεπώς, απαγωγή III = LL - LA.

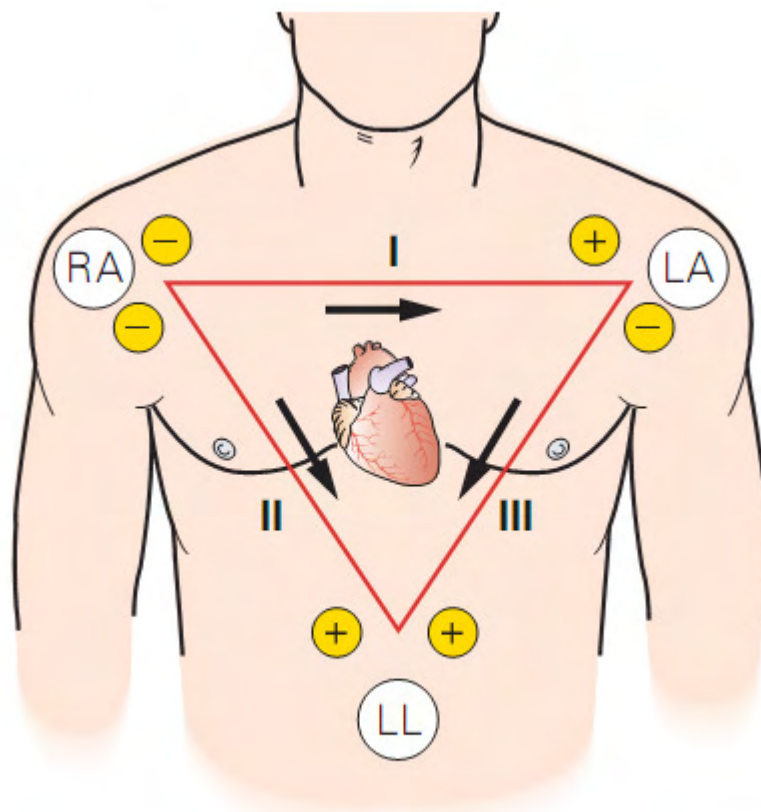
Βέβαια, ο Einthoven θα μπορούσε να είχε τοποθετήσει τις απαγωγές διαφορετικά- επειδή όμως τις τακτοποίησε έτσι, οι διπολικές απαγωγές σχετίζονται με την εξής απλή εξίσωση:

$$\text{Απαγωγή I} + \text{Απαγωγή III} = \text{Απαγωγή II}$$

Με άλλα λόγια, προσθέτοντας τα δυναμικά των απαγωγών I και III έχουμε το δυναμικό της II. Η εξίσωση αυτή μπορεί να ελεγχθεί με εξέταση των Εικόνων 21, 22 και 23. Αν το δυναμικό του επάρματος R στην απαγωγή I (+9 mm) προστεθεί στο δυναμικό του R στην απαγωγή III (+4 mm), θα προκύψει το δυναμικό του R στη II, δηλαδή + 13 mm. Το ίδιο μπορεί να γίνει με τα δυναμικά των επαρμάτων P και T.



Εικόνα 21. Το τρίγωνο του Einthoven [2].



Εικόνα 22. Τρίγωνο Einthoven και απαγωγές [3].

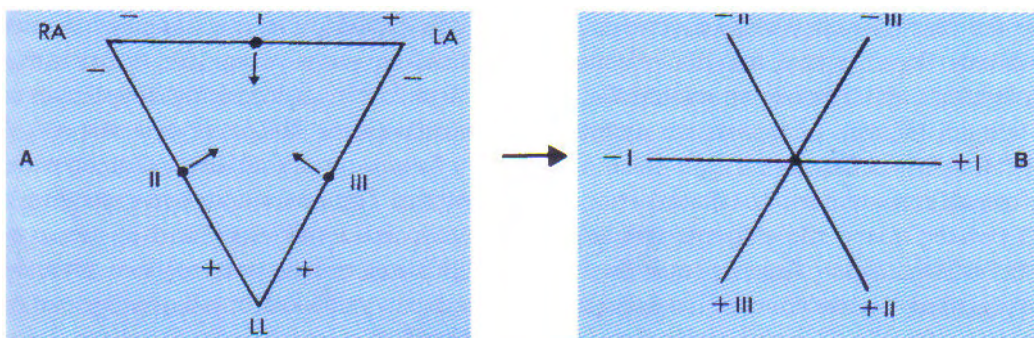
Μια καλή συνήθεια είναι, όταν πρωτοκοιτάζει κανείς ένα ΗΚΓ, να ρίχνει μια γρήγορη ματιά στις απαγωγές I, II και III. Αν το έπαρμα R στη II δεν φαίνεται να είναι ίσο με το άθροισμα των R στην I και στην III, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι απαγωγές είτε δεν καταγράφηκαν σωστά είτε δεν τοποθετήθηκαν σωστά στο ΗΚΓ.

Η εξίσωση του Einthoven είναι απλώς το αποτέλεσμα του τρόπου καταγραφής των διπολικών απαγωγών. (Το LA είναι θετικό στην I και αρνητικό στην III και, κατά συνέπεια, γίνεται απόσβεση όταν οι δύο απαγωγές προστεθούν).

$$\begin{aligned}
 I &= LA - RA \\
 + \quad III &= LL - LA \\
 \hline
 I+III &= LA - RA + LL - LA = LL - RA = II
 \end{aligned}$$

Άρα, στην ηλεκτροκαρδιογραφία ένα και τρία κάνουν δύο.

Για να συνοψίσουμε: Οι πρώτες τρεις απαγωγές (I, II και III) είναι οι διπολικές



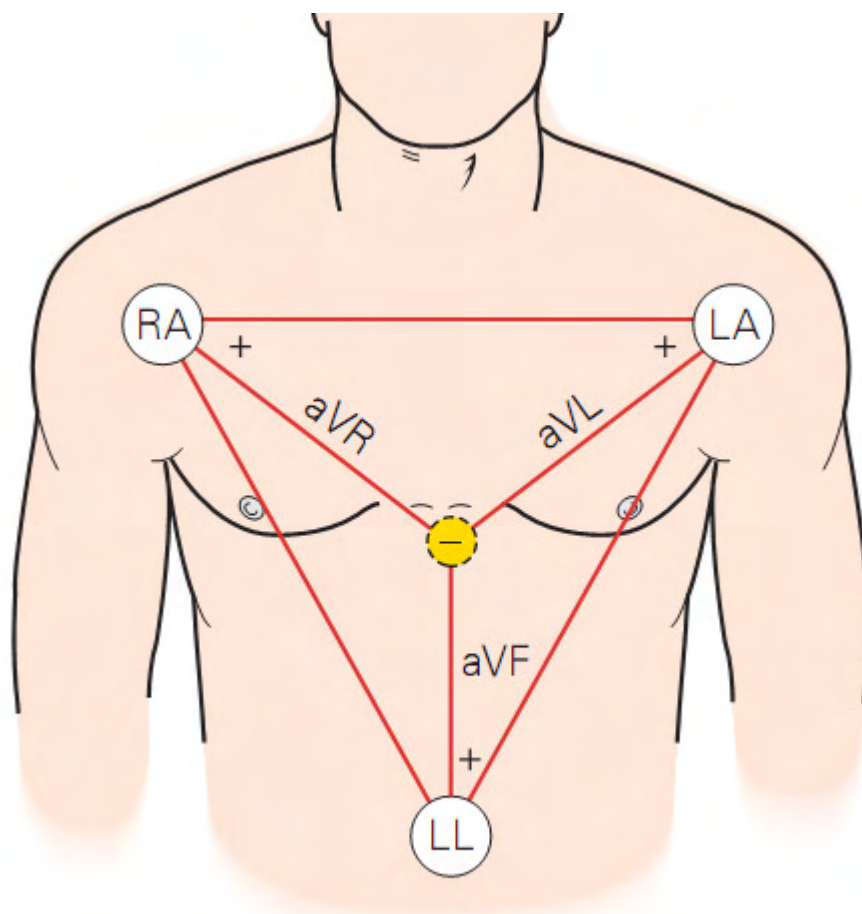
Εικόνα 23. Το τρίγωνο του Einthoven στο A έχει μετατραπεί στο τριαξονικό διάγραμμα και στο B οι απαγωγές I, II και III μετατοπίστηκαν ώστε να τέμνονται σε ένα κοινό σημείο [2].

απαγωγές των άκρων, που ιστορικά υπήρξαν οι πρώτες απαγωγές που επινοήθηκαν. Οι απαγωγές αυτές καταγράφουν τις διαφορές ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ των άκρων.

Στην Εικόνα 23, το τρίγωνο του Einthoven ξανασχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε οι απαγωγές I, II και III να τέμνονται όλες σε ένα κοινό κεντρικό σημείο. Αυτό έγινε με απλή μετατόπιση της I προς τα κάτω, της II προς τα δεξιά και της III προς τα αριστερά. Το αποτέλεσμα είναι το τριαξονικό διάγραμμα της Εικόνα 23, B [2][3][5][6][7].

2.1.1.2. Μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aVR, aVL, aVF)

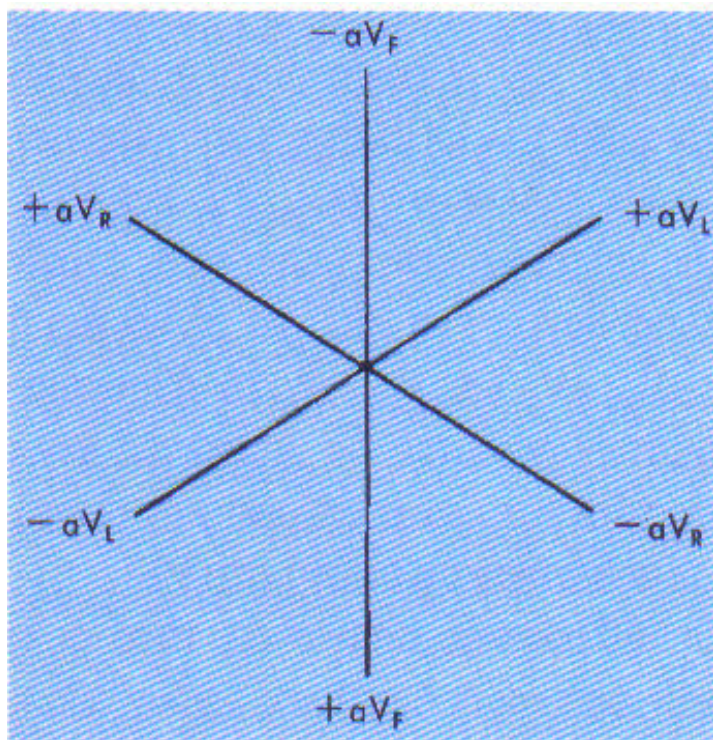
Μετά την επινόηση των τριών διπολικών απαγωγών των άκρων προστέθηκαν ακόμα εννέα απαγωγές. Το 1930, στο Πανεπιστήμιο του Michigan, ο Dr. Frank Wilson και οι συνεργάτες του επινόησαν τις μονοπολικές απαγωγές των άκρων και εισήγαγαν τις έξι μονοπολικές προκάρδιες απαγωγές, V₁ ως V₆. Λίγο καιρό μετά, ο ένας από τους συγγραφείς (E.G.) επινόησε τις τρεις ενισχυμένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων, aV_R, aV_L και aV_F. Η συντομογραφία a αντιστοιχεί στη λέξη augmented (=ενισχυμένο), η V στη λέξη voltage (=δυναμικό) και οι R, L και F, αντίστοιχα, στις λέξεις right arm (=δεξιό άνω άκρο), left arm (=αριστερό άνω άκρο) και foot (=αριστερό) πόδι ή κάτω άκρο). Έτσι, σήμερα, στην καθημερινή πράξη κατά τη λήψη ΗΚΓ ρουτίνας χρησιμοποιούνται 12 απαγωγές.



Εικόνα 24. Τρίγωνο Einthoven και μονοπολικές απαγωγές [3].

Η μονοπολική απαγωγή καταγράφει τα ηλεκτρικά δυναμικά μιας θέσης σε σχέση με δυναμικό μηδέν και όχι σε σχέση με τα δυναμικά ενός άλλου άκρου, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των διπολικών απαγωγών των άκρων. Το δυναμικό μηδέν επιτυγχάνεται στον ηλεκτροκαρδιογράφο με την ένωση των τριών απαγωγών των άκρων σε ένα κεντρικό πέρασ. Επειδή το άθροισμα των δυναμικών των RA, LA και LL είναι ίσο με μηδέν, το κεντρικό πέρασ έχει δυναμικό μηδέν. Οι απαγωγές aV_R , aV_L και aV_F παράγονται κάπως διαφορετικά, επειδή τα δυναμικά που καταγράφονται από τον ηλεκτροκαρδιογράφο έχουν ενισχυθεί κατά 50% περισσότερο από τα πραγματικά δυναμικά που ανιχνεύονται σε κάθε άκρο. Η ενίσχυση αυτή γίνεται επίσης μέσα στον ηλεκτροκαρδιογράφο ηλεκτρονικά. Η ενίσχυση αυτή σχεδιάστηκε για να γίνουν τα συμπλέγματα περισσότερο ευανάγνωστα.

Όπως ακριβώς χρησιμοποιήσαμε το τρίγωνο του Einthoven, για να παραστήσουμε τον προσανατολισμό των τριών διπολικών απαγωγών των άκρων στο χώρο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το διάγραμμα της Εικόνας 25, για να παραστήσουμε τον προσανατολισμό στο χώρο και των τριών μονοπολικών απαγωγών των άκρων. Παρατηρούμε, ότι κάθε μονοπολική απαγωγή μπορεί επίσης να παρασταθεί με μια γραμμή (άξονα), με θετικό και αρνητικό πόλο. Επειδή το διάγραμμα έχει τρεις άξονες, ονομάζεται και αυτό τριαξονικό.



Εικόνα 25. Τριαξονικό διάγραμμα των απαγωγών που δείχνει τη σχέση των τριών ενισχυμένων μονοπολικών απαγωγών: aVR, aVL και aVF [2].

Ο θετικός πόλος της aVR, της απαγωγής του δεξιού άνω άκρου, δείχνει, όπως θα αναμενόταν, προς τα άνω και προς το δεξιό άνω άκρο του ασθενούς. Ο θετικός πόλος της aVL δείχνει προς τα άνω και προς το αριστερό άνω άκρο και ο θετικός πόλος της aVF δείχνει προς τα κάτω και προς το αριστερό κάτω άκρο του ασθενούς.

Επιπλέον, όπως οι απαγωγές I, II και III σχετίζονται με την εξίσωση του Einthoven, έτσι και οι aVR, aVL και aVF σχετίζονται ως εξής:

$$aVR + aVL + aVF = 0$$

Με άλλα λόγια, όταν καταγράφονται οι τρεις απαγωγές των άκρων, το άθροισμα των δυ-

ναμικών τους θα πρέπει να είναι μηδέν. Έτσι, το άθροισμα των δυναμικών των επαρμάτων P είναι 0, όπως και το άθροισμα

των δυναμικών των QRS, καθώς και των επαρμάτων T. Επιστρέφοντας στην Εικόνα 20, μπορεί κανείς να ελέγξει την εξίσωση αυτή προσθέτοντας τα δυναμικά των QRS στις τρεις μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aVR, aVL και aVF) όπως αυτά διαφαίνονται στην Εικόνα 25.

Μία καλή συνήθεια επίσης είναι, όταν πρωτοβλέπει κανείς ένα ΗΚΓ, να ρίχνει μια ματιά στις aVR, aVL και aVF. Αν το άθροισμα των επαρμάτων σε αυτές τις απαγωγές δεν είναι μηδέν, τότε είτε δεν καταγράφηκαν σωστά είτε δεν τοποθετήθηκαν σωστά στο ΗΚΓ.

Οι ΗΚΓγραφικές απαγωγές, τόσο οι μονοπολικές όσο και οι διπολικές, έχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά, που ήδη περιγράφηκαν.

(Μολονότι οι μονοπολικές απαγωγές αντιπροσωπεύονται (όπως οι διπολικές) από άξονες με θετικούς και αρνητικούς πόλους, ο όρος «μονοπολική» δεν αναφέρεται σε αυτούς τους πόλους αλλά στο γεγονός ότι οι μονοπολικές απαγωγές καταγράφουν το δυναμικό μιας θέσης σε σχέση με το μηδενικό δυναμικό.)

Έχουν, δηλαδή, ένα συγκεκριμένο προσανατολισμό και μια συγκεκριμένη πολικότητα.

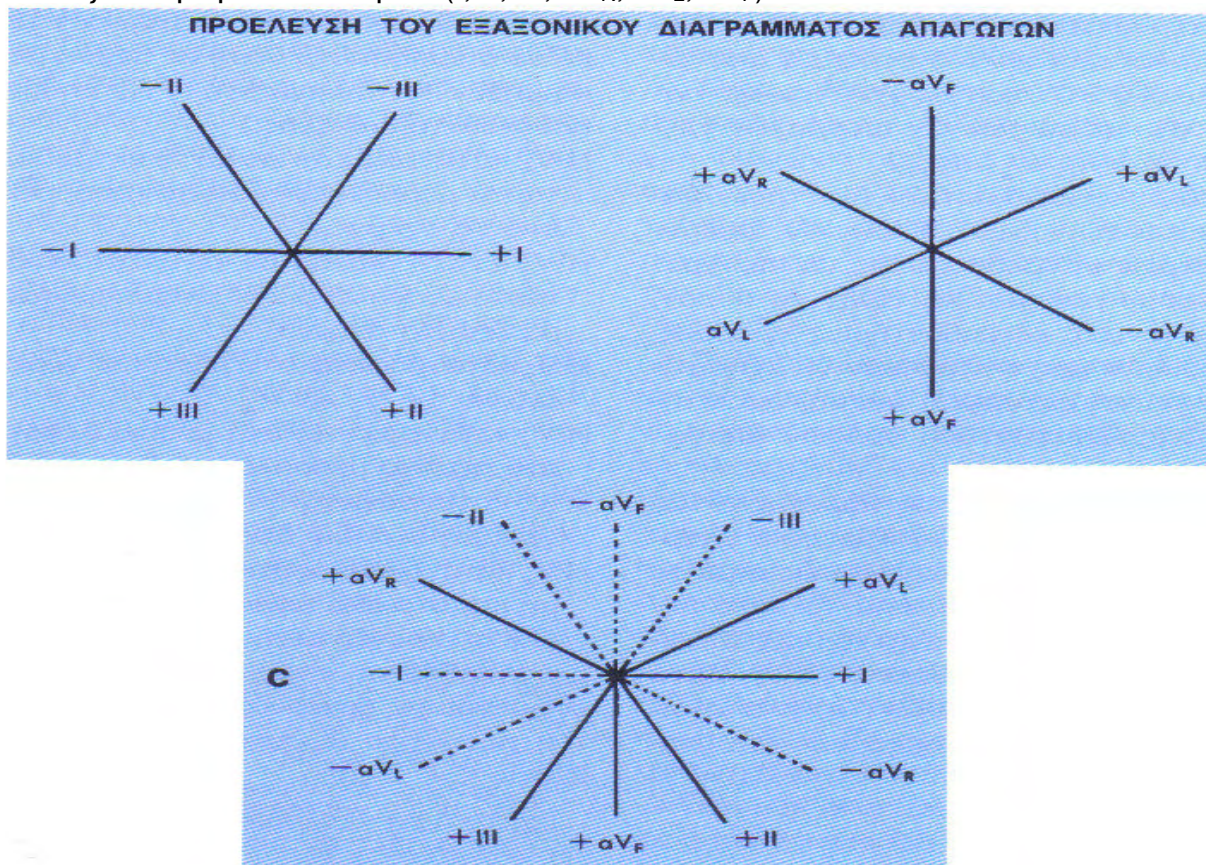
Έτσι, ο άξονας της απαγωγής I είναι προσανατολισμένος οριζόντια, ενώ της aVR δείχνει διαγώνια προς τα κάτω. Ο προσανατολισμός των διπολικών απαγωγών φαίνεται στο τρίγωνο του Einthoven (Εικόνα 21), ενώ ο προσανατολισμός των μονοπολικών απαγωγών των άκρων παρουσιάζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 26.

Το δεύτερο κύριο χαρακτηριστικό των ΗΚΓγραφικών απαγωγών, η πολικότητα τους, μπορεί να παρασταθεί με μια γραμμή (άξονα) με θετικό και αρνητικό πόλο, όπως προαναφέρθηκε.

Δεν πρέπει να γίνεται σύγχυση μεταξύ των ΗΚΓγραφικών απαγωγών και των ΗΚΓγραφικών ηλεκτροδίων. Το ηλεκτρόδιο είναι απλώς η μεταλλική πλάκα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των ηλεκτρικών ρευμάτων της καρδιάς σε οποιαδήποτε θέση. Η ΗΚΓγραφική απαγωγή δείχνει τις διαφορές δυναμικών που καταγράφουν αυτά τα ηλεκτρόδια (Η απαγωγή I, για παράδειγμα, δείχνει τη διαφορά των δυναμικών που ανιχνεύονται από τα ηλεκτρόδια του αριστερού και του δεξιού άνω άκρου). Απαγωγή, συνεπώς, είναι ο τρόπος καταγραφής των διαφορών των καρδιακών δυναμικών που λαμβάνονται με διάφορα ηλεκτρόδια [2][5][6][7].

2.1.1.3. Σχέση μεταξύ μονοπολικών και διπολικών απαγωγών των άκρων

Το τρίγωνο του Einthoven (Εικόνα 21) δείχνει τη σχέση των τριών διπολικών απαγωγών των άκρων (I, II και III). Παρομοίως, το τριαξονικό διάγραμμα της Εικόνας 25 δείχνει τις τρεις μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aV_R , aV_L και aV_F). Για ευκολία, μπορούμε να συνδυάσουμε αυτά τα δύο διαγράμματα, έτσι ώστε οι άξονες και των έξι απαγωγών των άκρων να τέμνονται σε ένα σημείο. Το αποτέλεσμα είναι το εξαξονικό διάγραμμα απαγωγών της Εικόνας 26, που δείχνει τον προσανατολισμό στο χώρο των έξι απαγωγών των άκρων (I, II, III, aV_R , aV_L , aV_F).

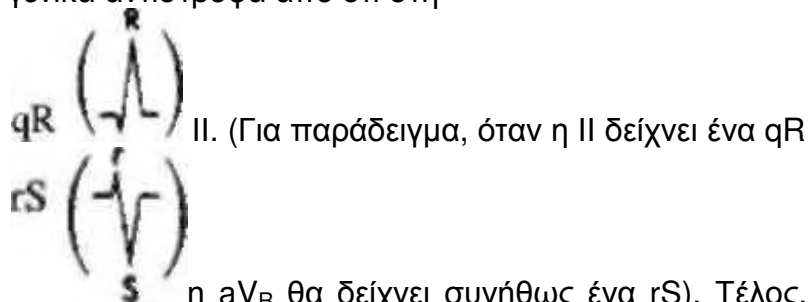


Εικόνα 26. Τριαξονικά διαγράμματα Α. των διπολικών απαγωγών I,II και III, Β. των απαγωγών που δείχνει τη σχέση των τριών ενισχυμένων μονοπολικών απαγωγών: aV_R , aV_L και aV_F . Γ. το εξαξονικό διάγραμμα που δείχνει τη σχέση μεταξύ των έξι απαγωγών [2].

Οι ακριβείς σχέσεις μεταξύ των τριών μονοπολικών και των τριών διπολικών απαγωγών των άκρων μπορούν επίσης να περιγραφούν με τρόπο μαθηματικό. Προς το παρόν, πάντως, οι γενικές κατευθυντήριες γραμμές, που ακολουθούν, μας επιτρέπουν να σχηματίσουμε μια γενική εντύπωση για τις ομοιότητες μεταξύ αυτών των δύο ομάδων απαγωγών.

Όπως θα περίμενε κανείς παρατηρώντας το εξαξονικό διάγραμμα, τα ΗΚΓγραφικά επάρματα στην aV_L είναι συνήθως παρόμοια με τα επάρματα στην

απαγωγή Ι. Από το άλλο μέρος, οι θετικοί πόλοι της aV_R και της ΙΙ δείχνουν προς αντίθετες κατευθύνσεις. Κατά συνέπεια, τα επάρματα P-QRS-T στην απαγωγή aV είναι γενικά αντίστροφα από ότι στη



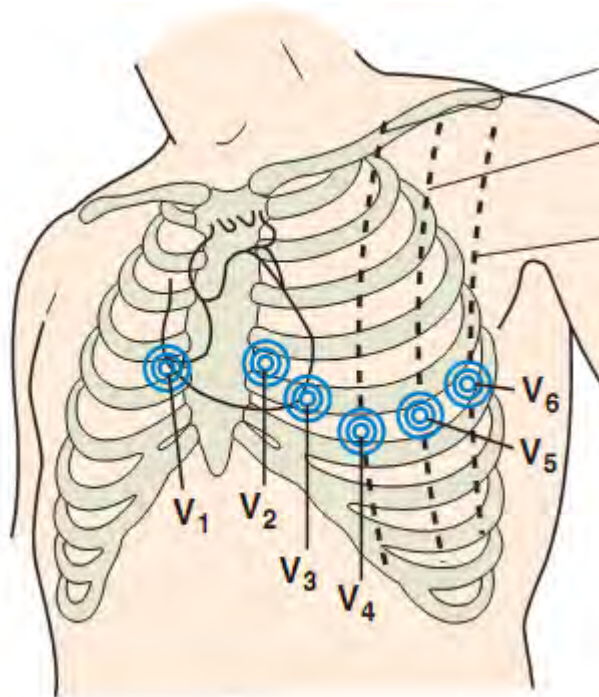
η aV_R θα δείχνει συνήθως ένα rS). Τέλος, τα επάρματα στην aV_F μοιάζουν, συνήθως, αλλά όχι πάντα, με τα επάρματα της απαγωγής ΙΙΙ [2][5][6].

2.1.2. ΠΡΟΚΑΡΔΙΕΣ (ΘΩΡΑΚΙΚΕΣ) ΑΠΑΓΩΓΕΣ

Οι προκάρδιες απαγωγές (V_1 έως V_6) δείχνουν τα ηλεκτρικά ρεύματα της καρδιάς, τα οποία ανιχνεύονται με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις στο θωρακικό τοίχωμα. Οι προκάρδιες απαγωγές, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι επίσης μονοπολικές απαγωγές κατά το ότι μετρούν το δυναμικό σε οποιαδήποτε θέση σε σχέση με δυναμικό μηδέν. Κατά συνθήκη, οι έξι απαγωγές τοποθετούνται ως εξής:

- Η V_1 καταγράφεται με το ηλεκτρόδιο στο τέταρτο μεσοπλευρίο διάστημα αμέσως δεξιά από το στέρνο.
- Η V_2 καταγράφεται με το ηλεκτρόδιο στο τέταρτο μεσοπλευρίο διάστημα αμέσως αριστερά από το στέρνο.
- Η V_3 καταγράφεται στο μέσο της γραμμής που ενώνει τις V_2 και V_4 .
- Η V_4 καταγράφεται στη μεσοκλειδική γραμμή στο πέμπτο μεσοπλευρίο διάστημα.
- Η V_5 καταγράφεται στην πρόσθια μασχαλιαία γραμμή στο ίδιο ύψος με τη V_4 .
- Η V_6 καταγράφεται στη μασχαλιαία γραμμή και στο ίδιο ύψος με τη V_4 .

Οι απαγωγές αυτές καταγράφονται απλώς με τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου (συνήθως ενωμένου με βεντούζα για να μένει στη θέση του πάνω στο θώρακα) σε έξι καθορισμένες θέσεις (Εικόνα 27).

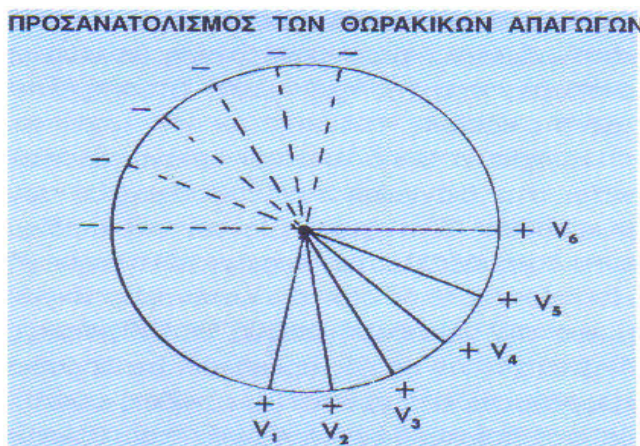


Εικόνα 27. Θέσεις των ηλεκτροδίων για τη λήψη των προκάρδιων απαγωγών [3].

Εδώ αξίζει να αναφερθούν δύο σημεία:

Πρώτον, πώς εντοπίζεται το τέταρτο μεσοπλεύριο διάστημα; Αρχίζουμε τοποθετώντας το δάκτυλο στην κορυφή του στέρνου και μετακινώντας το αργά προς τα κάτω. Μετά από 4 cm περίπου ψηλαφούμε ένα μικρό οριζόντιο έπαρμα, που ονομάζεται Λουδοβίκιος γωνία, όπου η λαβή του στέρνου ενώνεται με το σώμα του. Αμέσως κάτω και αριστερά από το σημείο αυτό βρίσκεται το δεύτερο μεσοπλεύριο διάστημα, και δύο διαστήματα παρακάτω είναι το τέταρτο μεσοπλεύριο, όπου τοποθετείται το ηλεκτρόδιο για τη λήψη της απαγωγής V₄.

Δεύτερον, στις γυναίκες η κατάσταση περιπλέκεται από την παρουσία των μαστών, που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα λανθασμένη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για τη λήψη των προκάρδιων απαγωγών. Κατά τη λήψη ΗΚΓ σε γυναίκες, πρέπει να θυμάται κανείς ότι, για την καταγραφή των απαγωγών V₄ έως V₆, το ηλεκτρόδιο τοποθετείται κάτω από το μαστό. Αν, όπως συχνά συμβαίνει, το ηλεκτρόδιο τοποθετηθεί επάνω στο μαστό, θα καταγραφεί ηλεκτρικό δυναμικό από ανώτερα μεσοπλεύρια διαστήματα.



Εικόνα 28. Διάγραμμα προκάρδιων απαγωγών[2].

προκάρδιων απαγωγών δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται σαν οδηγό-σημεία οι θηλές, ακόμα και σε άνδρες, επειδή η θέση τους παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία).

Οι προκάρδιες απαγωγές, καθώς και οι έξι των άκρων, μπορούν να παρασταθούν διαγραμματικά όπως στην Εικόνα 28. Όπως οι άλλες απαγωγές, έτσι και κάθε προκάρδια έχει ένα θετικό και έναν αρνητικό πόλο. Ο θετικός πόλος δείχνει

προς τα εμπρός, προς το πρόσθιο μέρος του θώρακα. Ο αρνητικός πόλος των θωρακικών απαγωγών δείχνει προς τα πίσω, προς τη ράχη (διακεκομμένες γραμμές στην Εικόνα 29)[2][5][6][7][8].

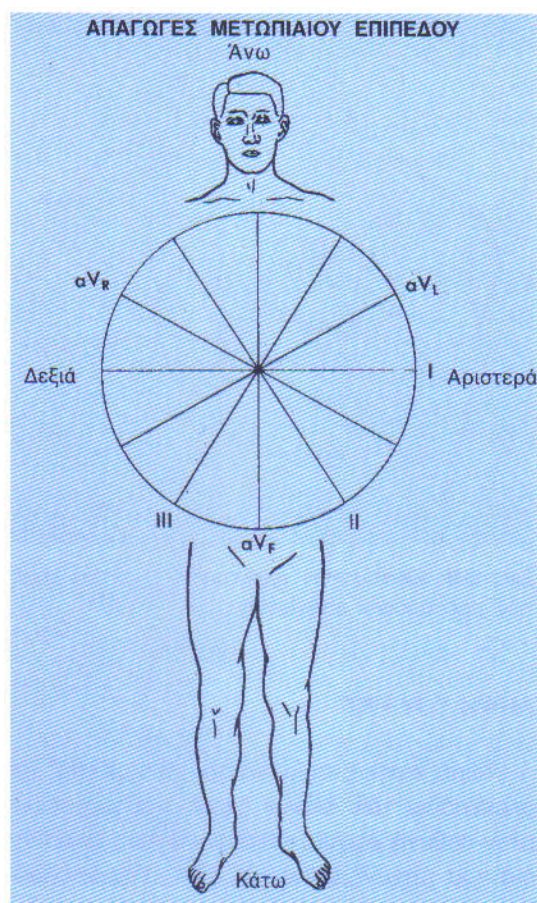
2.1.3. ΛΗΨΗ ΤΟΥ ΗΚΓ

Τα ηλεκτρόδια των άκρων έχουν προσαρμοσθεί στον ασθενή. Αρχικά καταγράφεται η ευαισθησία του μηχανήματος. Ακολούθως ο επιλογέας του ηλεκτροκαρδιογράφου τοποθετείται στην απαγωγή I. Καταγράφονται μερικοί κύκλοι P-QRS-T. Μετά ο διακόπτης προωθείται στη II, γίνεται νέα καταγραφή κοκ. για τις απαγωγές III, aV_R , aV_L , aV_F . Εν συνεχεία ο επιλογέας τοποθετείται στη θέση καταγραφής των προκάρδιων απαγωγών. Η βεντούζα του ηλεκτροδίου τοποθετείται στη θέση V, κοκ. ώσπου να καταγραφούν και οι έξι προκάρδιες (V) απαγωγές. Το αποτέλεσμα είναι μια επιμήκης ταινία με τις 12 απαγωγές καταγραμμένες διαδοχικά.

Πολλοί από τους σύγχρονους ηλεκτροκαρδιογράφους είναι σχεδιασμένοι να καταγράφουν τρεις ΗΚΓγραφικές απαγωγές ταυτόχρονα· έτσι μπορούν να καταγραφούν ταυτόχρονα 4 ομάδες των 3 απαγωγών (I, II, III), (aV_R , aV_L , aV_F), (V₁-V₃) και (V₄-V₆) [5][6].

2.1.3.1. Το ΗΚΓ των 12 απαγωγών: Απαγωγές του μετωπιαίου και οριζόντιου επιπέδου

Γιατί όμως στην κλινική ηλεκτροκαρδιογραφία χρησιμοποιούνται 12 απαγωγές και όχι 10 ή 22; Η αιτία, για τη χρήση ακριβώς 12, είναι εν μέρει



Εικόνα 29. Σχέσεις στον χώρο των έξι απαγωγών των άκρων (μετωπιαίου επιπέδου) [2].

ιστορική και ανάγεται στον τρόπο με τον οποίο εξελίχθηκε το ΗΚΓ από τον καιρό των τριών αρχικών διπολικών απαγωγών των άκρων του Einthoven. Η δωδεκάδα δεν έχει να κάνει με καμιά πρόληψη. Σε μερικές περιπτώσεις, για παράδειγμα, λαμβάνονται επιπλέον απαγωγές με τοποθέτηση του ηλεκτροδίου σε άλλες θέσεις του θωρακικού τοιχώματος. Υπάρχουν, πάντως, σοβαροί λόγοι που επιβάλλουν τη λήψη πολλαπλών απαγωγών. Η καρδιά είναι τρισδιάστατη και τα ηλεκτρικά της ρεύματα εξαπλώνονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο σώμα.

Ός ένα βαθμό, από όσο περισσότερα σημεία καταγράφουμε, τόσο ακριβέστερη θα είναι η αναπαράσταση της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς.

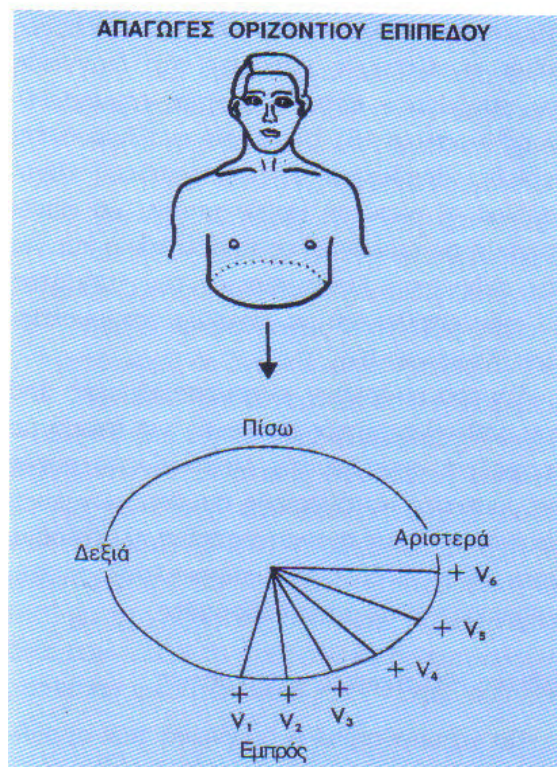
Η σημασία των πολλαπλών απαγωγών φαίνεται στη διάγνωση του εμφράγματος του μυοκαρδίου. Ένα έμφραγμα του μυοκαρδίου τυπικά προσβάλλει μια περιορισμένη περιοχή είτε του πρόσθιου είτε του κατώτερου τοιχώματος της αριστεράς κοιλίας. Οι

ΗΚΓραφικές διαταραχές τις οποίες προκαλούν τα πρόσθια εμφράγματα καταγράφονται συνήθως καλύτερα στις προκάρδιες απαγωγές, που βρίσκονται κοντά και βλέπουν προς την πρόσθια επιφάνεια της καρδιάς, ενώ οι διαταραχές που παρατηρούνται στα κατώτερα εμφράγματα συνήθως εμφανίζονται μόνο στις απαγωγές II, III και aV_F, οι οποίες βλέπουν προς την κάτω επιφάνεια της καρδιάς, που έχει τη βλάβη. Οι 12, συνεπώς, απαγωγές δίνουν μια τρισδιάστατη εικόνα της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς.

Συγκεκριμένα, οι έξι απαγωγές των άκρων (I, II, III, aV_B, aV_L, aV_F) θα καταγράψουν ηλεκτρικά δυναμικά που μεταβιβάζονται στο *μετωπιαίο* επίπεδο του σώματος (Εικόνα 29), ενώ οι έξι προκάρδιες καταγράφουν δυναμικά που μεταβιβάζονται στο οριζόντιο επίπεδο. Για παράδειγμα, αν σηκωθείτε και σταθείτε εμπρός σε ένα μεγάλο παράθυρο, το παράθυρο θα είναι παράλληλο με το μετωπιαίο επίπεδο του σώματος σας. Παρομοίως, τα καρδιακά δυναμικά, που κατευθύνονται προς τα άνω και κάτω και προς τα δεξιά και αριστερά θα καταγραφούν από τις απαγωγές του μετωπιαίου επιπέδου.

Οι προκάρδιες απαγωγές (V₁, έως V₆) καταγράφουν δυναμικά της καρδιάς από άλλη κατεύθυνση, στο *οριζόντιο* δηλαδή επίπεδο του σώματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Το οριζόντιο επίπεδο τέμνει το σώμα σε άνω και κάτω ημιμόριο. Παρομοίως, οι προκάρδιες απαγωγές θα καταγράψουν καρδιακά δυναμικά που έχουν κατεύθυνση προς τα εμπρός, πίσω, δεξιά και αριστερά.

Έχουμε, λοιπόν, δύο ομάδες ΗΚΓραφικών απαγωγών: τις απαγωγές των άκρων (τρεις μονοπολικές και τρεις διπολικές), που καταγράφουν δυναμικά στο μετωπιαίο επίπεδο του σώματος, και τις προκάρδιες απαγωγές (έξι), που καταγράφουν δυναμικά στο οριζόντιο επίπεδο. Και οι 12 αυτές απαγωγές μαζί, παρέχουν μια τρισδιάστατη εικόνα της κοιλιακής και κοιλιακής εκπόλωσης και επαναπόλωσης [2][5][6].

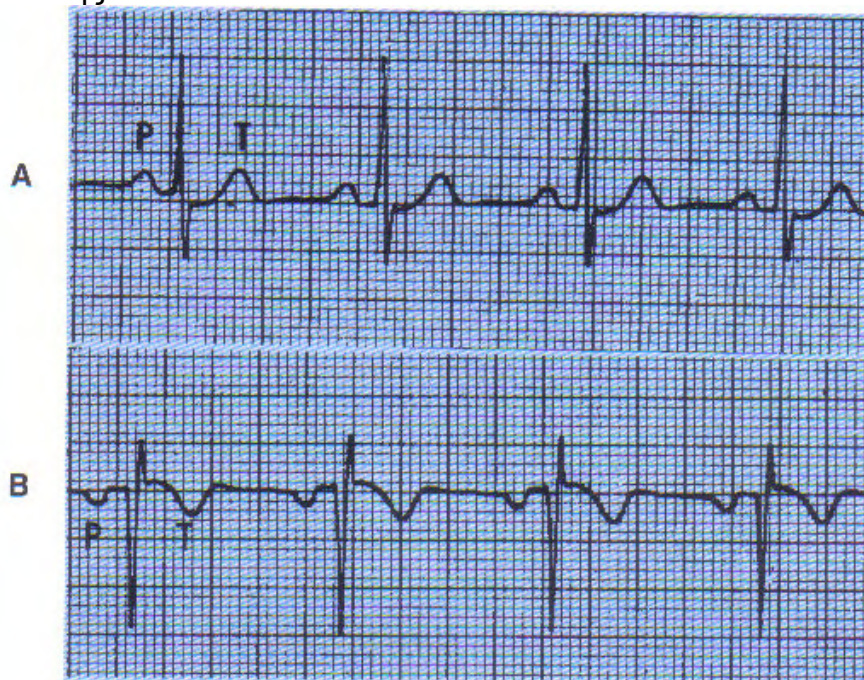


Εικόνα 30. Σχέσεις στο χώρο των έξι προκάρδιων απαγωγών(οριζόντιου επιπέδου) [2].

2.1.4. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MONITORS) ΚΑΙ ΑΠΑΓΩΓΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΗΨΗΣ

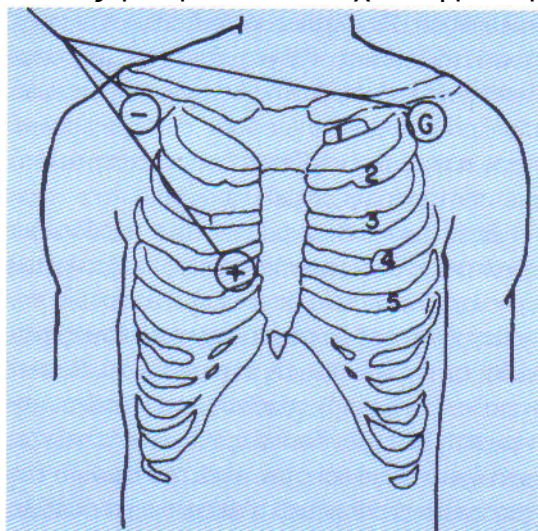
Μέχρι τώρα έχουμε εξετάσει μόνο το τυπικό ΗΚΓ 12 απαγωγών. Δεν είναι, όμως, πάντα αναγκαίο ή εύκολο να ληφθεί ένα πλήρες ΗΚΓ 12 απαγωγών. Για παράδειγμα, οι άρρωστοι με οξύ στεφανιαίο επεισόδιο στις μονάδες, εντατικής θεραπείας απαιτούν συνεχή παρά αναγκαίο ή εύκολο να ληφθεί ένα πλήρες ΗΚΓ 12 απαγωγών. Για παράδειγμα, οι άρρωστοι με οξύ στεφανιαίο επεισόδιο στις μονάδες εντατικής θεραπείας απαιτούν συνεχή παρακολούθηση. Σε τέτοιες καταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικές οθόνες συνεχούς παρακο-

λούθησης της καρδιακής λειτουργίας (cardiac monitors), που καταγράφουν συνεχώς παλμό προς παλμό την καρδιακή δραστηριότητα από μια απαγωγή της συσκευής.



Εικόνα 31. ΗΚΓγραφικές ταινίες ρυθμού από συσκευή συνεχούς παρακολούθησης της καρδιακής λειτουργίας που έχουν ληφθεί με χρονικά απόσταση στιγμών [2].

Στην Εικόνα 31 υπάρχει ένα παράδειγμα ηλεκτροκαρδιογραφικής ταινίας ρυθμού, που έχει ληφθεί με τρία δισκοειδή ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο θωρακικό τοίχωμα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 32, ένα από αυτά τα ηλεκτρόδια (το θετικό) συνήθως τοποθετείται μόνιμα στη θέση V₁. Τα άλλα δύο τοποθετούνται κοντά στο δεξιό και στον αριστερό ώμο. Το ένα χρησιμεύει ως αρνητικό ηλεκτρόδιο και το άλλο ως γείωση.

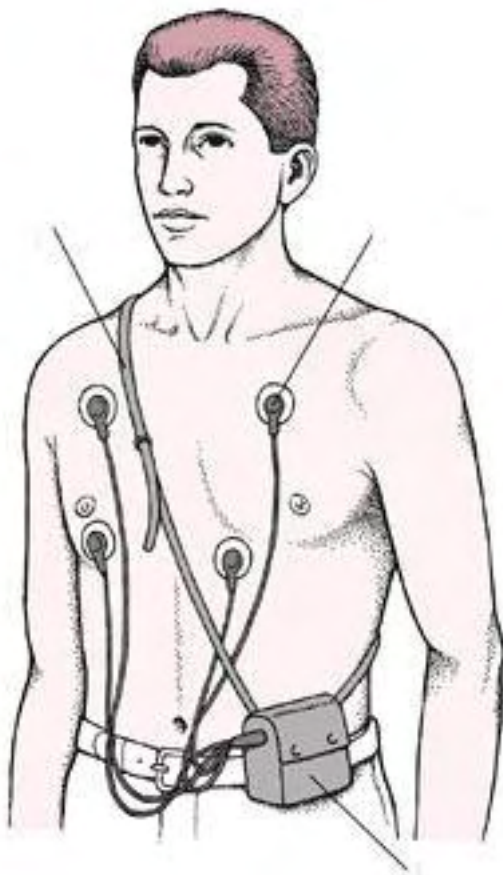


Εικόνα 32. Απαγωγή συνεχούς λήψης(με monitor) [2].

Όταν αλλάζει η θέση των ηλεκτροδίων στο θωρακικό τοίχωμα, θα αλλάζουν και τα ΗΚΓγραφικά διαγράμματα που θα προκύπτουν. Επιπλέον, αν αλλάξει η πολικότητα των ηλεκτροδίων (π.χ. αν συνδεθεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο στη θέση V₁ και το θετικό στο δεξιό ώμο), το ΗΚΓγραφικό διάγραμμα θα είναι τελείως αντίθετο (κατοπτρικό) (Εικόνα 32) [5][6][8].

Φορητές συσκευές συνεχούς παρακολούθησης (Holter)

Οι συσκευές Holter έχουν ανεκτίμητη αξία σε πολλές καταστάσεις. Κατά την παρακολούθηση, π.χ., ασθενών με ανεξήγητη συγκοπή (λιποθυμία), η συσκευή Holter μπορεί να αποκαλύψει την παρουσία σοβαρών αρρυθμιών, που είναι διαλείπουσες και δεν διαπιστώνονται σε ένα συνηθισμένο ΗΚΓ. Οι συσκευές Holter είναι επίσης χρήσιμες στη διάγνωση του συνδρόμου βραδυαρρυθμίας-



ταχυαρρυθμίας, στο οποίο εναλλάσσονται περίοδοι βραδυκαρδίας με περιόδους ταχυκαρδίας. Η συσκευή Holter μπορεί να φανεί χρήσιμη σε επιλεγμένες περιπτώσεις και για την ανίχνευση μετατοπίσεων του τμήματος ST, που οφείλονται σε ισχαιμία του μυοκαρδίου.

Σήμερα υπάρχουν ενεργοποιούμενες από τον ασθενή φορητές συσκευές για άτομα με σποραδικά συμπτώματα. Μερικές από αυτές τις συσκευές καταγραφής συμβάντων είναι εφοδιασμένες με αντικαταστάσιμα ηλεκτρόδια, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση του ασθενούς για αρκετές εβδομάδες [5][9].

Ειδικές ΗΚΓγραφικές καταγραφές

Για να υποβοηθηθεί η διάγνωση των αρρυθμιών, έχουν κατασκευασθεί ειδικά ΗΚΓγραφικά ηλεκτρόδια ενδοοισοφαγικής καταγραφής (ρινοφαγικές απαγωγές) ή καταγραφής από το εσωτερικό του δεξιού κόλπου και της δεξιάς κοιλίας (ενδοκαρδιακές απαγωγές)[5][6].

Εικόνα 33. Συσκευή Holter [10].

2.1.5. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα ηλεκτρικά ρεύματα που παράγονται κατά την κοιλιακή και κοιλιακή εκπόλωση και επαναπόλωση καταγράφονται με ηλεκτρόδια τοποθετούμενα στα άκρα και στο θωρακικό τοίχωμα. Συνήθως καταγράφονται δώδεκα απαγωγές.

1. Οι έξι απαγωγές των άκρων καταγράφουν δυναμικά της καρδιάς που η κατεύθυνση τους βρίσκεται στο μετωπιαίο επίπεδο του σώματος (χωρίζει το σώμα σε πρόσθιο και οπίσθιο ημιμόριο). Οι έξι αυτές απαγωγές αποτελούνται από τις τρεις διπολικές απαγωγές των άκρων (I, II και III) και τις τρεις ενισχυμένες μονοπολικές απαγωγές των άκρων (aV_R , aV_L και aV_F).

Η διπολική απαγωγή καταγράφει τη διαφορά μεταξύ των δυναμικών της καρδιάς που ανιχνεύονται σε δύο άκρα. Η μονοπολική καταγράφει το δυναμικό σε ένα σημείο σε σχέση με μηδενικό δυναμικό. Οι διπολικές απαγωγές των άκρων μπορούν να παρασταθούν με το τρίγωνο του Einthoven, σχετίζονται δε με την

εξίσωση $II = I + III$. Οι μονοπολικές απαγωγές των άκρων μπορούν επίσης να παρασταθούν με ένα τριαξονικό διάγραμμα και σχετίζονται με την εξίσωση: $aV_R + aV_L + aV_F = 0$.

Οι τρεις μονοπολικές απαγωγές των άκρων και οι τρεις διπολικές μπορούν να παρασταθούν στο ίδιο διάγραμμα, έτσι ώστε οι άξονες και των έξι να τέμνονται σε ένα κοινό σημείο, παράγοντας το εξαξονικό διάγραμμα απαγωγών.

Κατά γενικό κανόνα τα επάρματα P-QRS-T της απαγωγής I μοιάζουν με της απαγωγής aV_L . Οι απαγωγές aV_B και II συνήθως εμφανίζουν αντίστροφα διαγράμματα. Η aV_F συνήθως μοιάζει με την απαγωγή III.

2. Οι έξι προκάρδιες (θωρακικές) απαγωγές (V_1 , έως V_{6i}) καταγράφουν δυναμικά της καρδιάς που οι κατευθύνσεις τους βρίσκονται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο του σώματος (χωρίζει το σώμα σε άνω και κάτω ημιμόριο). Οι προκάρδιες απαγωγές καταγράφονται με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται σε συγκεκριμένες ανατομικές θέσεις (Εικόνα 27). Εκτός από τις 12 συμβατικές απαγωγές, ΗΚΓ μπορούν να ληφθούν και με ειδικούς τρόπους: στις Μονάδες Εντατικής Θεραπείας χρησιμοποιούνται γενικά συσκευές συνεχούς λήψης απαγωγών (monitors), των οποίων τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο θώρακα. Η συνηθισμένη θέση των ηλεκτροδίων στο θώρακα για συνεχή λήψη παρουσιάζεται στην Εικόνα 31. Σε περιπατητικούς ασθενείς, με παροδικές ή απροσδόκητες αρρυθμίες, καταγράφονται πολλές φορές συνεχή ΗΚΓ με τη χρήση της συσκευής Holter, για περίοδο 24 ή περισσότερων ωρών. Διάφορα σποραδικά συμπτώματα μπορούν να συσχετισθούν με ΗΚΓραφικές διαταραχές του ρυθμού, με χρησιμοποίηση φορητών συσκευών Holter που ενεργοποιούνται από τον ασθενή.

2.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΗΚΓ

Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα βήματα στην ιατρική απεικόνιση. Εξελίσσεται ακατάπαυστα καθώς νεότερες τεχνικές έρχονται να συμπληρώσουν ή να αντικαταστήσουν τις παλαιότερες για την καλύτερη διάγνωση των ασθενειών. Η αλματώδης ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, για την ταχύτερη επεξεργασία του ιατρικού σήματος, για την ταχύτερη επεξεργασία του ιατρικού σήματος, σε συνδυασμό με τη χρήση μη ιονιζουσών ακτινοβολιών καθιστούν τη μέθοδο της μαγνητικής τομογραφίας ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη μη επεμβατική, έγκυρη και έγκαιρη διάγνωση πολλών ασθενειών.

2.2.1. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

Ένα φυσικό σύστημα που συμμετέχει σε κάποιο φαινόμενο μπορεί να χαρακτηρίζεται από μια ορισμένη συχνότητα που, συνήθως, ονομάζεται ιδιοσυχνότητα. Με την έννοια της ιδιοσυχνότητας συνδέονται τα φαινόμενα του συντονισμού. Ο όρος συντονισμός αποδίδεται σε φαινόμενα κατά τα οποία:

1. Ένα σύστημα εκτίθεται σε μια διαταραχή μέσω της οποίας απορροφά ενέργεια.
2. Η διαταραχή αυτή χαρακτηρίζεται από μια συχνότητα και προκαλείται από κάποιο εξωτερικό διεγείρων αίτιο (διεγέρτης).
3. Η συχνότητα της διαταραχής είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του διαταρασσόμενου συστήματος.

Εάν πληρούνται οι προαναφερθέντες όροι τότε η ενέργεια που μεταφέρεται από τον διεγέρτη στο διαταρασσύμενο σύστημα μεγιστοποιείται. Σε περίπτωση του πυρηνικού μαγνητισμού το σύστημα είναι οι προσανατολισμένοι πυρήνες, ενώ η διαταραχή είναι κατάλληλοι μαγνητικοί παλμοί που έχουν συχνότητα στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (παλμοί RF)[11].

2.2.1.1. Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (nuclear magnetic resonance – NMR)

Η μαγνήτιση M είναι ένα διανυσματικό μέγεθος το οποίο όταν βρεθεί μέσα σε ένα εξωτερικό πεδίο, συμπεριφέρεται όπως ακριβώς οι μαγνητικές ροπές μ . Εκτελεί δηλαδή μεταπτωτική κίνηση. Οι μετρητικές και διαγνωστικές μέθοδοι που γίνονται με βάση το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού στηρίζονται στη μετατόπιση της μαγνήτισης από τη θέση παραλληλισμού της με το εξωτερικό πεδίο B_0 . Εάν το αίτιο που προκαλεί αυτή τη μετατόπιση παύσει, η μαγνήτιση αρχίζει να επανέρχεται στην αρχική θέση παραλληλισμού με τη B_0 . Κατά την επάνοδο αυτή η οποία έχει ορισμένη χρονική διάρκεια, παρατηρούνται φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, δηλαδή χρονικές μεταβολές του μαγνητικού πεδίου προκαλούν την εμφάνιση ηλεκτρικής τάσης και ηλεκτρικού ρεύματος. Η μετατόπιση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή ενός πρόσθετου εξωτερικού πεδίου. Η μαγνήτιση κινείται έτσι ώστε να τείνει να διαγράψει μια κυκλική επιφάνεια κάθετη στο πρόσθετο πεδίο. Το πρόσθετο μαγνητικό πεδίο, το οποίο αναφέρεται ως ηλεκτρομαγνητικός παλμός ή παλμός ραδιοσυχνότητα (RF), συμβολίζεται με B_1 . Η αρχική μαγνήτιση M και η θέση παραλληλισμού B_0 σχηματίζουν μια γωνία $\Delta\theta$. Το εύρος αυτής της γωνίας αυξάνεται ανάλογα με το χρονικό διάστημα Δt εφαρμογής του πεδίου B_1 . Ανάλογα με το αν το διάστημα Δt αντιστοιχεί σε 90° ή σε 180° το πεδίο B_1 ονομάζεται παλμός 90° ή παλμός 180° . Το φαινόμενο του μαγνητικού συντονισμού παρατηρείται μόνο όταν υπάρχει ένα μικρό κεντρικό φάσμα που περιορίζεται στην ονομαστική ή κεντρική συχνότητα η οποία είναι ίση με τη συχνότητα $Larmor$ (συχνότητα χαρακτηριστική για κάθε τύπο πυρήνα και είναι ίση με το γινόμενο της εξωτερικής ισχύς του μαγνητικού πεδίου B_0 και μια σταθεράς γ , το γυρομαγνητικό λόγο) [11].

2.2.1.2. Το φαινόμενο της μαγνητικής αποκατάστασης

Η έννοια της χαλάρωσης ή μαγνητικής αποκατάστασης είναι εξ ίσου σημαντική με αυτήν του συντονισμού στην απεικόνιση και τη φασματοσκοπία με μαγνητικό τομογράφο. Κατά τον συντονισμό, οι παλμοί RF (πεδίο B_1) προσφέρουν ενέργεια στα πρωτόνια και έτσι αυτά αναγκάζονται να εκτελέσουν μεταπτωτική κίνηση. Χαλάρωση είναι η διαδικασία απελευθέρωσης αυτής της ενέργειας από τα πρωτόνια και η επαναφορά τους στην αρχική ενεργειακή τους κατάσταση και θέση. Σε αυτήν βασίζεται ο κύριος μηχανισμός μέτρησης των συγκεντρώσεων των πρωτονίων. Η μέτρηση των χρόνων χαλάρωσης T_1 και T_2 αναφέρεται στη μέση τιμή που λαμβάνουμε από ένα καθορισμένο δείγμα όχι στις τιμές των εκάστοτε χρόνων χαλάρωσης των μεμονωμένων πρωτονίων [11].

2.2.1.3. Ελεύθερη απόσβεση επαγωγής (FID)

Κατά τη διάρκεια της επανόδου της μαγνήτισης M στην αρχική της θέση ($\Delta\theta=0^\circ$) (φάση χαλάρωσης) αναπτύσσονται φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η μαγνήτιση εκφράζει το συνολικό ενδογενές μαγνητικό πεδίο, που παράγεται από τα κινούμενα (spin) πρωτόνια. Εάν στο χώρο του εξεταζόμενου δείγματος τοποθετηθεί κάποιο πηνίο συνδεδεμένο με κλειστό ηλεκτρονικό κύκλωμα, η κίνηση της μαγνήτισης θα προκαλέσει μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο του χώρου και το πηνίο θα αρχίσει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Το αντίστοιχο επαγωγικό ρεύμα διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα όσο ακριβώς διαρκεί και η επάνοδος της μαγνήτισης. Σε μη ιδανικές συνθήκες λόγω της απώλειας της συμφασικότητας της κίνησης των επί

μέρους διανυσμάτων μαγνήτισης το πλάτος του σήματος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επειδή επιπλέον το μήκος του διανύσματος ελαττώνεται εκθετικά οι κορυφές της ημιτονοειδούς μεταβολής που προκαλείται θα ελαττώνονται και αυτές εκθετικά. Η φθίνουσα αυτή ημιτονοειδής μεταβολή ονομάζεται απόσβεση του φαινομένου της επαγωγής. Επειδή η απόσβεση είναι αποτέλεσμα των διεργασιών χαλάρωσης, δηλαδή της μη εξαναγκασμένης επανόδου της μαγνήτισης στην αρχική της θέση, το φαινόμενο ονομάζεται ελεύθερη απόσβεση επαγωγής – E.A.E. (Free Induction Decay – F.I.D).

Κατά τη διεξαγωγή μίας εξέτασης μαγνητικού συντονισμού καταγράφεται το σήμα FID. Ταυτόχρονα είναι απαραίτητη και η λήψη άλλων πληροφοριών. Για να είναι δυνατός ο σχηματισμός εικόνων ή η λήψη φασμάτων κάθε τμήματος του απεικονιζόμενου ιστού χωριστά, απαιτείται να βρεθεί το σημείο από το οποίο προήλθε αυτό το σήμα.

Υπό την επίδραση ομογενούς εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και παλμών διέγερσης όλοι οι πυρήνες μίας ανατομική περιοχής θα εξέπεμπαν ένα σήμα το οποίο δεν θα μας έδινε πληροφορία για το ακριβές σημείο προέλευσής του. Για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των σημάτων είναι απαραίτητη η δημιουργία κατάλληλου μαγνητικού πεδίου το οποίο θα μεταβάλλεται στο χώρο. Αυτό θα προκαλέσει αντίστοιχη μεταβολή της συχνότητας λαμβανόμενων σημάτων. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η υπέρθεση βαθμιδωτών μαγνητικών πεδίων στο κύριο μαγνητικό πεδίο. Οι διαδικασίες μέσω των οποίων προσδιορίζεται η περιοχή προέλευσης των σημάτων αναφέρονται συνήθως με τον όρο χωρική καταγραφή (spatial registration) ή χωρική κωδικοποίηση (spatial encoding). Στα συστήματα απεικονίσεων μαγνητικού συντονισμού η χωρική καταγραφή βασίζεται στη σχέση με τη συχνότητα Larmor. Οι διαδικασίες βέβαια με τις οποίες προσδιορίζεται η περιοχή προέλευσης των σημάτων FID και, σχηματίζεται η τελική εικόνα, περιλαμβάνουν συνήθως τα εξής στάδια:

1. Επιλεκτική διέγερση (selective excitation)
2. Καταγραφή συχνότητας (frequency encoding) και/ή καταγραφή φάσης (phase encoding)
3. Μαθηματική επεξεργασία των λαμβανόμενων σημάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τελικό στόχο το σχηματισμό εικόνας (μαθηματικοί μέθοδοι ανακατασκευής εικόνας – image reconstruction techniques) [11].

2.2.1.4. Αντίθεση εικόνας ακολουθίες απεικόνισης

Η κλίμακα των αποχρώσεων του γκρί που χρησιμοποιείται στο μαγνητικό συντονισμό βασίζεται στις διαβαθμίσεις της έντασης του μετρούμενου σήματος. Υψηλές εντάσεις σήματος αντιστοιχούν συνήθως σε χαμηλές αποχρώσεις. Στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού οι παράμετροι που καθορίζουν την ένταση του σήματος είναι πολυάριθμες. Η ένταση ή η φωτεινότητα ενός pixel εξαρτάται:

- Από την πυκνότητα spin (spin density) ή την πυκνότητα πρωτονίων (proton density) ή γενικότερα πυκνότητα πυρήνων
- Από τους χρόνους χαλάρωσης T_1 και T_2
- Από τη ροή – κίνηση ρευστών μέσα στο σώμα του εξεταζόμενου

Στην καθημερινή πρακτική για να σχηματισθεί μια εικόνα εφαρμόζεται μια σειρά παλμών RF καθορισμένης χρονικής διάρκειας. Η χρονική διάρκεια κάθε παλμού και τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν μεταξύ των παλμών, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αντίθεση της εικόνας. Αυτοί ακριβώς οι παλμοί και τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα χαρακτηρίζονται ως ακολουθία παλμών ή αλληλουχία.

Τέτοιες σημαντικές ακολουθίες που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού είναι:

- Η ανάκτηση κορεσμού
- Η ανάκτηση αναστροφής
- Η ηχώ σπιν
- Η ηχώ βαθμίδας
- Η απεικόνιση επίπεδης ηχούς
- Και κάποιες παραλλαγές τους [11].

2.2.2. ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί τεχνικές απεικόνισης οι οποίες προσφέρουν την καταγραφή φαινομένων και μηχανισμών που δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν με τη συμβατική απεικόνιση επιτρέποντας τη βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν τη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος.

Η ροή ρευστών μέσα στο ανθρώπινο σώμα προκαλεί ορισμένες μεταβολές στην ένταση του μετρούμενου σήματος. Στα φαινόμενα ροής (κυρίως του αίματος) βασίζονται ορισμένες απεικονιστικές τεχνικές για συλλογή σημαντικών διαγνωστικών πληροφοριών. Ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνική και την ταχύτητα του αίματος το σήμα μπορεί να ενισχυθεί ή να εξασθενήσει. Όπως είναι φυσικό τέτοιες μεταβολές προκαλούν αντίστοιχες αλλαγές στην αντίθεση μεταξύ ιστών και αίματος [11][12].

2.2.2.1. Εφαρμογές και ακολουθίες της μαγνητικής αγγειογραφίας

Με την εφαρμογή εξετάσεων μαγνητικής αγγειογραφίας (magnetic Resonance Angiography – MRA) ανιχνεύονται τα φαινόμενα ροής για την παρατήρηση συγκεκριμένων μηχανισμών εντός του ανθρώπινου σώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρατήρηση της αντίθεσης δομών με ακίνητα και κινούμενα πρωτόνια. Η απεικόνιση αυτού του είδους προσφέρει εικόνες η ακόμα και τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των αγγείων και της πορείας του αίματος (κινούμενα πρωτόνια) και των περιβαλλόντων ιστών (ακίνητα πρωτόνια). Η λειτουργία της μαγνητικής αγγειογραφίας βασίζεται στο γεγονός ότι η ροή αλλάζει τα χαρακτηριστικά ενός σήματος μαγνητικού συντονισμού. Η μορφή της απεικόνισης εξαρτάται από την ακολουθία η οποία εφαρμόστηκε και από τις ιδιαιτερότητες της ροής του αίματος στις διάφορες ανατομικές περιοχές. Η μορφή της απεικόνισης ενός αγγείου εξαρτάται από τον τύπο ροής του αίματος. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ροή του αίματος είναι το σχήμα του αγγείου, το μέγεθος του αγγείου, η θέση του, ο αριθμός και η θέση των διακλαδώσεων, η ταχύτητα ροής του αίματος (παλμική ή σταθερή) και η φυσιολογική κατάσταση του αγγείου. Επίσης οι ροές μπορεί να είναι κατά την ορθή φορά, κατά την ανάστροφη φορά, με σταθερή ροή (plug flow), με στρωτή ροή (laminar flow) και με τυρβώδη ροή (με στροβιλισμούς – turbulent flow).

Στην MRA υπάρχουν δύο θεμελιακές τεχνικές λήψης οι οποίες και εφαρμόζονται στην κλινική πράξη: η TOF (Time Of Flight) και η PCA (Phase Contrast Angiography). Υπάρχει και η CE (Contrast Enhanced) αγγειογραφία η οποία συνδυάζεται με έγχυση παραμαγνητικής ουσίας στην οποία λαμβάνονται εικόνες κατά τη διάρκεια του πρώτου περάσματος του σκιαγραφικού όγκου από το εξεταζόμενο αγγείο γι' αυτό είναι γνωστή και ως First Pass Angiography. Το γαδολίνιο είναι μία παραμαγνητική ουσία που χρησιμοποιείται σαν μέσο σκιαγραφικής αντίθεσης στην μαγνητική αγγειογραφία[11].

2.2.2.2. Αγγειογραφία «χρόνου πτήσης» (Time Of Flight MRA)

Η τεχνική TOF βασίζεται στην καταστολή του σήματος των περιβαλλόντων ιστών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της έντασης σήματος του λαμβανόμενου σήματος από ακίνητους ιστούς πέριξ των αγγείων. Με αυτή την τεχνική, η περιοχή ενδιαφέροντος διεγείρεται διαρκώς με ταχύτατους παλμούς έτσι ώστε να ανακτηθεί μόνο ένα μικρό τμήμα της διαμήκουσ μαγνήτισης του ιστού σε κάθε διέγερση. Όμως μόνο ένα μικρό μέρος του σήματος T₁ του ιστού το οποίο έχει ληφθεί μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ανάκτηση ισχυρού σήματος και το γεγονός αυτό οδηγεί στην ολική καταστολή του σήματος της περιοχής την οποία έχουμε απεικονίσει. Κορεσμός καλείται το φαινόμενο το οποίο οδηγεί στην απώλεια της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος και στην πράξη αναφέρεται στον κορεσμό της μαγνήτισης των ακίνητων δομών του σώματος.

Παραλλαγές της τεχνικής TOF είναι η δυσδιάστατη αγγειογραφία χρόνου πτήσης (2D sequential TOF) και η τρισδιάστατη αγγειογραφία «χρόνου πτήσης» (3D TOF). Η 2D TOF είναι λιγότερο επιρρεπής σε φαινόμενα κορεσμού του σήματος των αγγείων. Κατά την εφαρμογή της διεγείρεται μία σειρά λεπτών δυσδιάστατων τομών και κάθε τομή η οποία βρίσκεται εντός της περιοχής απεικόνισης διεγείρεται διαρκώς καθ' όλη τη διάρκεια της ανάκτησης των δεδομένων. Μοναδικό μειονέκτημα είναι η χαμηλή διακριτική ικανότητα κατά μήκος επιλεγμένων τομών. Η 3D TOF επιδεικνύεται για την απεικόνιση ανατομικών δομών οι οποίες εμφανίζουν ροές μεγάλης ταχύτητας και με πολλαπλές κατευθύνσεις, όπως είναι οι καρωτίδες αρτηρίες και τα ενδοκρανικά αγγεία. Αντίθετα δεν συνιστάται για την απεικόνιση ροών χαμηλής ταχύτητας όπως είναι οι φλέβες. Αυτή η τεχνική εμφανίζει καλύτερη διακριτική ικανότητα σε σχέση με την 2D TOF και υψηλότερο σηματοθορυβικό λόγο (SNR) [11].

2.2.2.3. Μαγνητική αγγειογραφία αντίθεσης φάσης (Phase Contrast angiography)

Η τεχνική αγγειογραφίας αντίθεσης φάσης (PCA) εμφανίζει υψηλή ευαισθησία στην ανάδειξη διαφορών οι οποίες οφείλονται στην εγκάρσια μαγνήτιση και παρατηρούνται μεταξύ στάσιμων ιστών και του αίματος. Η μετατόπισης φάσης η οποία προκαλείται τα πρωτόνια του αίματος από την παρουσία βαθμίδας κωδικοποίησης ροής (flow encoding gradient), είναι ανάλογη της έντασης του πεδίου βαθμίδας και της ταχύτητας με την οποία κινείται το πρωτόνιο. Πρωτόνια που είναι τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία κατά μήκος μιας βαθμίδας υπόκεινται σε διαφορετική ένταση. Στην περίπτωση της PCA εφαρμόζεται ένα ζευγάρι βαθμίδων κωδικοποίησης ροής (παρουσιάζουν ευαισθησία σε ένα μόνο επίπεδο) δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ζεύγη εικόνων οι οποίες αποθηκεύονται για την μετέπειτα επεξεργασία (αφαίρεση εικόνων - image subtraction). Παραλλαγές της τεχνικής PCA είναι η δυσδιάστατη αγγειογραφία αντίθεσης φάσης (2D Phase Contrast Angiography) και η τρισδιάστατη αγγειογραφία αντίθεσης φάσης (3D Phase Contrast Angiography). Κατά την 2D PCA ανακτώνται δυσδιάστατες τομές και έπειτα ακολουθεί η προβολή αυτών των τομών κατά την διεύθυνση της ροής του αίματος. Η χωρική ανάλυση είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της 3D PCA, αφού η επιλεγμένες τομές δεν διαχωρίζονται σε μικρότερα τμήματα. Κύριες εφαρμογές της μεθόδου αποτελούν η εκτίμηση φλεβικών αγγειωμάτων, και η μέτρηση της ταχύτητας του αίματος με την τεχνική κωδικοποίησης ταχύτητας (Velocity ENCoding – VENC). Κατά την 3D PCA εφαρμόζεται η τεχνική του τρισδιάστατου διακριτού μετασχηματισμού Fourier (3DFT) για τον διαχωρισμό των τομών σε λεπτότερες οι οποίες μπορούν να υποστούν αργότερα επεξεργασία με τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων ανακατασκευής εικόνας. Οι

ακολουθίες αυτού του τύπου έχουν μεγάλη διάρκεια ενώ δεν ενδείκνυνται για την μελέτη ροών με χαμηλή ταχύτητα [11].

2.2.2.4. Απεικόνιση τριών διαστάσεων

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η τεχνική κατά την οποία οι παλμοί RF εφαρμόζονται χωρίς την παρουσία της z-βαθμίδας. Δηλαδή δεν χρησιμοποιείται επιλεκτική διέγερση. Συνεπώς διεγείρεται (συντονίζεται) ολόκληρος ο όγκος του υπό απεικόνιση σώματος. Η υποδιαίρεση του συνολικού όγκου σε τομές επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πρόσθετων βαθμίδων κωδικοποίησης φάσης κατά τη διεύθυνση z. Οι βαθμίδες αυτές εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της εφαρμογής της γ- βαθμίδας κωδικοποίησης φάσης. Στην πράξη απαιτείται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός παλμών βαθμίδας. Η βαθμίδα-z εφαρμόζεται πολλές φορές και για κάθε τέτοια βαθμίδα εφαρμόζονται πολλές βαθμίδες-y. Συνεπώς ο συνολικός αριθμός είναι $n_0 = n_{yz}$ όπου n_y και n_z είναι οι αριθμοί των y και z - βαθμίδων αντίστοιχα [11].

2.2.2.5. Απεικόνιση χημικής μετατόπισης πρωτονίων (Proton chemical shift imaging)

Πρόκειται για τεχνικές με τη βοήθεια των οποίων απεικονίζεται η χωρική κατανομή πρωτονίων τα οποία βρίσκονται μέσα σε δεδομένο χημικό περιβάλλον. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στο γεγονός ότι η συχνότητα συντονισμού των πρωτονίων μεταβάλλεται ανάλογα με το χημικό περιβάλλον. Συνεπώς με κατάλληλη επιλογή της συχνότητας του παλμού διεγείρονται επιλεκτικά, πρωτόνια που βρίσκονται σε προκαθορισμένο χημικό περιβάλλον.

Η απεικόνιση χημικής μετατόπισης έχει μεγάλη διαγνωστική αξία στον καθορισμό ορισμένων νόσων (π.χ. λιπώδης διήθηση ήπατος) [11].

2.2.2.6. Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (functional magnetic resonance imaging)

Η λειτουργική απεικόνιση αποτελεί σχετικά νέα μέθοδο απεικόνισης. Η τεχνική αναφέρεται κυρίως σε μεθόδους παρατήρησης διεργασιών που επιτελούνται στον εγκέφαλο. Ουσιαστικά οι τεχνικές αυτές βασίζονται στα φαινόμενα που συμβαίνουν όταν μεταβάλλεται η στάθμη του οξυγόνου στο αίμα. Στην αγγλική ορολογία χρησιμοποιείται ο όρος φαινόμενο BOLD (Blood Oxygen Level Difference). Αντίστοιχη ονομασία χρησιμοποιείται και για τις αλληλουχίες παλμών (αλληλουχίες BOLD). Κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης του εγκεφάλου (προς εκτέλεση ορισμένης διεργασίας) παρουσιάζεται απόκλιση από την κατάσταση ισορροπίας. Δηλαδή διαταράσσεται η εξίσωση των ποσοτήτων οξυ-αιμοσφαιρίνης (oxyhemoglobin) και δεοξυ-αιμοσφαιρίνης (deoxyhemoglobin) στα αγγεία. Το αγγειακό σύστημα παρέχει περισσότερο οξυγονωμένο αίμα (2 με 4 φορές περισσότερο αίμα) με αποτέλεσμα την αύξηση της οξυ-αιμοσφαιρίνης. Η τελευταία βρίσκεται σε κατάσταση διαμαγνητισμού σε αντίθεση με την δεοξυ-αιμοσφαιρίνη που είναι παραμαγνητική. Επίσης οι περιβάλλοντες ιστοί είναι-λιγότερο παραμαγνητικοί σε σχέση με την δεοξυαιμοσφαιρίνη, γεγονός το οποίο αυξάνει την αντίθεση. Λόγω των παραμαγνητικών ιδιοτήτων της δεοξυ-αιμοσφαιρίνης τα σπιν χάνουν την συμφασικότητά τους και έτσι παρατηρείται μείωση του χρόνου T_2^* . Μετά την προκλητή ενεργοποίηση περιοχών του εγκεφάλου (με την παροχή οπτικών και ακουστικών ερεθισμάτων) παρατηρείται μία σχετική καθυστέρηση (3 με 6 δευτερόλεπτα) στην αύξηση της κυκλοφορίας και του όγκου του αίματος στην περιοχή ενδιαφέροντος. Μόνο μετά την πάροδο αυτού του χρονικού διαστήματος παρατηρείται η ενεργοποίηση της περιοχής. Και συνεπώς η τοπική αύξηση της έντασης του σήματος [11].

2.2.2.7. Μεταφορά μαγνήτισης

Με τον όρο μεταφορά μαγνήτισης (magnetization transfer) χαρακτηρίζεται ένα φαινόμενο κατά το οποίο παρουσιάζεται ανταλλαγή μαγνήτισης μεταξύ «δέσμιων» και «ελεύθερων» πρωτονίων ενός τύπου ιστού. Ο όρος «δέσμιο» (bound) αναφέρεται στα πρωτόνια που είναι συνδεδεμένα σε μακρομόρια, κυτταρικές μεμβράνες κλπ. Ως «ελεύθερα» (ή «μη δέσμια») χαρακτηρίζονται τα ταχέως κινούμενα πρωτόνια του ύδατος. Τα δέσμια πρωτόνια έχουν χαμηλές ταχύτητες, μικρούς χρόνους T_2 και οι συχνότητες συντονισμού τους κατανέμονται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Η απεικόνιση σημάτων που προέρχονται από αυτά τα πρωτόνια δεν ευνοείται με τις καθιερωμένες τεχνικές απεικόνισης. Στους συνήθεις τύπους ιστών συνυπάρχουν και οι δύο τύποι πρωτονίων (εκτός των ιστών που περιέχουν λίπος), θεωρείται τότε ότι εμφανίζεται μια κατάσταση ισορροπίας κατά την οποία διατηρείται σταθερή «ροή» ανταλλαγής μαγνήτισης μεταξύ των δύο τύπων πρωτονίων. Κατά συνέπεια κάθε διαδικασία που προκαλεί κάποια διαταραχή στον ένα τύπο πρωτονίων θα επιδράσει αναγκαστικά και στον άλλο τύπο. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων παλμών ραδιοσυχνότητας. Οι παλμοί αυτοί μπορεί να διεγείρουν τα δέσμια πρωτόνια και η ισορροπία να διαταραχθεί. Δηλαδή αλλάζει η μαγνήτιση των δέσμιων πρωτονίων και παρουσιάζεται κορεσμός αναπτύσσεται κάποια αντίστοιχη επίδραση και στα ελεύθερα πρωτόνια. Ιστοί στους οποίους εμφανίζεται μεταφορά μαγνήτισης είναι οι μύες, το ήπαρ, το πάγκρεας, ο σπλήνας, η λευκή και η φαιά ουσία κ.α. Η μεταφορά μαγνήτισης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση παλμών κορεσμού και σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες ακολουθίες που χρησιμοποιούνται στο Μαγνητικό Συντονισμό. Σε φυσιολογικές συνθήκες η μαγνήτιση μεταφέρεται από τα ελευθέρως κινούμενα πρωτόνια (free pool) στα μακρομόρια (bound pool) και η κεντρική τους συχνότητα είναι η ίδια. Για την επιλεκτική μείωση έντασης σήματος της περιοχής των δυσκίνητων πρωτονίων (bound pool) χρησιμοποιούνται δύο βασικές μέθοδοι. Η πρώτη ονομάζεται μεταφορά μαγνήτισης εκτός συχνότητας συντονισμού (off-resonance MTC). Σε αυτή εφαρμόζεται ένας RF παλμός μεγάλης ισχύος σε κάποια συχνότητα f (μετατοπισμένη σε σχέση με την f_0) και επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο ο επιλεκτικός κορεσμός των δεσμευμένων πρωτονίων. Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται μεταφορά μαγνήτισης στην συχνότητα συντονισμού (on-resonance MTC) όπου χρησιμοποιείται ένας σύνθετος ραδιοπαλμός (composite RF pulse) ο οποίος εφαρμόζεται στην συχνότητα συντονισμού f_0 και αποτελείται από 4 παλμούς 90° διάρκειας 0.5 ms ο καθένας [11].

2.2.2.8. Δυναμική απεικόνιση (Dynamic Imaging)

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ταχύτατη ανάκτηση δεδομένων είτε, μετά τη χορήγηση σκιαγραφικής ουσίας είτε για την παρακολούθηση της κίνησης των ιστών σε πραγματικό χρόνο. Εξετάσεις δυναμικής απεικόνισης μπορούν να πραγματοποιηθούν με την ανάκτηση σήματος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (intervals) οριζόμενα από το χειριστή. Η πρώτη ανάκτηση πραγματοποιείται πριν την χορήγηση παραμαγνητικής ουσίας και ακολουθεί η μετέπειτα καταγραφή της πορείας του σκιαγραφικού σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο χρονισμός αυτών των διαστημάτων πραγματοποιείται είτε κάνοντας χρήση του μικρότερου εφικτού χρονισμού είτε ο χειριστής επιλέγει τα χρονικά διαστήματα λήψης εικόνων.

Για την λειτουργία της τεχνικής εφαρμόζονται ακολουθίες gradient echo ή ακολουθίες ταχείας ανάκτησης EPI, με τη δεύτερη να υπερισχύει μιας και προσφέρει την δυνατότητα ανάκτησης μέχρι και 25 εικόνων το δευτερόλεπτο παρέχοντας την δυνατότητα μελέτης των ιστών σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή της EPI σε συνδυασμό με μεθόδους βελτίωσης αντίθεσης, επιτρέπει την δυναμική απεικόνιση για

την καλύτερη μελέτη και διάγνωση των παθολογιών. Η δυναμική απεικόνιση ενδείκνυται για εξετάσεις ήπατος, παγκρέατος, προστάτη και μαστών [11].

2.2.2.9. Απεικόνιση αιμάτωσης

Η απεικόνιση της αιμάτωσης βασίζεται στην καταγραφή της αύξησης του ρυθμού έγχυσης σκιαγραφικού μέσου, η οποία προσφέρει πολλές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργικότητα και την ομαλή αιμάτωση του μελετούμενου ιστού.

Η τεχνική αυτή κυρίως αναδεικνύει την μικροκυκλοφορία του αίματος εντός των τριχοειδών αγγείων καθώς επίσης και τα αιμοδυναμικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας αυτής [11].

Υπάρχουν δύο τεχνικές μέτρησης της αιμάτωσης στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού:

1. η απεικόνιση δυναμικής επιδεκτικότητας με σκιαγραφική ενίσχυση αντίθεσης (dynamic susceptibility contrast-enhanced- DSC imaging) και, η ιχνηθέτηση αρτηριακών στροφορμών (arterial spin-labeling – ASL).
2. Απεικόνιση διάχυσης (diffusion weighted imaging – DWI) – Απεικόνιση τανυστή διάχυσης (diffusion tensor imaging - DTI)

Οι εφαρμογές της απεικόνισης μοριακής διάχυσης αποτελούν σημαντική εξέλιξη στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού καθώς όπως έχει αποδειχθεί από τον Moseley είναι η μόνη απεικονιστική μέθοδος η οποία μπορεί να ανιχνεύσει με μη επεμβατικό τρόπο, χωρίς τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών και άμεσα (μέσα στις πρώτες 2 με 4 ώρες από την εκδήλωση) τα εγκεφαλικά επεισόδια. Επίσης με την απεικόνιση τανυστή διάχυσης (diffusion tensor imaging - DTI) είναι δυνατή η απεικόνιση της διάταξης των ιστών και των νεύρων κοντά σε όγκους έτσι ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη σχεδίαση της θεραπείας. Ακόμη μπορεί να προσδιοριστεί ο βαθμός αποδιάταξης της λευκής ουσίας σε άτομα που πάσχουν από σκλήρυνση κατά πλάκας. Η απεικόνιση μοριακής διάχυσης είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο το οποίο έχει την δυνατότητα να προσφέρει πολύ σημαντικά δεδομένα για την φυσιολογία του εγκεφάλου και άλλων ανατομικών περιοχών [11].

2.2.2.10. Προβολές μέγιστης έντασης (Maximum Intensity Projection – MIP)

Η τεχνική ανακατασκευής εικόνας MIP είναι μία τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση (3D) των αγγείων χωρίς την παρουσία, στην εικόνα, των περιβαλλόντων ιστών. Οι ροές του αίματος κατά τη μαγνητική αγγειογραφία αποδίδονται με έντονο σήμα, η ένταση του οποίου σε κάθε pixel μιας τομής συγκρίνεται με το αντίστοιχο στοιχείο εικόνας των άλλων τομών και τελικά γίνεται επιλογή και απεικόνιση των pixel με τη μέγιστη ένταση σήματος αφού προηγουμένως έχει καθοριστεί κάποιο κατώφλι τιμής ισχύος. Ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η πιθανή παρουσία(στην ανακατασκευασμένη εικόνα) δομών όπως είναι το λίπος, αιμορραγίες και ο πρόσθιος υποφυσιακός αδένας. Εξαιτίας αυτού του μειονεκτήματος είναι απαραίτητο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή των παραμέτρων της ακολουθίας (γωνία εκτροπής, TR, χρήση τεχνικής αντιστάθμισης ροής) έτσι ώστε οι μέγιστες τιμές έντασης σήματος να προκύψουν μόνο από αγγεία [11].

2.2.2.11. Ανακατασκευή πολλαπλών επιπέδων (Multi-Planar Reconstruction – MPR)

Η τεχνική ανακατασκευής εικόνας MPR ανασυνθέτει την εικόνα σε επίπεδα τα οποία ορίζει ο χειριστής λαμβάνοντας δεδομένα για τα στοιχεία της τελικής απεικόνισης από τα ήδη συλλεχθέντα δεδομένα των τομών της πολυτομικής απεικόνισης η οποία έχει προηγηθεί. Η ψηφιακή τιμή κάθε pixel της βασικής εικόνας χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός εικονικού στοιχειακού όγκου (voxel) με πάχος

τομής παρόμοιο με αυτό της αρχικής εικόνας. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου όγκου στην περιοχή η οποία απεικονίσθηκε κατά τη διάρκεια της κανονικής εξέτασης. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος MPR αναλαμβάνει την κατάλληλη χρήση των δεδομένων με σκοπό τη μετέπειτα δημιουργία των τιμών των pixel για τις ανακατασκευασμένες εικόνες. Στις περιπτώσεις όπου το voxel που σαρώθηκε έχει τις διαστάσεις (σε όλα του τα επίπεδα) ίσες, τότε το σύνολο των δεδομένων θεωρείται ιστροπικό (isotropic), ενώ στην αντίθετη περίπτωση ανιστροπικό (anisotropic). Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το πάχος τομής και το επίπεδο της επιθυμητής τομής ενώ παράλληλα μπορεί να καθορίσει τον αριθμό των τομών οι οποίες θα ανακατασκευαστούν. Η κλινική αξία της τεχνικής MPR θεωρείται αρκετά σημαντική καθώς προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης περιοχών οι οποίες εδράζονται εντός του σώματος του εξεταζόμενου χωρίς να είναι απαραίτητη η παραμονή του εντός του τομογράφου για τη λήψη τομών από όλα τα απεικονιστικά επίπεδα. Η ποιότητα των ανακατασκευασμένων εικόνων εξαρτάται από την ποιότητα των εικόνων οι οποίες ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Επίσης εάν δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα (πολυάριθμες λεπτές τομές και για τα τρία απεικονιστικά επίπεδα) οι ποιότητα των ανακατασκευασμένων δεδομένων ενδέχεται να είναι χαμηλή [11].

2.2.2.12. Τεχνικές παράλληλης απεικόνισης (Parallel imaging techniques)

Οι τεχνικές παράλληλης απεικόνισης βασίζονται στην εφαρμογή συστοιχίας επιφανειακών πηνίων ή πηνίων διάταξης φάσης (surface coils, phased array coils). Αναπτύχθηκαν αρχικά για την αύξηση του SNR αλλά αργότερα έγινε φανερό πως η εφαρμογή τους αποτελεί συμπληρωματική μέθοδο για τη μείωση του χρόνου εξέτασης. Σε αντίθεση με την συμβατική απεικόνιση κατά την εφαρμογή τους απαιτείται η χρήση πολλών πηνίων-δεκτών για την ταυτόχρονη λήψη δεδομένων. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από κάθε πηνίο εξαρτώνται από τη θέση του και την απόσταση από την προς απεικόνιση. Αυτό σημαίνει ότι κάθε πηνίο συλλέγει τα ίδια δεδομένα του κ-χώρου αλλά με διαφορετικές πληροφορίες (ένταση σήματος) λόγω της διαφορετικής θέσης του.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι ανακατασκευής οι οποίες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. στις μεθόδους ανακατασκευής εικόνας
2. στις μεθόδους επεξεργασίας του κ-χώρου
1. στις υβριδικές τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην ταυτόχρονη επεξεργασία του κ-χώρου και της εικόνας [11].

2.2.2.13. Η τεχνική CINE

Η τεχνική CINE βασίζεται στην συνεχή συλλογή δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου, έτσι ώστε η ανάκτηση των δεδομένων για κάθε τομή να πραγματοποιείται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές του καρδιακού κύκλου. Εφαρμόζεται συνήθως σε συνδυασμό με ακολουθία gradient echo. Απαραίτητη είναι η χρήση τεχνικής καρδιακού σκανδαλισμού, ενώ η συλλογή των δεδομένων είναι συνεχής και χωρίς χρήση σκανδαλισμού (triggered). Συνήθως χρησιμοποιείται συγχρονισμός σε συνδυασμό με ηλεκτροκαρδιογράφημα που χρησιμοποιείται για τη λήψη της σωστής φάσης του καρδιακού κύκλου. Κατά την ανακατασκευή πραγματοποιείται ανασύνθεση των εικόνων για όλη την διάρκεια του καρδιακού κύκλου. Για τον τονισμό του σήματος που προέρχεται από την κυκλοφορία του αίματος στην καρδιά εφαρμόζονται ακολουθίες coherent gradient echo (FFE) με χρόνο επανάληψης TR μικρότερο των 50 ms, γωνία εκτροπής μεταξύ 30 και 45 μοιρών και χρόνο TE μεταξύ 15 και 25 ms για την ενίσχυση των φαινομένων T₂*. Η

ανάκτηση των δεδομένων εξαρτάται από την χρονική διάρκεια μεταξύ δύο επαρμάτων R και τον αποτελεσματικό χρόνο TE (effective TE) της ακολουθίας, κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου. Ωστόσο ο αριθμός των φάσεων της καρδιάς (cardiac phases) μπορεί να καθοριστεί από το χειριστή [11].

2.2.2.14. Καρδιακή σήμανση (cardiac tagging, SPAMM, rest grid)

Η τεχνική της καρδιακής σήμανσης, γνωστή ως και χαλάρωσης πλέγματος (test grid) ή χωρικής διαμόρφωσης της μαγνήτισης (spatial modulation of magnetization), εφαρμόζεται για την παρατήρηση της κίνησης του καρδιακού τοιχώματος κατά τη διάρκεια του καρδιακού κύκλου. Η λειτουργία της τεχνικής βασίζεται στην εφαρμογή διασταυρούμενων γραμμικών περιοχών χωρικής καταστολής για την δημιουργία ενός πλέγματος το οποίο καλύπτει το μυοκάρδιο. Κατά τη σχεδίαση των ακολουθιών SPAMM είναι δυνατή η επιλογή του αριθμού, του πάχους, του διάκενου και της διεύθυνσης αυτών των γραμμικών περιοχών. Η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων περιορίζεται από τη γενική παραμετροποίηση της ακολουθίας (FOV, χωρική ανάλυση, πάχος τομής). Κατά την εφαρμογή της καρδιακής σήμανσης εφαρμόζονται δύο μη χωρικοί επιλεκτικοί παλμοί RF 90° οι οποίοι σε συνδυασμό με την επίδραση της βαθμίδας σήμανσης (tagging) διαμορφώνουν τοπικά τη μαγνήτιση για την παραγωγή του πλέγματος σήμανσης του ιστού. Επίσης για την ομαλή εκτέλεση της ακολουθίας απαιτείται καρδιακός σκανδαλισμός και παρακολούθηση της αναπνοής καθώς εφαρμόζεται όταν ο ασθενής κρατά την αναπνοή του και κατά την διάρκεια του επάρματος R.

Η τεχνική επιτρέπει την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της κατάστασης του καρδιακού τοιχώματος για την κινητική και λειτουργική μελέτη της καρδιάς η οποία είναι αρκετά χρήσιμη για την εκτίμηση της επίδρασης διαφόρων παθολογιών όπως είναι το έμφραγμα του μυοκαρδίου, η υπερτροφική καρδιομυοπάθεια, η στένωση της αορτής κ.α.

Πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι:

- η σχετική απουσία ψευδενδείξεων,
- η απλότητα της ακολουθίας,
- η υψηλής ανάλυσης εικόνες οι οποίες ανακτώνται
- η κωδικοποίηση της κίνησης του καρδιακού τοιχώματος.

Ως μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν:

- οι μεγάλοι χρόνοι ανακατασκευής και μετεπεξεργασίας
- η εξασθένηση του πλέγματος σήμανσης λόγω TI χαλάρωσης κατά την εξέλιξη του καρδιακού κύκλου και,
- η σχετικά χαμηλή ανάλυση του πλέγματος σε σχέση με την συμβατική απεικόνιση. [11].

2.2.3. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Η φασματοσκοπία μαγνητικού συντονισμού αποτελεί το ισχυρότερο εργαλείο για τον προσδιορισμό της βιοχημείας και του μεταβολισμού του ανθρώπινου οργανισμού. Οι τοπικές μεταβολές του μαγνητικού πεδίου λόγω των διαφορών στη χημική σύσταση του δείγματος επηρεάζουν τη συχνότητα συντονισμού. Μηχανισμοί που δημιουργούν τα ενδογενή μαγνητικά πεδία προκαλούν τοπικές μεταβολές στη συχνότητα συντονισμού ανάλογα με τη χημική σύσταση του δείγματος ή του μελετούμενου ιστού. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι η διαμαγνητική προάσπιση, η ενδομοριακή προάσπιση, παραμαγνητικά φαινόμενα, δεσμοί υδρογόνου, χημική

ανισοτροπία, μαγνητική ανισοτροπία, παραμαγνητική προάσπιση, χημικό περιβάλλον, διαμοριακά φαινόμενα.

Οι διαφορές στη συχνότητα μαγνητισμού που προκαλούν οι παραπάνω μηχανισμοί είναι μικρές σε σχέση με τη βασική συχνότητα συντονισμού αλλά επαρκούν για την ανίχνευση των διαφορετικών μορίων. Κάθε χημική ένωση που περιέχει ένα ή και περισσότερα πρωτόνια στη σύνθεσή της εμφανίζει συγκεκριμένη διαφοροποίηση σε σχέση με τη συχνότητα συντονισμού. Η διαφορά αυτής της συχνότητας ονομάζεται χημική μετατόπιση ή μετάθεση. Η χημική μετάθεση επηρεάζει τη θέση των κορυφών στον άξονα των συχνοτήτων ενώ η συγκέντρωση το ύψος των κορυφών. Η ποικιλομορφία των φασματικών κορυφών οφείλεται σε φαινόμενα όπως:

- Η βαθμωτή σύζευξη: αλληλεπίδραση μεταξύ πυρήνων του ίδιου μορίου που οφείλεται στις μαγνητικές τους ροπές προκαλεί το διαχωρισμό των κορυφών στα φάσματα.
- Η χημική ανταλλαγή: χημικές διεργασίες οι οποίες καθορίζουν την απόσταση δύο φασματικών κορυφών
- Το πυρηνικό φαινόμενο ή η πυρηνική ενίσχυση Overhauser: φασματοσκοπία άνθρακα και φωσφόρου [11].

2.2.3.1. Η μορφή και τα χαρακτηριστικά των φασμάτων

Μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού Fourier στο σήμα FID λαμβάνουμε την ισχύ του σήματος συναρτήσει των συχνοτήτων συντονισμού των διάφορων στοιχείων.

Οι παράμετροι ενός σήματος φασματοσκοπίας μαγνητικού συντονισμού που μπορούμε να μετρήσουμε είναι:

- Το πλάτος (ισχύς του σήματος)
- Η συχνότητα (καθορισμένη κυρίως από τη συχνότητα Larmor)
- Η φάση [11].

2.2.3.2. Πυρήνες εκτός των πρωτονίων που χρησιμοποιείται για λήψη φασμάτων NMR

Αρκετοί πυρήνες άλλων στοιχείων έχουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των πυρήνων του υδρογόνου. Ο γυρομαγνητικός λόγος αυτών των πυρήνων είναι χαμηλότερος από αυτόν του υδρογόνου. Συνεπώς το σήμα που λαμβάνουμε είναι αρκετά πιο αδύναμο. Επειδή δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν με τη φασματοσκοπία υδρογόνου όλοι οι μεταβολιτές, χρησιμοποιούμε για την παρατήρησή τους άλλους πυρήνες. Η φασματοσκοπία φωσφόρου βοηθά στην ανίχνευση των μεταβολικών διεργασιών οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Αντίστοιχα η φασματοσκοπία άνθρακα εφαρμόζεται για την μελέτη της κυτταρικής αναπνοής [11].

2.2.4. ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥ

Οι εμπορικά διαθέσιμοι μαγνητικοί τομογράφοι ποικίλουν σε δυνατότητες και τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια βασικά τμήματα που διαθέτουν όλο τα συστήματα. Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο βασικός μαγνήτης που παράγει το στατικό πεδίο B_0 . Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα απεικόνισης:

- Οι μόνιμοι μαγνήτες
- Οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες
- Οι μαγνήτες αντιστάσεως ή ηλεκτρομαγνήτες

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από κάποιο μόνιμα μαγνητισμένο υλικό. Συνήθως πρόκειται για κράμα κοβαλτίου-σπάνιων γαιών.

Οι υπεραγώγιμοι και οι μαγνήτες αντιστάσεων αποτελούνται από πηνία ή σωληνοειδή που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λειτουργούν με βάση την αρχή της παραγωγής μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον ενός ρευματοφόρου αγωγού.

Στην περίπτωση των υπεραγώγιμων μαγνητών το υλικό κατασκευής επιλέγεται ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας.

Εκτός από τον βασικό μαγνήτη ένα σύστημα απεικόνισης διαθέτει τρία ακόμα είδη πηνίων:

1. Πηνία βαθμίδας, για την παραγωγή των βαθμιδωτών πεδίων και το χωρικό προσδιορισμό της απεικονιζόμενης περιοχής.
2. Πηνία εξομάλυνσης, για την εξομάλυνση των τοπικών ανομοιογενειών του στατικού μαγνητικού πεδίου.
3. Πηνία RF, για την παραγωγή παλμών RF και την ανίχνευση σημάτων FID.

Τέλος, ένα απεικονιστικό σύστημα περιλαμβάνει ηλεκτρονικό υπολογιστή υψηλών επιδόσεων για την ταχεία ανακατασκευή των εικόνων και μια σειρά ηλεκτρονικών διατάξεων για μετατροπή του αναλογικού σήματος FID σε ψηφιακό κ.λπ.

Όλο το σύστημα του μαγνήτη, με τα διάφορα πηνία, βρίσκεται στο βασικό σώμα του μηχανήματος. Το σώμα έχει συνήθως σχήμα, κατά προσέγγιση, ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με ένα άνοιγμα με σήραγγα στο μέσον της πρόσοψής του. Στο άνοιγμα αυτό εισάγεται ο ασθενής. Το άνοιγμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο στα λεγόμενα συστήματα ανοικτών μαγνητών. Σε τέτοια συστήματα το βασικό σώμα του μηχανήματος μπορεί να έχει τη μορφή δύο κυλινδρικών δακτυλίων. Ανάμεσα στους δακτυλίους υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να διευκολύνονται επεμβατικές διεγέρσεις. Σε άλλα συστήματα το σώμα του μηχανήματος έχει δύο κυλινδρικά σώματα, εκ των οποίων το ένα βρίσκεται επάνω από τον ασθενή και το άλλο από κάτω. Συνεπώς μεταξύ των πόλων υπάρχει επαρκής χώρος για επεμβάσεις, για εξετάσεις παιδιών και για διευκόλυνση κλειστοφοβικών ασθενών.

Το βασικό σώμα του μηχανήματος είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα διευθετημένο χώρο που ονομάζεται χώρος εξέτασης [11][12].

2.2.5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Η ποιότητα διαγνωστικής εικόνας αναφέρεται στην ποσότητα των χρήσιμων πληροφοριών που περιέχονται σε μια εικόνα σε σχέση με το θόρυβο. Αναφέρεται επίσης και στην ευκολία με την οποία μπορούν να παρατηρηθούν ή να εξαχθούν αυτές οι πληροφορίες.

Η ποιότητα της εικόνας μπορεί να εκτιμηθεί τόσο υποκειμενικά όσο και αντικειμενικά με τη βοήθεια μετρήσεων ορισμένων φυσικών μεγεθών διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου). Βασικό ρόλο στην ποιότητα της εικόνας των συστημάτων μαγνητικού συντονισμού παίζει η χρονική διάρκεια της εξέτασης. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική διάρκεια τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της εικόνας. Παράλληλα όμως αυξάνεται το κόστος της εξέτασης και μειώνεται ο συνολικός αριθμός των εξετάσεων. Η ποιότητα εικόνας εκφράζεται συνολικά μέσω των τιμών ορισμένων φυσικών παραμέτρων που συνήθως αναφέρονται με τους όρους: απεικονιστικές παράμετροι ή παράμετροι εικόνας (image parameters) ή απεικονιστικά μεγέθη. Οι κυριότερες από αυτές τις παραμέτρους είναι η αντίθεση εικόνας (image

contrast), ο λόγος αντίθεσης προς θόρυβο (contrast to noise ratio - CAR), η χωρική διακριτική ικανότητα ή χωρικά ανάλυση (spatial resolution) και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio – SIR). Στη συνέχεια θα εξετασθούν ορισμένα μεγέθη που επηρεάζουν την ποιότητα της απεικόνισης [11].

2.2.5.1. Λόγος σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio – SIR)

Δεδομένου ότι το σήμα εκφράζει το σύνολο των διαγνωστικά χρήσιμων πληροφοριών και ο θόρυβος αντιστοιχεί σε έλλειψη πληροφορίας ή ύπαρξη άχρηστης, είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή παραμέτρου τόσο μεγαλύτερο είναι και το πληροφοριακό περιεχόμενο της εικόνας. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως η αύξηση του SIR έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση ορισμένων άλλων παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται η ποιότητα της εικόνας. Ο SIR επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Μεταξύ αυτών είναι:

1. Ο αριθμός πυρήνων ανά μονάδα όγκου (ανά) που συντονίζονται (είναι ανάλογος του SIR).
2. Η ένταση B_0 του στατικού μαγνητικού πεδίου (ανάλογη του SIR).
3. Η ένταση των βαθμιδωτών πεδίων.
4. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες (π.χ. ειδική αντίσταση – διηλεκτρική σταθερά) των ιστών (αποτελούν πηγή θορύβου).
5. Το σχήμα, η σχεδίαση και το μέγεθος του πηνίου (δέκτη) FRO.
6. Διάφορες ηλεκτρονικές συνιστώσες του συστήματος (πολλές από αυτές αποτελούν σημαντικές πηγές θορύβου).
7. Οι παράμετροι της εφαρμοζόμενης ακολουθίας απεικόνισης. Ιδιαίτερα οι χρονικές παράμετροι TRΥ και TE. Ο αριθμός των επαναλήψεων (number of excitations - NEXT) των μετρήσεων (averages) ο οποίος πραγματοποιείται με στόχο την ελάττωση του θορύβου.
8. Η συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος κατά τους άξονες y και x (διαστάσεις του χώρου - k).
9. Ο αλγόριθμος ανακατασκευής εικόνας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του SNR είναι πολυάριθμοι και αλληλεπιδρούν σε πολλές περιπτώσεις γεγονός το οποίο σε πολλές περιπτώσεις καθιστά δύσκολη την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων για τη βελτίωση της απεικόνισης.

Εκτός από την οργανολογία, το ανθρώπινο σώμα και γενικά το υλικό μέρος του όλου συστήματος, ο SNR επηρεάζεται και από τις τεχνικές με τις οποίες γίνεται η λήψη των εικόνων μαγνητικού συντονισμού. Αύξηση του μεγέθους (διαστάσεων) των pixel βελτιώνει το λόγο SNR (εντονότερο σήμα ανά pixel). Συγχρόνως όμως υποβαθμίζεται η χωρικά διακριτική ικανότητα (spatial resolution) αφού ελαττώνεται ο συνολικός αριθμός των pixel [11].

2.2.5.2. Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution)

Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι μία παράμετρος που εκφράζει την ελάχιστη απόσταση κατά την οποία πρέπει να απέχουν δύο σημειακά αντικείμενα ώστε να απεικονίζονται ως ξεχωριστές οντότητες. Η χωρική διακριτική ικανότητα εκφράζει επίσης την αλλοίωση (αύξηση) που υφίστανται οι διαστάσεις ενός σημειακού αντικειμένου κατά την απεικόνισή του. Στα φαινόμενα αυτά αλλοίωσης βασίζεται ο ορισμός της συνάρτησης σημειακής διασποράς (Point Spread Function – PSF) και της συνάρτησης μεταφοράς διαμόρφωσης (Modulation Transfer Function – MTF).

Στην πράξη η χωρική διακριτική ικανότητα εκφράζεται με το ελάχιστο μέγεθος που πρέπει να έχει μια ανατομική δομή ώστε να μπορεί να απεικονισθεί. Βελτιώνεται με αύξηση των διαστάσεων της ψηφιακής μήτρας και με τεχνικές εστίασης. Βασικό

βέβαια μειονέκτημα είναι η ελάττωση του SNR. Η ελάττωση αυτή μπορεί να εξισορροπηθεί με αύξηση του χρόνου της εξέτασης και αύξηση του αριθμού των επαναλήψεων λήψης σήματος NEX [11].

2.2.5.3. Αντίθεση αντικειμένου(subject contrast) ή αντίθεση ιστού (tissue contrast)

Ο όρος αυτός εκφράζει τη διαφορά στην ένταση σημάτων που προέρχεται από γειτονικούς ιστούς. Αυτή ακριβώς η διαφοροποίηση των ιστών από άποψη σήματος καθιστά δυνατό το σχηματισμό της εικόνας.

Η αντίθεση ιστού καθορίζεται από μια σειρά παραγόντων όπως είναι η πυκνότητα πρωτονίων, οι χρονικές παράμετροι T_1 και T_2 , η ροή υγρών εντός του σώματος, οι παράμετροι της ακολουθίας TE και TR, ο τύπος της εφαρμοζόμενης ακολουθίας κ.λπ. Οι τέσσερις πρώτοι αποτελούν ενδογενή φυσικά χαρακτηριστικά των ιστών ενώ οι υπόλοιποι επιλέγονται από τους χειριστές του μηχανήματος [11].

2.2.5.4. Αντίθεση εικόνας (image contrast) και λόγος αντίθεσης προς θόρυβο (contrast to noise ratio - CNR)

Ο όρος αυτός εκφράζει τη διαφορά στην απόχρωση του γκρι μεταξύ δύο περιοχών της εικόνας. Η αντίθεση εικόνας εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίθεση ιστών.

Μια χρήσιμη παράμετρος είναι ο λόγος αντίθεσης προς θόρυβο (contrast to noise ratio - CNR). Ορίζεται ως η διαφορά της τιμής του SNR σε δύο γειτονικούς ιστούς. Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες εκτίμησης της ποιότητας της κλινικής απεικόνισης διότι όσο υψηλότερες τιμές λαμβάνει τόσο καλύτερη είναι η διάκριση μεταξύ περιοχών με χαμηλή και υψηλή ένταση σήματος [11].

2.2.5.5. Ψευδενδείξεις

Οι ψευδενδείξεις (artifacts) είναι ψευδείς δομές οι οποίες παρουσιάζονται στις εικόνες και δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά ανατομικά δεδομένα. Οφείλονται κυρίως στην επίδραση διαφόρων φυσικών παραγόντων σε ατέλειες των μεθόδων ανακατασκευής της εικόνας, σε μη ορθή ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων του μηχανήματος ή σε βλάβες του μαγνητικού τομογράφου.

Κυριότεροι φυσικοί παράγοντες που προκαλούν ψευδενδείξεις είναι η πάσης φύσεως ατέλειες των μαγνητικών πεδίων, οι διάφορες κινήσεις στο σώμα του ασθενούς (αναπνοή, ροή αίματος κλπ), φαινόμενα χημικής μετατόπισης [11].

2.2.6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Η εγκατάσταση ενός μαγνητικού τομογράφου παρουσιάζει μία σειρά προβλημάτων τα οποία πρέπει να επιλυθούν για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Πηγάζουν κυρίως από την ύπαρξη του ισχυρού στατικού μαγνητικού πεδίου, τους παλμούς ραδιοσυχνότητας και την παραγωγή ισχυρού ηχητικού θορύβου. Δυο είναι οι βασικές κατηγορίες των προβλημάτων :

- Προβλήματα σχετιζόμενα με την επίδραση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον (ασθενείς, προσωπικό, επιστημονικά όργανα ή άλλες συσκευές και εγκαταστάσεις κ.λπ.).
- Προβλήματα σχετικά με την επίδραση του περιβάλλοντος στο μαγνήτη (με βασικό αποτέλεσμα την διατάραξη της ομοιομορφίας του μαγνητικού πεδίου).

Το στατικό μαγνητικό πεδίο, η οπτική παράσταση του οποίου δίνεται συνήθως με τη βοήθεια των μαγνητικών δυναμικών γραμμών, είναι τρισδιάστατο. Εκτείνεται στους χώρους που βρίσκονται επάνω, κάτω και δίπλα στο μαγνήτη.

Για όλους αυτούς τους χώρους πρέπει να καθιερωθούν ειδικοί κανονισμοί που θα καθορίζουν κατασκευαστικά και λειτουργικά ζητήματα.

Ένα πρώτο ζήτημα που πρέπει να απασχολήσει τους υποψήφιους αγοραστές είναι η αρχιτεκτονική δομή των χώρων εγκατάστασης, αφού βέβαια έχει αποφασιστεί ο τύπος μαγνητικού τομογράφου ο οποίος θα εγκατασταθεί. Ως προς το ζήτημα αυτό υπάρχουν δύο επιλογές:

- εγκατάσταση σε ήδη υπάρχοντα χώρο.
- κατασκευή ειδικού κτιρίου ειδικά διαμορφωμένο για τις απαιτήσεις λειτουργίας του τομογράφου.

Και οι δυο επιλογές εξαρτώνται από το είδος του προς εγκατάσταση συστήματος. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η μελέτη της αντοχής του δαπέδου στο βάρος του μαγνήτη, γεγονός το οποίο σημαίνει υπεροχή των υπεραγωγίμων μαγνητικών τομογράφων (βάρος 3-10 τόνοι) έναντι των μόνιμων (μέχρι και 100 τόνοι).

Βασικό κριτήριο σε αυτή την περίπτωση είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου. Και οι δυο προαναφερθείσες επιλογές εξαρτώνται από το είδος του χρησιμοποιούμενου μαγνήτη. Από αυτήν την άποψη είναι σαφής η υπεροχή των μόνιμων μαγνητών (ομοιογενές πεδίο το οποίο δεν εκτείνεται πέρα από τα άκρα του μαγνητικού τομογράφου).

Βεβαίως ο τύπος του μαγνήτη και η ισχύς του μαγνητικού πεδίου προσδιορίζεται σε κάποιο βαθμό από τις ανάγκες και τον προγραμματισμό ενός εργαστηρίου. Π.χ. εάν προβλέπεται να διεξάγονται εξετάσεις φασματοσκοπίας και φασματοσκοπικής απεικόνισης ο μαγνήτης θα είναι υποχρεωτικά υπεραγωγίμος, 1,5 T τουλάχιστον, και με άριστη ομοιογένεια πεδίου.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές διαθέτουν ειδικούς οδηγούς στους οποίους παρέχονται πλήρη στοιχεία, οδηγίες και διαγράμματα για την κατασκευή ή τη διαμόρφωση των χώρων εγκατάστασης. Ένας γενικός οδηγός που έχει εκδοθεί και αναφέρεται σε διάφορα συστήματα είναι της Oxford Magnet Technology. Η παρουσία σιδηρομαγνητικών υλικών δυσχεραίνει σημαντικά τις διαδικασίες εγκατάστασης ενός τομογράφου. Τα αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από τέτοια υλικά μαγνητίζονται και η μαγνήτιση τους παραμορφώνει τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Σιδηρομαγνητικά υλικά μπορεί να βρίσκονται στο χώρο εγκατάστασης είτε ως δομικά υλικά (π.χ. σίδερα ενισχύσεως, σκυρόδεμα, ανελκυστήρες, σωλήνες, ηλεκτρικοί αγωγοί, σύρματα αγωγή, αεραγωγοί, συστήματα κλιματισμού και γενικά μεταλλικές κατασκευές) είτε στο νοσοκομειακό εξοπλισμό (π.χ. σε επιστημονικά όργανα, φορεία κ.λπ.) είτε και σε προσθετικά εξαρτήματα ασθενών (π.χ. βηματοδότες).

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η εξισορρόπηση της παραμόρφωσης του πεδίου με την τοποθέτηση πρόσθετων σιδηρομαγνητικών αντικειμένων σε θέσεις συμμετρικές ως προς αυτά που προκαλούν τις παραμορφώσεις. Εάν αποφασισθεί η κατασκευή ειδικού κτιρίου για την εγκατάσταση του μαγνήτη (κάτι που είναι αναπόφευκτο εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ισχυρά πεδία) θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χρησιμοποίηση μη σιδηρομαγνητικών υλικών (π.χ. χαλκός, αλουμίνιο, PVC). Κανονικά πρέπει να αποφεύγεται η ενίσχυση του τσιμέντου με σιδερόβεργες σε χώρους όπου η ένταση του πεδίου ξεπερνά τα 50 Gauss. Γενικά η χρήση σιδήρου ως δομικού υλικού πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις συνιστάται η χρησιμοποίηση ξύλινων κατασκευών.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να εστιάζεται σε διατάξεις επιτάχυνσης ηλεκτρονίων. Η κίνηση των ηλεκτρονίων μπορεί να επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο. Π.χ. ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, λυχνία ακτινών Χ, γ-κάμερα, επιταχυντές, ανιχνευτές με

φωτοπολλαπλασιαστή κ.λπ. Επίσης καλώδια ισχύος που μεταφέρουν υψηλής έντασης εναλλασσόμενα ρεύματα μπορεί να δημιουργούν μαγνητικά πεδία συχνότητας 50 Hz και να επηρεάζουν το σύστημα.

Οι κατασκευαστές μαγνητών παρέχουν διαγράμματα που αποδίδουν την ελάττωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου ($1/r^3$) προσεγγιστικά υπό μορφή ισομαγνητικών επιφανειών ή ζωνών. Οι επιφάνειες αυτές έχουν σχήμα περίπου ελλειψοειδούς. Αυτό οφείλεται στο ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου ελαττώνεται ταχύτερα σε διευθύνσεις κάθετες στον κεντρικό άξονα του μαγνήτη. Για κάθε ζώνη δίνονται τα όρια μεταβολής της έντασης του πεδίου (π.χ. από 30 Gauss σε 10 Gauss). Καθορίζεται επίσης το είδος των μεταλλικών αντικειμένων ή οργάνων κ.λπ. που μπορούν να βρίσκονται μέσα σε αυτή καθώς και οι αποστάσεις από το κέντρο του μαγνήτη. Πρέπει να τονισθεί ότι οι ζώνες αυτές εκτείνονται και στις τρεις διαστάσεις επάνω, κάτω, δίπλα, εμπρός και πίσω από τον μαγνήτη. Στη συνέχεια δίνονται ενδεικτικά ορισμένα στοιχεία για τα ανώτατα όρια έντασης πεδίου. Εντός αυτών των ορίων μπορούν να βρίσκονται διάφορα αντικείμενα ή όργανα χωρίς να επηρεάζουν την ομοιομορφία του πεδίου και χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία τους.

Στη ζώνη από 50 Gauss και άνω δεν θα πρέπει να βρίσκονται καθόλου σιδηρομαγνητικά αντικείμενα (ούτε ως δομικά υλικά).

Στη ζώνη από 15 Gauss και άνω δεν θα πρέπει επίσης να βρίσκονται σιδηρομαγνητικά αντικείμενα. Εάν ήδη υπάρχουν σιδηρομαγνητικά δομικά υλικά θα πρέπει ο μαγνήτης να τοποθετηθεί έτσι ώστε η θέση του να αποτελεί κέντρο συμμετρίας ως προς αυτά. Πάντως ένα μέρος των εγκαταστάσεων (σωλήνες νερού, υπόνομοι, ηλεκτρικοί αγωγοί κ.λπ.) μπορούν να μετατοπισθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις (επιμήκυνση του δικτύου) ή να αντικατασταθεί το υλικό τους από άλλο μη σιδηρομαγνητικό.

Στη ζώνη από 15 έως 50 Gauss δεν θα πρέπει να βρίσκονται ηλεκτρονικές συσκευές και όργανα γιατί επηρεάζεται η λειτουργία τους. Το ίδιο ισχύει για ρολόγια, μέσα μαγνητικής εγγραφής, πιστωτικές κάρτες και βηματοδότες. Εξαιρέση αποτελούν ορισμένοι ειδικοί τύποι καθοδικών σωλήνων για παλμογράφους και οθόνες τηλεόρασης. Στην ίδια περιοχή μικρά μεταλλικά αντικείμενα μετατρέπονται σε βλήματα, αλλά και μεγάλων διαστάσεων αντικείμενα (φορεία, μπουκάλες οξυγόνου, πολυθρόνες ασθενών κ.λπ.) δεν μπορούν να συγκρατηθούν λόγω της μαγνητικής έλξης. Υπάρχει συνεπώς κίνδυνος τόσο για τους ασθενείς και το προσωπικό όσο και κίνδυνος ζημιών στο μηχάνημα. Στα όρια αυτής της περιοχής θα πρέπει να υπάρχουν πινακίδες που να αναγράφουν ενδείξεις για τους πιθανούς κινδύνους (hazardous area).

Στη ζώνη από 5 Gauss έως 15 Gauss επιτρέπονται τα σιδηρομαγνητικά υλικά υπό την προϋπόθεση ότι έχουν τοποθετηθεί εκεί πριν από την εγκατάσταση του μαγνήτη. Μετά τις απαραίτητες ρυθμίσεις για την ομοιομορφία του μαγνητικού πεδίου πρέπει να απαγορεύεται η παρουσία προσθέτων σιδηρομαγνητικών αντικειμένων καθώς και η κίνηση των ήδη τοποθετημένων.

Μέχρι το όριο των 10 Gauss μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς πρόβλημα μια σειρά διατάξεις όπως: λυχνίες ακτινών Χ, συνήθεις καθοδικοί σωλήνες, μαγνητικοί δίσκοι και ταινίες, συσκευές κλιματισμού, ηλεκτρικές γεννήτριες, ορισμένοι κινητήρες (πλυντήρια) κ.λπ. Όπως επίσης και θέσεις παρκαρίσματος και σταθμοί μεταφόρτωσης.

Κινούμενα αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων (αυτοκίνητα, ανεμιστήρες) επηρεάζουν την ομοιομορφία του πεδίου στη ζώνη από 2 έως 5 Gauss. Ασθενείς με βηματοδότη δεν θα πρέπει να εισέρχονται σε περιοχή με πεδίο που ξεπερνάει τα 3 Gauss. Συστήματα πυρηνικής ιατρικής που χρησιμοποιούν φωτοπολλαπλασιαστές,

συστήματα ακτινοδιαγνωστικής με ενισχυτές εικόνας, επιταχυντές κ.λπ. μπορούν να βρίσκονται σε περιοχές με 1 Gauss περίπου. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζεται σε ηλεκτρονικά μικροσκόπια που πρέπει να βρίσκονται σε πεδία ασθενέστερα από 1 Gauss (μέση ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης είναι 0,5 Gauss).

Ένα ακόμη πρόβλημα που πρέπει να μελετηθεί κατά την εγκατάσταση ενός απεικονιστικού συστήματος μαγνητικού συντονισμού είναι η επίδραση, λόγω παρεμβολών, σημάτων ραδιοσυχνότητας τα οποία προέρχονται από πηγές ανεξάρτητες από το σύστημα απεικόνισης. Τέτοια σήματα παρεμβάλλονται στη λειτουργία του συστήματος κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων. Το αποτέλεσμα είναι η σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας αφού τα πρόσθετα αυτά σήματα δεν προέρχονται από ανατομικά δεδομένα (RF θόρυβος). Το πρόβλημα είναι σημαντικό όταν αυτά τα σήματα περιέχουν συχνότητες στην περιοχή της συχνότητας Larmor.

Η προστασία του συστήματος από το θόρυβο ραδιοσυχνότητας επιτυγχάνεται με ειδικές θωρακίσεις ραδιοσυχνότητας (RF shielding). Κατ' αρχήν γίνεται ένας έλεγχος της παρουσίας τέτοιου θορύβου στο χώρο που έχει επιλεγεί για εγκατάσταση του μηχανήματος. Στη συνέχεια ο χώρος θωρακίζεται από όλες τις πλευρές έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εξασθένηση του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου κατά 60 έως 120 decibel ανάλογα με τις απαιτήσεις του μηχανήματος (σχετικές οδηγίες και τεχνική βοήθεια παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ως προς την επιλογή του υλικού της θωράκισης ώστε αυτό να μην είναι σιδηρομαγνητικό. Συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο υπό μορφή πλέγματος.

Η θωράκιση θα πρέπει να είναι πλήρης έτσι ώστε να μην υπάρχουν κενές περιοχές απ' όπου είναι δυνατόν να διαδοθούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Πιθανά ανοίγματα μπορεί να ελαττώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της. Ορισμένα σημεία που πρέπει να προσεχθούν είναι οι περιοχές σύνδεσης των θωρακίσεων π.χ. γωνίες, πόρτες, σημεία ηλεκτρικών συνδέσεων (πρίζες κ.λπ.) αεραγωγοί κ.α. Η ροή του αέρα, του νερού, του ηλίου και του αζώτου γίνεται μέσω καταλλήλων κυματοδηγών. Επίσης στα σημεία ηλεκτρικών συνδέσεων τοποθετούνται ειδικά φίλτρα. Το σοβαρότερο ίσως πρόβλημα παρουσιάζεται στις πόρτες και τα παράθυρα του δωματίου.

Κυριότερες πηγές παρεμβολής ραδιοσυχνοτήτων είναι ηλεκτρικοί κινητήρες, γεννήτριες, λυχνίες φθορισμού, πομποί βραχέων κυμάτων, υπολογιστές κ.λπ.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι η μελέτη της αντοχής του δαπέδου στο βάρος του μαγνήτη. Αυτό αφορά τόσο το χώρο εγκατάστασης όσο και τους χώρους από τους οποίους θα περάσει ο μαγνήτης κατά τη μεταφορά του. Το βάρος των υπεραγωγίων μαγνητών και των μαγνητών αντιστάσεων δεν ξεπερνά τους 10 τόνους (συνήθως 2 έως 8 t). Ιδιαίτερο όμως πρόβλημα παρουσιάζεται στους μόνιμους μαγνήτες των οποίων το βάρος φθάνει τους 100 τόνους. Οι διαστάσεις του χώρου εγκατάστασης και, ειδικά το ύψος της οροφής, εξαρτώνται επίσης από τον τύπο του μαγνήτη. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν κατακόρυφο σωλήνα για την μεταφορά του ηλίου το ύψος της οροφής πρέπει να ξεπερνά τα 4 m. Σε άλλες περιπτώσεις αυτό πρέπει να είναι περίπου 3 m. Οι σωλήνες μεταφοράς (απαγωγής) του εξατμισμένου ηλίου και αζώτου πρέπει να έχουν μεγάλη διάμετρο. Γενικά λαμβάνεται πρόνοια ώστε σε περίπτωση απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων αερίων, αυτά να μην εισβάλλουν στο χώρο του μαγνήτη, αλλά να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα. Με κατάλληλη σχεδίαση των χώρων μπορεί να γίνει πρόβλεψη ώστε το αέριο ήλιο, ως ελαφρότερο του αέρα, να καταλαμβάνει μόνο το ανώτερο τμήμα του δωματίου. Δηλαδή να βρίσκεται σε ύψος 40, 2 m περίπου από το δάπεδο. Τέτοιες

περιπτώσεις μαζικής απελευθέρωσης αερίου μπορεί να παρουσιασθούν σε συνθήκες απώλειας της υπεραγωγιμότητας και του πεδίου (gunching). Συνήθως διατίθεται κατάλληλος μηχανισμός ο οποίος εκπέμπει προειδοποιητικό σήμα όταν η συγκέντρωση των αερίων (σε σχέση με το οξυγόνο) υπερβεί κάποια όρια. Προβληματική πάντως είναι η τοποθέτηση παραθύρων (ή άλλων διεξόδων διαφυγής) λόγω των ειδικών θωρακίσεων (RF shielding) του χώρου [11].

2.2.6.1. Δονήσεις

Οι κλινικές εφαρμογές στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού απαιτούν σταθερό περιβάλλον για την επίτευξη υψηλής διακριτικής ικανότητας. Δονήσεις του χώρου στον οποίο βρίσκεται ο μαγνητικός τομογράφος, οι οποίες προέρχονται από το περιβάλλον, έχουν την ιδιότητα να επηρεάζουν τη σταθερότητα φάσης και να υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα της εικόνας. Η αποφυγή των δονήσεων επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό της εγκατάστασης και χρήση ειδικών υλικών.

Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των δονήσεων στη ποιότητα της εικόνας, ο μαγνητικός τομογράφος πρέπει να τοποθετείται σε σταθερό και συμπαγές έδαφος το οποίο θα βρίσκεται μακριά από τις ακόλουθες πηγές δονήσεων:

- μεγάλους χώρους στάθμευσης,
- αυτοκινητόδρομους,
- υπόγειους και υπέργειους σιδηρόδρομους,
- εγκαταστάσεις του νοσοκομείου όπως κινητήρες, μονάδες κλιματισμού, νερό κλπ, ανελκυστήρες,
- και ελικοδρόμια.

Η μέγιστη σταθερή δόνηση που μεταδίδεται μέσω του δαπέδου δεν πρέπει να υπερβαίνει τις ακόλουθες συχνότητες:

- 5×10^{-5} g rms στα 0 Hz βαθμιαία μέχρι και 10×10^{-5} g rms στα Hz ,
- 10×10^{-5} g rms για εύρος συχνοτήτων 20 – 40 Hz και
- $4,5 \times 10^{-4}$ g rms για εύρος συχνοτήτων 40 – 50 Hz [11].

2.2.6.2. Ακουστική-παραγωγή ηχητικού θορύβου

Στα συστήματα απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού παρατηρούνται ηχητικές εκπομπές δύο ειδών. Ο πρώτος οφείλεται στους παλμούς του συστήματος βαθμίδων οι οποίοι επηρεάζουν τους χώρους που βρίσκεται ο χειριστής και ο ασθενής. Ο δεύτερος είναι ο θόρυβος που μεταδίδεται σε άλλους χώρους μέσω του αέρα και των υλικών. Μέσω του αέρα διαδίδεται όταν διαπερνά ανοίγματα σε τοίχους, κυματοδηγούς κλπ. Μέσω των υλικών μεταδίδεται όταν διεγερθούν τα υλικά κατασκευής των τοίχων και των δαπέδων από τον ισχυρό ακουστικό θόρυβο. Για τη μείωση της έντασης του θορύβου του περιβάλλοντος απαιτείται κατάλληλη κατασκευή των τοίχων, της οροφής και του δαπέδου. Τυπικές τιμές για το δωμάτιο του χειριστή της μέγιστης επιτρεπτής ακουστικής πίεσης ορίζονται στα 55 dB και για το δωμάτιο του εξοπλισμού μπορεί να φθάσει και τα 75 dB.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του μαγνητικού τομογράφου υπό τις χειρότερες συνθήκες από πλευράς παραγωγής ακουστικού θορύβου (ακολουθίες EPI) ενδέχεται να μετρηθεί θόρυβος με μέση ακουστική πίεση 118 dB στο ισόκεντρο και μέγιστη 128 dB (με εύρος συχνότητας 20 Hz μέχρι και τα 20 kHz-ακουστικές συχνότητες).

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του μαγνητικού τομογράφου κάτω από τυπικές κλινικές συνθήκες λειτουργίας ενδέχεται να μετρηθεί θόρυβος με μέση ακουστική πίεση 95 dB στο ισόκεντρο και μέγιστη 110 dB (με εύρος συχνότητας 20

Hz μέχρι και 20 kHz). Για τη μείωση του θορύβου ενδείκνυται η επένδυση των οροφών με ηχοαπορροφητικά υλικά και στους πλαϊνούς τοίχους με κάλυψη του 20% της επιφάνειας τους (κυρίως στο άνω τμήμα). Επίσης για τη μείωση των θορύβων θα πρέπει να γίνει λεπτομερής κατασκευή των τοίχων (για την αποφυγή ύπαρξης κενών) με τα κατάλληλα υλικά, καθώς και της πόρτας [11].

2.2.6.3. Σύστημα εξαερισμού δωματίου εξέτασης

Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος στα υπεραγωγίμα συστήματα ανεξαρτήτως ισχύος πεδίου. Το εξατμισμένο ήλιο πρέπει να απάγεται εκτός της εγκατάστασης. Σε περίπτωση απόπνιξης, το εξατμισμένο ήλιο εκτοπίζει το οξυγόνο του δωματίου, ενώ ένα λίτρο υγρού ήλιου μετατρέπεται σε 1000 λίτρα αερίου ήλιου). Η διάταξη περιλαμβάνει εξωτερικό κάλυμμα, ανεμιστήρα κυκλοφορίας των αερίων, αγωγούς, κυματοδηγό και χειροκίνητους διακόπτες. Επίσης ο εξαερισμός εξασφαλίζει καθαρό περιβάλλον στον χώρο εξέτασης με σταθερή θερμοκρασία 20-21 °C.

Όλα τα συστήματα MR απαιτούν κυματοδηγό εξαέρωσης για την εξίσωση της πίεσης του δωματίου του μαγνήτη με κάποιο κενό χώρο προκειμένου να είναι δυνατό το άνοιγμα της πόρτας σε περίπτωση κινδύνου [11].

2.2.6.4. Επιλογή του κατασκευαστή της εγκατάστασης

Η εγκατάσταση ξεκινά με την επιλογή του απαραίτητου προσωπικού και εξοπλισμού για την περάτωση των εργασιών. Αυτό προϋποθέτει ότι θα επιλεγούν ειδικοί τεχνικοί και αρχιτέκτονας με προηγούμενη εμπειρία στη κατασκευή τέτοιου τύπου εγκαταστάσεων. Μετά αποφασίζεται για το αν θα επιλεγεί η μέθοδος "design and build" (D-B) ή "design, bin and build" (D-B-B). Κατά την διαδικασία D-B η κατασκευάστρια εταιρία αναλαμβάνει το σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου ενώ κατά την D-B-B γίνεται αρχικά ανάθεση του σχεδιασμού σε ειδικευμένο αρχιτέκτονα και αφού ολοκληρωθούν τα σχέδια γίνεται ανάθεση για τη κατασκευή σε αρμόδια εταιρία. Τέλος, επιλέγεται η ειδική μεταφορική εταιρία για την μεταφορά του συστήματος στον χώρο εγκατάστασης [11].

2.2.6.5. Προκαταρκτικός σχεδιασμός

Αρχικά πραγματοποιείται εκτίμηση των ιδιαιτεροτήτων της εγκατάστασης βάσει του συστήματος το οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί (έκταση μαγνητικού πεδίου, μετακινούμενα μεταλλικά στοιχεία, υπάρχουσα θωράκιση RF, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, δονήσεις και ακουστική του χώρου). Μετά γίνεται εκτίμηση των δυνατοτήτων διασύνδεσης του συστήματος στο internet, στο σύστημα DICOM και στα διαθέσιμα εμφανιστήρια. Τέλος γίνεται εκτίμηση της διαδρομής μεταφοράς του μαγνητικού τομογράφου και της δυνατότητας πρόσβασης του συστήματος στον χώρο της τελικής εγκατάστασης [11].

2.2.6.6. Τελικός σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός του χώρου εγκατάστασης ολοκληρώνεται με την αποδοχή του τελικού σχεδίου από τον αγοραστή. Μετά πραγματοποιούνται οι απαραίτητες συνεννοήσεις μεταξύ της κατασκευάστριας εταιρίας και του αγοραστή για τις απαραίτητες προσαρμογές της κατασκευής στις ιδιαιτερότητες του επιλεγμένου χώρου [11].

2.2.6.7. Ολοκλήρωση της εγκατάστασης

Η διαδικασία προετοιμασίας του δωματίου στο οποίο θα εγκατασταθεί ο μαγνητικός τομογράφος, ολοκληρώνεται με την αποτίμηση των εργασιών οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί, με τον έλεγχο της τήρησης των χρονοδιαγραμμάτων, με τον ορισμό της ημερομηνίας παράδοσης του χώρου και την ενημέρωση του μεταφορέα του μαγνητικού τομογράφου και των τεχνικών της εγκατάστασης. Μετά πραγματοποιείται η μεταφορά του συστήματος και του βοηθητικού εξοπλισμού. Ανάλογα με τη δομή του χώρου και τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης τα παραπάνω

βήματα μπορούν να πραγματοποιηθούν την ίδια μέρα. Η συνολική διάρκεια είναι 1 με 2 εβδομάδες εάν τα βήματα πραγματοποιηθούν ξεχωριστά [11].

2.2.6.8. Εγκατάσταση και βαθμονόμηση

Οι διαδικασίες εγκατάστασης και σύνδεσης του μαγνητικού τομογράφου στο δωμάτιο εξέτασης ξεκινούν με την μαγνητική εγκατάστασή του, με την βαθμονόμηση από τον εξειδικευμένο μηχανικό, με την επίτευξη καθαρού περιβάλλοντος στο δωμάτιο εξέτασης. Μετά πραγματοποιούνται οι συνδέσεις με τους υπολογιστές της κονσόλας, της μονάδες ανακατασκευής εικόνας, με το εμφανιστήριο και το σύστημα PACS. Τέλος πραγματοποιείται σύνδεση με το δίκτυο DICOM του νοσοκομείου και με το internet (εάν κρίνεται απαραίτητο). Αφού ολοκληρωθεί η εγκατάσταση ο μαγνητικός τομογράφος συμπληρώνεται με υγρό ήλιο το οποίο είναι απαραίτητο για την επίτευξη της λειτουργίας και την διατήρηση της υπεραγωγιμότητας. Η διαδικασία αναλαμβάνεται από εξειδικευμένη εταιρεία [11].

2.2.6.9. Επίτευξη υπεραγωγιμότητας και σταθεροποίηση στατικού μαγνητικού πεδίου

Για την επίτευξη υπεραγωγιμότητας, την άνοδο και την σταθεροποίηση της ισχύος του στατικού μαγνητικού πεδίου, συνδέεται στον μαγνητικό τομογράφο γεννήτρια ρεύματος με την οποία το ρεύμα κυμαίνεται μεταξύ 700 και 750 A. Η γεννήτρια συνδέεται με τα υπεραγωγία πηνία του μαγνήτη και κλείνει κύκλωμα. Από τον ένα πόλο της γεννήτριας ξεκινά καλώδιο και συνδέεται σε ένα άκρο του πηνίου. Αντίστοιχα και ο δεύτερος πόλος συνδέεται με το άλλο άκρο του πηνίου. Μετά πραγματοποιείται έλεγχος κατά τον οποίο η γεννήτρια τροφοδοτεί με ρεύμα υψηλής έντασης (τιμή ανάλογα με τον κατασκευαστή). Στη συνέχεια ανοίγει ο θερμικός διακόπτης της γεννήτριας και διαρρέεται το πηνίο του μαγνήτη από το ρεύμα. Στις οθόνες ειδικών οργάνων εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας η άνοδος της τιμής της έντασης ρεύματος αλλά παράλληλα και της ισχύος του μαγνητικού πεδίου αφού σκοπός της διαδικασίας είναι να επιτευχθεί κατάσταση υπεραγωγιμότητας (μηδενικής αντίστασης). Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση των τιμών είναι οι ενδείξεις της γεννήτριας, το τεσλάμετρο και έμμεσα το πολύμετρο. Μόλις η τιμή του ρεύματος αγγίξει την επιθυμητή τιμή έντασης του ρεύματος και της έντασης του στατικού μαγνητικού πεδίου τότε κλείνει ο διακόπτης και το ρεύμα παραμένει στο πηνίο, δηλαδή έχουμε διατήρηση της υπεραγωγιμότητας εντός του πηνίου [11].

2.2.6.10. Εκπαίδευση χειριστών και ιατρών

Οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται από εξειδικευμένο προσωπικό (application specialist) της εταιρίας τόσο για θεωρητικά ζητήματα όσο και για την λειτουργία του μαγνητικού τομογράφου σε πραγματικές συνθήκες κλινικής πράξης. Επίσης παρέχεται υλικό σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή για την πληροφόρηση σχετικά με τις λειτουργίες και τις δυνατότητες του μαγνητικού τομογράφου [11].

2.2.6.11. Διαδικασίες ελέγχου αποδοχής του εγκατεστημένου συστήματος μαγνητικής τομογραφίας

Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται αμέσως μετά την εγκατάσταση του μαγνητικού τομογράφου και πριν την κλινική του χρήση. Κύριοι στόχοι είναι η επιβεβαίωση της πλήρους και ομαλής μεταφοράς και παράδοσης του εξοπλισμού ο οποίος περιγράφεται στο συμβόλαιο αγοράς, και ο ενδεδειγμένος έλεγχος όλων των συνδεδεμένων συστημάτων για πιθανές βλάβες ή ζημιές λόγω κακής μεταφοράς. Επίσης διεξάγεται σωρεία μετρήσεων και διαγνωστικών ελέγχων για την μέτρηση μίας σειράς παραμέτρων λειτουργίας. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων καταγράφονται και δεν πρέπει να κυμαίνονται εκτός των ορίων που δηλώνει ο κατασκευαστής και

αναφέρονται στις προδιαγραφές λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου αποδοχής πραγματοποιούνται οι παρακάτω διαδικασίες:

1. Ελέγχεται η πληρότητα του απεσταλμένου εξοπλισμού σύμφωνα με το συμβόλαιο αγοράς. Αφού ολοκληρωθεί η καταμέτρηση ελέγχεται αν όλα τα υποσυστήματα λειτουργούν ομαλά. Εάν εντοπιστεί κάποιο εξάρτημα να λείπει ή να μη λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας θα πρέπει να αναφερθεί άμεσα στο υπεύθυνο προσωπικό.
2. Πραγματοποιείται διακρίβωση της θωράκισης RF. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με τη τοποθέτηση κεραίας στη μια πλευρά της θωράκισης και εκπέμποντας σήματα διαφόρων συχνοτήτων μέσω της θωράκισης. Η εξασθένιση του σήματος καθορίζεται από τη σύγκριση των μετρούμενων τιμών με τιμές αναφοράς χωρίς τη παρουσία της θωράκισης. Οποιαδήποτε μέτρηση εξασθένισης μικρότερη από την επιτρεπτή πρέπει να ελέγχεται ενδελεχώς καθώς έχει άμεση επίπτωση στην ποιότητα της απεικόνισης.
3. Καταγράφεται η κατανάλωση κρυογενών. Ρυθμοί κατανάλωσης μεγαλύτεροι από αυτούς που ορίζονται από τις προδιαγραφές λειτουργίας πρέπει να ελέγχονται σχολαστικά για την πρόληψη βλαβών.
4. Τέλος πραγματοποιούνται έλεγχοι λειτουργίας των υποσυστημάτων του τομογράφου και μέτρηση διαφόρων απεικονιστικών παραμέτρων (σύζευξη πηνίων RF, ομοιογένεια στατικού μαγνητικού πεδίου, ισχύς βαθμιδωτών πεδίων, μέτρηση ρευμάτων Eddy, ποιοτική εκτίμηση παραγόμενων RF παλμών, επίπεδα SNR, ομοιομορφία εικόνας, γραμμικότητα εικόνας, πάχος τομής, λειτουργία software, επίπεδα ακουστικού θορύβου, λειτουργία οθονών και εμφανιστηρίων) [11].

2.2.7. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Η οργανολογία του μαγνητικού τομογράφου περιλαμβάνει υποσυστήματα, και πιο συγκεκριμένα τον υπεραγωγίμο μαγνήτη, τα πηνία παραγωγής των βαθμιδωτών πεδίων και τα πηνία εκπομπής και λήψης παλμών RF, τα οποία παράγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία με διαφορετικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις στο ανθρώπινο σώμα.

Η διαφορά στην επίδραση οφείλεται στην διαφορετική ισχύ και συχνότητα που εκπέμπονται. Η μελέτη εντούτοις των βιολογικών επιδράσεων κρίνεται σημαντική λόγω τη ποιότητας των εικόνων απεικόνισης και φασματοσκοπίας της εφαρμογής μαγνητικών τομογράφων [11][13][14].

2.2.7.1. Επιπτώσεις του στατικού μαγνητικού πεδίου

Τα ισχυρά μαγνητικά πεδία επιδρούν τα κινούμενα φορτισμένα σωματίδια τα οποία υπάρχουν στο εσωτερικό του σώματος. Η αλληλεπίδραση του στατικού μαγνητικού πεδίου οφείλεται επίσης στην ταλάντωση των δεσμευμένων από μακρομόρια ιόντων και στην μεταφορά ενέργειας από το πεδίο στα κύτταρα λόγω της μαγνήτισής τους, γνωστό και ως ανισοτροπία μαγνητικής επιδεκτικότητας. Ειδικότερα παρατηρούνται οι παρακάτω επιδράσεις:

Φαινόμενα έλξης

Η έλξη μεταλλικών αντικειμένων προς το μαγνητικό τομογράφο που οφείλεται σε κακό χειρισμό του προσωπικού ή στη μη τήρηση κανόνων ασφαλείας ενδέχεται να προκαλέσει τραυματισμούς, ακόμη και θανάσιμους σε όποιον βρεθεί στην τροχιά του κινούμενου αντικειμένου και πολύ σοβαρή βλάβη στο μαγνήτη και τα πηνία απεικόνισης λόγω πρόσκρουσης αντικειμένων στην επιφάνειά του.

Μαγνητική επιδεκτικότητα και προσανατολισμός εντός του μαγνητικού πεδίου

Η μαγνητική επιδεκτικότητα καθορίζει τη ροπή που θα ασκηθεί στους ιστούς. Λόγω της διαφοράς της επιδεκτικότητας των τμημάτων ενός μεγαλομορίου παρατηρείται διαφορετική τοπική επίδραση υπό μορφή ροπής ή δύναμης. Στο μαγνητικό πεδίο η επιδεκτικότητα είναι αρνητική, δηλαδή τα διαμαγνητικά υλικά τείνουν να προσανατολισθούν αντίθετα από τη διεύθυνση του στατικού μαγνητικού πεδίου κάτι που μπορεί να επιφέρει αλλαγή στη δομή των ιστών.

Επιδράσεις στην πήξη του αίματος

Επιδράσεις στην σύσταση των πρωτεϊνών και των λιπιδίων

Λόγω της διαμαγνητικής ανισοτροπίας παρατηρείται ευθυγράμμιση πρωτεϊνών και λιπιδίων με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.

Επιδράσεις στην όραση

Δομές που μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικό σήμα επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου και να παράγουν λανθασμένες διεγέρσεις.

Επιδράσεις στα ερυθροκύτταρα

Κατά την έκθεση σε ισχυρά στατικά μαγνητικά πεδία παρατηρείται επίδραση στο σχήμα των ερυθροκυττάρων, ενώ για την έκθεση άνω των δύο ωρών παρατηρείται αιμόλυση σε ποσοστό μικρότερο του 1% των συνολικών ερυθροκυττάρων.

Επίδραση στην ανάπτυξη των εμβρύων και στο γενετικό υλικό

Οι επιπτώσεις των ισχυρών μαγνητικών πεδίων σε έμβρυα και στο γενετικό υλικό αποτελεί θέμα διερεύνησης και οι μέχρι τώρα έρευνες δεν έχουν αποδείξει καμία αλλοίωση σε DNA και έμβρυα στα πρώτα στάδια [11][13][14].

2.2.7.2. Επιπτώσεις των βαθμιδωτών πεδίων

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί ενεργειακής μεταφοράς κατά τη λειτουργία των πηνίων βαθμίδας: λόγω του πεδίου που δημιουργείται και της παλμικής λειτουργίας η οποία προσομοιάζει στην εκπομπή RF σε χαμηλές συχνότητες. Έτσι έχουμε:

Επίδραση ραδιοκυμάτων χαμηλής συχνότητας

Η ακτινοβολία RF χαμηλής συχνότητας οφείλεται στην λειτουργία των βαθμιδωτών πηνίων και έχει μεγάλη διεισδυτικότητα. Η μεταβολές στην ένταση και τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου προκαλεί τη δημιουργία ρευμάτων τα οποία προκαλούν νευρική και μυϊκή διέγερση.

Θερμικές επιδράσεις

Οι μοναδικές επιδράσεις που παρατηρούνται είναι αμελητέες της τάξεως του 0.1° C.

Καρδιακή διέγερση

Καρδιακές διεγέρσεις μπορούν να προκληθούν από ισχυρά ηλεκτρικά πεδία λόγω υπερταχείας μεταβολής της διεύθυνσης του βαθμιδωτού μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρικά πεδία είναι η πηγή της μεταβολής του καρδιακού κύκλου, χωρίς βέβαια να επηρεάζεται η υγεία του εξεταζόμενου.

Νευρική – Οπτική διέγερση

Η λειτουργία των βαθμίδων μπορεί να προκαλέσει επιπλέον, οπτικές ψευδενδείξεις και διέγερση του διαφράγματος που ίσως οδηγήσει σε αναπνευστική δυσλειτουργία.

Επίδραση στα έμβρυα

Η έκθεση των εμβρύων σε μαγνητικό πεδίο μπορεί να θεωρείται επιβλαβής, ωστόσο τα δείγματα ακόμη δεν έχουν επιφέρει ασφαλή συμπεράσματα για τυχόν δυσμορφίες ή την ασφάλεια της εξέτασης.

Άλλες επιδράσεις

Η έκθεση σε βαθμιδωτά πεδία επιταχύνει την πρόσληψη χημικών ουσιών στο εσωτερικό του κυττάρου [11][13][14].

2.2.7.3. Επιπτώσεις των παλμών RF

Η κυριότερη επίδραση των ραδιοπαλμών είναι η εναπόθεση ενέργειας στους ιστούς με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Η επίδραση της RF ακτινοβολίας σε ορισμένα όργανα είναι μεγαλύτερη λόγω της αδυναμίας διάχυσης της θερμότητας, όπως είναι τα μάτια και οι όρχις στους οποίους παρατηρείται και μείωση παραγωγής σπέρματος για ορισμένη περίοδο.

Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο

Μεγάλη έκθεση σε παλμούς RF οδηγεί σε επιτάχυνση της ανταλλαγής χημικών ουσιών από την μεμβράνη των ερυθροκυττάρων, ενώ σε πολύ μεγάλα μαγνητικά πεδία παρατηρείται αιμόλυση των ερυθροκυττάρων.

Θερμικές επιπτώσεις στον άνθρωπο

Θεωρητικά κατά την εξέταση σε μαγνητικό τομογράφο 1,5T διάρκειας μίας ώρας παρατηρείται αύξηση 0,6°C. Ωστόσο στην πράξη λόγω τοπικών εφαρμογών των ραδιοπαλμών διεγείρονται συγκεκριμένες ανατομικές δομές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα μάτια όπου παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας έως και 1,6°C.

Καρδιακή και αναπνευστική παρέμβαση

Η έκθεση σε παλμούς RF σύμφωνα με έρευνες, δείχνει να επιφέρει αύξηση της μέσης αρτηριακής πίεσης λόγω επιτάχυνσης του καρδιακού ρυθμού καθώς και διέγερση της καρδιάς με άμεσο αποτέλεσμα την παρατήρηση αλλαγών στον καρδιακό κύκλο. Επίσης παρατηρείται πολύ μικρή επιτάχυνση του αναπνευστικού ρυθμού.

Επιπτώσεις λανθασμένης εφαρμογής πηνίων RF

Εάν οι κανόνες τοποθέτησης των πηνίων δεν τηρηθούν τότε μπορεί να προκληθούν εγκαύματα στην επιφάνεια του δέρματος.

Άλλα προβλήματα

Ένα σημαντικό πρόβλημα ψυχολογικής φύσεως που μπορεί να προκύψει είναι η κλειστοφοβία γι αυτό και κατά την εξέταση χρησιμοποιούνται ηχητικά συστήματα με ακουστικά ώστε ο ασθενής ακούγοντας μουσική να χαλαρώνει [11][13][14].

2.2.7.4. Σε ποιές περιπτώσεις δεν είναι ασφαλής η μαγνητική τομογραφία;

Εξετάσεις απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού δεν πρέπει να πραγματοποιούνται σε καμία περίπτωση είναι όταν ο εξεταζόμενος φέρει:

1. Καρδιακό βηματοδότη
2. Ενδοκρανιακά clips
3. Μεταλλικά θραύσματα σε ζωτικά σημεία εντός σώματος
4. Καθετήρες τύπου Swan-Ganz
5. Καρωτιδικά προθέματα Poppen-Blaylock

Η εξέταση δεν είναι απόλυτα ασφαλής όταν ο εξεταζόμενος:

1. Φέρει μεταλλικά θραύσματα σε μη ζωτικά σημεία
2. Είναι στους πρώτους μήνες της κύησης
3. Εμφανίζει κλειστοφοβία
4. Φέρει προσθετικές βαλβίδες στην καρδιά
5. Φέρει εγχυτές ινσουλίνης
6. Φέρει νευροδιεγέρτες
7. Φέρει αιμοσυστατικά clips
8. Φέρει κοχλιακά προθέματα
9. Φέρει προθέματα πένους Dacomed Omniphas

Ιδιαίτερη προσοχή χρήζουν περιπτώσεις με ασθενείς:

1. Με φυσική ή νοητική αστάθεια
2. Με περιορισμένες φυσικές λειτουργίες
3. Που δεν είναι σε θέση να επικοινωνήσουν
4. Βρεφικοί ή παιδιατρικοί
5. Με καταστολή ή αναισθησία
6. Που υποβάλλονται σε παρεμβατικές διαδικασίες καθοδηγούμενες με απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού
7. Που εξετάζονται σε πειραματικούς μαγνητικούς τομογράφους
8. Υψηλού κινδύνου ή σε κρίσιμη κατάσταση

Η εξέταση είναι απόλυτα ασφαλής όταν ο εξεταζόμενος φέρει:

1. Καρδιακή βαλβίδα
2. Μη σιδηρομαγνητικά ενδοκρανιακά clips
3. Χειρουργικά clips
4. «Ομπρέλες» κάτω κοίλης φλέβας
5. Συσκευές έγχυσης χημειοθεραπείας
6. Αντισυλληπτικό σπιράλ
7. Οδοντιατρικά εμφυτεύματα [11].

2.2.7.5. Συμπερασματικά

Από τα τρία υποσυστήματα ενός μαγνητικού τομογράφου, το στατικό μαγνητικό πεδίο είναι αυτό με τις μικρότερες επιπτώσεις στους βιολογικούς ιστούς. Ελάχιστα πιο επιζήμια είναι η εφαρμογή βαθμιδωτών πεδίων, ενώ πιο επιζήμιες επιδράσεις οφείλονται στην εναπόθεση ενέργειας από τους παλμούς RF.

2.2.8. ΨΕΥΔΕΝΔΕΙΞΕΙΣ

2.2.8.1. Εισαγωγικά

Κατά την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού είναι δυνατόν να παρατηρηθούν διάφορες ψευδενδείξεις (artifacts) οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα της εικόνας και δυσχεραίνουν την διάγνωση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση πολυάριθμων φυσικών παραμέτρων και παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα της απεικόνισης. Επίσης πολλές ψευδενδείξεις δεν μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές διότι οι αιτίες οι οποίες τις προκαλούν σχετίζονται περισσότερο με τη λειτουργία και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του μαγνητικού τομογράφου. Οι ψευδενδείξεις είναι δυνατόν να αντιμετωπισθούν με καλύτερη παραμετροποίηση των ακολουθιών, με την εφαρμογή ελέγχων ποιότητας και με καλή συντήρηση του εξοπλισμού. Οι ψευδενδείξεις στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται οι ψευδενδείξεις οι οποίες οφείλονται στο υλικό του συστήματος. Παρατηρούνται σχετικά σπάνια, είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν από μη εξειδικευμένο προσωπικό, ενώ για τη διόρθωσή τους απαιτείται παρέμβαση ειδικού τεχνικού στον τομογράφο. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει ψευδενδείξεις οι οποίες οφείλονται στον εξεταζόμενο ή στην παραμετροποίηση της ακολουθίας. Τα σφάλματα τέτοιου του τύπου ανιχνεύονται σχετικά εύκολα και αντιμετωπίζονται άμεσα με απλές ενέργειες [11].

2.2.8.2. Ψευδενδείξεις λόγω κίνησης

Οι κινήσεις είναι η κυριότερη αιτία εμφάνισης ψευδενδείξεων στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού. Παρατηρούνται όταν το σώμα του εξεταζόμενου ή διάφορα όργανα του εξεταζόμενου κινούνται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας ακολουθίας. Οι ψευδενδείξεις λόγω κίνησης έχουν δύο επιπτώσεις στην ποιότητα των εικόνων.

Ιδιαίτερα ορατά αποτελέσματα παρατηρούνται λόγω τυχαίων κινήσεων οι οποίες παρατηρούνται μεταξύ διαδοχικών βημάτων στην κωδικοποίηση φάσης. Η μη ακριβής διέγερση του μελετούμενου ιστού ως προς τη θέση και η απώλεια ισχύος του λαμβανόμενου σήματος οδηγεί στην παρατήρηση σφαλμάτων φάσης με αποτέλεσμα τις μεγάλες διαφορές μεταξύ των λαμβανόμενων εικόνων μιας ακολουθίας. Όταν η κίνηση είναι περιοδική το αποτέλεσμα είναι η ταυτόχρονη παρατήρηση τμημάτων του κινούμενου ιστού σε διαφορετικές θέσεις στην λαμβανόμενη εικόνα (ψευδένδειξη ειδώλου/ghost artifact). Τέτοιου είδους σφάλματα παρατηρούνται κατά την διεύθυνση της κωδικοποίησης φάσης, άσχετα από την πραγματική διεύθυνση της κίνησης αυτής. Φυσιολογικές περιοδικές κινήσεις οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση τέτοιων ψευδενδείξεων είναι: οι καρδιακοί παλμοί, παλμική κίνηση αρτηριών, η κίνηση λόγω κατάποσης, η αναπνοή, η μετακίνηση του εγκεφαλονωτιαίου υγρού, οι κινήσεις των ματιών. Οι κινήσεις χωρίζονται σε ακούσιες (κίνηση της καρδιάς, περίσταση του εντέρου, ακούσιος τρόμος λόγω Parkinson) και εκούσιες (αναπνευστική κίνηση σε ορισμένες περιπτώσεις, κατάποση και η κίνηση των ματιών). Χαρακτηριστικό των ψευδενδείξεων κίνησης είναι ότι εκτείνονται σε όλο το πεδίο θέασης (POV).

Κινήσεις οι οποίες παρατηρούνται στο χρονικό διάστημα μεταξύ της διέγερσης με παλμούς RF και της ανάκτησης του σήματος οδηγούν στην σημαντική μείωση του SNR και στην εμφάνιση χαρακτηριστικής θολότητας στην λαμβανόμενη εικόνα. Παρατηρείται συνήθως λόγω τυχαίων κινήσεων, βήχα, κίνησης των ματιών και κατάποσης [11].

Κινήσεις λόγω αναπνοής

Οι κινήσεις λόγω αναπνοής οδηγούν στην εμφάνιση ghost artifact τα οποία ενδέχεται να αποκρύψουν βλάβες ή να δώσουν την λανθασμένη εντύπωση ύπαρξης βλάβης.

Για την αντιμετώπιση τους έχουν εφαρμοσθεί διάφορες μέθοδοι. Αρχικά εφαρμόστηκαν μηχανικές μέθοδοι για τον περιορισμό του εύρους την κίνησης, οι οποίες όμως μειώνουν σημαντικά την άνεση του ασθενούς. Επίσης η άθροιση σήματος από πολλές ανακτήσεις βοηθά στην μείωση της ψευδένδειξης αυξάνοντας όμως σημαντικά τον χρόνο εξέτασης λόγω των επαναλήψεων της ακολουθίας.

Ο αναπνευστικός σκανδαλισμός πραγματοποιείται με καταγραφή του αναπνευστικού κύκλου και λήψη σήματος κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της εκπνοής. Μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η επιλογή του χρόνου TR συνήθως προσδιορίζεται από τον αναπνευστικό ρυθμό και η αύξηση του χρόνου εξέτασης λόγω του περιορισμένου χρόνου (μικρό μέρος του αναπνευστικού κύκλου) για τη λήψη σήματος. Η εφαρμογή τεχνικών κωδικοποίησης φάσης βασισμένη στην αναπνευστική λειτουργία βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα εικόνας. Η ανάκτηση του σήματος γίνεται με συνεχή τρόπο, δεν περιορίζεται η δυνατότητα επιλογής του χρόνου TR και δεν αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος εξέτασης.

Ακόμη η εφαρμογή μεταβλητών βαθμιδωτών πεδίων βοηθά στον περιορισμό των επιπτώσεων της κίνησης.

Τέλος η εφαρμογή τεχνικών καταστολής λίπους οδηγεί στον περιορισμό της λήψης ισχυρού σήματος από τους λιπώδεις ιστούς, οι οποίοι σε άλλη περίπτωση θα ήταν δυνατό να δημιουργήσουν σοβαρές ψευδενδείξεις.

Καρδιακή κίνηση

Η καρδιακή κίνηση οδηγεί στην εμφάνιση μιας σειράς ψευδενδείξεων κατά τη διεύθυνση της κωδικοποίησης φάσης, σε συνδυασμό με παρατήρηση θολότητας και απώλειας σήματος στις δομές γύρω από την καρδιά. Η σημαντικότερη μέθοδος μείωσης της εμφάνισης τέτοιων ψευδενδείξεων είναι ο σκανδαλισμός μέσω ηλεκτροκαρδιογραφήματος, με την εφαρμογή της οποίας επιτυγχάνεται ο

συγχρονισμός της λήψης του σήματος με συγκεκριμένες φάσεις του καρδιακού κύκλου. Ο συγχρονισμός αυτός επιτρέπει τον εντοπισμό συγκεκριμένων περιοχών του μυοκαρδίου στην ίδια θέση κατά την διάρκεια κάθε εφαρμογής των βημάτων κωδικοποίησης φάσης, με αποτέλεσμα την αύξηση του SNR.. Μία άλλη μέθοδος είναι η εφαρμογή ακολουθιών ταχείας απεικόνισης, οι οποίες μειώνουν την επίδραση των κινήσεων στον σχηματισμό της εικόνας.

Παλμικές κινήσεις αρτηριών

Αυτές οι ψευδενδείξεις παρατηρούνται παράλληλα σε σημεία της εικόνας όπου εμφανίζονται αρτηρίες και συνήθως έχουν χαμηλή ένταση σήματος. Παρατηρούνται κυρίως στη διεύθυνση της κωδικοποίησης φάσης. Με την εφαρμογή χωρικών παλμών προκορεσμού ραδιοσυχνότητας σε σημεία εκτός του FOV, τα οποία περιλαμβάνουν αρτηρίες επιτυγχάνουμε καταστολή του σήματος το οποίο συμβάλλει στην εμφάνιση ψευδενδείξεων. Άλλη μέθοδος για την αποφυγή ψευδενδείξεων λόγω ροής αίματος και παλμικών κινήσεων των αρτηριών είναι η επιλογή του FOV. Επίσης επιλέγοντας κατάλληλα την περιοχή ενδιαφέροντος αποφεύγεται η διέγερση περιοχών με μεγάλες αρτηρίες και έτσι μειώνεται η επίδραση της ψευδένδειξης [11].

2.2.8.3. Ψευδενδείξεις λόγω μαγνητικής επιδεκτικότητας

Αυτές οι ψευδενδείξεις οφείλονται στις τοπικές μεταβολές του μαγνητικού πεδίου οι οποίες παρατηρούνται κοντά σε περιοχές με διαφορετική μαγνητική επιδεκτικότητα. Ψευδενδείξεις τέτοιου τύπου έχουν μεγάλες επιπτώσεις στις περιπτώσεις στις οποίες στο εσωτερικό διαμαγνητικού υλικού (όπως είναι το ανθρώπινο σώμα) ή στην επιφάνεια του υπάρχουν σιδηρομαγνητικά υλικά. Αυτές οι τοπικές μεταβολές στο κύριο μαγνητικό πεδίο προκαλούν απώλεια συμφασικότητας της περιστροφής των πρωτονίων και μετάθεση συχνότητας στους γειτονικούς ιστούς. Το ορατό αποτέλεσμα κατά την απεικόνιση είναι η παταήρηση ιδιαίτερα φωτεινών ή σκοτεινών περιοχών και η αλλοίωση του σχήματος των ανατομικών δομών του σώματος. Η επίδραση αυτών των ψευδενδείξεων είναι ακόμα μεγαλύτερη για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες εφαρμόζονται ακολουθίες με μεγάλους χρόνους TE ή ακολουθίες gradient echo. Για τον περιορισμό της εμφάνισης αυτών των ψευδενδείξεων μπορούν να εφαρμοσθούν τα ακόλουθα:

1. αύξηση της χωρικής ανάλυσης για την μείωση της επίδρασης του φαινομένου σε γειτονικές περιοχές
2. μείωση του χρόνου TE
3. αύξηση του εύρους συχνότητας και,
4. εφαρμογή ακολουθιών spin-echo και fast spin-echo [11].

2.2.8.4. Ψευδενδείξεις χημικής μετατόπισης

Αυτές οι ψευδενδείξεις οφείλονται στη χημική μετατόπιση συχνότητας (μεταβολές στην συχνότητα Larmor) του νερού και του λίπους στους ιστούς. Παρατηρείται κυρίως στη σπονδυλική στήλη, στην κοιλιακή χώρα και σε περιοχές με λιπώδη ιστό. Κατά τη διεύθυνση κωδικοποίησης συχνότητας, το σύστημα χρησιμοποιεί τις τοπικές διαφορές συχνότητας Larmor για την εύρεση της προέλευσης του λαμβανόμενου σήματος. Η συχνότητα συντονισμού του νερού στους ιστούς διαφέρει από αυτή του λίπους και έτσι το σύστημα καταγράφει τη διαφορά συχνότητας ως χωρική διαφορά προέλευσης του σήματος.

Η μέθοδος για να εξακριβωθεί αν έχουμε παθολογία ή ψευδένδειξη, είναι να επαναληφθεί η εξέταση αλλάζοντας την διεύθυνση της κωδικοποίησης συχνότητας και της φάσης. Επειδή αυτή η ψευδένδειξη παρατηρείται πάντα κατά τον άξονα της συχνότητας, θα αλλάξει και αυτή θέση. Το μέγεθος της επίδρασης αυτής της ψευδένδειξης είναι ανάλογο της ισχύος του κύριου μαγνητικού πεδίου και αντιστρόφως

ανάλογο του ρυθμού δειγματοληψίας για την διεύθυνση της κωδικοποίησης της φάσης.

Μέθοδοι για την εξάλειψη αυτής της ψευδένδειξης είναι:

1. η εφαρμογή τεχνικών καταστολής λίπους
2. αύξηση του εύρους ζώνης συχνότητας
3. αύξηση της χωρικής ανάλυσης
4. επιλογή ακολουθιών T_1 (διαμήκης χρόνος χαλάρωσης) καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητες σε τέτοιου είδους φαινόμενα [11].

2.2.8.5. Ψευδενδείξεις αναδίπλωσης (aliasing-wrap around artifact)

Κατά την απεικόνιση παρατηρούμε τμήματα του εξεταζόμενου ιστού τα οποία βρίσκονται εκτός του F.O.V. να εμφανίζονται στην τελική εικόνα εντός του F.O.V. Οφείλεται κυρίως στην εφαρμογή χαμηλού ρυθμού δειγματοληψίας του FID. Η ψευδένδειξη αυτή μπορεί να περιοριστεί με την αύξηση του F.O.V., με την αλλαγή θέσης του κεντρικού σημείου της απεικόνισης, με την αύξηση του ρυθμού δειγματοληψίας και με τη χρήση του κατάλληλου πηνίου έτσι ώστε να μη διεγείρονται περιοχές εκτός του F.O.V.

Επίσης για τον περιορισμό της εμφάνισης της ψευδένδειξης μπορούν να εφαρμοσθούν και τα παρακάτω:

1. Υπερδειγματοληψία, δηλαδή ψηφιοποίηση του σήματος σε μια συχνότητα πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για να καταγράψει το επιθυμητό FOV. Για παράδειγμα αν αυξήσουμε τη συχνότητα δειγματοληψίας κατά 10 φορές, το FOV θα είναι 10 φορές μεγαλύτερο και η ψευδένδειξη εξαλείφεται. Όμως ψηφιοποιώντας 10 φορές την ταχύτητα δειγματοληψίας, αυξάνονται και κατά ένα παράγοντα 10 τα αρχικά δεδομένα με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι συνολικές απαιτήσεις αποθήκευσης και χρόνου επεξεργασίας δεδομένων του υπολογιστικού συστήματος.
2. Ψηφιακό φιλτράρισμα, το οποίο καταστέλλει τα δεδομένα υψηλής συχνότητας. Με την εφαρμογή αλγόριθμων συνέλιξης και μετασχηματισμού Fourier, το φιλτράρισμα καταστέλλει τα δεδομένα αυτά.
3. Αποδεκατισμός (decimation), κατά τον οποίο ένα τμήμα της λαμβανόμενης πληροφορίας δεν χρησιμοποιείται. Εκφράζεται συνήθως ως λόγος αποδεκατισμού και ορίζει το ποσοστό των δεδομένων τα οποία διαγράφονται [11].

2.2.8.6. Ψευδενδείξεις μερικού όγκου

Οι ψευδενδείξεις αυτού του είδους σχετίζονται με την λανθασμένη επιλογή μεγέθους των voxel ή άλλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ακολουθίας. Για παράδειγμα, όταν ένα voxel μικρού μεγέθους περιέχει σήμα μόνο από λιπώδη ιστό ή μόνο από περιοχή με νερό, τότε κατά την απεικόνιση παρατηρούμε σήμα με πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή ένταση ανάλογα με την ακολουθία. Αν όμως ένα voxel μεγάλου μεγέθους περιέχει συνδυασμό διαφόρων τύπων ιστών, τότε η ένταση του λαμβανόμενου σήματος είναι ίση με το μέσο όρο βάρους της ποσότητας ύδατος και λίπους που βρίσκονται εντός του voxel. Μια άλλη επίδραση του φαινομένου αυτού είναι η μείωση της διακριτικής ικανότητας λόγω των διαφόρων ιστών οι οποίοι εμπεριέχονται στο απεικονιζόμενο voxel. Επίσης παρατηρείται σε δομές οι οποίες δεν είναι παράλληλες με το επιλεγμένο απεικονιστικό επίπεδο ή δομές οι οποίες μετακινούνται μεταξύ των επιλεγμένων τομών ή εκτός του FOV κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Αυτή η ψευδένδειξη είναι δυνατόν να δυσχεραίνει σημαντικά τη διάγνωση καθώς μπορεί να παρατηρηθούν βλάβες στους ιστούς χωρίς να υφίστανται, να μην είναι δυνατή η παρατήρηση βλαβών μικρού μεγέθους και να παρατηρηθεί θολότητα ή αλλοίωση του σχήματος συγκεκριμένων δομών του σώματος.

Η λύση για την εξάλειψη της ψευδένδειξης μερικού όγκου είναι η μείωση του μεγέθους των voxel σε τέτοιο βαθμό όμως ώστε να μην παρατηρηθεί αρνητική επίδραση στις τιμές του σήματοθορυβικού λόγου της εικόνας (SNR) [11].

2.2.8.7. Ψευδενδείξεις κολόβωσης

Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρούνται ιδιαίτερα σκούρες ή φωτεινές γραμμές οι οποίες εμφανίζονται σε περιοχές οι οποίες έχουν μεγάλη διαφορά έντασης σήματος. Εμφανίζεται συνήθως κατά την T_2 απεικόνιση του εγκεφαλονωτιαίου υγρού και του νωτιαίου μυελού. Οφείλονται στην περιορισμένη διάρκεια της δειγματοληψίας του FID. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι το FID δεν έχει αποσβεσθεί πλήρως κατά την ανάκτηση του σήματος και η ηχώ δεν έχει ψηφιοποιηθεί πλήρως. Η ψευδένδειξη αυτή παρατηρείται κυρίως σε εικόνες με μικρή μήτρα δεδομένων. Μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εφαρμογή ακολουθιών με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση ή με την χρήση ψηφιακών φίλτρων. Η αλλαγή απεικονιστικού επιπέδου οδηγεί στην μετακίνηση της εμφάνισης της ψευδένδειξης σε άλλο σημείο της εικόνας [11].

2.2.8.8. Zebra stripes

Παρατηρούνται στα άκρα εικόνων οι οποίες έχουν ληφθεί με ακολουθίες gradient echo και οφείλονται στην αλλαγή της μαγνήτισης σε περιοχές οι οποίες περιέχουν δομές με αέρα και ιστούς. Παρατηρούνται εντονότερα όταν έχει επιλεγεί FOV μικρού μεγέθους. Αντιμετωπίζονται με την αύξηση του μεγέθους του FOV, με την εφαρμογή ακολουθιών spin-echo και με την αύξηση του ρυθμού δειγματοληψίας ή την εφαρμογή τεχνικών υπερδειγματοληψίας [11].

2.2.8.9. Ψευδενδείξεις λόγω επικάλυψης τομής

Στην ουσία πρόκειται για απώλειες σήματος οι οποίες παρατηρούνται σε εικόνες οι οποίες έχουν ληφθεί με ακολουθίες με ανάκτηση πολλαπλών τομών σε πολλές γωνίες (κυρίως σε ακολουθίες απεικόνισης της σπονδυλικής στήλης). Εάν οι τομές που ελήφθησαν σε διαφορετικές αποστάσεις στους μεσοσπονδύλιους δίσκους δεν είναι παράλληλες τότε οι τομές επικαλύπτονται. Τότε κατά τη λήψη της δεύτερης τομής ανιχνεύονται πρωτόνια των οποίων η μαγνήτιση έχει κορεσθεί κατά την ανάκτηση της πρώτης τομής. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της έντασης του λαμβανόμενου σήματος. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνεται σωστή σχεδίαση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ακολουθίας για την αποφυγή απώλειας σήματος από περιοχές με ιδιαίτερη διαγνωστική αξία [11].

2.2.8.10. Ψευδενδείξεις υπερχείλισης ισχύος RF

Οι ψευδενδείξεις λόγω υπερχείλισης RF δημιουργούν μια γενική ανομοιομορφία της έντασης σήματος σε όλη την έκταση της λαμβανόμενης εικόνας. Αυτή η ψευδένδειξη παρατηρείται όταν το σήμα το οποίο λαμβάνεται από τον ασθενή μέσω του ανιχνευτή έχει υπερβολικά μεγάλη ένταση και δεν είναι δυνατή η ακριβής ψηφιοποίησή του. Αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή τεχνικών προετοιμασίας του ενισχυτή RF οι οποίες πριν την εκκίνηση της ακολουθίας πραγματοποιούν μικρορυθμίσεις για την καλύτερη ανίχνευση ισχυρών σημάτων [11].

2.2.8.11. Ψευδενδείξεις ροής και εισόδου τομής

Το φαινόμενο εισόδου τομής παρατηρείται όταν μη κορεσμένοι περιστρεφόμενοι πυρήνες (λόγω ροών) εισέρχονται στην περιοχή της μελετούμενης τομής. Είναι επικίνδυνη ψευδένδειξη καθώς μπορεί εύκολα να παρερμηνευθεί διαγνωστικά ως θρόμβωση, με τις όποιες συνέπειες για τον εξεταζόμενο. Η εφαρμογή ακολουθιών gradient echo flow μπορεί να βοηθήσει στην διάκριση αυτής της ψευδένδειξης από άλλες παθολογικές καταστάσεις [11].

2.2.8.12. Ψευδενδείξεις Zipper

Μία σειρά από αίτια είναι δυνατόν να προκαλέσουν την εμφάνιση ψευδενδείξεων Zipper. Τα περισσότερα σχετίζονται με προβλήματα του υλικού ή του

λογισμικού στα οποία ο χειριστής δεν μπορεί να επέμβει για να τα διορθώσει. Οι πιο εύκολα αντιμετωπίσιμες ψευδενδείξεις αυτού του είδους είναι αυτές που οφείλονται στην εκπομπή RF κυμάτων στο χώρο εξέτασης όταν η πόρτα είναι ανοιχτή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης κάποιας ακολουθίας. Η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από πομπούς RF οδηγεί στην εμφάνιση ψευδενδείξεων Zirper, με τη μορφή γραμμών οι οποίες προσανατολίζονται κάθετα στον άξονα των συχνοτήτων. Επίσης ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος αυτών των RF εκπομπών αλλοιώνει την συνολική ποιότητα της απεικόνισης. Επίσης ραδιοκύματα με μικρό εύρος ζώνης προκαλούν αλλοιώσεις σε μεγάλα τμήματα της εικόνας και κυρίως κατά την διεύθυνση της κωδικοποίησης φάσης. Οι μόνες λύσεις οι οποίες είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν είναι η χρήση θωράκισης RF, το κλείσιμο της πόρτας του δωματίου εξέτασης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εξέτασης και η απομάκρυνση πιθανών εκπομπών RF κυμάτων από τον χώρο κοντά στον μαγνητικό τομογράφο [11].

2.2.8.13. Ψευδενδείξεις σκίασης

Παρατηρούνται ως περιοχές μειωμένης έντασης σήματος σε μεγάλα τμήματα της εικόνας. Μειώνουν σημαντικά την διαγνωστική αξία της εικόνας καθώς μπορεί να αποκρύψουν παθολογικές δομές. Αιτίες οι οποίες προκαλούν τέτοιες ψευδενδείξεις είναι δυσλειτουργίες των κυκλωμάτων RF και υψηλή απορρόφηση RF ακτινοβολίας από συγκεκριμένες δομές του σώματος. Για τον περιορισμό αυτών των ψευδενδείξεων θα πρέπει να τοποθετείται σωστά η περιοχή που θα εξετασθεί σε σχέση με το ισόκεντρο του μαγνήτη και σε σχέση με το πηνίο λήψης [11].

2.2.8.14. Σφάλματα εκτύπωσης, αποθήκευσης και ανάγνωσης δεδομένων

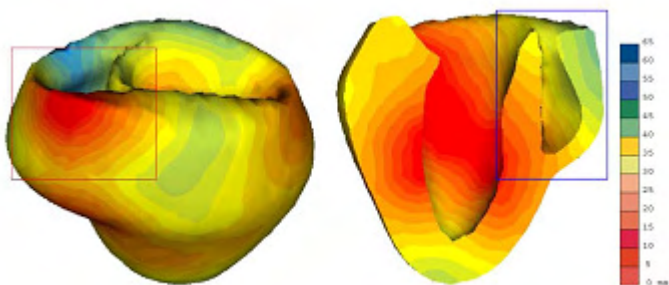
Παρακολούθηση και ανάλυση ηλεκτροκαρδιογραφήματος με τη χρήση του προγράμματος Biobench βασισμένη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορεί να επιτευχθεί, ωστόσο, ψηφιακή λάθος μετάδοση και θόρυβος μπορεί να αλλοιώσουν τα δεδομένα.

2.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΚΓ

Κατά καιρούς έχουν γίνει αρκετές υπολογιστικές εφαρμογές του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Αυτές αφορούν διάφορα πρότυπα, προσομοιώσεις της λειτουργίας της καρδιάς καθώς και επεξεργασία των ηλεκτροκαρδιο-σημάτων. Κάποιες από αυτές τις εφαρμογές παρατίθενται παρακάτω:

Ο M. Sermesant [15] στο έγγραφο του παρουσιάζει ένα νέο τρισδιάστατο ηλεκτρομηχανικό πρότυπο (three-dimensional electromechanical model) των δύο καρδιακών κοιλιών (cardiac ventricles) που έχουν σχεδιαστεί για την προσομοίωση (simulation) της ηλεκτρικής και μηχανικής δραστηριότητας, και για την κατάτμηση (segmentation) της χρονικής σειράς ιατρικών εικόνων. Κατ' αρχάς, παρουσιάζονται τα ογκομετρικά βιομηχανικά πρότυπα που έχουν κατασκευαστεί. Κατόπιν προσομοιώνεται διαμεμβρανική διάδοση δυναμικού, που βασίζεται στις εξισώσεις αντίδραση-διάχυσης FitzHugh-Nagumo. Η μυοκαρδιακή συστολή διαμορφώνεται μέσω ενός συστατικού νόμου (constitutive law) συμπεριλαμβανομένης μιας ηλεκτρομηχανικής σύζευξης. Η προσομοίωση ενός καρδιακού κύκλου, με οριακές καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν τη πίεση του αίματος (blood pressure) και περιορισμούς όγκου (volume constraints), οδηγεί στη σωστή εκτίμηση των σφαιρικών και τοπικών παραμέτρων της καρδιακής λειτουργίας. Αυτό το πρότυπο επιτρέπει την εισαγωγή των παθολογιών και την προσομοίωση των επεμβάσεων ηλεκτροφυσιολογίας. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της

καρδιακής εικόνας. Ένα νέο παραμορφώσιμο δυναμικό πρότυπο της καρδιάς εισάγεται για να καταμηθούν οι δύο κοιλίες σε τμήματα χρόνου των καρδιακών εικόνων. Τα αρχικά αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτό το δυναμικό πρότυπο, που ενσωματώνει τη γνώση που αποτελείται από έμφυτες ιδέες που προηγούνται της εμπειρίας (a priori) σχετικά με την καρδιακή ανατομία και τη συμπεριφορά των δυναμικών της, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την ευρωστία από την εξαγωγή των λειτουργικών παραμέτρων από τις καρδιακές εικόνες ακόμη και υπό την παρουσία των θορυβωδών ή αραιών στοιχείων. Ένα τέτοιο πρότυπο επιτρέπει επίσης την προσομοίωση των καρδιαγγειακών παθολογιών προκειμένου να εξεταστούν οι στρατηγικές θεραπείας και για να προγραμματισθούν οι επεμβάσεις.



Εικόνα 34. Προσομοίωση παθολογιών ηλεκτροφυσιολογίας. (Αριστερά) Εκτοπική εστίαση (ectopic focus)(μέρος μιας προσομοίωσης του λευκού Wolff-Parkinson συνδρόμου). (Δεξιά) Σωστή προσομοίωση τμημάτων αποκλεισμού (branch block simulation)[15]

Επιπλέον, ένα σοβαρό πρόβλημα για την υψηλής ευκρίνειας καρδιακή απεικόνιση είναι η προκληθείσα από την αναπνοή καρδιακή παραμόρφωση. Το έγγραφο του Nicholas A. Ablitt [16] και των συνεργατών του παρουσιάζει μια νέα τεχνική για την προγνωστική μοντελοποίηση της καρδιακής κίνησης και τη διόρθωσή της, η οποία χρησιμοποιεί την μέθοδο της απόκλισης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (partial least squares regression (PLS-regression)) για να εξαγάγει τις εγγενείς σχέσεις μεταξύ της τρισδιάστατης (3-D) καρδιακής παραμόρφωσης λόγω της αναπνοής και του πολλαπλάσιου μονοδιάστατου μετρήσιμου επιφανειακού ίχνους έντασης επιφάνειας μετρημένου σε πραγματικό χρόνο στο στήθος ή την κοιλία. Παρά το γεγονός ότι αυτά τα επιφανειακά ίχνη έντασης μπορούν να συνδεθούν έντονα το ένα με το άλλο αλλά να συσχετιστούν ανεπαρκώς με την προκληθείσα από την αναπνοή καρδιακή παραμόρφωση, αποδεικνύεται πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν ακριβώς την καρδιακή κίνηση μέσω της εξαγωγής των αφανών μεταβλητών (latent variables) από τα εισαγόμενα καθώς και τα δεδομένα εξόδου του μοντέλου. Η προτεινόμενη μέθοδος επιτρέπει την αναδημιουργία διαγώνιας-μορφής μοντέλων συγκεκριμένων ασθενών για πεδίο πρόβλεψης πυκνής κίνησης (dense motion field prediction), η οποία μετά από την αρχική διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη πρόγνωση σε πραγματικό χρόνο ίχνων της καρδιακής κίνησης και διόρθωσή τους. Τα λεπτομερή αριθμητικά ζητήματα σχετικά με την τεχνική βασίζονται στους τύπους της μεθόδου απόκλισης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (partial least squares regression (PLS-regression)),

$$X_c = TP^T + E \quad (1)$$

$$Y_c = UQ^T F \quad (2)$$

όπου X είναι ένας πίνακας $n \times m$ δεδομένων εισαγωγής, Y είναι ένας πίνακας $n \times p$ δεδομένων εξόδου το T είναι ένας πίνακας $n \times l$ (το αποτέλεσμα, πίνακας συνιστωσών ή πίνακας παραγόντων), το P και το Q είναι, αντίστοιχα, $m \times l$ και $p \times l$ πίνακες βαρών, και οι πίνακες E και F είναι οι όροι λάθους κανονικά. Η αποτελεσματικότητα της διαμόρφωσης κινήσεων και παραμόρφωσης επικυρώνεται με τα τρισδιάστατα σύνολα

δεδομένων μαγνητικού συντονισμού που αποκτήθηκαν από δέκα ασυμπτωματικά αντικείμενα ενδιαφέροντος που καλύπτουν ολόκληρη την αναπνευστική ακολουθία.



Εικόνα 35. Παράδειγμα των αποτελεσμάτων που προέρχονται από την προτεινόμενη τρισδιάστατη μέθοδο πρόβλεψης κινήσεων [16].

Οι εικόνες (a1) και (a2) αντιπροσωπεύουν τα μεσοκοιλιακά μερίδια ενός αντικείμενου ενδιαφέροντος σε διαφορετικές φάσεις του καρδιακού κύκλου με τα αντίστοιχα αφαιρετικά αποτελέσματα που φαίνονται στην εικόνα (a3). Η τρισδιάστατη (3-D) απόδοση που παρουσιάζεται στην (a4) δίνει έμφαση στην ποσότητα καρδιακής κίνησης και της εμπλεκόμενης παραμόρφωσης.

Οι περισσότερες πρόσφατες έρευνες στις φυσιολογικές διαδικασίες όπως στο ρυθμό της καρδιάς (heart rate), στην πίεση του αίματος, ή στη δραστηριότητα νεύρων έχουν δείξει ότι τα βιοϊατρικά σήματα ποικίλλουν με έναν σύνθετο και ανώμαλο τρόπο, ακόμη και κατά τη διάρκεια σταθερών εξωτερικών καταστάσεων. Η χαοτική δυναμική των συστημάτων των ανθρώπινων οργάνων προσφέρει πολλά λειτουργικά πλεονεκτήματα. Τα χαοτικά συστήματα λειτουργούν κάτω από ένα ευρύ φάσμα των συνθηκών και είναι επομένως προσαρμόσιμα και εύκαμπτα. Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερη προσοχή έχει αφιερωθεί στην ενοποίηση των διάφορων πτυχών της καρδιακής φυσιολογίας χρησιμοποιώντας τα μη γραμμικά δυναμικά, ιδιαίτερα μέσω των μεθόδων τοπολογικής ανάλυσης (topological analysis) και “fractal” γεωμετρίας. Ο V.F. Dailyudenko [17] και οι συνεργάτες του εκμεταλλευόμενοι την δυναμική των συστημάτων και τα λειτουργικά πλεονεκτήματα τους δημιούργησαν μια μη γραμμική εφαρμογή δυναμικών μεθόδων για την εξερεύνηση των ηλεκτροκαρδιοσημάτων. Η μέθοδος που ερευνήθηκε είναι μια μέθοδος του βαθμού πολυπλοκότητας της δυναμικής των καρδιών με τη βοήθεια της εξερεύνησης μιας σειράς χρόνων ηλεκτροκαρδιογραφήματος σε μια βάση τοπικής - τοπολογικής ανάλυσης (local - topological analysis) του “attractor” (σύνολο στο οποίο μετατρέπεται το δυναμικό μετά από καιρό και κρατά τα γύρω αντικείμενα σταθερά ακόμη και αν αυτά διαταράσσονται και μπορεί να είναι πχ μια καμπύλη (μέρος της θεωρίας του χάους)) που κατασκευάζεται από το ηλεκτροκαρδιοσήμα. Πρόσφατα η μέθοδος έχει προταθεί για μια τοπική τοπολογική ανάλυση των τροχιών “attractor” που κατασκευάζονται από τη χαοτική χρονική σειρά. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει να μειωθεί η ποιότητα των απαιτούμενων πειραματικών δεδομένων και να ελευθερωθούν οι κάποιοι δεσμευμένοι πόροι του υπολογιστή (χρόνος, χώρος αποθήκευσης) σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς αλγορίθμους. Εκτός αυτού, παρέχει μια καλή σύγκλιση της υπολογιστικής διαδικασίας και επίτευξης αξιόπιστων αριθμητικών αποτελεσμάτων.

Μετά τους αλγορίθμους έρχονται και τα νευρικά δίκτυα, που εφαρμόζονται με αυξανόμενη συχνότητα στην ιατρική πράξη και ελέγχουν τα ιατρικά συστήματα εφαρμοσμένης μηχανικής υποστήριξης (medical engineering support systems). Εντούτοις, μια λύση πρέπει ακόμα να βρεθεί για το πρόβλημα της δημιουργίας των ιατρικών συστημάτων υποστήριξης, που μπορεί να επιταχυνθεί από τους ίδιους τους παθολόγους χωρίς να έχουν κάποια ανάγκη γνώσης μαθηματικών θεωριών των νευρικών δικτύων και επεξεργασίας σήματος. Σε αυτή την διαδικασία, προς εύρεση

λύσης, περιγράφεται από τον Matthias Reuter [18] ένα ιατρικό σύστημα υποστήριξης που μπορεί να οργανωθεί από τους αρχαίους στον τομέα των νευρικών δικτύων καθώς και να ελεγχθεί και τα αποτελέσματα να ερμηνευθούν σωστά από τις νοσοκόμες και άλλο ιατρικό προσωπικό. Βάσει των χαρακτηριστικών παθολογικών τύπων των σημάτων του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, που αναπαριστώνται από έναν κοινό προσομοιωτή που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη για τον έλεγχο του καρδιακού χτύπου, παρουσιάζουμε βασική δομή της κανονικής και παθολογικής καταγραφής των καρδιακών χτύπων (heart beat signature) και πώς μπορούν να παρουσιαστούν σε μια νέα και εύκολα ερμηνεύσιμη απεικόνιση. Επιπλέον, εξηγούμε πώς αυτό το σύστημα υποστήριξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τα δίκτυα που είναι χαρακτηριστικά για τους περισσότερους ασθενείς, μικρά, και μπορεί να οργανωθούν γρήγορα για τον έλεγχο της κατάστασης του ασθενούς κατά τη διάρκεια της θεραπείας, ή να παρέχει ένα μέτρο του βάθους της αναισθησίας (anaesthesia) του ασθενή.

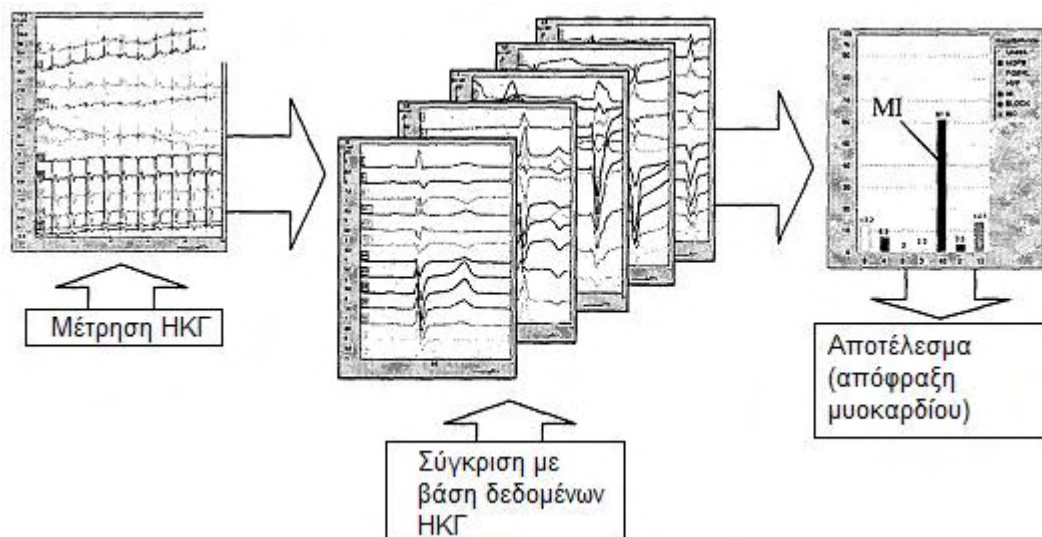
Το ρυθμικό ηλεκτροκαρδιο-σήματος (ΗΚΣ-electrocardiosignal (ECS)) είναι η μελέτη και η εκτίμηση του ρυθμικού του καρδιογράφηματος (ΡΚΓ-rhythm cardiogram (RCG)) - η σειρά των τιμών των χρονικών διαστημάτων που μετριοούνται μεταξύ των χρόνων στα κύματα R της προκαταρκτικής επεξεργασίας ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ECG). Η προκαταρκτική επεξεργασία του ΗΚΣ είναι μια χαμηλής διέλευσης διήθηση με ένα χαρακτηριστικό που δεν πρόκειται να σχετίζεται με ρυθμικό. Εντούτοις, τα χαρακτηριστικά μετρολογίας (μπορεί να μετρηθούν και είναι το ελάχιστο, πλήρες σύνολο που είναι αμετάβλητο για το χρόνο της μέτρησής του) του ρυθμικού είναι καθορισμένα στη βάση ενός μαθηματικού προτύπου RCG. Δύο προσεγγίσεις για τη μαθηματική διαμόρφωση RCG παρατίθενται από τον Yaroslav Dragan [19]: (α) - το ιστόγραμμα (γραφικό) της σειράς του RR - τιμές διαστήματος, (β) και η σειρά του σημείου (γεγονός). Το ρυθμικό υπολογίζεται από τα φάσματα RCG και από τις λειτουργίες στιγμής. Το σήμα (ECS) είναι αυτό που μεταβιβάζει μια δομή διαδρομής χρόνου-διαστήματος (ρυθμικό) στη δομή του στις παραμέτρους και τα χαρακτηριστικά της. Ένα φασματικό πρότυπο ρυθμικού είναι επαρκές για το στόχο της μέτρησης του ρυθμικού χαρακτηριστικών μετρολογίας. Σαν αντικείμενο μπορεί κανείς να το δει μέσω ενός πρίσματος που χρησιμοποιείται για αυτό το λόγο. Ένα τέτοιο πρότυπο είναι μικρό, απλούστερο, αποτελεσματικότερο από το ΗΚΣ ακόμη και από το ΗΚΓ. Ότι πραγματοποιείται υπογραμμίζει τις χαρακτηριστικές ιδιοτήτων του. Τυπικά, το πρότυπο αποτελεί το αντικείμενο που ερευνάται (ρυθμικό του ΗΚΣ) με το αντικείμενο μιας άλλης φύσης (συνάρτηση, τυχαία διαδικασία) που από άποψη επίλυσης στόχου έχει μια δομή χρόνου-διαστήματος που είναι ίδια με τη δομή του ερευνούμενου αντικειμένου (καρδιά). Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση που δεν είναι ισομορφισμός, στη θεωρία προτύπων μια τέτοια ταυτότητα ονομάζεται ομοιότητα. Ομοίως τα αντικείμενα έχουν τα απαραίτητα όμοια μαθηματικά πρότυπα ως μαθηματικά αντικείμενα υπό τη σωστή έννοια του μαθηματικού ορισμού. Έχει προστεθεί για το μαθηματικό πρότυπο ρυθμικού τη σειρά γεγονότων (μια τυχαία). Με τον παρακάτω τύπο καθορίζονται τα χαρακτηριστικά μετρολογίας του ρυθμικού ΗΚΣ μέχρι το χρόνο των μετρήσεων μεταξύ των R-κυμάτων και δημιουργείται μία τυχαία σειρά. Η ύπαρξη σειράς R-κυμάτων, η επανάληψή τους, απαραίτητη σταθερά χαρακτηριστικά χρονικών μετατοπίσεων (μεταφράσεις) ρυθμικού τους μας εξυπηρέτησαν στον καθορισμό του σήματος και του ρυθμικού που μεταβιβάζει

$$\xi(i\Theta) = t_i - i\Theta \quad (3)$$

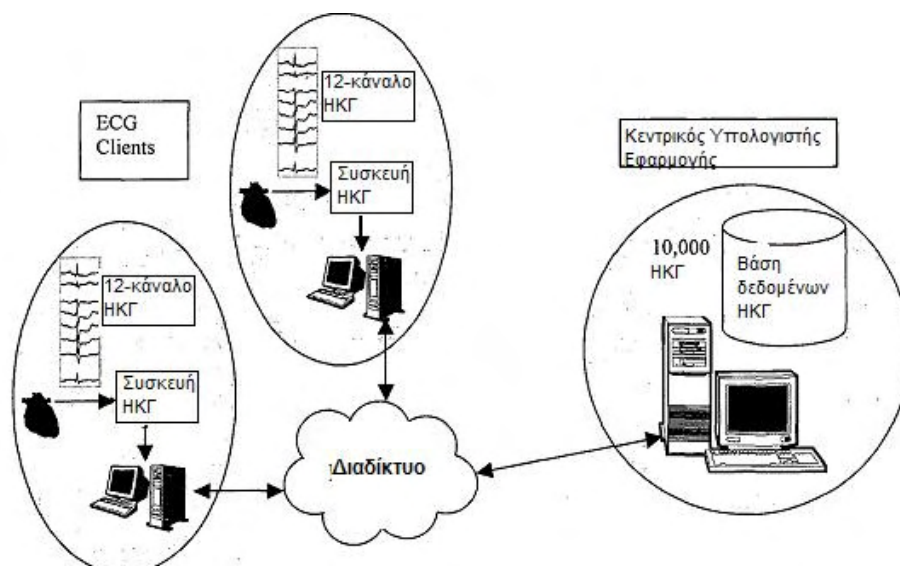
όπου Θ : ρυθμικό, t_i : οι τιμές του χρόνου στο i -στο κύμα, $i=1,2,3...$

Ο χρόνος t_i υπολογίζει το εύρος του R-κύματος που είναι το βέλτιστα επεξεργασμένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΔΟΜΗ ΗΚΓ – ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



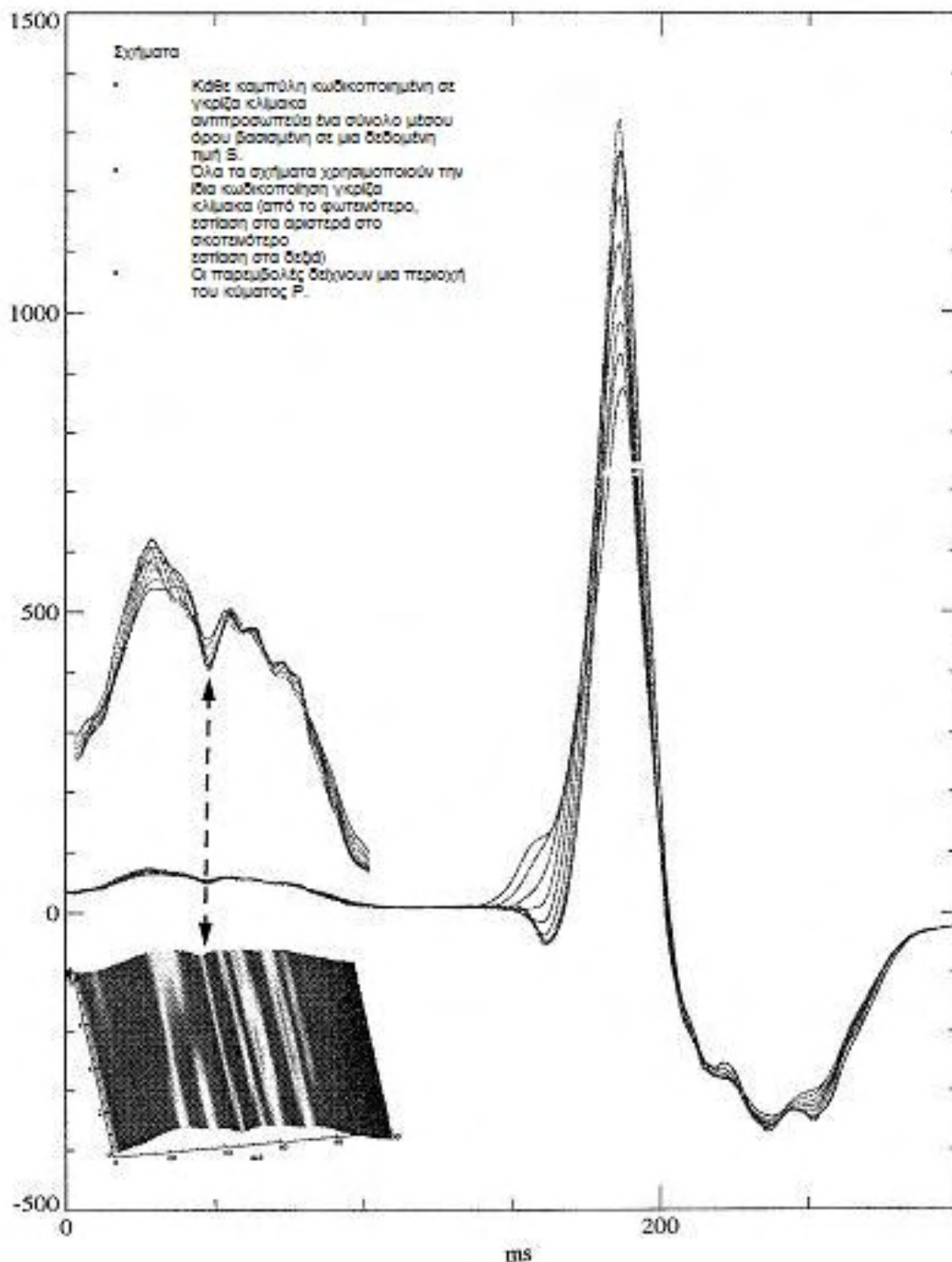
Εικόνα 36. Εικονική παρουσίαση της μεθόδου ανάλυσης ηλεκτροκαρδιοσήματος σε σύγκριση με μια βάση δεδομένων [19].



Εικόνα 37. Προσδιορισμός των σχεδίων ηλεκτροκαρδιογραφήματος σε έναν εξυπηρετητή - διακομιστή (κεντρικό υπολογιστή) εφαρμογών με δύο συνδέσεις μέσω Διαδικτύου [19].

Στην ερευνητική εργασία του ο Ritcher [20] αναλύει τα ΗΚΓ χρησιμοποιώντας εστίαση στη χειραγώγηση συνόλων. Πολλές μορφές ανάλυσης ΗΚΓ είναι βασισμένες σε σύνολα, όπως για παράδειγμα, η ανάλυση του μέσου όρου σήματος ΗΚΓ (Signal-Averaged ECG (SAECG) analysis) παίρνει το μέσο όρο στη χρονική περιοχή σε ένα σύνολο από κτύπους. Ο Ritcher ανέπτυξε μια τεχνική για να επιτρέψει την εστίαση μέσα σε μια περιοχή από κτύπους. Όταν μια ανάλυση ενός συνόλου έχει δημιουργηθεί, όπως η λήψη του μέσου όρου των στοιχείων του συνόλου, ακολουθείται από κάποια περαιτέρω ανάλυση, το πρώτο βήμα της διεργασίας είναι ο προσδιορισμός της ευθυγράμμισης κάθε ενός από τα στοιχεία των συνόλων. Εάν αυτά τα στοιχεία διαφέρουν στις ιδιότητες μετάδοσης, δεν θα υπάρξει κανένα τέλειο ενιαίο σημείο ευθυγράμμισης. Κατόπιν η φύση της επόμενης επεξεργασίας θα εστιάσει πάντα αυτόματα στην περιοχή κοντά στο ευθυγραμμισμένο στοιχείο, περιοχές περαιτέρω από το σημείο ευθυγράμμισης θα θολωθούν (χαμηλής διέλευσης φίλτράρισμα). Τα παραδείγματα καταδεικνύουν την ορατή αύξηση στην ανάλυση

προκύπτοντας από αυτήν την προσέγγιση. Μέσω αυτής της προσέγγισης οι μικρο-αποκλίσεις γίνονται ορατές κάτι που κανονικά χάνεται στη διαδικασία ανάλυσης.



Εικόνα 38. Κωδικοποιημένη κλίμακα [20].

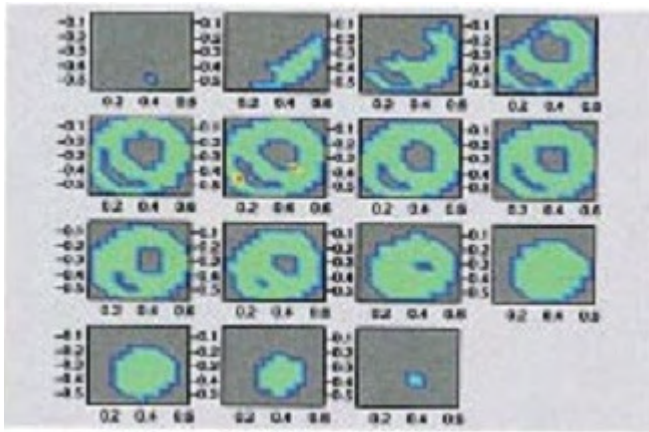
Σε μια άλλη έρευνα, αναλύθηκαν οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καρδιακών κυττάρων και ερευνήθηκε τι μπορούμε να μάθουμε από τα συστήματα δύο-κυττάρων. Έτσι, έχοντας τη δυνατότητα να απομονωθούν ενζυμικά ενιαία καρδιακά κύτταρα από τις μαστοφόρες καρδιές, η έρευνα στην καρδιακή ηλεκτροφυσιολογία εστίασε στη μελέτη των καρδιακών ηλεκτρικών ιδιοτήτων σε κυτταρικό επίπεδο. Τέτοια πεδία έρευνας παράγουν σημαντικές πληροφορίες για τα μεμονωμένα ιοντικά ρεύματα μεμβρανών και τη σχέση τους με τη μονοκύτταρη

δυνατότητα δράσης. Εντούτοις, είναι συχνά δύσκολο να προβλεφθεί πώς (αλλαγές σε) μεμονωμένα ρεύματα έχουν επιπτώσεις στη μεταφορά από κύτταρο σε κύτταρο της καρδιακής δυνατότητας δράσης. Ωστόσο, ο Joyner (ένας εκ των ερευνητών) και οι συνάδελφοί του εισήγαγαν την τεχνική "σφιγκτήρων συζεύξεων" στην οποία ένα απομονωμένο καρδιακό κύτταρο μπορεί να συνδεθεί ηλεκτρικά με είτε ένα άλλο απομονωμένο καρδιακό κύτταρο είτε με ένα αναλογικό πρότυπο κύτταρο που μιμείται τις καρδιακές ιδιότητες κυττάρων (κύκλωμα RC). Στηριγμένος σε αυτήν την έννοια, αναπτύξε την ελεγμένη από υπολογιστή τεχνική "πρότυπων σφιγκτήρων", στην οποία ένα απομονωμένο καρδιακό κύτταρο συνδέεται δυναμικά με ένα περιεκτικό πρότυπο κύτταρο που είναι υπολογισμένο σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό το σύστημα έχουμε τη δυνατότητα να αποδείξουμε τη μεσοκυττάρια αγωγιμότητα συζεύξεων καθώς επίσης και τις εγγενείς κυτταρικές ιδιότητες του πρότυπου κυττάρου. Για τους πτυχιούχους φοιτητές κυρίως βιοϊατρικών πεδίων, ο σφιγκτήρας συζεύξεων και τα πρότυπα συστήματα σφιγκτήρων μπορεί να αποδείχθούν ως χρήσιμα εργαλεία για να μάθουν και να καταλάβουν τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καρδιακών κυττάρων που υπόκεινται συγχρονισμό με βηματοδότη και της ασυνεχούς διαφοράς δράσης μετάδοσης νευρικών ρευμάτων μεταξύ των κοιλιακών κυττάρων [21].

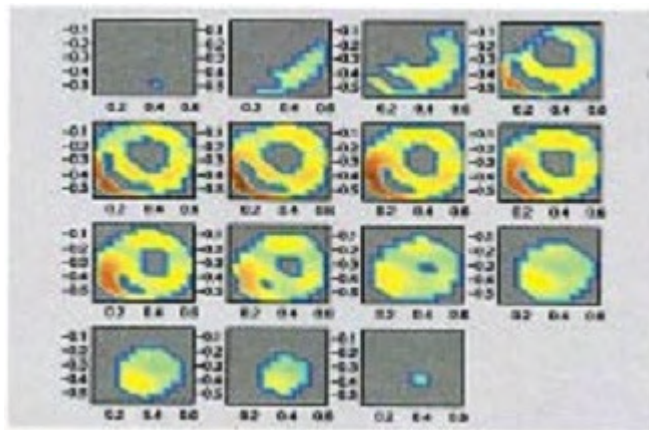
Μια μη κατακτητική απεικόνιση της καρδιακής ηλεκτρικής δραστηριότητας είναι σημαντική για καλύτερη κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών και για βοήθεια στην κλινική διάγνωση και επέμβαση σε διαφόρων ειδών καρδιακών ανωμαλιών. Βασισμένος στην τρισδιάστατη (3-D) αναπαράσταση και απεικόνιση της ηλεκτρικής καρδιακής δραστηριότητας ο Bin He [22], προχώρησε στην απεικόνιση της καρδιακής βιοηλεκτρικής κατανομής της πηγής από ηλεκτροκαρδιογράμματα που καταγράφονται από την επιφάνεια του σώματος. Οι καρδιακές ηλεκτρικές πηγές διαμορφώθηκαν από μια τρέχουσα διανομή διπόλων σε όλο μυοκάρδιο, και εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της Laplacian στατικής ελάχιστης νόρμα (Laplacian weighted minimum norm (LWMN)) από δυναμικά που μετρήθηκαν από τη επιφάνεια του σώματος. Η κατ' εκτίμηση αντίστροφη λύση της τρέχουσας διανομής βελτιώθηκε περαιτέρω με τη χρησιμοποίηση μιας επαναλαμβανόμενης στρατηγικής στάθμισης για τις εντοπισμένες πηγές, όπως η προέλευση των καρδιακών αρρυθμιών. Οι προσομοιώσεις υπολογιστών δημιουργήθηκαν για να εξετάσουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης προσέγγισης με τη χρησιμοποίηση ενός τρισδιάστατου κάθετου προτύπου που ενσωματώθηκε σε ένα ρεαλιστικά διαμορφωμένο πρότυπο του ανθρώπινου σώματος. Η μέθοδος στοιχείων ορίου χρησιμοποιήθηκε για να λύσει το πρόβλημα από τις υποτιθέμενες καρδιακές πηγές των δυναμικών της επιφάνειας του σώματος. Δύο δοκιμαστικά δίπολα τα οποία τοποθετήθηκαν στις αριστερές και δεξιές κοιλίες, μιμούνται την πρόωρη ενεργοποίηση που συνδέεται με τις κοιλιακές αρρυθμίες. Η αντίστροφη λύση LWMN παρουσίασε ισοδύναμη κατανομή πηγής πάνω από την οντότητα και των δύο κοιλιών, με την διευρυμένη περιοχή δραστηριότητας να επικαλύπτουν τις θέσεις των δοκιμαστικών διπόλων. Η αντίστροφη εικόνα υψηλής έντασης παρέχει τις καλά-εντοπισμένες εστιακές πηγές κοντά στις θέσεις των δοκιμαστικών διπόλων. Συνοψίζοντας, η παρούσα προσομοίωση υπολογιστών υποδεικνύει πως η προτεινόμενη τρέχουσα προσέγγιση της τρισδιάστατης καρδιακής απεικόνισης και του εντοπισμού της πηγής εμφανίζεται να είναι μια ελπιδοφόρα διαδικασία για τον εντοπισμό και την απεικόνιση των περιοχών από τις οποίες προέρχεται η καρδιακή ενεργοποίηση.

Παράδειγμα της τρισδιάστατης καρδιακής ηλεκτρικής απεικόνισης πηγής δύο διπόλων τοποθετημένων κοντά στο ενδοκάρδιο στις δεξιές και αριστερές κοιλίες απεικονίζεται στην εικόνα 40. Η λύση LWMN απεικονίζεται στην εικόνα 41.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΔΟΜΗ ΗΚΓ – ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Εικόνα 39. Τρισδιάστατη καρδιακή ηλεκτρική απεικόνιση πηγής δύο διπόλων [22].



Εικόνα 40. Λύση LWMN [22]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ LABVIEW – BIOBENCH

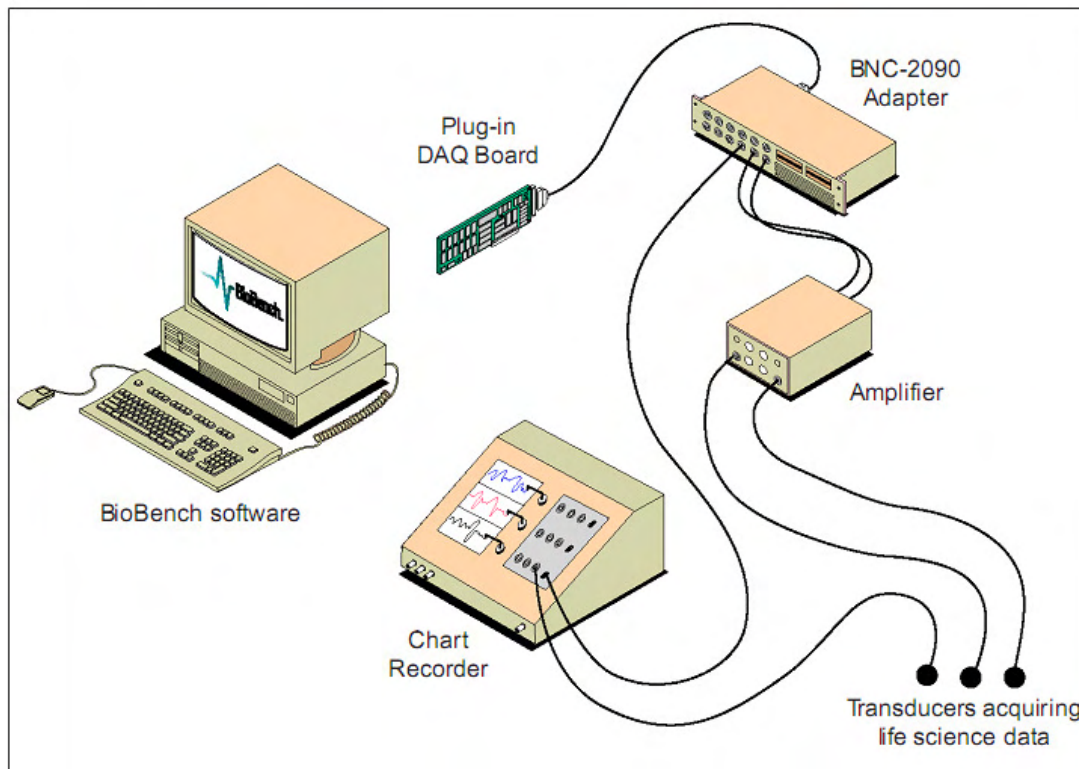
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ BIOBENCH

Το National Instruments είναι ηγέτης στον τομέα της δοκιμής και της μέτρησης καθώς και της αυτοματοποίησης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για χρόνια, τροφοδοτώντας προϊόντα για τον έλεγχο οργάνων, την απόκτηση δεδομένων (data acquisition-DAQ), και τη βιομηχανική αυτοματοποίηση. Εκτός από την παραγωγή υλικού το National Instruments έχει δημιουργήσει ισχυρά εργαλεία λογισμικού συμπεριλαμβανομένου και του LabVIEW, το γραφικό περιβάλλον προγραμματισμού. Συνδυάζοντας το προγραμματίσιμο λογισμικό και το υλικό απόκτησης δεδομένων, το National Instruments παρέχει λύσεις που επηρεάζουν την ισχύ του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Από την αύξηση αυτού του χώρου προϊόντων του National Instruments, το τελευταίο έχει συμπεριληφθεί στη δημιουργία της ενοργάνωσης βασισμένης στον προσωπικό υπολογιστή, ή στη βασισμένη σε υπολογιστή ενοργάνωση. Η βασισμένη σε υπολογιστή ενοργάνωση είναι η μεθοδολογία της χρησιμοποίησης του προγραμματίσιμου λογισμικού και του υλικού απόκτησης δεδομένων του ηλεκτρονικού υπολογιστή για να δημιουργήσει λύσεις ενοργάνωσης οριζόμενες από την κάθε εφαρμογή. Ένας χρήστης μπορεί να προγραμματίσει το ίδιο κομμάτι του υλικού για να γίνει ένας παλμογράφος, ένας διαχωριστής δεδομένων ή ένας ηλεκτροκαρδιογράφος. Το λογισμικό δίνει στο υλικό την επιθυμητή προσωπικότητα, γι' αυτό και επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου λογισμικού. Οι χρήστες έχουν δημιουργήσει τα όργανα αυτά να έχουν την ακριβή εμφάνιση και αίσθηση σαν παραδοσιακά αυτόνομα όργανα. Δεν υπάρχει κανένα όριο στο τι μπορεί κάποιος να δημιουργήσει με τη βασισμένη σε υπολογιστή ενοργάνωση (τη διάταξη ελέγχου ηλεκτρονικών συστημάτων). Η βασισμένη σε υπολογιστή ενοργάνωση είναι πολύ ισχυρή επειδή επηρεάζει την τρέχουσα τεχνολογία ηλεκτρονικών υπολογιστών για να παρέχει τις εύκαμπτες και οικονομικώς αποδοτικές λύσεις με μέρος του κόστους τις αυτόνομες συσκευές. Για να επιδείξει το National Instruments αυτή τη δύναμη έχει δημιουργήσει τις συσκευασίες κλειδί που δεν απαιτούν προγραμματισμό, όπως το BioBench. Χρησιμοποιεί τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για να λειτουργήσει ως όργανο καταγραφής διαγραμμάτων αλλά προσθέτει τη δυνατότητα να αποθηκευτούν οι πληροφορίες στο δίσκο και να αναλυθούν τα δεδομένα.

Ηλεκτροκαρδιογραφήματα

Η καταγραφή των ηλεκτροκαρδιογραφήματων (ΗΚΓ) είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της ιατρικής και για τους γιατρούς και για τους ερευνητές από την έναρξή της. Συχνά ο έλεγχος ΗΚΓ έχει πολύ λίγη ευελιξία στην ενοργάνωσή του. Μέσω της χρήσης υπολογιστή, τα στοιχεία ΗΚΓ μπορούν να καταγραφούν στο δίσκο και να αναλυθούν με μεγαλύτερη ευελιξία για μια οικονομικώς πιο αποδοτική λύση. Αυτή η εφαρμογή εξηγεί πώς να χρησιμοποιήσουμε τον προσωπικό υπολογιστή για να αποκτήσουμε δεδομένα και να αναλύσουμε τα στοιχεία του ΗΚΓ χρησιμοποιώντας το εθνικό λογισμικό οργάνων BioBench και το υλικό απόκτησης δεδομένων (DAQ). Χρησιμοποιώντας το BioBench, ένα πακέτο λογισμικού – κλειδί - γραμμένο μαζί με το LabVIEW, και τα προϊόντα απόκτησης δεδομένων, μπορεί κάποιος να εκσυγχρονιστεί στο εργαστήριο για τη - βασισμένη σε υπολογιστή - απόκτηση φυσιολογικών σημάτων. Με το BioBench, μπορούμε να καταγράψουμε δεδομένα μέχρι 16 κανάλια στο δίσκο σε πραγματικό χρόνο. Ένα από τα κλειδιά του BioBench είναι ότι χρησιμοποιείται μια συσκευή απόκτησης δεδομένων DAQ για να αποκτήσει τα

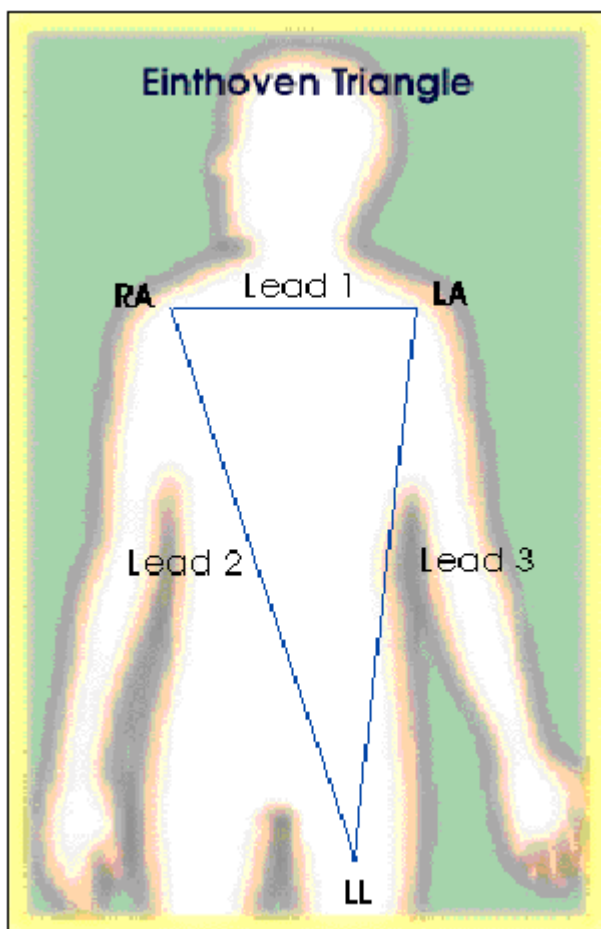
σήματα από τον ενισχυτή και τα ηλεκτρόδια που κάποιος χρησιμοποιεί στο εργαστήριό του. Επομένως, δεν υπάρχει καμία ανάγκη να αναδιαμορφωθεί εντελώς ένα εργαστήριο, αλλά παγιώνει τις πειραματικές διαδικασίες σε έναν σταθμό. Η χρησιμοποίηση της τρέχουσας διαμόρφωσής ενισχυτών και ηλεκτροδίων με την συσκευή απόκτησης δεδομένων DAQ του National Instruments και το BioBench προσφέρουν τη δυνατότητα της τρέχουσας ενοργάνωσης με την ευελιξία ενός συστήματος σε Η/Υ.



Εικόνα 41. Ένας τυπικός τρόπος εγκατάστασης [23].

3.1.1. ΒΗΜΑ 1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Για να αρχίσουμε την εγκατάσταση του πειραματικού σταθμού, θα πρέπει να διαμορφωθεί το υλικό του National Instruments, DAQ. Μπορούμε να ανατρέξουμε στο υλικό που περιέχει το εγχειρίδιο έναρξης λειτουργίας για τις οδηγίες εγκατάστασης και διαμόρφωσης. Προκειμένου να διαμορφωθεί κατάλληλα το υλικό, θα πρέπει να ξέρουμε εάν τα σήματα λήγουν απλά ή διαφοροποιημένα (αναλογικά ή ψηφιακά). Υπάρχει μια συζήτηση σχετικά με αυτούς τους τύπους σημάτων στο εγχειρίδιο υλικού. Μετά από την διαμόρφωση και τον έλεγχο του υλικού μπορεί να εγκατασταθεί το λογισμικό BioBench. Η σύνδεση των ηλεκτροδίων στον άνθρωπο είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος μιας μέτρησης ηλεκτροκαρδιογραφημάτων. Προκειμένου να ληφθούν τα σαφή σήματα, είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια σε ορισμένη δομή. Η διαμόρφωση των ηλεκτροδίων που θα ακολουθήσουμε παρουσιάζεται στην εικόνα 42 - τρία ηλεκτρόδια που συνδέονται σε μια τριγωνική αντιπροσώπευση γνωστή αλλιώς και ως τρίγωνο Einthoven που συζητήθηκε στο κεφάλαιο 2. Η εικόνα 42 επιδεικνύει τις θέσεις για κάθε σύνδεση. Οι συνδέσεις μπορούν να γίνουν σε παρόμοιες τριγωνικές διαμορφώσεις στις διαφορετικές θέσεις του σώματος, αλλά για αυτό το πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε την ακόλουθη διαμόρφωση της εικόνας 42.



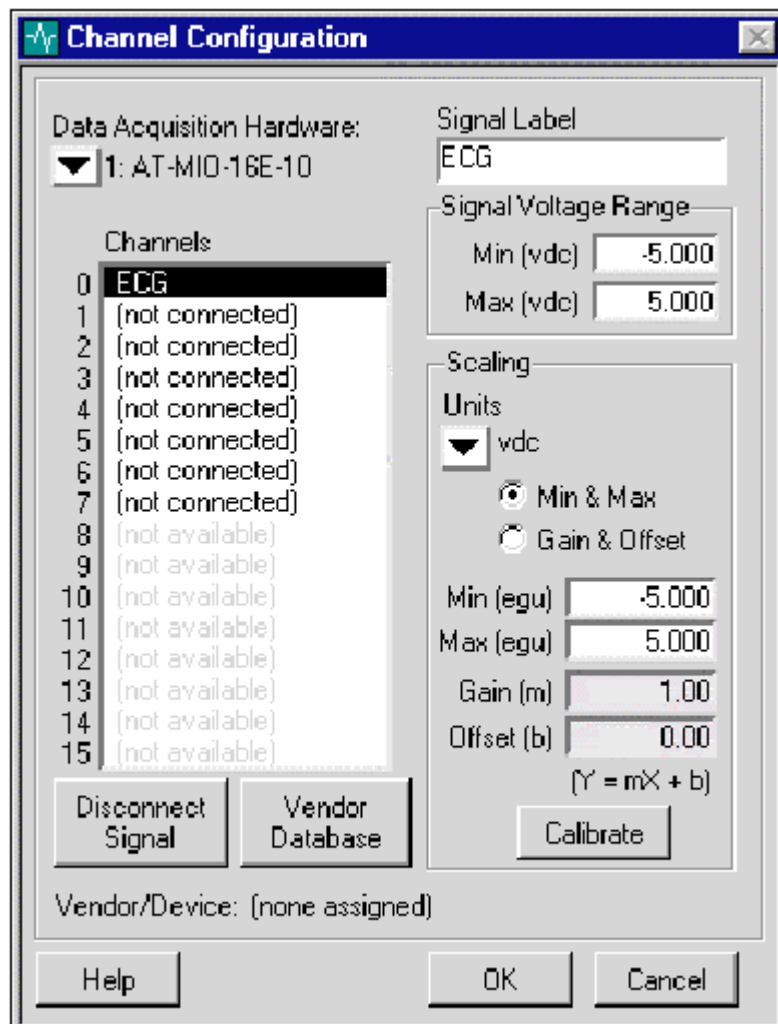
Εικόνα 42. Συνδέσεις των ηλεκτροδίων [23].

Μόλις γίνουν οι συνδέσεις των ηλεκτροδίων , συνδέονται οι θετικοί, οι αρνητικοί, και ο μόλυβδος γείωσης με τα σωστά τερματικά στον ενισχυτή. Χρησιμοποιώντας τη σύνδεση από τον ενισχυτή, συνδέεται καλώδιο άμεσα από τον ενισχυτή στο κανάλι 0 του προσαρμοστή BNC-2090. Έπειτα συνδέεται το BNC-2090 με τη συσκευή απόκτησης δεδομένων DAQ χρησιμοποιώντας το παρεχόμενο καλώδιο. Τώρα είναι έτοιμο ώστε να αποκτηθούν τα σήματα. Οι πληροφορίες παρέχονται και στο σχήμα 41.

3.1.2. ΒΗΜΑ 2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ BIOBENCH

Μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαμόρφωση του BioBench με την πλοήγηση στο μενού έναρξης (Start Menu): Start»Programs»BioBench 1.0»BioBench. Το πρώτο παράθυρο που εμφανίζεται θα προτρέψει το χρήστη για ένα όνομα χρήστη. Εισάγουμε ένα όνομα χρήστη. Αυτό το όνομα χρήστη θα συνδεθεί με όλα τα αρχεία που καταγράφονται με το BioBench έως ότου το όνομα χρήστη αλλάξει. Μετά την εισαγωγή του ονόματος χρήστη, πλοηγούμαστε στο παράθυρο απόκτησης τεσσάρων-γραφικών παραστάσεων (Four-Graph Acquisition) μέσω του μενού προβολή (View Menu). Έπειτα, επιλέγουμε Configure»Channels (Διαμόρφωση»Κανάλια). Το παράθυρο διαμόρφωσης καναλιών θα εμφανιστεί και στην πάνω αριστερή γωνία θα διευκρινιστεί η συσκευή απόκτησης δεδομένων DAQ που έχει συνδεθεί. Για αυτό το παράδειγμα, θα χρησιμοποιούμε το AT-MIO-16XE-10. Τώρα θα διαμορφώσουμε το κανάλι για να καταγράψουμε τα στοιχεία ΗΚΓ. Επιλέγουμε το κανάλι 0(Channel 0) και τον τύπο ΗΚΓ (ECG) στον τομέα ετικετών

σημάτων (Signal Label). Θα δείτε κάποια αλλαγή ονόματος στο όνομα του ΗΚΓ στον τομέα καναλιών στη θέση του καναλιού 0. Αποσυνδέουμε όλα τα άλλα κανάλια που εμφανίζονται επιλέγοντάς τα και πιέζοντας το κουμπί αποσύνδεση σημάτων (Disconnect Signal). Τώρα έχουμε διαμορφώσει το κανάλι μηδέν για τα δεδομένα του ΗΚΓ και την πηγή δεδομένων να είναι το AT-MIO-16XE-10. Το παράθυρο διαμόρφωσης καναλιών (Channel Configuration) πρέπει να εμφανιστεί όπως στην εικόνα 43.



Εικόνα 43. Παράθυρο διαμόρφωσης καναλιού.

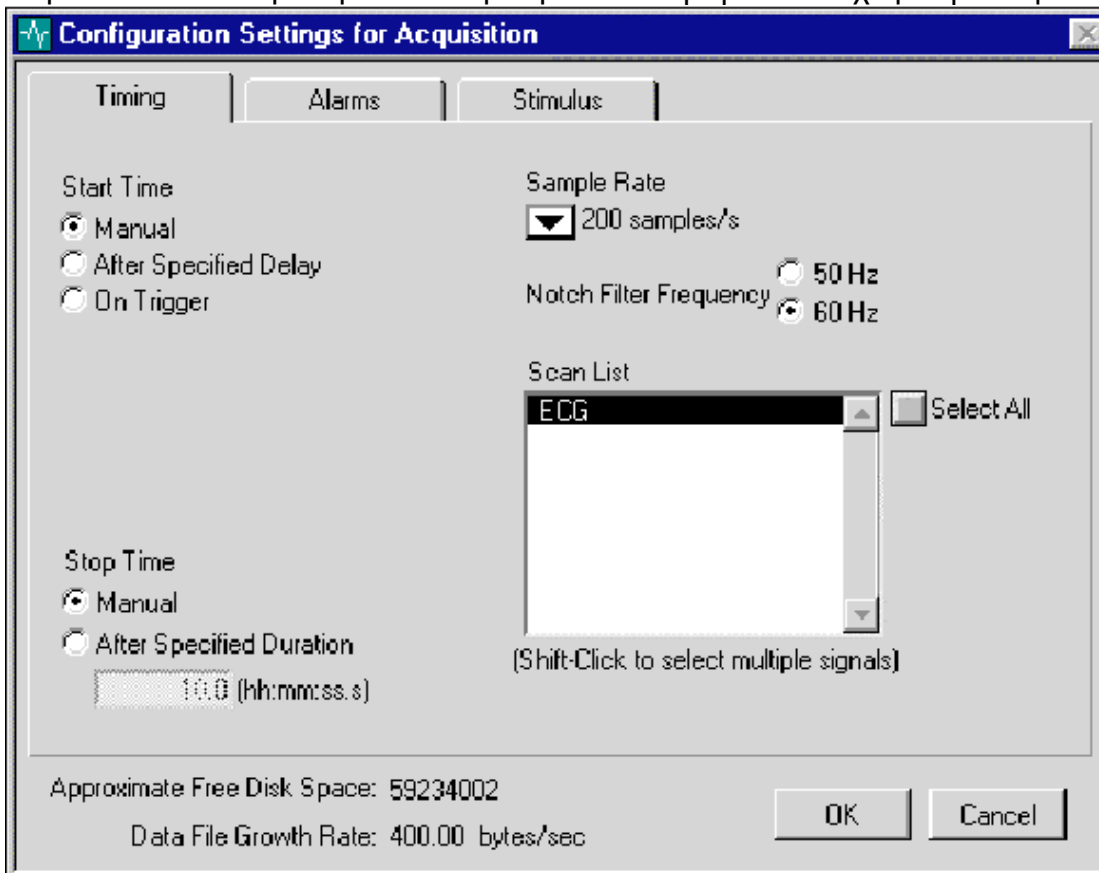
Η σειρά τάσης σημάτων πρέπει να τεθεί στις τάσεις εξόδου (signal voltage range) για τον ενισχυτή, και η διαβάθμιση (scaling) να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει το κέρδος του πίνακα απόκτησης δεδομένων. Πατώντας το κουμπί OK επιστρέφουμε στο προηγούμενο παράθυρο.

3.1.3. ΒΗΜΑ 3. ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ

Επιλέγουμε την ετικέτα Configure»Settings»Timing (Διαμόρφωση»Επιλογές»Συγχρονισμός) για να οργανώσουμε τη διαμόρφωση συγχρονισμού για τη διαδικασία απόκτησης δεδομένων. Επιλέγουμε 200 Hz από το αναδυόμενο μενού ποσοστού δειγμάτων (Sample Rate pull-down menu). Η ρύθμιση του ποσοστού δειγμάτων μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με τις ανάγκες της διαδικασίας απόκτησης. Στον τομέα καταλόγων ανίχνευσης (Scan List) πρέπει να δούμε το ΗΚΓ στο κανάλι που χρησιμοποιούμε. Οι ρυθμίσεις (Settings) έναρξης χρόνου (Start Time)

και λήξης του (Stop Time) πρέπει να τεθούν ως εγχειρίδιο (manual) για να υιοθετήσουν τη χρήση του εγχειριδίου ελέγχου «μπροστινό ταμπλό» (front panel manual control). Το παράθυρο πρέπει να εμφανιστεί όπως στην εικόνα 44.

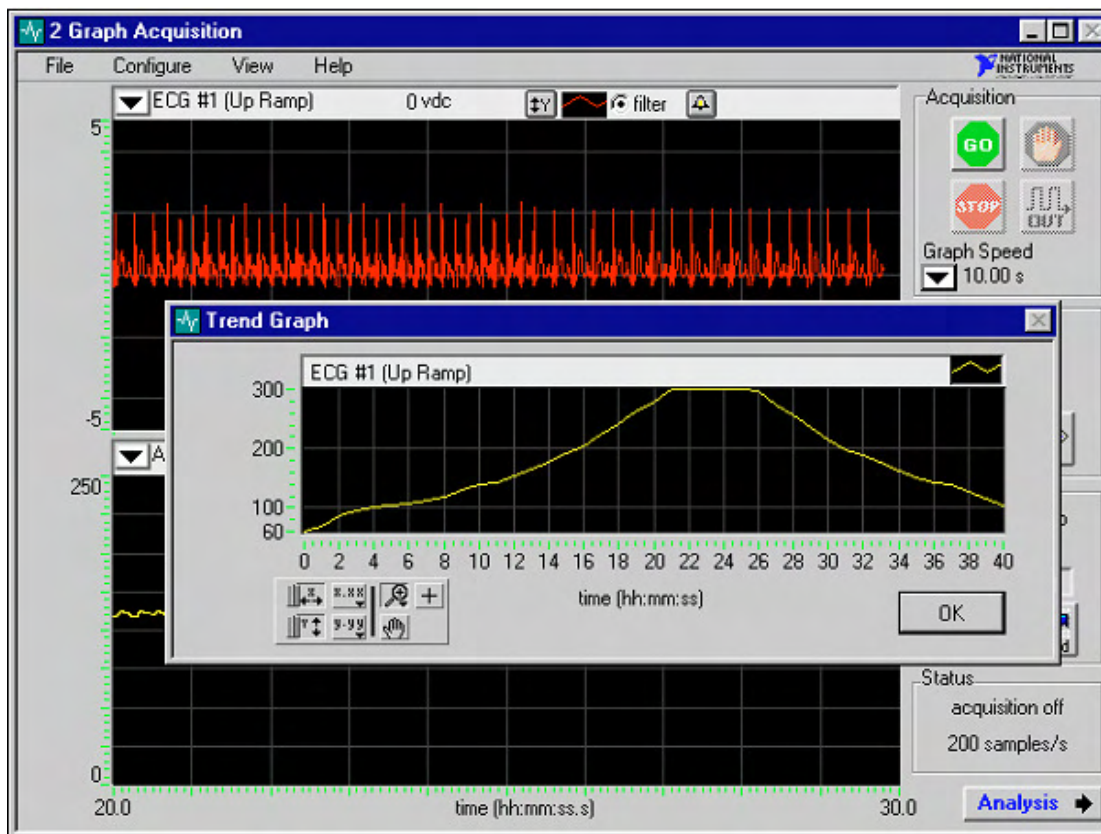
Πατάμε OK και επιστρέφουμε στο παράθυρο απόκτησης τεσσάρων-γραφικών παραστάσεων. Τώρα είμαστε έτοιμοι για απόκτηση και καταχώριση δεδομένων.



Εικόνα 44. Παράθυρο του προγράμματος Biobench για τη διαμόρφωση του συγχρονισμού.

3.1.4. ΒΗΜΑ 4. ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πριν πατήσουμε το κουμπί Go για να αρχίσει η απόκτηση δεδομένων, ελέγχουμε το κουτί καταχώρησης (Log Data) δεδομένων στην περιοχή καταχώρησης στη δεξιά πλευρά του παραθύρου. Αφότου πατήσουμε το κουμπί GO, θα προτραπούμε να ονομάσουμε το αρχείο των καταχωρημένων δεδομένων. Επιλέγουμε ένα όνομα και χρησιμοποιήστε την επέκταση (.bb) για ένα δυαδικό αρχείο BioBench. Πατάμε OK. Πρέπει τώρα να δούμε τα στοιχεία στο πρώτο διάγραμμα της οθόνης. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να είναι παρόμοια με τα συμβατικά σχέδια του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, εάν όλες οι κατάλληλες συνδέσεις έχουν γίνει. Προκειμένου να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά τάσης των δεδομένων, όπως χτύποι ανά λεπτό (beats per minute-BPM), επιλέγουμε απλά το κανάλι ΗΚΓ από το μενού τάσης (trending menu) και βάζουμε τον τύπο τάσης BPM. Πατώντας στο κουμπί τάσης επιδεικνύεται το τελευταίο σύνολο δεδομένων τάσης (εικόνα 45).

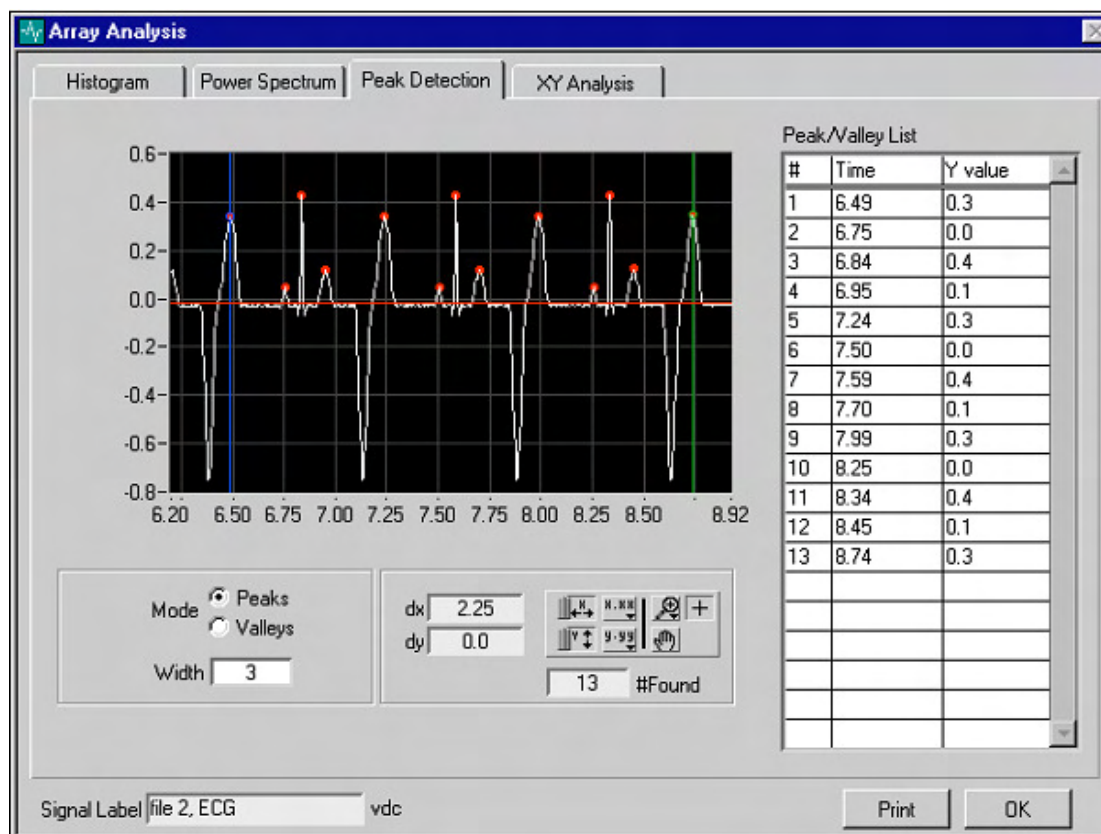


Εικόνα 45. Διάγραμμα τάσης του προγράμματος BioBench.

Τώρα που έχουν αποκτηθεί τα δεδομένα και έχουν καταγραφεί στο δίσκο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το BioBench για να αναλύσουμε τα δεδομένα λεπτομερώς. Πιέζουμε το κουμπί ανάλυσης (analysis) ή επιλέγουμε μια μορφή ανάλυσης οθόνης από το μενού προβολή (View menu) για να προχωρήσουμε στον τρόπο ανάλυσης. Εάν μόλις χρησιμοποιήσαμε το BioBench για να καταγράψουμε το αρχείο δεδομένων στο δίσκο, εκείνο το αρχείο θα ανοίξει αυτόματα στον τρόπο ανάλυσης. Εάν δεν καταγράψαμε το αρχείο στο δίσκο, επιλέγουμε απλά File»Open (Αρχείο»Ανοιγμα) και επιλέγουμε το αρχείο δεδομένων BioBench που επιθυμούμε να ανοίξουμε.

3.1.5. ΒΗΜΑ 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

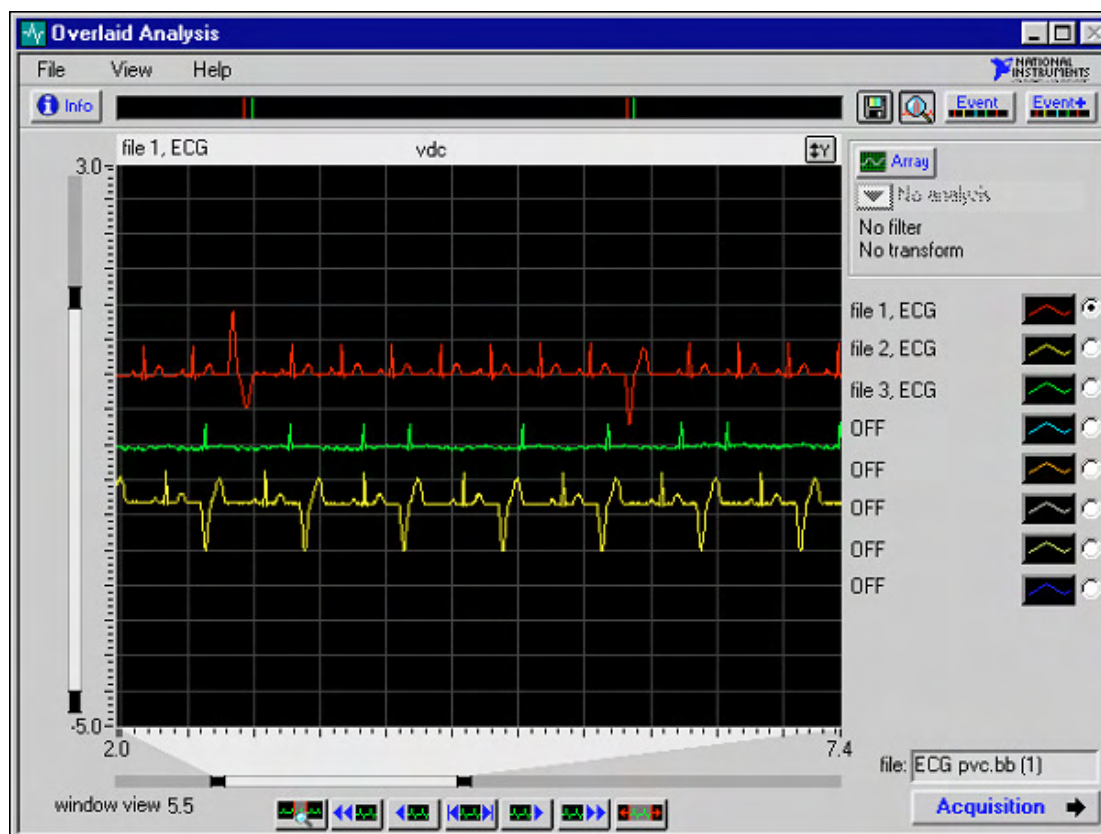
Στο παράθυρο ανάλυσης, δίνεται έμφαση στα δεδομένα που θα επιθυμούσαμε να εκτελέσουμε μια μέγιστη ανίχνευση (peak detection), και πιέζουμε το κουμπί πινάκων που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά της επιφάνειας του χρήστη. Το παράθυρο ανάλυσης πινάκων (array analysis) θα εμφανιστεί με διάφορες ετικέτες προσδιορίζοντας τις διαφορετικές επιλογές ανάλυσης (analysis options). Μια από τις ετικέτες είναι με τον τίτλο μέγιστη ανίχνευση. Πιέζουμε αυτήν την ετικέτα και βλέπουμε τα επιλεγμένα δεδομένα με έναν μέγιστο αλγόριθμο ανίχνευσης που εφαρμόζεται. Χρησιμοποιώντας το μέγιστο αλγόριθμο ανίχνευσης, μπορούμε να εντοπίσουμε είτε τις κορυφές (peaks) είτε τις κοιλάδες (valleys), μετράμε τον αριθμό κορυφών ή μετράμε τη διαφορά μεταξύ των κορυφών. Μπορούμε επίσης να εκτυπώσουμε έναν κατάλογο πληροφοριών κορυφών /κοιλάδων, συμπεριλαμβανομένων των τιμών Y. Η εικόνα 46 παρουσιάζει ένα παράδειγμα ενός μέγιστου αλγορίθμου ανίχνευσης που εφαρμόζεται σε ένα αρχείο δεδομένων. Το στοιχείο στον πίνακα δεξιά της γραφικής παράστασης περιλαμβάνει ένα χρονικό χαρακτηριστικό κάθε κορυφής και τιμής του Y.



Εικόνα 46. Παράδειγμα μέγιστης αντίχενυσης

3.1.6. ΒΗΜΑ 6. ΕΠΙΣΤΡΩΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με την επιστρωμένη ανάλυση (overlay analysis), μπορούμε να επιδείξουμε διάφορα διαγράμματα δεδομένων σε μια γραφική παράσταση για να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά τους. Προκειμένου να εκτελεσθεί η επιστρωμένη ανάλυση, επιλέγουμε την επιστρωμένη ανάλυση από το μενού προβολή (View). Όλα τα σήματα από το αρχείο δεδομένων θα επιδειχθούν σε μια γραφική παράσταση. Πατώντας τα κουμπιά διαδικασίας (radio) στη δεξιά πλευρά κάθε μιας από τις κυματοειδείς παραστάσεις, μπορούμε να επιλέξουμε τη κυματοειδής παράσταση που θα επιθυμούσαμε να αναλύσουμε. Η επιστρωμένη ανάλυση είναι ιδανική για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων πολλαπλών δοκιμών. Η εικόνα 47 επιδεικνύει μια επιστρωμένη γραφική παράσταση ανάλυσης συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τρία διαφορετικά αρχεία ΗΚΓ.



Εικόνα 47. Γραφική παράσταση επιστρωμένης ανάλυσης.

Οποιαδήποτε δεδομένα συλλέγονται με το BioBench μπορούν να σωθούν σε μία διάταξη λογιστικού φύλλου (.txt) συμβατό και με εφαρμογές προγραμμάτων τύπου Microsoft Excel. Μόλις επιλέξουμε τα δεδομένα που θέλουμε να εξάγουμε, επιλέγουμε εξαγωγή (Export) σε διάταξη λογιστικού φύλλου (Spreadsheet) από το αναδυόμενο μενού Αρχείο (File). Για τις περαιτέρω δυνατότητες ανάλυσης, μπορούμε να ανοίξουμε τα αρχεία καταχώρησης δεδομένων του BioBench με το LabVIEW και να γράψουμε τις δικές μας διαδικασίες ανάλυσης. Τα LabVIEW VIs για τα αρχεία ανάγνωσης των αρχείων καταχώρησης δεδομένων του BioBench είναι διαθέσιμα δωρεάν στο FTP του National Instruments, [ftp.natinst.com/support/biobench/lvfileio](ftp://ftp.natinst.com/support/biobench/lvfileio) [23].

Με αυτά τα βήματα, είμαστε έτοιμοι να συλλέξουμε σήματα ΗΚΓ χρησιμοποιώντας το BioBench, το υλικό απόκτησης δεδομένων DAQ του National Instruments, και τους τρέχοντες ενισχυτές ενός εργαστήριου. Με τα όργανα βασισμένα σε υπολογιστή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αποτελεσματικότερα τη δύναμη του υπολογιστή, εφαρμόζοντας την καταγραφή, ανάλυση και εύκολη παρουσίαση των δεδομένων.

3.2. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ανάπτυξη ενός ασύρματου ενσωματωμένου συστήματος χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ZigBEE για να αποφύγουμε το λευκό Γκαουσιανό θόρυβο και την παραμόρφωση, που οφείλεται στη συχνότητα των 50Hz του δικτύου στα σήματα του ΗΚΓ και της πίεσης του αίματος.

3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καταγραφή των ηλεκτροκαρδιογραφημάτων (ΗΚΓ) είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της ιατρικής και στους γιατρούς και στους ερευνητές από την έναρξή της. Συχνά ο έλεγχος του ΗΚΓ έχει πολύ μικρή ευελιξία στην ενοργάνωσή του. Μέσω της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα στοιχεία του ΗΚΓ μπορούν τώρα να καταγραφούν στο δίσκο και να αναλυθούν με τη μεγαλύτερη ευελιξία για μια οικονομικώς πιο αποδοτική λύση[23].

Αν και η ιδέα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος υπάρχει από το 1887, αυτό παραμένει ακόμη και σήμερα ένας από τους σημαντικότερους δείκτες σωστής λειτουργίας της καρδιάς. Το ΗΚΓ είναι ένα μη τεχνική που δεν έχει την ιδιότητα να εισβάλλει, που σημαίνει ότι αυτό το σήμα μπορεί να μετρηθεί χωρίς να χρειάζεται καθόλου να εισαχθεί κάτι στο σώμα. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο δέρμα του χρήστη για να ανιχνεύσει τις βιοηλεκτρικές διαφορές δυναμικού που εκπέμπονται από την καρδιά και φθάνουν στην επιφάνεια του δέρματος. Το κύμα του ΗΚΓ χρησιμεύει ως ένα άριστο εργαλείο για την καρδιακή ανάλυση.

Στην ερευνητική εργασία του Rosik, εισάγεται η έννοια του συστήματος χαρτογράφησης υψηλής ανάλυσης ηλεκτροκαρδιογραφήματος βασισμένο στο προσωπικό Η/Υ ή σημειωματάριο που εξοπλίζεται με την γρήγορη παράλληλη θύρα IEEE 1284, η οποία λειτουργεί με την ECP μέθοδο. Η ιδέα της συσκευής αυτής επιτρέπει την υψηλής ευκρίνειας πολυδιαυλική χαρτογράφηση ΗΚΓ χρησιμοποιώντας μέχρι 256 μολύβδους ΗΚΓ. Η έννοια της συσκευής και της περιγραφής της ηλεκτρικής και μηχανικής λύσης του φορητού συστήματος 134 καναλιών δίνεται [24].

Σε μια άλλη ερευνητική εργασία, έγινε αποδεκτό ότι οι ίδιες ασθένειες σε δύο διαφορετικούς ασθενείς έχουν την ίδια επιρροή στο καρδιο - σήμα και διαφοροποιούν τη μορφολογία της με τον ίδιο τρόπο δίνοντάς μας την ευκαιρία να αναγνωρίσουμε την ασθένεια. Η αμετάβλητη μορφολογία των δύο παραγώγων του καρδιο - σήματος δίνει επιπλέον την δυνατότητα να προχωρήσει στη μελέτη και τη δημιουργία των σχεδίων που αναγνωρίζουν την ασθένεια. Έτσι, το κρίσιμο σημείο των σημάτων του ΗΚΓ είναι η απόκτηση των σημάτων χωρίς θόρυβο. [25].

3.2.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Οι πιο κοινές πηγές παρέμβασης σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κύκλωμα και ειδικότερα στα βιοϊατρικά συστήματα είναι η κύρια συχνότητα των 50 Herz του δικτύου και τα συστατικά της. Η παρεμβολή του εναλλασσόμενου ρεύματος εισάγεται στο βιοϊατρικό σύστημα από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες συσκευές που συνδέονται στην κεντρική τροφοδοσία. Η παρεμβολή μπορεί να είναι μαγνητική ή συχνότερα χωρητική. Η χωρητική παρεμβολή που αφορά τη σύνδεση του ασθενή με την κύρια τροφοδοσία είναι της τάξεως των 0.2pF. Η χωρητική παρεμβολή μεταξύ του εδάφους είναι 2pF. Ο θόρυβος των 50Hz υπάρχει παντού στον ασθενή αλλά ο θόρυβος που προστίθεται στο σήμα του ΗΚΓ είναι κάπου της τάξεως των δεκάδων βολτ. Με την εφαρμογή του ασύρματου ενσωματωμένου συστήματος που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ZigBEE (ασύρματα μαξιλάρια) μπορούμε να αποφύγουμε τον λευκό γκαουσιανό θόρυβο και το θόρυβο ηλεκτροφόρων καλωδίων 50 Hz στα σήματα του ΗΚΓ και της πίεσης του αίματος.

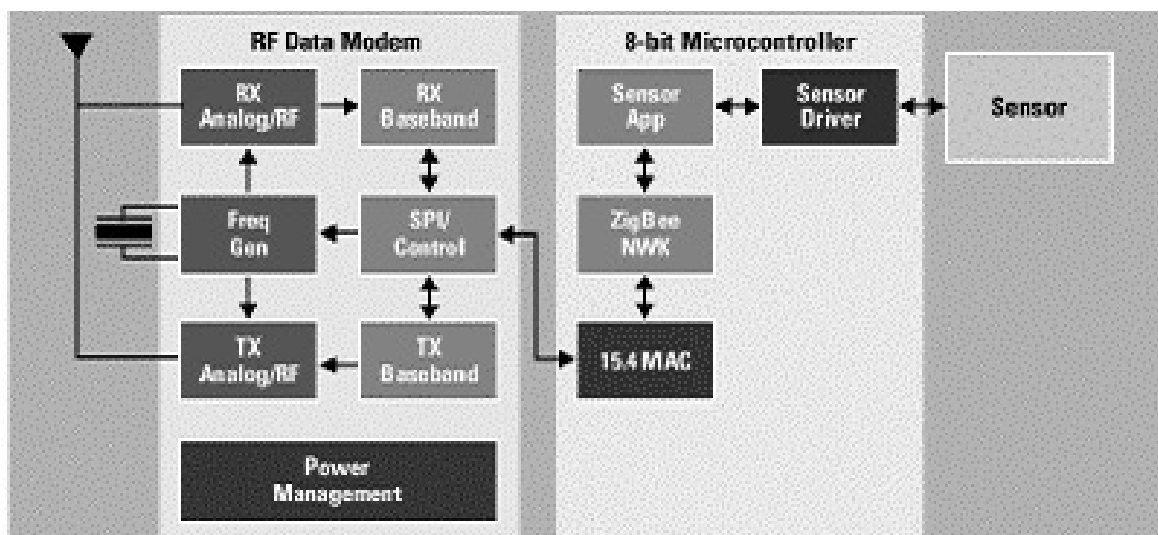
3.2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το υλικό αυτής της εφαρμογής περιλαμβάνει το μικροελεγκτή για κάθε μονάδα - μαξιλάρι και μικρο - RF διαμορφωτή (modem) για την ασύρματη μετάδοση των σημάτων ΗΚΓ.

Για το ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα, χρησιμοποιήσαμε το πρωτόκολλο ZigBEE/IEEE 802.15.4 [26]. Αυτό το πρωτόκολλο επιλέχτηκε για τους ακόλουθους λόγους:

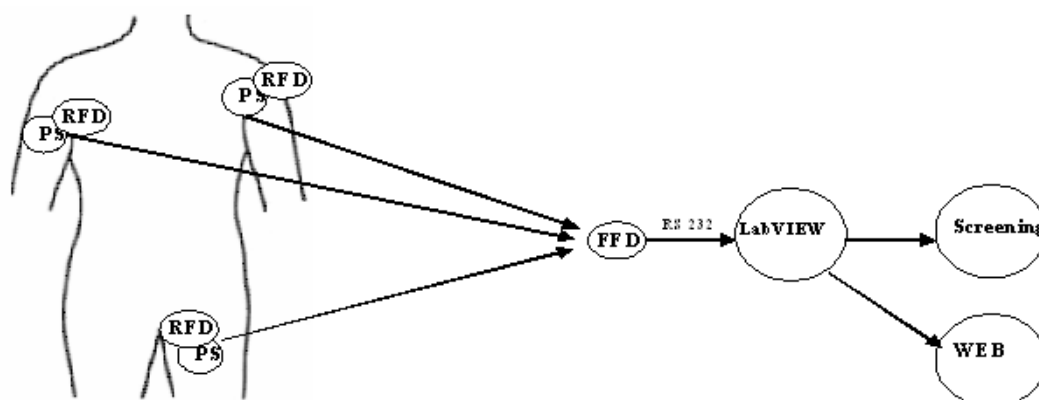
1. Ένα δίκτυο ZigBEE μπορεί να περιέχει περισσότερους από 65.000 κόμβους (ενεργές συσκευές). Το δίκτυο που διαμορφώνουν ο ένας σε συνεργασία με τον άλλον μπορεί να πάρει τη μορφή ενός αστεριού, ενός διακλαδισμένου δέντρου ή ενός δικτυού (πλέγμα). Το πρωτόκολλο ZigBEE δεν απαιτεί μια διαμόρφωση οικοδεσπότη/σκλάβου (host/slave) όπως πολλές παρόμοιες τεχνολογίες, κάτι που επιτρέπει περισσότερη ευελιξία στις τοπολογίες δικτύωσης όπως η δικτύωση πλέγματος, η ραδιοφωνική μετάδοση, και η μετακίνηση πακέτων. Για αυτόν τον λόγο μπορούμε να προσθέσουμε μέσω ειδικής λειτουργίας περισσότερα ενσωματωμένα συστήματα μαξιλαριών.
2. Το χαμηλής ισχύος πρότυπο ZigBEE, προσφέρει μια ασύρματη μετάδοση ακτίνας 100 μέτρων.
3. Το πρωτόκολλο ZigBEE προσφέρει χαμηλό εύρος ζώνης μετάδοσης, μετάδοση υψηλής συχνότητας έως 2.4 Ghz και χαμηλά ποσοστά λαθών που δεν επηρεάζονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
4. Το ZigBEE παρέχει τη χαμηλής ισχύος κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της μετάδοσης στοιχείων. Για αυτό, δεν χρειαστήκαμε πρόσθετη πηγή ισχύος για την ενότητα της μετάδοσης.
5. Για την αξιόπιστη και ασφαλή μετάδοση στοιχείων στα ασύρματα δίκτυα, το πρωτόκολλο ZigBEE προσφέρει μια εργαλειοθήκη ασφάλειας συμπεριλαμβανομένων των καταλόγων ελέγχου προσπέλασης, του χρονομέτρου ανανέωσης δεδομένων και της 128-μπιτις κρυπτογράφησης.

Όπως μπορούμε να δούμε, το διάγραμμα μπλοκ του σχήματος 1, παρουσιάζει ένα ολοκληρωμένο σύστημα ZigBEE, το οποίο περιέχει το μικροελεγκτή (microcontroller), το μέσο στρώμα ελέγχου προσπέλασης (Medium Access Control – MAC Layer), το στρώμα δικτύου(Network Layer), την ασφάλεια(Security) (εάν είναι απαραίτητο) και το σχεδιάγραμμα εφαρμογής με οδηγούς για τους αισθητήρες(Sensors Drivers) που θα συνδεθούν.



Εικόνα 48. Το σύστημα του πρωτοκόλλου ZigBEE.

Για ασύρματη μετάδοση των αισθητήρων του ΗΚΓ και του αισθητήρα πίεσης αίματος χρησιμοποιήθηκε μια ενσωματωμένη περιορισμένη συσκευή λειτουργίας (Reduced Function Device - RFD) κάθε μονάδα - μαξιλάρι όπως φαίνεται στην εικόνα 50. Μια πλήρους λειτουργίας συσκευή (Full Function Device - FFD) λειτουργεί ως συντονιστής και συλλέγει όλα τα στοιχεία από τις ενότητες RFD (Εικόνα 50). Κάθε μονάδα FFD και RFD περιλαμβάνει έναν προγραμματίσιμο μικροελεγκτή με την αρχιτεκτονική του σωρού που αποτελείται από μπλοκ που αποκαλούνται στρώματα: το μέσο στρώμα ελέγχου προσπέλασης (MAC), το στρώμα δικτύων (Network), το στρώμα ασφαλείας (Secure) και το στρώμα εφαρμογής που καθορίζει τα προφίλ της εφαρμογής στο λογισμικό για τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που συνδέονται.

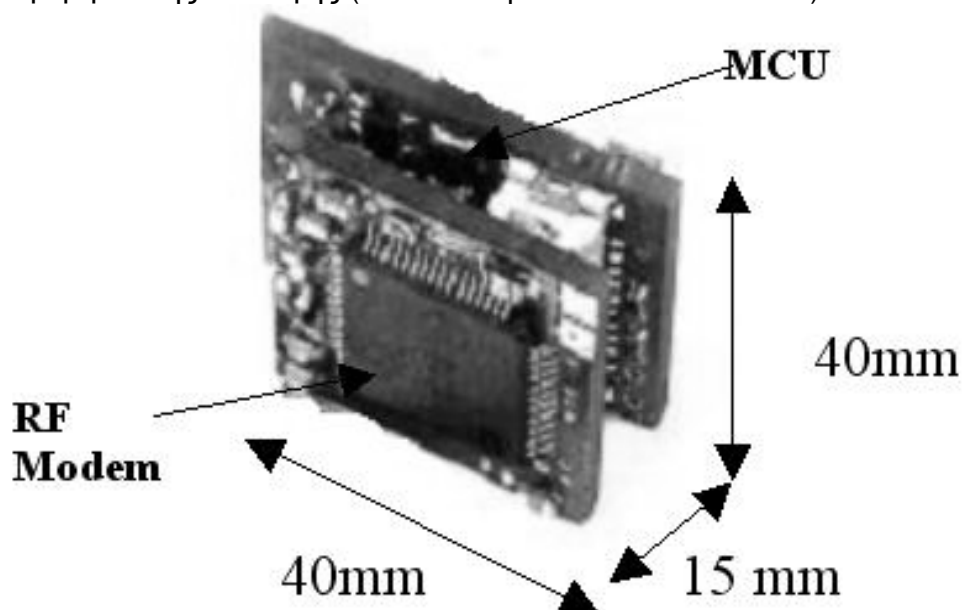


Εικόνα 49. Αστεροειδές ασύρματο ενσωματωμένο δίκτυο (αισθητήρες - μαξιλάρια (PS), περιορισμένη συσκευή λειτουργίας (RFD) και συντονιστής (FFD))

Το λογισμικό τρέχει στη μνήμη ενός μικροελεγκτή με την υποστήριξη του πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4. Στην παρούσα μελέτη, για το χειρισμό των μονάδων FFD και RFD επιλέχτηκε ο μικροελεγκτής PIC18LF4620, λόγω των παρακάτω ιδιοτήτων:

1. Κατανάλωση χαμηλής ισχύος
2. Χαμηλή τάση εισόδου για τη λειτουργία (τεχνολογία nanowatt)
3. Υποστήριξη των σύγχρονων και ασύγχρονων πυλών επικοινωνίας με τους αισθητήρες και τους ενσωματωμένους στο σύστημα ZigBEE ασύρματους πομπούς και δέκτες.

Το κύκλωμα συσκευών αποστολής σημάτων και δεκτών των σημάτων ZigBEE στηρίχτηκε σε μια ανεξάρτητη πλακέτα από αυτήν του μικροελεγκτή, επειδή αυτός ο τρόπος μπορεί να υποστηρίξει τους διαμορφωτές δεδομένων RF από διαφορετικούς κατασκευαστές. Ο ενσωματωμένος διαμορφωτής RF που επιλέγεται εδώ είναι ο CC2420, (2.4GHz) (Εικόνα 51), λόγω των επιπρόσθετων λειτουργιών του στο χειρισμό των πακέτων δεδομένων και της ποιοτικής ένδειξης των συνδέσεων. Αυτές οι λειτουργίες διαμορφώνουν το λειτουργικό φορτίο του μικροελεγκτή που οδηγεί στην επιλογή ενός προτύπου μικρότερου μεγέθους και κόστους. Η επικοινωνία μεταξύ του μικροελεγκτή και του διαμορφωτή RF πραγματοποιείται μέσω μιας τμηματικής περιφερειακής διεπαφής (Serial Peripheral Interface - SPI).



Εικόνα 50. Ο διαμορφωτής CC2420 RF και η κύρια πλακέτα του ενσωματωμένου συστήματος.

Η σύνδεση των μονάδων συντονισμού (FFD) του ασύρματου δικτύου με τον κύριο υπολογιστή γίνεται μέσω μιας σειριακής θύρας RS232. Όλες οι πληροφορίες ελέγχου και μέτρησης ομαδοποιούνται στις σειρές ASCII.

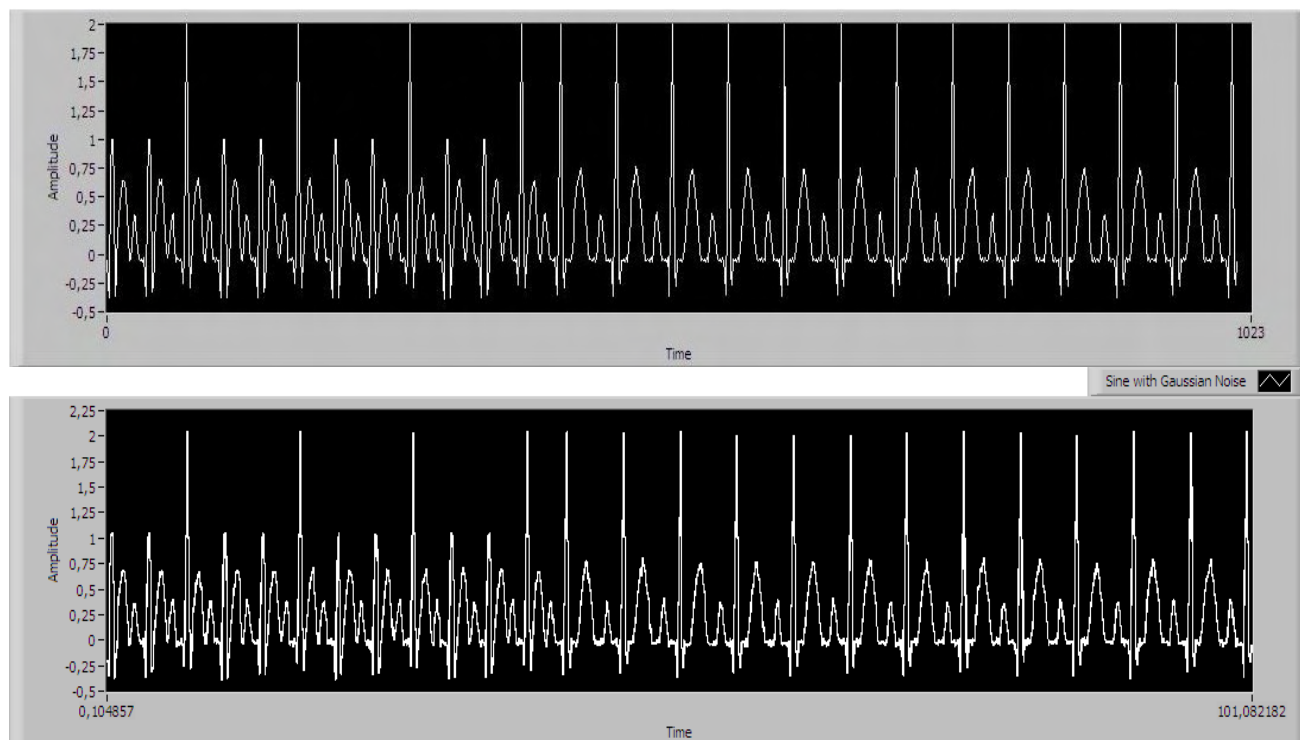
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

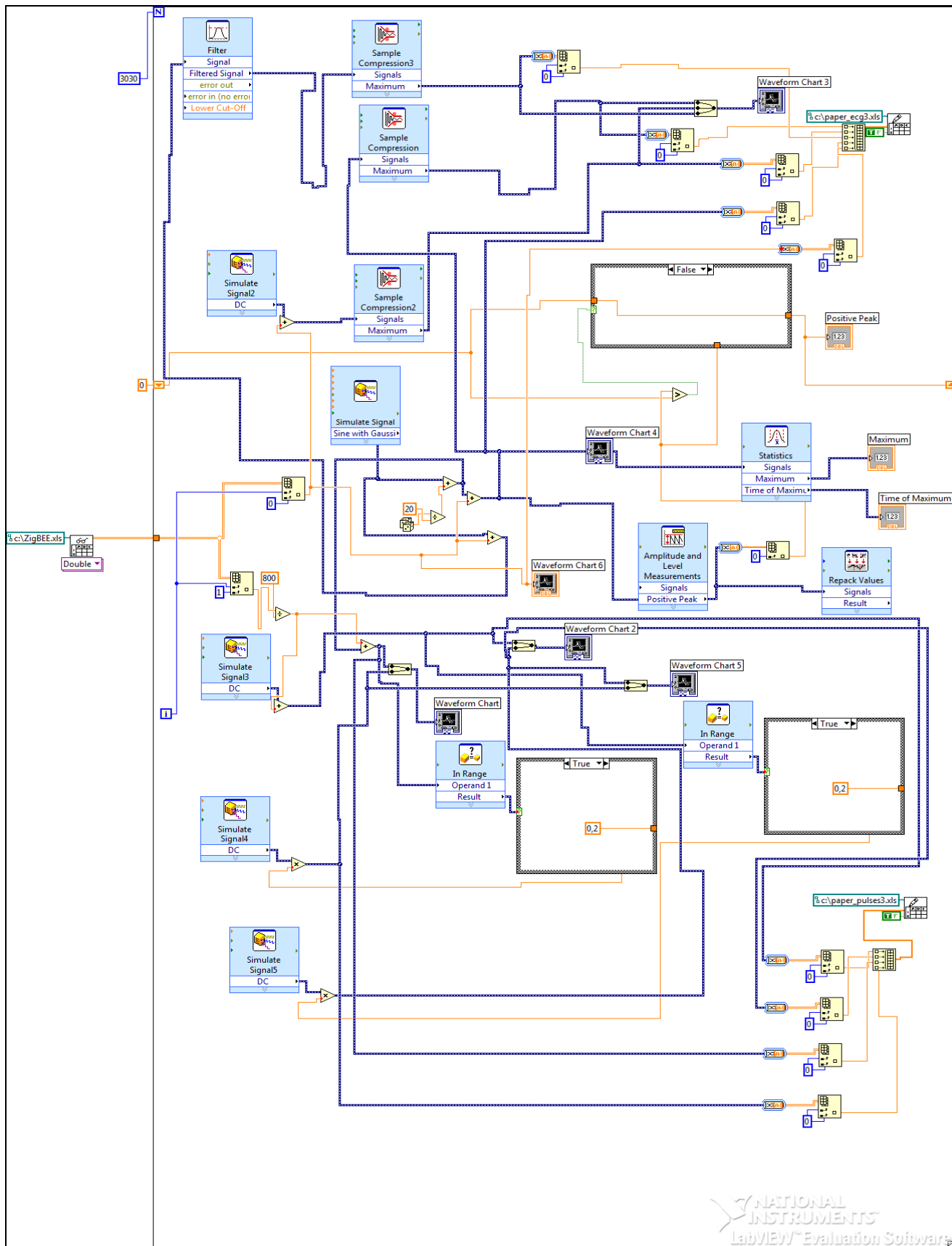
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LabVIEW

4.1.1. FRONT PANEL



4.1.2. BLOCK DIAGRAM



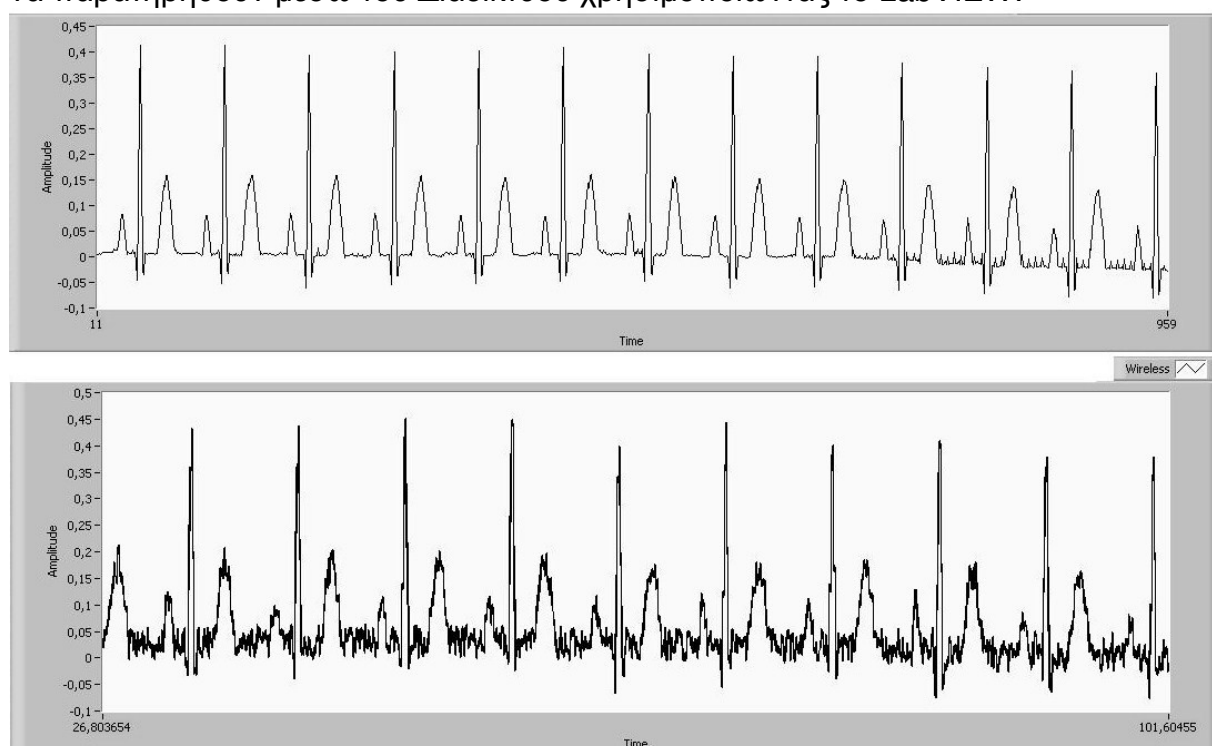
(βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1)

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων προχωρήσαμε σε δύο σενάρια μεθόδων:

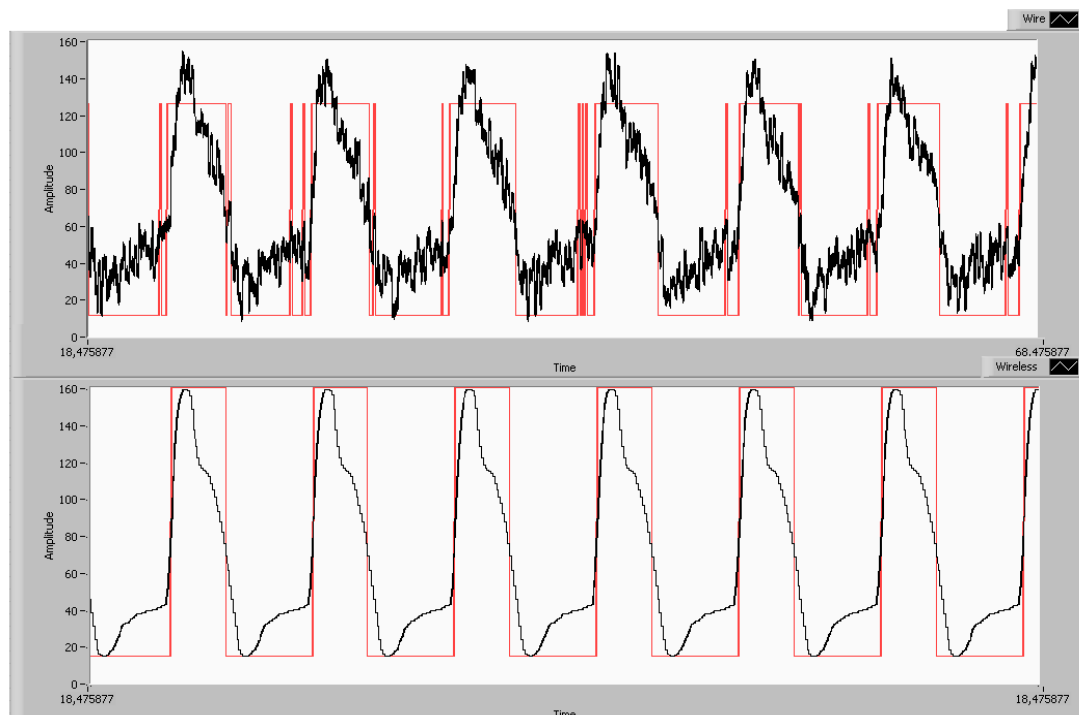
- A.** Ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα μαξιλαριών εναντίον μαξιλαριών που συνδέονται με καλώδιο για την απεικόνιση ΗΚΓ (Wireless Embedded System Pads vs Wire Pads for ECG Screening (WESpWpECG)).
- B.** Ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα μαξιλαριών εναντίον μαξιλαριών που συνδέονται με καλώδιο για την απεικόνιση της πίεσης του αίματος (Wireless Embedded System Pad vs Wire Pad for Pressure Blood Screening (WESpWpPBS)).

Κάθε μέτρηση προβλήθηκε στο front panel του προγράμματος LabVIEW όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 και στο Σχήμα 2. Επίσης η παρουσίαση και ο έλεγχος μπορούν να παρατηρηθούν μέσω του Διαδικτύου χρησιμοποιώντας το LabVIEW.



Σχήμα 1. Προβολή του ΗΚΓ στο front panel του προγράμματος LabVIEW.

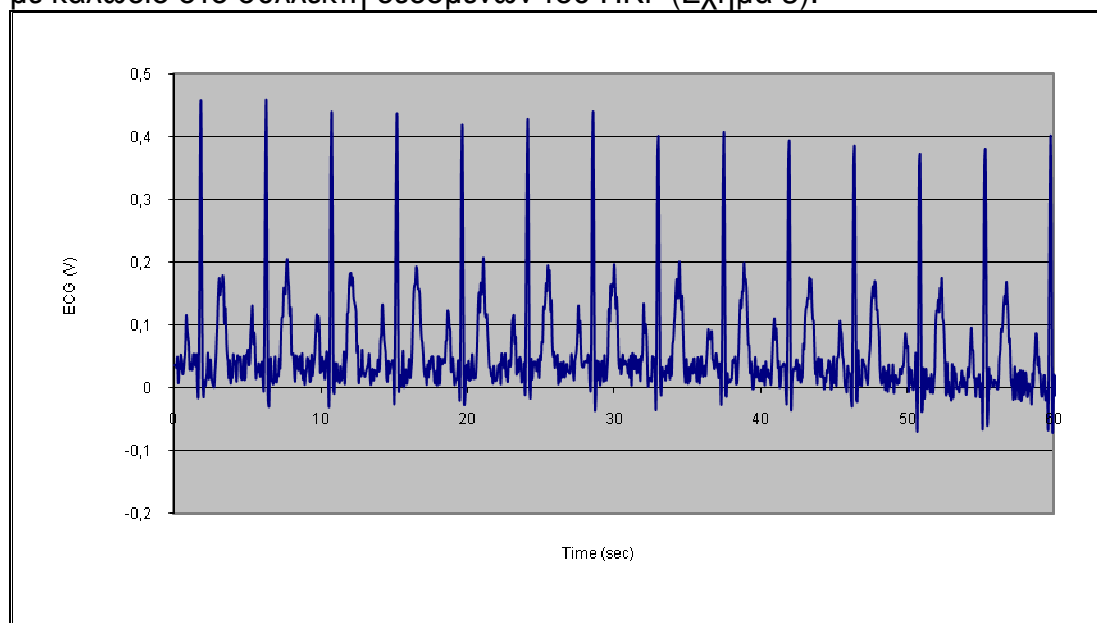
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Σχήμα 2. Προβολή της πίεσης του αίματος στο front panel του προγράμματος LabVIEW.

4.2.1. Α. ΣΕΝΑΡΙΟ 1° (WESpWpECG)

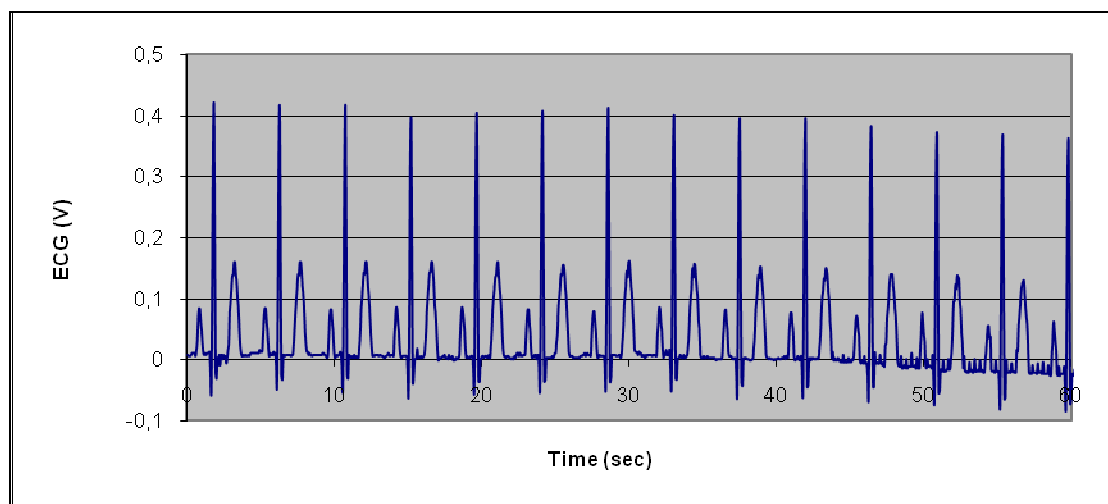
Σε αυτό το σενάριο προβάλλεται το σήμα του ΗΚΓ. Κάθε μαξιλάρι συνδέθηκε με καλώδιο στο συλλέκτη δεδομένων του ΗΚΓ (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. ΗΚΓ από ενσύρματα μαξιλάρια.

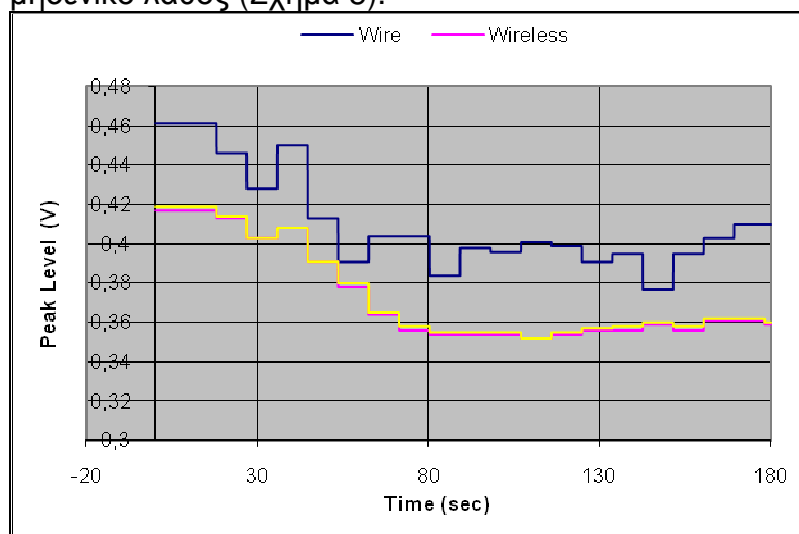
Έπειτα προβάλλεται η μορφή του από το ασύρματο σύστημα αισθητήρων – μαξιλαριών στο συλλέκτη δεδομένων του ΗΚΓ (Σχήμα 4).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Σχήμα 4. ΗΚΓ από ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα μαξιλαριών.

Χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο συμπίεσης δειγμάτων στο σήμα για να κρατήσουμε τη μέγιστη μέση αξία (μέγιστο επίπεδο) του σήματος για την παρατήρηση και τον υπολογισμό του εύρους του επιπέδου λάθους του σήματος. Μ' αυτό τον τρόπο το σήμα που παράγεται παρουσιάζει στον κυματισμό μέγιστα επίπεδα τοπικά. Σε αυτήν την περίπτωση το εύρος του επιπέδου λάθους του σήματος υπολογίστηκε σε 5% στη σύνδεση με καλώδια από ένα περιβάλλον χωρίς παραμέτρους θορύβου. Το αποτέλεσμα σύνδεσης στο ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα παρουσιάζεται μηδενικό λάθος (Σχήμα 5).

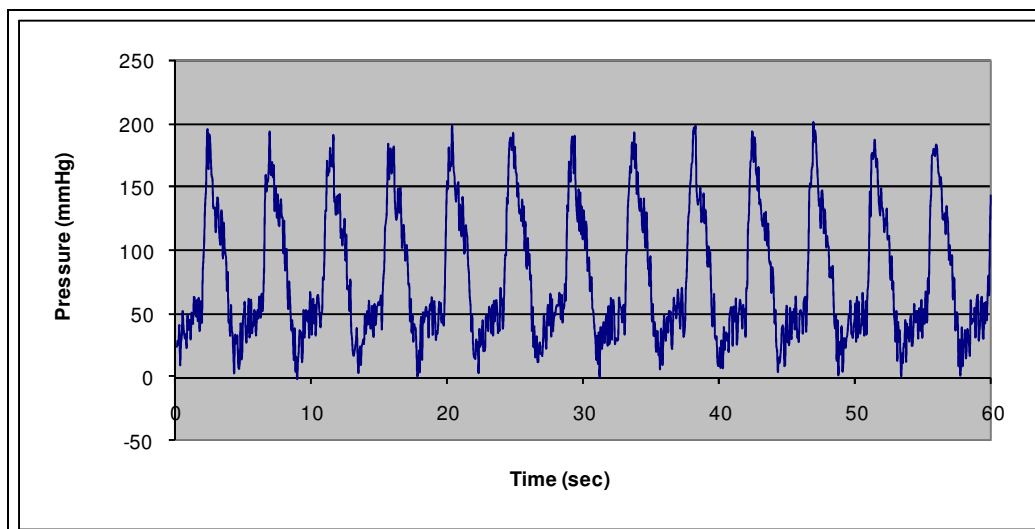


Σχήμα 5. Επιρροή των μεγίστων επιπέδων του ΗΚΓ σε ενσύρματο (μπλε), ασύρματο (ροζ) και ιδανικό περιβάλλον χωρίς θόρυβο (κίτρινο).

4.2.2. Β. ΣΕΝΑΡΙΟ 2° (WESpWpPBS)

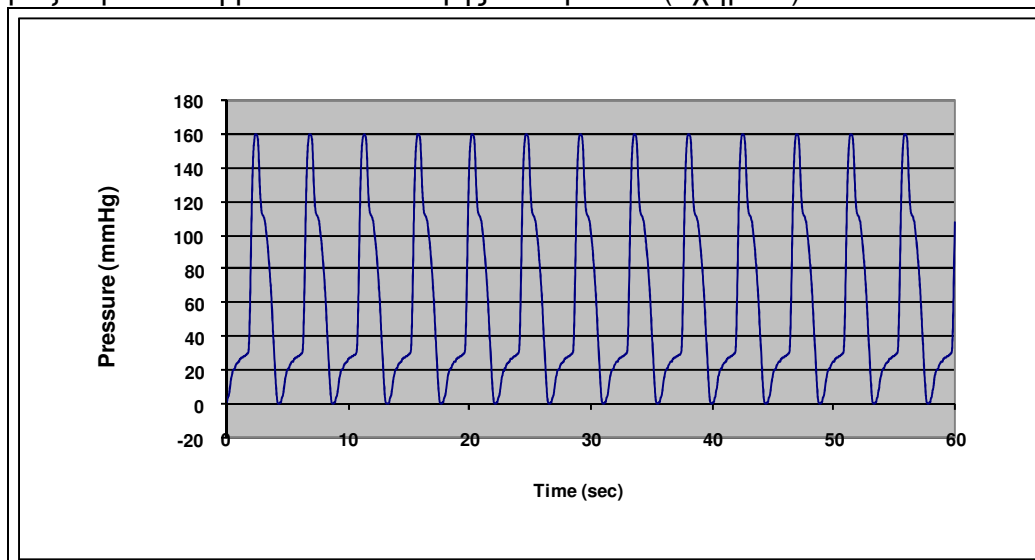
Σε αυτό το σενάριο προβάλλεται το σήμα της πίεσης του αίματος. Ο αισθητήρας συνδέθηκε με καλώδιο στην μονάδα συλλογής δεδομένων (Σχήμα 6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Σχήμα 6. Το σήμα της πίεσης του αίματος από ενσύρματο αισθητήρα.

Έπειτα προβάλλεται η μορφή του από το ασύρματο σύστημα αισθητήρων – μαξιλαριών στη μονάδα συλλογής δεδομένων (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Το σήμα της πίεσης του αίματος από ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα αισθητήρα.

Το λάθος σε αυτήν την περίπτωση από το θόρυβο στην περίοδο σήματος υπολογίστηκε σε 10% από τη σύνδεση με καλώδια από ένα περιβάλλον χωρίς παραμέτρους θορύβου. Τα αποτελέσματα της σύνδεσης στο ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα παρουσιάστηκαν χωρίς λάθη [27].

4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) και η πίεση του αίματος είναι η κύρια πηγή για τους γιατρούς για να εντοπίσουν τη συνθήκη υγιεινής και την παθολογία της καρδιάς. Τα μεγέθη των σημάτων του ΗΚΓ είναι συνήθως κατά προσέγγιση 1mV. Τα σήματα των ηλεκτροκαρδιογραφημάτων επηρεάζονται από τους θορύβους του περιβάλλοντος. Οι συνήθεις πηγές που προκαλούν αυτά τα σφάλματα είναι της συχνότητας των 50Hz του δικτύου. Παραπάνω παρουσιάσαμε μια εξελιγμένη ανάπτυξη ασύρματων αισθητήρων – μαξιλαριών χρησιμοποιώντας ένα ενσωματωμένο σύστημα και το πρωτόκολλο ZigBEE για να αποφύγουμε το λευκό Γκαουσιανό θόρυβο και την παραμόρφωση που οφείλεται στη συχνότητα των 50Hz του δικτύου από τα σήματα του ΗΚΓ και την πίεση του αίματος. Ο χρήστης – γιατρός θα μπορεί να αποκτήσει μέσω του διαδικτύου το ηλεκτροκαρδιογράφημα και την πίεση του αίματος του ασθενούς. Στο σύστημα μπορούν να συνδεθούν όργανα βιοϊατρικής μέσω του πρωτοκόλλου RS 232. Το κύκλωμα συσκευών αποστολής σημάτων και δεκτών των σημάτων ZigBEE στηρίχτηκε σε μια ανεξάρτητη πλακέτα στη οποία συνδέθηκε ο διαμορφωτής CC2420.

Σκοπός μας ήταν η σύνδεση του ηλεκτροκαρδιογράφου μέσω του λογισμικού BioBench και μια πρακτική εφαρμογή ανάλυσης σήματος που επιτεύχθηκε μέσω του λογισμικού LabVIEW. Τα ΗΚΓ καταγράφηκαν και αποθηκεύτηκαν στο λογισμικό BioBench και παρουσιάστηκαν μέσω γραφημάτων του προγράμματος microsoft office excel 2003. Επιπλέον, κάθε μέτρηση δεδομένων που αποθηκεύτηκαν μέσω του λογισμικού BioBench σε μορφή .xls του microsoft office excel 2003 εισήχθη στο ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα προσομοίωσης που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης LabVIEW το οποίο και έδωσε τα ίδια συμπεράσματα με την πρακτική εφαρμογή (Σχήματα 1,3 και 4). Έτσι λοιπόν, καταλήξαμε στο εξής συμπέρασμα: ότι με τη χρήση ενός ασύρματου ενσωματωμένου συστήματος το σημαντικό πρόβλημα του λευκού γκαουσιανού θορύβου και της παραμόρφωσης, που οφείλεται στη συχνότητα των 50Hz του δικτύου στο σήμα του ΗΚΓ μέσω της μεθόδου των αισθητήρων - μαξιλαριών λύνεται (Σχήμα 5, Παράρτημα 2). Το ίδιο συμβαίνει και στο σήμα της πίεσης του αίματος. Η ασύρματη σύνδεση μεταξύ του ενσωματωμένου συστήματος μαξιλαριών δεν παρουσίασε λάθη σημάτων.

4.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου RS 232 που επιτρέπει τη σύνδεση και άλλων βιοϊατρικών οργάνων, καθώς και η χημεία που προσφέρει η National Instruments μεταξύ του BioBench και του LabVIEW μας προσέφερε τη δυνατότητα να ελέγξουμε τη χρησιμότητα της εφαρμογής και στην πίεση του αίματος όπως διαφαίνεται στο σενάριο Β. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό και για άλλα ιατρικά μηχανήματα στην ανάλυση των οποίων δεν προχωρήσαμε και θα μπορούσε να γίνει μελλοντικά. Επίσης, η ανάλυση των σημάτων του λογισμικού BioBench και του LabVIEW θα μπορούσε να γίνει σε πραγματικό χρόνο καθώς και μέσω internet. Ένα άλλο θέμα μελλοντικής έρευνας περιλαμβάνει την έρευνα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από τα κινητά κοντά σε ΗΚΓ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

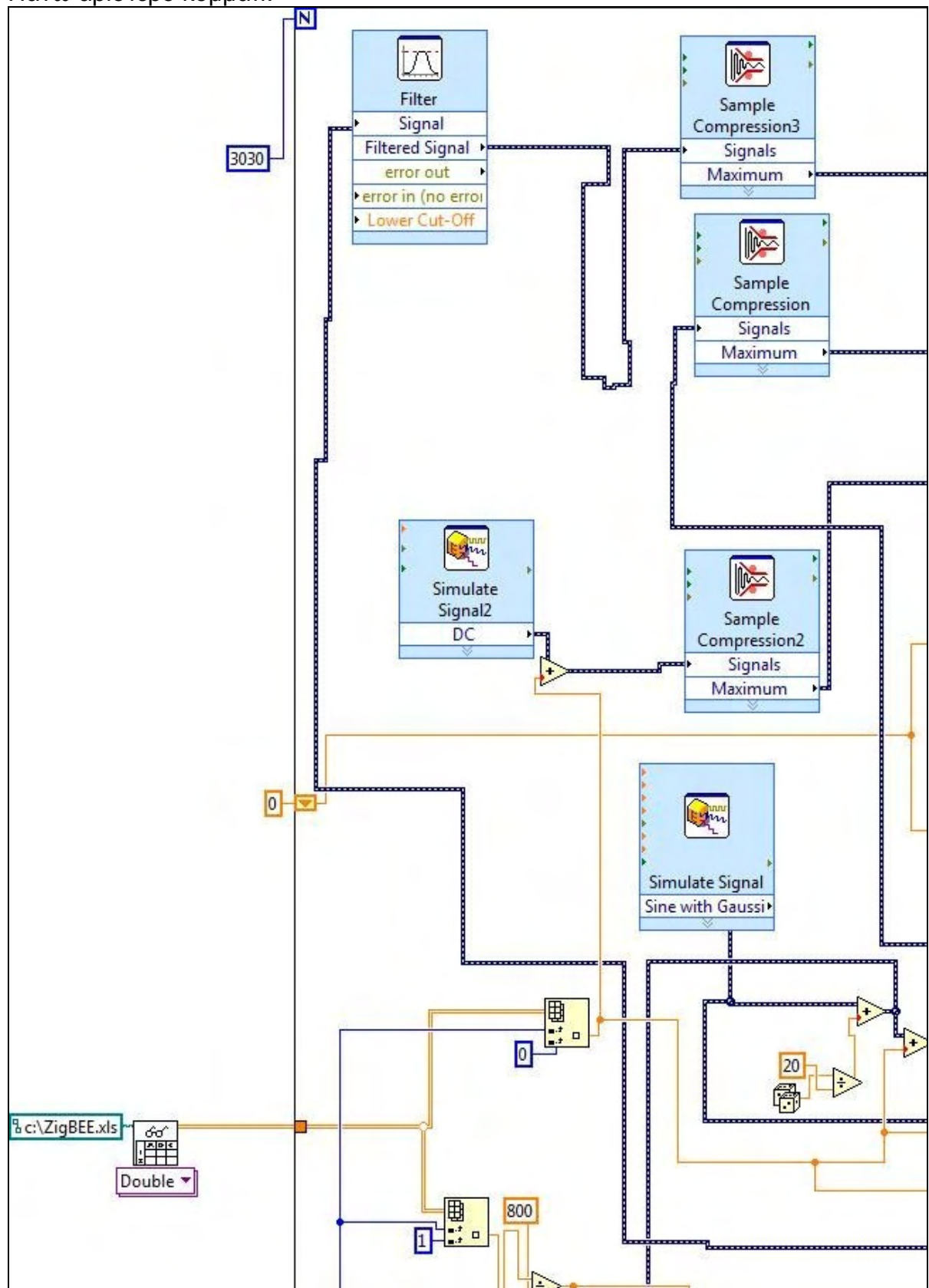
- [1] <http://www.ecglibrary.com/ecghist.html>
- [2] Κλινικό ηλεκτροκαρδιογράφημα, Ary Goldberger – Emanuel Goldberger, Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας
- [3] Quick and Accurate 12 – Lead ECG, Dale Davis, Lippincott (Third edition)
- [4] The only EKG Book you'll ever need, Malcolm S.Thaler, Lippincott Williams & Wilkins (Third edition)
- [5] Εισαγωγή στη βιοϊατρική τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων, Δ.Κουτσούρης, Σ.Παυλόπουλος, Α.Πρέτζα, Εκδόσεις Τζιόλα
- [6] Το ηλεκτροκαρδιογράφημα στην κλινική πράξη, Γεώργιος Παπαζάχος, Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας (Πέμπτη έκδοση)
- [7] Always at your side . . . ECG Notes Interpretation and Management Guide, Sirley A. Jones, 2005 F. A. Davis
- [8] Υλοποίηση εφαρμογής για την ανάγνωση και απεικόνιση των αρχείων SCP-ECG και την αποθήκευση των καρδιογραφημάτων σύμφωνα με το πρότυπο SCP-ECG, Κοκκινάκη Αλεξάνδρα, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2004
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiogram>
- [10] <http://www.incardiology.gr/exetaseis/holter.htm>
- [11] Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, Ιατρική φυσική – βιοϊατρική τεχνολογία, Αναστάσιος Καρατόπης Ιωάννης Κανδαράκης, εκδόσεις Αράκυνθος 2007
- [12] Ιατρικά Απεικονιστικά Συστήματα, Δ.Κουτσούρης, Κ.Νικήτα, Σ.Παυλόπουλος, Εκδόσεις Τζιόλα
- [13] Χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα 2005
- [14] http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=623&Itemid=85
- [15] M. Sermesant, H. Delingette, and N. Ayache, An Electromechanical Model of the Heart for Image Analysis and Simulation, IEEE Transactions on medical imaging, vol. 25, Number. 5, May 2006, pp. 612-625
- [16] Nicholas A. Ablitt, Jianxin Gao, Jennifer Keegan, Lars Stegger, David N. Firmin, and Guang-Zhong Yang, Predictive Cardiac Motion Modeling and Correction With Partial Least Squares Regression, IEEE Transactions on medical imaging, vol. 23, Number 10, October 2004, pp. 1315-1324
- [17] V.F. Dailyudenko, A.M. Got, E.B. Minervina, Nonlinear dynamics methods application to electrocardiosignal exploration, ISSPA '99 Brisbane Australia, 22-25, August 1999, pp.191-194
- [18] Matthias Reuter, Dietmar Moller, ECG Monitoring, Classification and Early Warning by Sensitive Neural Nets, 0-7803-3280-6/96, 1996, IEEE, pp. 2733-2738
- [19] Yaroslav Dragan, Bohdan Yavorsky, Eugenia Yavorska, Concepts and Principles for Design of Models for Definition of Metrology Characteristics of Cardiosignal Rhythmic, TCSET'2002, February 18-23, 2002, Lviv - Slavsko, Ukraine, pp. 329-330

- [20] D. E. Ritscher, V. Hombach, M. Hoher, Steerable-Focus Ensemble ECG Analysis, Institute for Biomedical Engineering, and Dept. of Cardiology University of Ulm, Germany, 0276-6547/97, 1997, IEEE, Computers in Cardiology 1997 vol. 24, pp. 423-424
- [21] Ronald Wilders, Arie O. Verkerk, E. Etienne Verheijck, Rajiv Kumar, Mary B. Wagner, Yanggan Wang, and Ronald W. Joyner, Electrical Interactions Between Cardiac Cells: What Can We Learn From Two-Cell Systems?, Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Cancun, Mexico, September 17-21, 2003, 0-7803-7789-3/03, pp. 3509-3512
- [22] Bin H, and Dongsheng Wu, Imaging and Visualization of 3-D Cardiac Electric Activity, IEEE Transactions on information technology in biomedicine, vol. 5, number 3, September 2001, 1089–7771/01, pp. 181-186
- [23] Benn Ellis, PC-Based ECG Monitoring and Analysis using Bio-Bench, Nat.Instrum.Corpor. vol. 341546A-01, July 1998
- [24] V. Rosik, M. Tysler, S. Jurko, R. Raso and M. Turzova, Portable system for high resolution ECG mapping, Measurement Science Review, vol. 1, Number 1, 2001, pp. 27-30
- [25] I. Antonopoulos, N.Y.A. Shamas, S. Grainger, I. Taylor, Th. Ganetsos, N. Laskaris and A. Karatradou, New Methods for analyzing Cardio Signals, Proceedings of 21st Intern. Medicine Conference, 23-26 November 2006, Thessalonica, Greece, pp. 372
- [26] K. Kalovrektis, A. Gkotsinas, N. Glossas, and N. Assimakis, Communication of independent robotic grippers for safe hand-over of fragile objects, 12th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP'05), 22 – 24 September 2005, Chalkis, Greece
- [27] D. Venzas D, Signal Processing and Knowledge Acquisition in Objective Blood Pressure Measurement with Conventional Clinical Sphygmomanometry, Proceedings of the 4th WSEAS Int. Conf. On Instrumentation, Measurement, Control, Circuits and Systems IMCCAS 2004, April 21-23, 2004, ISBN: 960-8052-97-1, Ass. Editor, A. Lazakidou

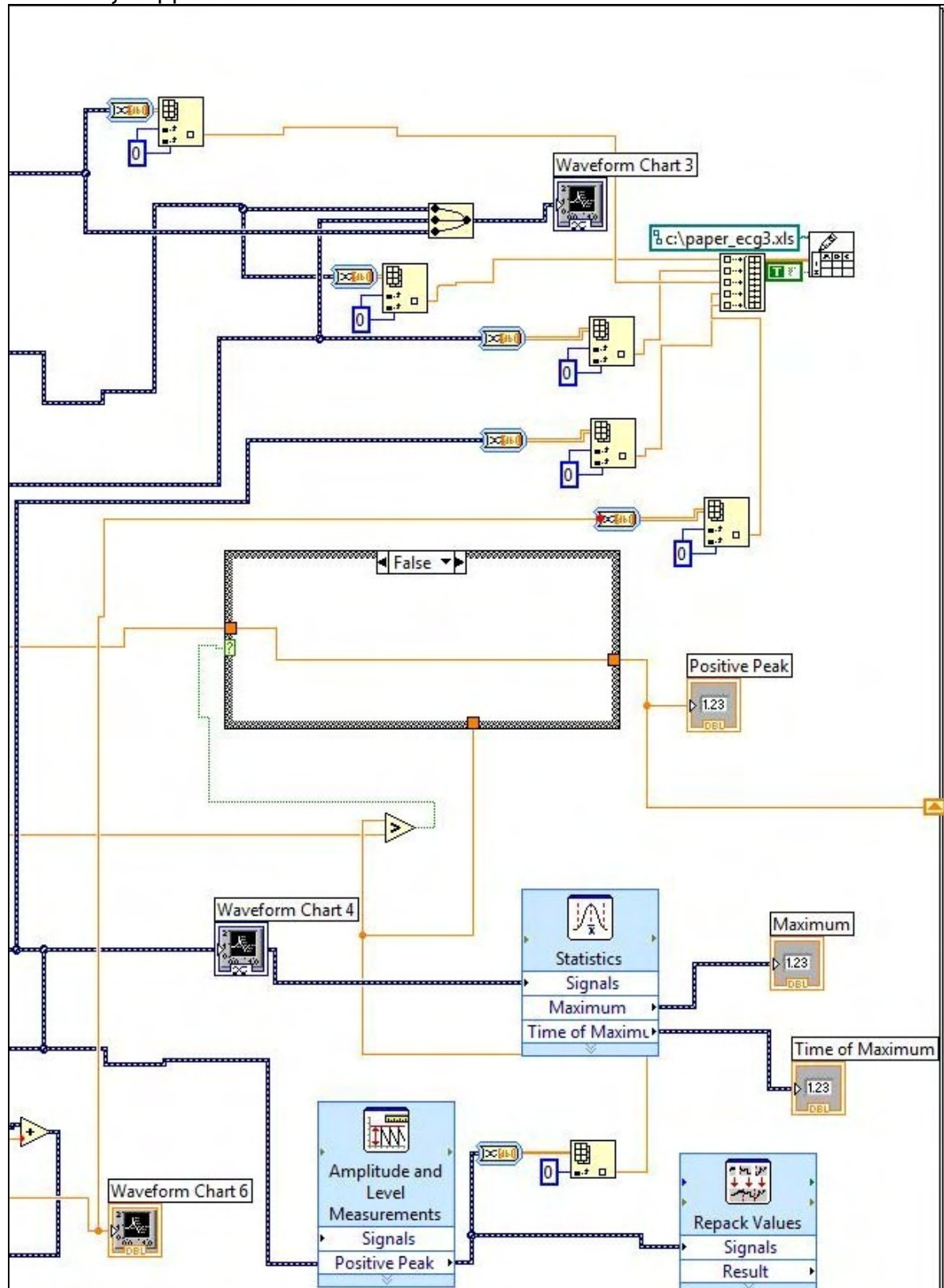
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

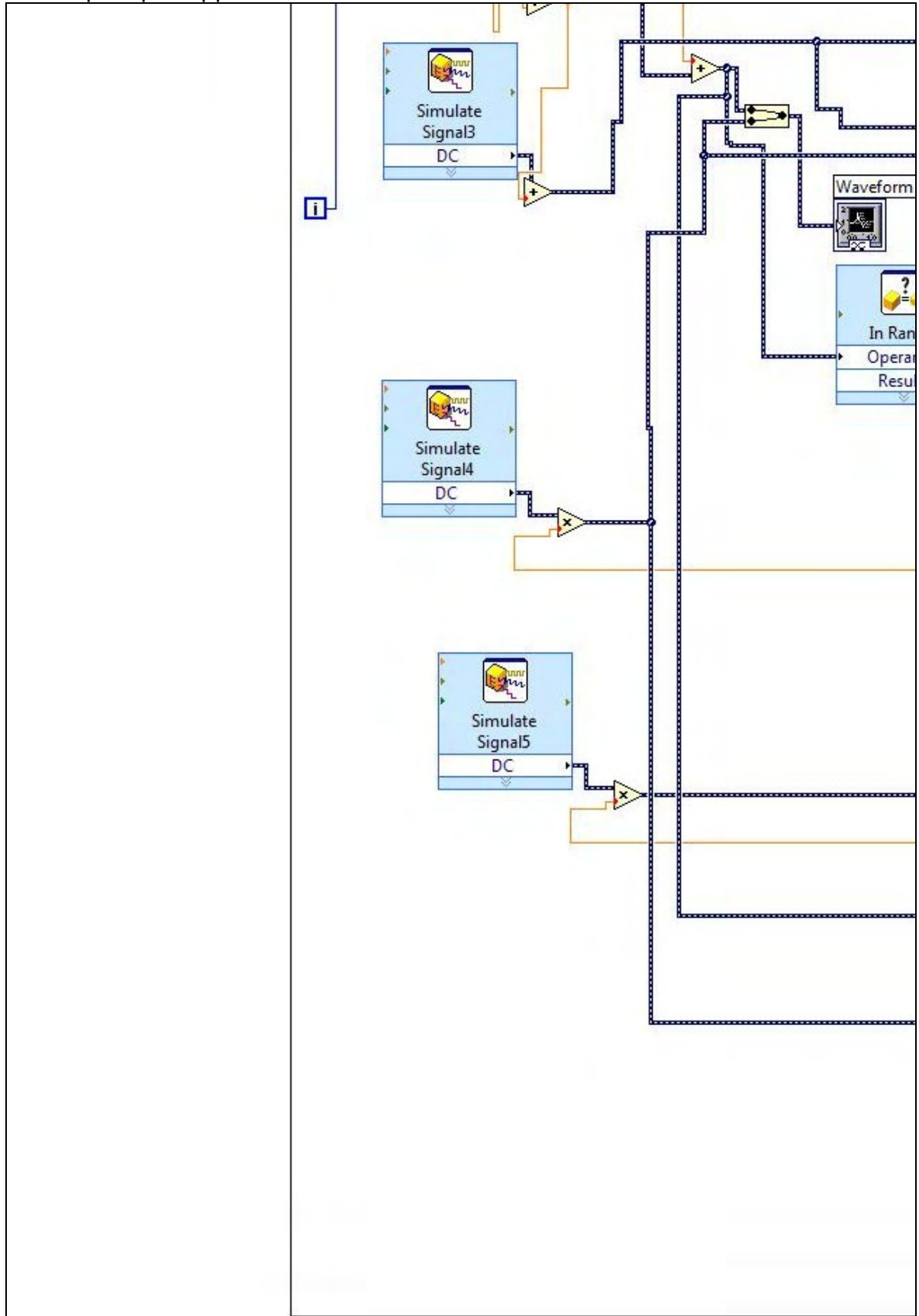
Αναλυτικότερα το block diagram
Πάνω αριστερό κομμάτι:



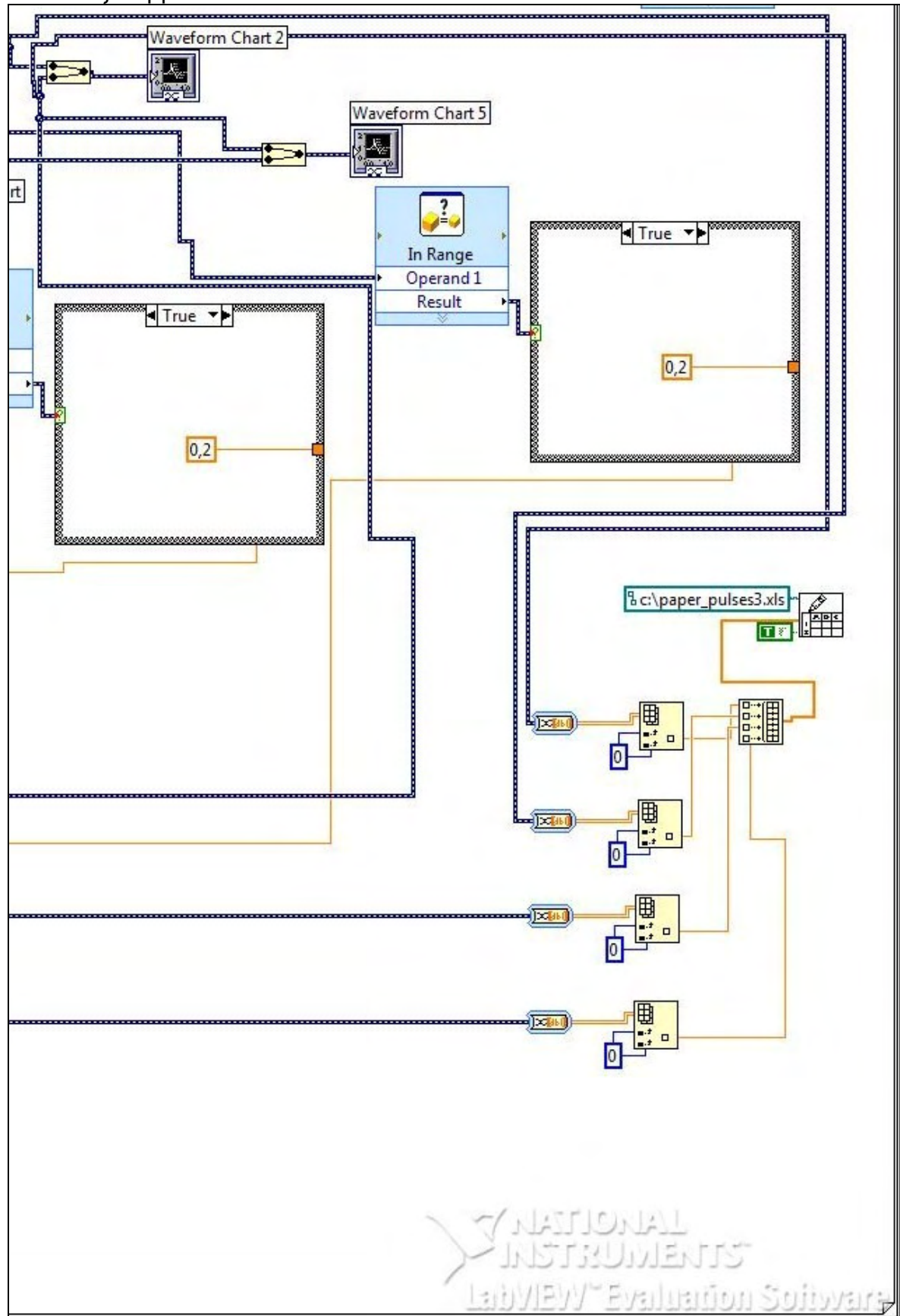
Πάνω δεξί κομμάτι:



Κάτω αριστερό κομμάτι:



Κάτω δεξί κομμάτι:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Μετρήσεις – Συγκριτικά αποτελέσματα

TIME	Wire	Correct	ZigBEE	ECG (VDC) ZigBEE	ECG (VDC) Wire
0,0594	0,461	0,417	0,419	0,036	0,007
0,1188	0,461	0,417	0,419	0,037	0,005
0,1782	0,461	0,417	0,419	0,032	0,005
0,2376	0,461	0,417	0,419	0,049	0,005
0,297	0,461	0,417	0,419	0,008	0,007
0,3564	0,461	0,417	0,419	0,027	0,01
0,4158	0,461	0,417	0,419	0,032	0,01
0,4752	0,461	0,417	0,419	0,053	0,01
0,5346	0,461	0,417	0,419	0,037	0,01
0,594	0,461	0,417	0,419	0,022	0,005
0,6534	0,461	0,417	0,419	0,028	0,015
0,7128	0,461	0,417	0,419	0,045	0,029
0,7722	0,461	0,417	0,419	0,063	0,061
0,8316	0,461	0,417	0,419	0,115	0,083
0,891	0,461	0,417	0,419	0,098	0,081
0,9504	0,461	0,417	0,419	0,082	0,061
1,0098	0,461	0,417	0,419	0,071	0,046
1,0692	0,461	0,417	0,419	0,03	0,024
1,1286	0,461	0,417	0,419	0,04	0,01
1,188	0,461	0,417	0,419	0,033	0,007
1,2474	0,461	0,417	0,419	0,029	0,01
1,3068	0,461	0,417	0,419	0,053	0,007
1,3662	0,461	0,417	0,419	0,054	0,01
1,4256	0,461	0,417	0,419	0,039	0,01
1,485	0,461	0,417	0,419	0,035	0,01
1,5444	0,461	0,417	0,419	0,053	0,012
1,6038	0,461	0,417	0,419	0,005	-0,015
1,6632	0,461	0,417	0,419	-0,014	-0,056
1,7226	0,461	0,417	0,419	0,101	0,093
1,782	0,461	0,417	0,419	0,338	0,317
1,8414	0,461	0,417	0,419	0,454	0,417
1,9008	0,461	0,417	0,419	0,195	0,19
1,9602	0,461	0,417	0,419	0,007	-0,022
2,0196	0,461	0,417	0,419	-0,015	-0,032
2,079	0,461	0,417	0,419	0,011	0,002
2,1384	0,461	0,417	0,419	0,003	-0,01
2,1978	0,461	0,417	0,419	0,015	0,007
2,2572	0,461	0,417	0,419	0,026	-0,01
2,3166	0,461	0,417	0,419	0,056	0,007
2,376	0,461	0,417	0,419	0,014	0,007
2,4354	0,461	0,417	0,419	0,04	0
2,4948	0,461	0,417	0,419	0,045	0,007
2,5542	0,461	0,417	0,419	0,021	0,002
2,6136	0,461	0,417	0,419	0,008	0,005
2,673	0,461	0,417	0,419	0,004	-0,007
2,7324	0,461	0,417	0,419	0,001	0,002
2,7918	0,461	0,417	0,419	0,025	0,015
2,8512	0,461	0,417	0,419	0,045	0,027
2,9106	0,461	0,417	0,419	0,079	0,078

2,97	0,461	0,417	0,419	0,114	0,095
3,0294	0,461	0,417	0,419	0,155	0,117
3,0888	0,461	0,417	0,419	0,175	0,137
3,1482	0,461	0,417	0,419	0,148	0,137
3,2076	0,461	0,417	0,419	0,161	0,159
3,267	0,461	0,417	0,419	0,161	0,159
3,3264	0,461	0,417	0,419	0,179	0,139
3,3858	0,461	0,417	0,419	0,162	0,125
3,4452	0,461	0,417	0,419	0,103	0,1
3,5046	0,461	0,417	0,419	0,127	0,083
3,564	0,461	0,417	0,419	0,081	0,051
3,6234	0,461	0,417	0,419	0,052	0,022
3,6828	0,461	0,417	0,419	0,041	0,01
3,7422	0,461	0,417	0,419	0,015	0,005
3,8016	0,461	0,417	0,419	0,044	0,005
3,861	0,461	0,417	0,419	0,008	0,007
3,9204	0,461	0,417	0,419	0,018	0,005
3,9798	0,461	0,417	0,419	0,016	0,007
4,0392	0,461	0,417	0,419	0,053	0,005
4,0986	0,461	0,417	0,419	0,04	0,005
4,158	0,461	0,417	0,419	0,043	0,007
4,2174	0,461	0,417	0,419	0,025	0,005
4,2768	0,461	0,417	0,419	0,011	0,007
4,3362	0,461	0,417	0,419	0,051	0,01
4,3956	0,461	0,417	0,419	0,043	0,01
4,455	0,461	0,417	0,419	0,048	0,01
4,5144	0,461	0,417	0,419	0,049	0,01
4,5738	0,461	0,417	0,419	0,017	0,01
4,6332	0,461	0,417	0,419	0,013	0,01
4,6926	0,461	0,417	0,419	0,019	0,01
4,752	0,461	0,417	0,419	0,051	0,01
4,8114	0,461	0,417	0,419	0,013	0,01
4,8708	0,461	0,417	0,419	0,016	0,01
4,9302	0,461	0,417	0,419	0,053	0,015
4,9896	0,461	0,417	0,419	0,05	0,012
5,049	0,461	0,417	0,419	0,061	0,012
5,1084	0,461	0,417	0,419	0,036	0,012
5,1678	0,461	0,417	0,419	0,044	0,037
5,2272	0,461	0,417	0,419	0,083	0,066
5,2866	0,461	0,417	0,419	0,107	0,083
5,346	0,461	0,417	0,419	0,13	0,083
5,4054	0,461	0,417	0,419	0,071	0,063
5,4648	0,461	0,417	0,419	0,088	0,046
5,5242	0,461	0,417	0,419	0,067	0,022
5,5836	0,461	0,417	0,419	0,016	0,005
5,643	0,461	0,417	0,419	0,028	0,01
5,7024	0,461	0,417	0,419	0,025	0,007
5,7618	0,461	0,417	0,419	0,039	0,007
5,8212	0,461	0,417	0,419	0,033	0,007
5,8806	0,461	0,417	0,419	0,018	0,012
5,94	0,461	0,417	0,419	0,029	0,007
5,9994	0,461	0,417	0,419	0,041	0,01

6,0588	0,461	0,417	0,419	0,012	-0,01
6,1182	0,461	0,417	0,419	-0,004	-0,046
6,1776	0,461	0,417	0,419	0,128	0,095
6,237	0,461	0,417	0,419	0,344	0,322
6,2964	0,461	0,417	0,419	0,455	0,413
6,3558	0,461	0,417	0,419	0,203	0,188
6,4152	0,461	0,417	0,419	-0,02	-0,027
6,4746	0,461	0,417	0,419	-0,03	-0,034
6,534	0,461	0,417	0,419	0,041	0,007
6,5934	0,461	0,417	0,419	0,048	0,007
6,6528	0,461	0,417	0,419	0,012	0,005
6,7122	0,461	0,417	0,419	0,01	0,007
6,7716	0,461	0,417	0,419	0,006	0,007
6,831	0,461	0,417	0,419	0,02	0,007
6,8904	0,461	0,417	0,419	0,05	0,007
6,9498	0,461	0,417	0,419	0,01	0,007
7,0092	0,461	0,417	0,419	0,009	0,007
7,0686	0,461	0,417	0,419	0,022	0,005
7,128	0,461	0,417	0,419	0,019	0,007
7,1874	0,461	0,417	0,419	0,047	0,007
7,2468	0,461	0,417	0,419	0,032	0,024
7,3062	0,461	0,417	0,419	0,09	0,049
7,3656	0,461	0,417	0,419	0,113	0,076
7,425	0,461	0,417	0,419	0,114	0,098
7,4844	0,461	0,417	0,419	0,159	0,117
7,5438	0,461	0,417	0,419	0,153	0,139
7,6032	0,461	0,417	0,419	0,15	0,137
7,6626	0,461	0,417	0,419	0,192	0,159
7,722	0,461	0,417	0,419	0,205	0,159
7,7814	0,461	0,417	0,419	0,175	0,142
7,8408	0,461	0,417	0,419	0,156	0,12
7,9002	0,461	0,417	0,419	0,115	0,105
7,9596	0,461	0,417	0,419	0,127	0,081
8,019	0,461	0,417	0,419	0,053	0,046
8,0784	0,461	0,417	0,419	0,055	0,024
8,1378	0,461	0,417	0,419	0,054	0,012
8,1972	0,461	0,417	0,419	0,027	0,012
8,2566	0,461	0,417	0,419	0,011	0,007
8,316	0,461	0,417	0,419	0,051	0,01
8,3754	0,461	0,417	0,419	0,046	0,007
8,4348	0,461	0,417	0,419	0,035	0,007
8,4942	0,461	0,417	0,419	0,029	0,005
8,5536	0,461	0,417	0,419	0,05	0,007
8,613	0,461	0,417	0,419	0,037	0,007
8,6724	0,461	0,417	0,419	0,023	0,007
8,7318	0,461	0,417	0,419	0,055	0,007
8,7912	0,461	0,417	0,419	0,014	0,007
8,8506	0,461	0,417	0,419	0,028	0,007
8,91	0,461	0,417	0,419	0,005	0,007
8,9694	0,461	0,417	0,419	0,021	0,007
9,0288	0,461	0,417	0,419	0,028	0,007
9,0882	0,461	0,417	0,419	0,048	0,007

9,1476	0,461	0,417	0,419	0,045	0,007
9,207	0,461	0,417	0,419	0,041	0,01
9,2664	0,461	0,417	0,419	0,01	0,01
9,3258	0,461	0,417	0,419	0,013	0,007
9,3852	0,461	0,417	0,419	0,053	0,007
9,4446	0,461	0,417	0,419	0,02	0,005
9,504	0,461	0,417	0,419	0,034	0,002
9,5634	0,461	0,417	0,419	0,045	0,005
9,6228	0,461	0,417	0,419	0,065	0,032
9,6822	0,461	0,417	0,419	0,094	0,066
9,7416	0,461	0,417	0,419	0,117	0,081
9,801	0,461	0,417	0,419	0,09	0,081
9,8604	0,461	0,417	0,419	0,114	0,061
9,9198	0,461	0,417	0,419	0,088	0,044
9,9792	0,461	0,417	0,419	0,025	0,015
10,0386	0,461	0,417	0,419	0,033	0,002
10,098	0,461	0,417	0,419	0,049	0,005
10,1574	0,461	0,417	0,419	0,027	0,007
10,2168	0,461	0,417	0,419	0,042	0,005
10,2762	0,461	0,417	0,419	0,014	0,007
10,3356	0,461	0,417	0,419	0,035	0,007
10,395	0,461	0,417	0,419	0,058	0,012
10,4544	0,461	0,417	0,419	0,054	0,007
10,5138	0,461	0,417	0,419	0,024	-0,012
10,5732	0,461	0,417	0,419	-0,028	-0,051
10,6326	0,461	0,417	0,419	0,113	0,1
10,692	0,461	0,417	0,419	0,352	0,327
10,7514	0,461	0,417	0,419	0,437	0,413
10,8108	0,461	0,417	0,419	0,231	0,183
10,8702	0,461	0,417	0,419	-0,004	-0,027
10,9296	0,461	0,417	0,419	-0,009	-0,032
10,989	0,461	0,417	0,419	0,039	0,007
11,0484	0,461	0,417	0,419	0,011	0,005
11,1078	0,461	0,417	0,419	0,039	0,005
11,1672	0,461	0,417	0,419	0,013	0,002
11,2266	0,461	0,417	0,419	0,012	0,005
11,286	0,461	0,417	0,419	0,008	0,002
11,3454	0,461	0,417	0,419	0,034	0,007
11,4048	0,461	0,417	0,419	0,012	0,002
11,4642	0,461	0,417	0,419	0,026	0,005
11,5236	0,461	0,417	0,419	0,016	0,002
11,583	0,461	0,417	0,419	0,058	0,005
11,6424	0,461	0,417	0,419	0,006	0,002
11,7018	0,461	0,417	0,419	0,039	0,022
11,7612	0,461	0,417	0,419	0,054	0,042
11,8206	0,461	0,417	0,419	0,118	0,083
11,88	0,461	0,417	0,419	0,121	0,1
11,9394	0,461	0,417	0,419	0,163	0,122
11,9988	0,461	0,417	0,419	0,181	0,142
12,0582	0,461	0,417	0,419	0,183	0,139
12,1176	0,461	0,417	0,419	0,163	0,159
12,177	0,461	0,417	0,419	0,176	0,159

12,2364	0,461	0,417	0,419	0,145	0,139
12,2958	0,461	0,417	0,419	0,137	0,117
12,3552	0,461	0,417	0,419	0,13	0,098
12,4146	0,461	0,417	0,419	0,121	0,073
12,474	0,461	0,417	0,419	0,057	0,042
12,5334	0,461	0,417	0,419	0,067	0,02
12,5928	0,461	0,417	0,419	0,009	0,005
12,6522	0,461	0,417	0,419	0,023	0,007
12,7116	0,461	0,417	0,419	0,03	0,005
12,771	0,461	0,417	0,419	0,02	0,007
12,8304	0,461	0,417	0,419	0,061	0,007
12,8898	0,461	0,417	0,419	0,023	0,007
12,9492	0,461	0,417	0,419	0,024	0,007
13,0086	0,461	0,417	0,419	0,018	0,005
13,068	0,461	0,417	0,419	0,024	0,007
13,1274	0,461	0,417	0,419	0,03	0,007
13,1868	0,461	0,417	0,419	0,034	0,005
13,2462	0,461	0,417	0,419	0,041	0,005
13,3056	0,461	0,417	0,419	0,054	0,005
13,365	0,461	0,417	0,419	0,023	0,002
13,4244	0,461	0,417	0,419	0,005	0,002
13,4838	0,461	0,417	0,419	0,022	0,005
13,5432	0,461	0,417	0,419	0,03	0,005
13,6026	0,461	0,417	0,419	0,012	0,007
13,662	0,461	0,417	0,419	0,028	0,01
13,7214	0,461	0,417	0,419	0,026	0,007
13,7808	0,461	0,417	0,419	0,023	0,005
13,8402	0,461	0,417	0,419	0,019	0,007
13,8996	0,461	0,417	0,419	0,045	0,007
13,959	0,461	0,417	0,419	0,026	0,007
14,0184	0,461	0,417	0,419	0,03	0,005
14,0778	0,461	0,417	0,419	0,075	0,037
14,1372	0,461	0,417	0,419	0,088	0,063
14,1966	0,461	0,417	0,419	0,132	0,085
14,256	0,461	0,417	0,419	0,113	0,081
14,3154	0,461	0,417	0,419	0,079	0,061
14,3748	0,461	0,417	0,419	0,066	0,044
14,4342	0,461	0,417	0,419	0,055	0,017
14,4936	0,461	0,417	0,419	0,016	0,005
14,553	0,461	0,417	0,419	0,01	0,002
14,6124	0,461	0,417	0,419	0,043	0,005
14,6718	0,461	0,417	0,419	0,023	0,005
14,7312	0,461	0,417	0,419	0,029	0,005
14,7906	0,461	0,417	0,419	0,039	0,005
14,85	0,461	0,417	0,419	0,041	0,005
14,9094	0,461	0,417	0,419	0,044	0,005
14,9688	0,461	0,417	0,419	0,021	-0,015
15,0282	0,461	0,417	0,419	-0,022	-0,061
15,0876	0,461	0,417	0,419	0,13	0,088
15,147	0,461	0,417	0,419	0,337	0,327
15,2064	0,461	0,417	0,419	0,434	0,393
15,2658	0,461	0,417	0,419	0,219	0,171

15,3252	0,461	0,417	0,419	-0,004	-0,039
15,3846	0,461	0,417	0,419	0,019	-0,024
15,444	0,461	0,417	0,419	0,02	0
15,5034	0,461	0,417	0,419	0,003	0
15,5628	0,461	0,417	0,419	0,025	0,002
15,6222	0,461	0,417	0,419	0,059	0,017
15,6816	0,461	0,417	0,419	0,002	0,002
15,741	0,461	0,417	0,419	0,022	0,002
15,8004	0,461	0,417	0,419	0,029	0,002
15,8598	0,461	0,417	0,419	0,007	0,005
15,9192	0,461	0,417	0,419	0,016	0,002
15,9786	0,461	0,417	0,419	0,032	0,002
16,038	0,461	0,417	0,419	0,046	0,005
16,0974	0,461	0,417	0,419	0,016	0,007
16,1568	0,461	0,417	0,419	0,028	0,022
16,2162	0,461	0,417	0,419	0,05	0,044
16,2756	0,461	0,417	0,419	0,098	0,081
16,335	0,461	0,417	0,419	0,148	0,103
16,3944	0,461	0,417	0,419	0,164	0,122
16,4538	0,461	0,417	0,419	0,166	0,142
16,5132	0,461	0,417	0,419	0,193	0,142
16,5726	0,461	0,417	0,419	0,187	0,159
16,632	0,461	0,417	0,419	0,158	0,159
16,6914	0,461	0,417	0,419	0,158	0,142
16,7508	0,461	0,417	0,419	0,149	0,12
16,8102	0,461	0,417	0,419	0,111	0,088
16,8696	0,461	0,417	0,419	0,08	0,073
16,929	0,461	0,417	0,419	0,072	0,044
16,9884	0,461	0,417	0,419	0,052	0,015
17,0478	0,461	0,417	0,419	0,028	-0,002
17,1072	0,461	0,417	0,419	0,018	0,002
17,1666	0,461	0,417	0,419	0,031	0,002
17,226	0,461	0,417	0,419	0,005	0,002
17,2854	0,461	0,417	0,419	0,037	0,002
17,3448	0,461	0,417	0,419	0,017	0,005
17,4042	0,461	0,417	0,419	0,043	0,005
17,4636	0,461	0,417	0,419	0,03	0,007
17,523	0,461	0,417	0,419	0,048	0,002
17,5824	0,461	0,417	0,419	0,05	0,002
17,6418	0,461	0,417	0,419	0,05	0,002
17,7012	0,461	0,417	0,419	0,027	0
17,7606	0,461	0,417	0,419	0,009	0,007
17,82	0,446	0,413	0,414	0,007	0,002
17,8794	0,446	0,413	0,414	0,027	0,002
17,9388	0,446	0,413	0,414	0,004	0,002
17,9982	0,446	0,413	0,414	0,05	0,005
18,0576	0,446	0,413	0,414	0,049	-0,002
18,117	0,446	0,413	0,414	0,006	0
18,1764	0,446	0,413	0,414	0,046	-0,002
18,2358	0,446	0,413	0,414	0,038	0,002
18,2952	0,446	0,413	0,414	0,038	0,002
18,3546	0,446	0,413	0,414	0,041	0

18,414	0,446	0,413	0,414	0,047	0,002
18,4734	0,446	0,413	0,414	0,041	0,007
18,5328	0,446	0,413	0,414	0,074	0,037
18,5922	0,446	0,413	0,414	0,077	0,066
18,6516	0,446	0,413	0,414	0,123	0,085
18,711	0,446	0,413	0,414	0,12	0,078
18,7704	0,446	0,413	0,414	0,098	0,063
18,8298	0,446	0,413	0,414	0,091	0,044
18,8892	0,446	0,413	0,414	0,026	0,015
18,9486	0,446	0,413	0,414	0,031	0,002
19,008	0,446	0,413	0,414	0,048	0,005
19,0674	0,446	0,413	0,414	0,028	0,002
19,1268	0,446	0,413	0,414	0,005	0,002
19,1862	0,446	0,413	0,414	0,014	0,002
19,2456	0,446	0,413	0,414	0,013	0,005
19,305	0,446	0,413	0,414	0,023	0,005
19,3644	0,446	0,413	0,414	0,044	0,005
19,4238	0,446	0,413	0,414	0,011	-0,017
19,4832	0,446	0,413	0,414	-0,017	-0,054
19,5426	0,446	0,413	0,414	0,116	0,1
19,602	0,446	0,413	0,414	0,352	0,327
19,6614	0,446	0,413	0,414	0,415	0,4
19,7208	0,446	0,413	0,414	0,174	0,173
19,7802	0,446	0,413	0,414	-0,026	-0,037
19,8396	0,446	0,413	0,414	-0,016	-0,037
19,899	0,446	0,413	0,414	0,033	-0,002
19,9584	0,446	0,413	0,414	0,037	0,002
20,0178	0,446	0,413	0,414	0,014	0,005
20,0772	0,446	0,413	0,414	0,043	0,005
20,1366	0,446	0,413	0,414	0,012	0,002
20,196	0,446	0,413	0,414	0,016	0,005
20,2554	0,446	0,413	0,414	0,014	0,005
20,3148	0,446	0,413	0,414	0,053	0,005
20,3742	0,446	0,413	0,414	0,038	0,002
20,4336	0,446	0,413	0,414	0,015	0,005
20,493	0,446	0,413	0,414	0,022	0,007
20,5524	0,446	0,413	0,414	0,016	0,002
20,6118	0,446	0,413	0,414	0,039	0,022
20,6712	0,446	0,413	0,414	0,078	0,044
20,7306	0,446	0,413	0,414	0,128	0,081
20,79	0,446	0,413	0,414	0,152	0,1
20,8494	0,446	0,413	0,414	0,121	0,115
20,9088	0,446	0,413	0,414	0,167	0,134
20,9682	0,446	0,413	0,414	0,149	0,137
21,0276	0,446	0,413	0,414	0,16	0,154
21,087	0,446	0,413	0,414	0,207	0,159
21,1464	0,446	0,413	0,414	0,176	0,137
21,2058	0,446	0,413	0,414	0,12	0,117
21,2652	0,446	0,413	0,414	0,112	0,1
21,3246	0,446	0,413	0,414	0,117	0,076
21,384	0,446	0,413	0,414	0,084	0,042
21,4434	0,446	0,413	0,414	0,06	0,015

21,5028	0,446	0,413	0,414	0,032	0,005
21,5622	0,446	0,413	0,414	0,032	0,005
21,6216	0,446	0,413	0,414	0,019	0,002
21,681	0,446	0,413	0,414	0,022	0,005
21,7404	0,446	0,413	0,414	0,007	0,005
21,7998	0,446	0,413	0,414	0,035	0,005
21,8592	0,446	0,413	0,414	0,016	0,002
21,9186	0,446	0,413	0,414	0,011	0,002
21,978	0,446	0,413	0,414	0,013	0
22,0374	0,446	0,413	0,414	0,019	0,002
22,0968	0,446	0,413	0,414	0,036	0
22,1562	0,446	0,413	0,414	0,026	0
22,2156	0,446	0,413	0,414	0,039	0,005
22,275	0,446	0,413	0,414	0,006	0,002
22,3344	0,446	0,413	0,414	0,054	0,007
22,3938	0,446	0,413	0,414	0,036	0,01
22,4532	0,446	0,413	0,414	0,048	0,01
22,5126	0,446	0,413	0,414	0,031	0,005
22,572	0,446	0,413	0,414	0,055	0,01
22,6314	0,446	0,413	0,414	0,018	0,007
22,6908	0,446	0,413	0,414	0,021	0,005
22,7502	0,446	0,413	0,414	0,01	0,005
22,8096	0,446	0,413	0,414	0,042	0,007
22,869	0,446	0,413	0,414	0,044	0,007
22,9284	0,446	0,413	0,414	0,034	0,007
22,9878	0,446	0,413	0,414	0,054	0,034
23,0472	0,446	0,413	0,414	0,102	0,061
23,1066	0,446	0,413	0,414	0,113	0,081
23,166	0,446	0,413	0,414	0,116	0,081
23,2254	0,446	0,413	0,414	0,071	0,059
23,2848	0,446	0,413	0,414	0,081	0,042
23,3442	0,446	0,413	0,414	0,022	0,012
23,4036	0,446	0,413	0,414	0,045	0,002
23,463	0,446	0,413	0,414	0,025	0,002
23,5224	0,446	0,413	0,414	0,044	0,005
23,5818	0,446	0,413	0,414	0,049	0,007
23,6412	0,446	0,413	0,414	0,041	0,007
23,7006	0,446	0,413	0,414	0,009	0
23,76	0,446	0,413	0,414	0,022	0,007
23,8194	0,446	0,413	0,414	0,019	0,007
23,8788	0,446	0,413	0,414	0,039	-0,012
23,9382	0,446	0,413	0,414	-0,008	-0,051
23,9976	0,446	0,413	0,414	0,143	0,105
24,057	0,446	0,413	0,414	0,342	0,332
24,1164	0,446	0,413	0,414	0,425	0,403
24,1758	0,446	0,413	0,414	0,22	0,176
24,2352	0,446	0,413	0,414	0,011	-0,037
24,2946	0,446	0,413	0,414	-0,017	-0,034
24,354	0,446	0,413	0,414	0,046	0,002
24,4134	0,446	0,413	0,414	0,014	0,002
24,4728	0,446	0,413	0,414	0,03	0,002
24,5322	0,446	0,413	0,414	0,041	0,002

24,5916	0,446	0,413	0,414	0,042	0,002
24,651	0,446	0,413	0,414	0,04	0,002
24,7104	0,446	0,413	0,414	0,027	0,002
24,7698	0,446	0,413	0,414	0,035	0,005
24,8292	0,446	0,413	0,414	0,045	0,002
24,8886	0,446	0,413	0,414	0,016	0,005
24,948	0,446	0,413	0,414	0,051	0,01
25,0074	0,446	0,413	0,414	0,044	0,01
25,0668	0,446	0,413	0,414	0,074	0,029
25,1262	0,446	0,413	0,414	0,072	0,042
25,1856	0,446	0,413	0,414	0,129	0,081
25,245	0,446	0,413	0,414	0,125	0,1
25,3044	0,446	0,413	0,414	0,139	0,117
25,3638	0,446	0,413	0,414	0,167	0,139
25,4232	0,446	0,413	0,414	0,155	0,137
25,4826	0,446	0,413	0,414	0,195	0,154
25,542	0,446	0,413	0,414	0,174	0,154
25,6014	0,446	0,413	0,414	0,186	0,142
25,6608	0,446	0,413	0,414	0,123	0,117
25,7202	0,446	0,413	0,414	0,139	0,1
25,7796	0,446	0,413	0,414	0,075	0,071
25,839	0,446	0,413	0,414	0,051	0,044
25,8984	0,446	0,413	0,414	0,057	0,012
25,9578	0,446	0,413	0,414	0,032	0,005
26,0172	0,446	0,413	0,414	0,05	0,005
26,0766	0,446	0,413	0,414	0,037	0,005
26,136	0,446	0,413	0,414	0,052	0,005
26,1954	0,446	0,413	0,414	0,006	0,002
26,2548	0,446	0,413	0,414	0,039	0,002
26,3142	0,446	0,413	0,414	0,01	0,002
26,3736	0,446	0,413	0,414	0,04	0,002
26,433	0,446	0,413	0,414	0,017	0,002
26,4924	0,446	0,413	0,414	0,026	0,002
26,5518	0,446	0,413	0,414	0,042	0,002
26,6112	0,446	0,413	0,414	0,017	0,002
26,6706	0,446	0,413	0,414	0,02	0,005
26,73	0,428	0,403	0,403	0,035	0,005
26,7894	0,428	0,403	0,403	0,038	0,005
26,8488	0,428	0,403	0,403	0,026	0,007
26,9082	0,428	0,403	0,403	0,026	0,007
26,9676	0,428	0,403	0,403	0,023	0,01
27,027	0,428	0,403	0,403	0,031	0,005
27,0864	0,428	0,403	0,403	0,054	0,007
27,1458	0,428	0,403	0,403	0,04	0,01
27,2052	0,428	0,403	0,403	0,023	0,007
27,2646	0,428	0,403	0,403	0,013	0,007
27,324	0,428	0,403	0,403	0,043	0,007
27,3834	0,428	0,403	0,403	0,051	0,005
27,4428	0,428	0,403	0,403	0,062	0,037
27,5022	0,428	0,403	0,403	0,088	0,063
27,5616	0,428	0,403	0,403	0,131	0,078
27,621	0,428	0,403	0,403	0,088	0,078

27,6804	0,428	0,403	0,403	0,106	0,059
27,7398	0,428	0,403	0,403	0,056	0,042
27,7992	0,428	0,403	0,403	0,035	0,012
27,8586	0,428	0,403	0,403	0,033	0,002
27,918	0,428	0,403	0,403	0,033	0,005
27,9774	0,428	0,403	0,403	0,041	0,007
28,0368	0,428	0,403	0,403	0,043	0,005
28,0962	0,428	0,403	0,403	0,042	0,005
28,1556	0,428	0,403	0,403	0,041	0,005
28,215	0,428	0,403	0,403	0,053	0,005
28,2744	0,428	0,403	0,403	0,049	0,005
28,3338	0,428	0,403	0,403	0,009	-0,012
28,3932	0,428	0,403	0,403	-0,004	-0,049
28,4526	0,428	0,403	0,403	0,121	0,105
28,512	0,428	0,403	0,403	0,367	0,337
28,5714	0,428	0,403	0,403	0,437	0,408
28,6308	0,428	0,403	0,403	0,22	0,178
28,6902	0,428	0,403	0,403	-0,034	-0,037
28,7496	0,428	0,403	0,403	-0,012	-0,029
28,809	0,428	0,403	0,403	0,043	0,007
28,8684	0,428	0,403	0,403	0,013	0,007
28,9278	0,428	0,403	0,403	0,042	0,007
28,9872	0,428	0,403	0,403	0,028	0,007
29,0466	0,428	0,403	0,403	0,004	0,007
29,106	0,428	0,403	0,403	0,036	0,005
29,1654	0,428	0,403	0,403	0,043	0,005
29,2248	0,428	0,403	0,403	0,037	0,005
29,2842	0,428	0,403	0,403	0,01	0,007
29,3436	0,428	0,403	0,403	0,052	0,007
29,403	0,428	0,403	0,403	0,013	0,002
29,4624	0,428	0,403	0,403	0,012	0,007
29,5218	0,428	0,403	0,403	0,03	0,027
29,5812	0,428	0,403	0,403	0,053	0,046
29,6406	0,428	0,403	0,403	0,125	0,083
29,7	0,428	0,403	0,403	0,107	0,103
29,7594	0,428	0,403	0,403	0,163	0,12
29,8188	0,428	0,403	0,403	0,147	0,144
29,8782	0,428	0,403	0,403	0,166	0,134
29,9376	0,428	0,403	0,403	0,161	0,159
29,997	0,428	0,403	0,403	0,197	0,161
30,0564	0,428	0,403	0,403	0,172	0,142
30,1158	0,428	0,403	0,403	0,127	0,12
30,1752	0,428	0,403	0,403	0,145	0,105
30,2346	0,428	0,403	0,403	0,116	0,076
30,294	0,428	0,403	0,403	0,053	0,049
30,3534	0,428	0,403	0,403	0,031	0,015
30,4128	0,428	0,403	0,403	0,046	0,012
30,4722	0,428	0,403	0,403	0,022	0,012
30,5316	0,428	0,403	0,403	0,034	0,01
30,591	0,428	0,403	0,403	0,053	0,007
30,6504	0,428	0,403	0,403	0,037	0,012
30,7098	0,428	0,403	0,403	0,043	0,01

30,7692	0,428	0,403	0,403	0,042	0,01
30,8286	0,428	0,403	0,403	0,037	0,005
30,888	0,428	0,403	0,403	0,034	0,005
30,9474	0,428	0,403	0,403	0,023	0,007
31,0068	0,428	0,403	0,403	0,045	0,005
31,0662	0,428	0,403	0,403	0,016	0,002
31,1256	0,428	0,403	0,403	0,051	0,007
31,185	0,428	0,403	0,403	0,004	0,005
31,2444	0,428	0,403	0,403	0,055	0,007
31,3038	0,428	0,403	0,403	0,052	0,007
31,3632	0,428	0,403	0,403	0,03	0,007
31,4226	0,428	0,403	0,403	0,043	0,007
31,482	0,428	0,403	0,403	0,05	0,007
31,5414	0,428	0,403	0,403	0,024	0,005
31,6008	0,428	0,403	0,403	0,03	0,007
31,6602	0,428	0,403	0,403	0,045	0,007
31,7196	0,428	0,403	0,403	0,046	0,007
31,779	0,428	0,403	0,403	0,011	0,005
31,8384	0,428	0,403	0,403	0,05	0,005
31,8978	0,428	0,403	0,403	0,043	0,037
31,9572	0,428	0,403	0,403	0,072	0,059
32,0166	0,428	0,403	0,403	0,134	0,085
32,076	0,428	0,403	0,403	0,088	0,081
32,1354	0,428	0,403	0,403	0,102	0,059
32,1948	0,428	0,403	0,403	0,091	0,046
32,2542	0,428	0,403	0,403	0,05	0,017
32,3136	0,428	0,403	0,403	0,003	0,002
32,373	0,428	0,403	0,403	0,016	0,01
32,4324	0,428	0,403	0,403	0,012	0,007
32,4918	0,428	0,403	0,403	0,017	0,015
32,5512	0,428	0,403	0,403	0,011	0,007
32,6106	0,428	0,403	0,403	0,05	0,007
32,67	0,428	0,403	0,403	0,045	0,007
32,7294	0,428	0,403	0,403	0,048	0,015
32,7888	0,428	0,403	0,403	0,017	-0,015
32,8482	0,428	0,403	0,403	-0,031	-0,049
32,9076	0,428	0,403	0,403	0,138	0,105
32,967	0,428	0,403	0,403	0,37	0,337
33,0264	0,428	0,403	0,403	0,399	0,396
33,0858	0,428	0,403	0,403	0,19	0,168
33,1452	0,428	0,403	0,403	0,014	-0,032
33,2046	0,428	0,403	0,403	-0,012	-0,034
33,264	0,428	0,403	0,403	0,032	0
33,3234	0,428	0,403	0,403	0,024	0,002
33,3828	0,428	0,403	0,403	0,018	0,002
33,4422	0,428	0,403	0,403	0,026	0,007
33,5016	0,428	0,403	0,403	0,012	0,005
33,561	0,428	0,403	0,403	0,034	0,002
33,6204	0,428	0,403	0,403	0,035	0,002
33,6798	0,428	0,403	0,403	0,024	0,007
33,7392	0,428	0,403	0,403	0,046	0,002
33,7986	0,428	0,403	0,403	0,014	0,002

33,858	0,428	0,403	0,403	0,05	0,005
33,9174	0,428	0,403	0,403	0,02	0,007
33,9768	0,428	0,403	0,403	0,068	0,022
34,0362	0,428	0,403	0,403	0,077	0,042
34,0956	0,428	0,403	0,403	0,104	0,078
34,155	0,428	0,403	0,403	0,124	0,1
34,2144	0,428	0,403	0,403	0,155	0,117
34,2738	0,428	0,403	0,403	0,173	0,149
34,3332	0,428	0,403	0,403	0,143	0,134
34,3926	0,428	0,403	0,403	0,166	0,156
34,452	0,428	0,403	0,403	0,201	0,154
34,5114	0,428	0,403	0,403	0,15	0,134
34,5708	0,428	0,403	0,403	0,124	0,115
34,6302	0,428	0,403	0,403	0,147	0,098
34,6896	0,428	0,403	0,403	0,1	0,063
34,749	0,428	0,403	0,403	0,053	0,046
34,8084	0,428	0,403	0,403	0,021	0,007
34,8678	0,428	0,403	0,403	0,009	0,002
34,9272	0,428	0,403	0,403	0,046	0,002
34,9866	0,428	0,403	0,403	0,019	0,002
35,046	0,428	0,403	0,403	0,007	0,005
35,1054	0,428	0,403	0,403	0,032	0,002
35,1648	0,428	0,403	0,403	0,011	0,002
35,2242	0,428	0,403	0,403	0,034	0,002
35,2836	0,428	0,403	0,403	0,039	0,005
35,343	0,428	0,403	0,403	0,023	0,002
35,4024	0,428	0,403	0,403	0,046	0,002
35,4618	0,428	0,403	0,403	0,047	0,002
35,5212	0,428	0,403	0,403	0,024	0,002
35,5806	0,428	0,403	0,403	0,031	0,002
35,64	0,45	0,408	0,408	0,01	0,002
35,6994	0,45	0,408	0,408	0,048	0,002
35,7588	0,45	0,408	0,408	0,038	0,002
35,8182	0,45	0,408	0,408	0,007	0
35,8776	0,45	0,408	0,408	0,031	-0,002
35,937	0,45	0,408	0,408	0,05	0
35,9964	0,45	0,408	0,408	0,03	0
36,0558	0,45	0,408	0,408	0,018	0
36,1152	0,45	0,408	0,408	0,031	0
36,1746	0,45	0,408	0,408	0,035	0
36,234	0,45	0,408	0,408	0,019	0
36,2934	0,45	0,408	0,408	0,044	0,005
36,3528	0,45	0,408	0,408	0,064	0,034
36,4122	0,45	0,408	0,408	0,093	0,056
36,4716	0,45	0,408	0,408	0,082	0,078
36,531	0,45	0,408	0,408	0,078	0,081
36,5904	0,45	0,408	0,408	0,084	0,061
36,6498	0,45	0,408	0,408	0,09	0,044
36,7092	0,45	0,408	0,408	0,046	0,012
36,7686	0,45	0,408	0,408	0,042	0,005
36,828	0,45	0,408	0,408	0,03	0,005
36,8874	0,45	0,408	0,408	0,039	0,005

36,9468	0,45	0,408	0,408	0,055	0,002
37,0062	0,45	0,408	0,408	0,042	0
37,0656	0,45	0,408	0,408	0,027	0
37,125	0,45	0,408	0,408	0,016	0,002
37,1844	0,45	0,408	0,408	0,039	0
37,2438	0,45	0,408	0,408	0,03	-0,022
37,3032	0,45	0,408	0,408	-0,025	-0,061
37,3626	0,45	0,408	0,408	0,109	0,105
37,422	0,45	0,408	0,408	0,337	0,332
37,4814	0,45	0,408	0,408	0,405	0,391
37,5408	0,45	0,408	0,408	0,205	0,166
37,6002	0,45	0,408	0,408	-0,012	-0,039
37,6596	0,45	0,408	0,408	-0,014	-0,044
37,719	0,45	0,408	0,408	0,023	0
37,7784	0,45	0,408	0,408	0,008	0,002
37,8378	0,45	0,408	0,408	0,011	0,002
37,8972	0,45	0,408	0,408	0,009	0,002
37,9566	0,45	0,408	0,408	0,014	0
38,016	0,45	0,408	0,408	0,014	0
38,0754	0,45	0,408	0,408	0,043	0
38,1348	0,45	0,408	0,408	0,045	-0,002
38,1942	0,45	0,408	0,408	0,04	-0,002
38,2536	0,45	0,408	0,408	0,049	-0,002
38,313	0,45	0,408	0,408	0,006	0
38,3724	0,45	0,408	0,408	0,007	0
38,4318	0,45	0,408	0,408	0,033	0,02
38,4912	0,45	0,408	0,408	0,064	0,037
38,5506	0,45	0,408	0,408	0,109	0,076
38,61	0,45	0,408	0,408	0,141	0,095
38,6694	0,45	0,408	0,408	0,127	0,112
38,7288	0,45	0,408	0,408	0,154	0,137
38,7882	0,45	0,408	0,408	0,154	0,132
38,8476	0,45	0,408	0,408	0,199	0,151
38,907	0,45	0,408	0,408	0,175	0,151
38,9664	0,45	0,408	0,408	0,173	0,132
39,0258	0,45	0,408	0,408	0,153	0,115
39,0852	0,45	0,408	0,408	0,106	0,095
39,1446	0,45	0,408	0,408	0,069	0,066
39,204	0,45	0,408	0,408	0,068	0,039
39,2634	0,45	0,408	0,408	0,024	0,007
39,3228	0,45	0,408	0,408	0,042	0,002
39,3822	0,45	0,408	0,408	0,021	0,002
39,4416	0,45	0,408	0,408	-0,002	0
39,501	0,45	0,408	0,408	-0,001	0,002
39,5604	0,45	0,408	0,408	0,025	0
39,6198	0,45	0,408	0,408	0,049	0
39,6792	0,45	0,408	0,408	0,018	0
39,7386	0,45	0,408	0,408	0,025	0
39,798	0,45	0,408	0,408	0,033	-0,002
39,8574	0,45	0,408	0,408	0,015	0
39,9168	0,45	0,408	0,408	0,011	0
39,9762	0,45	0,408	0,408	0,012	0

40,0356	0,45	0,408	0,408	0,029	0
40,095	0,45	0,408	0,408	0,011	0,002
40,1544	0,45	0,408	0,408	0,035	0
40,2138	0,45	0,408	0,408	0,016	0
40,2732	0,45	0,408	0,408	0,005	0
40,3326	0,45	0,408	0,408	0,042	0,002
40,392	0,45	0,408	0,408	0,018	0,002
40,4514	0,45	0,408	0,408	0,028	0,002
40,5108	0,45	0,408	0,408	0,029	0,005
40,5702	0,45	0,408	0,408	0,015	0
40,6296	0,45	0,408	0,408	0,023	0,005
40,689	0,45	0,408	0,408	0,005	0,005
40,7484	0,45	0,408	0,408	0,035	0,002
40,8078	0,45	0,408	0,408	0,07	0,032
40,8672	0,45	0,408	0,408	0,1	0,059
40,9266	0,45	0,408	0,408	0,11	0,076
40,986	0,45	0,408	0,408	0,077	0,076
41,0454	0,45	0,408	0,408	0,095	0,056
41,1048	0,45	0,408	0,408	0,065	0,042
41,1642	0,45	0,408	0,408	0,032	0,005
41,2236	0,45	0,408	0,408	0,042	-0,002
41,283	0,45	0,408	0,408	0,001	0
41,3424	0,45	0,408	0,408	0,007	0
41,4018	0,45	0,408	0,408	0,033	0,005
41,4612	0,45	0,408	0,408	0,034	0,002
41,5206	0,45	0,408	0,408	0,038	-0,002
41,58	0,45	0,408	0,408	0,039	0,002
41,6394	0,45	0,408	0,408	0,033	0,005
41,6988	0,45	0,408	0,408	-0,005	-0,017
41,7582	0,45	0,408	0,408	-0,024	-0,059
41,8176	0,45	0,408	0,408	0,129	0,107
41,877	0,45	0,408	0,408	0,36	0,332
41,9364	0,45	0,408	0,408	0,392	0,391
41,9958	0,45	0,408	0,408	0,204	0,166
42,0552	0,45	0,408	0,408	-0,032	-0,046
42,1146	0,45	0,408	0,408	0,004	-0,042
42,174	0,45	0,408	0,408	0,023	0
42,2334	0,45	0,408	0,408	0,031	0,002
42,2928	0,45	0,408	0,408	0,032	-0,002
42,3522	0,45	0,408	0,408	0,029	0,002
42,4116	0,45	0,408	0,408	0,045	0
42,471	0,45	0,408	0,408	0,045	0,002
42,5304	0,45	0,408	0,408	0,013	0
42,5898	0,45	0,408	0,408	0,037	0
42,6492	0,45	0,408	0,408	0,032	0
42,7086	0,45	0,408	0,408	0,009	0,002
42,768	0,45	0,408	0,408	0,014	0
42,8274	0,45	0,408	0,408	0,018	0,002
42,8868	0,45	0,408	0,408	0,07	0,02
42,9462	0,45	0,408	0,408	0,062	0,039
43,0056	0,45	0,408	0,408	0,106	0,073
43,065	0,45	0,408	0,408	0,127	0,1

43,1244	0,45	0,408	0,408	0,13	0,112
43,1838	0,45	0,408	0,408	0,143	0,132
43,2432	0,45	0,408	0,408	0,142	0,129
43,3026	0,45	0,408	0,408	0,176	0,149
43,362	0,45	0,408	0,408	0,153	0,146
43,4214	0,45	0,408	0,408	0,173	0,134
43,4808	0,45	0,408	0,408	0,13	0,11
43,5402	0,45	0,408	0,408	0,109	0,093
43,5996	0,45	0,408	0,408	0,106	0,061
43,659	0,45	0,408	0,408	0,056	0,039
43,7184	0,45	0,408	0,408	0,022	0,002
43,7778	0,45	0,408	0,408	0,041	0,012
43,8372	0,45	0,408	0,408	0,006	-0,002
43,8966	0,45	0,408	0,408	0,047	0,002
43,956	0,45	0,408	0,408	0,048	-0,002
44,0154	0,45	0,408	0,408	0,034	-0,002
44,0748	0,45	0,408	0,408	0,018	-0,002
44,1342	0,45	0,408	0,408	0,046	0,002
44,1936	0,45	0,408	0,408	0,017	-0,002
44,253	0,45	0,408	0,408	0,018	-0,002
44,3124	0,45	0,408	0,408	-0,002	-0,005
44,3718	0,45	0,408	0,408	0,016	-0,002
44,4312	0,45	0,408	0,408	0,01	-0,005
44,4906	0,45	0,408	0,408	0,028	0,007
44,55	0,413	0,391	0,391	0,024	-0,005
44,6094	0,413	0,391	0,391	0,044	-0,002
44,6688	0,413	0,391	0,391	0,042	-0,005
44,7282	0,413	0,391	0,391	0,038	-0,005
44,7876	0,413	0,391	0,391	-0,002	-0,005
44,847	0,413	0,391	0,391	0,003	0,002
44,9064	0,413	0,391	0,391	0,031	-0,005
44,9658	0,413	0,391	0,391	0,049	-0,002
45,0252	0,413	0,391	0,391	0,008	-0,005
45,0846	0,413	0,391	0,391	0,021	0
45,144	0,413	0,391	0,391	0,004	-0,002
45,2034	0,413	0,391	0,391	0,048	0,005
45,2628	0,413	0,391	0,391	0,049	0,029
45,3222	0,413	0,391	0,391	0,067	0,056
45,3816	0,413	0,391	0,391	0,106	0,071
45,441	0,413	0,391	0,391	0,092	0,068
45,5004	0,413	0,391	0,391	0,085	0,049
45,5598	0,413	0,391	0,391	0,052	0,037
45,6192	0,413	0,391	0,391	0,045	-0,002
45,6786	0,413	0,391	0,391	0,024	-0,007
45,738	0,413	0,391	0,391	0,001	-0,005
45,7974	0,413	0,391	0,391	0,003	-0,002
45,8568	0,413	0,391	0,391	-0,006	-0,007
45,9162	0,413	0,391	0,391	0,034	0,005
45,9756	0,413	0,391	0,391	0,023	-0,007
46,035	0,413	0,391	0,391	0,024	-0,005
46,0944	0,413	0,391	0,391	0,016	-0,01
46,1538	0,413	0,391	0,391	-0,02	-0,027

46,2132	0,413	0,391	0,391	-0,029	-0,066
46,2726	0,413	0,391	0,391	0,15	0,11
46,332	0,413	0,391	0,391	0,364	0,322
46,3914	0,413	0,391	0,391	0,384	0,378
46,4508	0,413	0,391	0,391	0,169	0,154
46,5102	0,413	0,391	0,391	-0,019	-0,046
46,5696	0,413	0,391	0,391	-0,022	-0,046
46,629	0,413	0,391	0,391	0,059	0,01
46,6884	0,413	0,391	0,391	0,025	-0,007
46,7478	0,413	0,391	0,391	0,005	-0,005
46,8072	0,413	0,391	0,391	0,01	-0,007
46,8666	0,413	0,391	0,391	0,004	-0,007
46,926	0,413	0,391	0,391	0,045	-0,007
46,9854	0,413	0,391	0,391	0,04	0,007
47,0448	0,413	0,391	0,391	0,037	-0,007
47,1042	0,413	0,391	0,391	0,032	-0,007
47,1636	0,413	0,391	0,391	0,015	-0,01
47,223	0,413	0,391	0,391	0,014	-0,005
47,2824	0,413	0,391	0,391	0,006	-0,012
47,3418	0,413	0,391	0,391	0,035	0,022
47,4012	0,413	0,391	0,391	0,054	0,027
47,4606	0,413	0,391	0,391	0,072	0,068
47,52	0,413	0,391	0,391	0,125	0,083
47,5794	0,413	0,391	0,391	0,148	0,103
47,6388	0,413	0,391	0,391	0,162	0,129
47,6982	0,413	0,391	0,391	0,145	0,139
47,7576	0,413	0,391	0,391	0,17	0,139
47,817	0,413	0,391	0,391	0,165	0,139
47,8764	0,413	0,391	0,391	0,124	0,12
47,9358	0,413	0,391	0,391	0,125	0,105
47,9952	0,413	0,391	0,391	0,102	0,083
48,0546	0,413	0,391	0,391	0,088	0,066
48,114	0,413	0,391	0,391	0,034	0,034
48,1734	0,413	0,391	0,391	0,013	-0,002
48,2328	0,413	0,391	0,391	0,006	-0,01
48,2922	0,413	0,391	0,391	0,012	-0,012
48,3516	0,413	0,391	0,391	0,033	-0,012
48,411	0,413	0,391	0,391	0,029	0,005
48,4704	0,413	0,391	0,391	-0,003	-0,015
48,5298	0,413	0,391	0,391	0,001	-0,015
48,5892	0,413	0,391	0,391	0,026	-0,012
48,6486	0,413	0,391	0,391	-0,006	-0,01
48,708	0,413	0,391	0,391	0,037	-0,015
48,7674	0,413	0,391	0,391	0,001	0
48,8268	0,413	0,391	0,391	0,019	-0,015
48,8862	0,413	0,391	0,391	0,015	-0,012
48,9456	0,413	0,391	0,391	0,011	-0,012
49,005	0,413	0,391	0,391	0,037	-0,012
49,0644	0,413	0,391	0,391	-0,008	-0,012
49,1238	0,413	0,391	0,391	0,019	0,01
49,1832	0,413	0,391	0,391	0,02	-0,012
49,2426	0,413	0,391	0,391	0,014	-0,012

49,302	0,413	0,391	0,391	0,006	-0,012
49,3614	0,413	0,391	0,391	0,013	-0,01
49,4208	0,413	0,391	0,391	0,008	-0,015
49,4802	0,413	0,391	0,391	0,03	0,002
49,5396	0,413	0,391	0,391	0,024	-0,015
49,599	0,413	0,391	0,391	0,022	-0,012
49,6584	0,413	0,391	0,391	0,034	-0,015
49,7178	0,413	0,391	0,391	0,034	0,017
49,7772	0,413	0,391	0,391	0,056	0,042
49,8366	0,413	0,391	0,391	0,086	0,076
49,896	0,413	0,391	0,391	0,079	0,059
49,9554	0,413	0,391	0,391	0,064	0,039
50,0148	0,413	0,391	0,391	0,067	0,027
50,0742	0,413	0,391	0,391	-0,006	-0,01
50,1336	0,413	0,391	0,391	0,032	-0,015
50,193	0,413	0,391	0,391	0,006	0
50,2524	0,413	0,391	0,391	0,028	-0,012
50,3118	0,413	0,391	0,391	0,014	-0,01
50,3712	0,413	0,391	0,391	-0,003	-0,012
50,4306	0,413	0,391	0,391	0,003	-0,012
50,49	0,413	0,391	0,391	0,002	-0,015
50,5494	0,413	0,391	0,391	0,056	0,007
50,6088	0,413	0,391	0,391	-0,013	-0,034
50,6682	0,413	0,391	0,391	-0,066	-0,071
50,7276	0,413	0,391	0,391	0,097	0,088
50,787	0,413	0,391	0,391	0,355	0,317
50,8464	0,413	0,391	0,391	0,372	0,369
50,9058	0,413	0,391	0,391	0,194	0,164
50,9652	0,413	0,391	0,391	-0,038	-0,056
51,0246	0,413	0,391	0,391	-0,034	-0,051
51,084	0,413	0,391	0,391	0,031	-0,017
51,1434	0,413	0,391	0,391	-0,017	-0,017
51,2028	0,413	0,391	0,391	0,022	-0,02
51,2622	0,413	0,391	0,391	0,03	-0,002
51,3216	0,413	0,391	0,391	-0,001	-0,02
51,381	0,413	0,391	0,391	0,002	-0,02
51,4404	0,413	0,391	0,391	0,016	-0,02
51,4998	0,413	0,391	0,391	0,006	-0,017
51,5592	0,413	0,391	0,391	-0,007	-0,017
51,6186	0,413	0,391	0,391	0,022	0
51,678	0,413	0,391	0,391	-0,007	-0,017
51,7374	0,413	0,391	0,391	-0,008	-0,015
51,7968	0,413	0,391	0,391	0,012	0,002
51,8562	0,413	0,391	0,391	0,032	0,02
51,9156	0,413	0,391	0,391	0,1	0,056
51,975	0,413	0,391	0,391	0,123	0,095
52,0344	0,413	0,391	0,391	0,123	0,095
52,0938	0,413	0,391	0,391	0,141	0,122
52,1532	0,413	0,391	0,391	0,121	0,115
52,2126	0,413	0,391	0,391	0,159	0,137
52,272	0,413	0,391	0,391	0,155	0,134
52,3314	0,413	0,391	0,391	0,174	0,132

52,3908	0,413	0,391	0,391	0,112	0,095
52,4502	0,413	0,391	0,391	0,105	0,078
52,5096	0,413	0,391	0,391	0,074	0,042
52,569	0,413	0,391	0,391	0,027	0,024
52,6284	0,413	0,391	0,391	-0,012	-0,015
52,6878	0,413	0,391	0,391	0,04	0,005
52,7472	0,413	0,391	0,391	-0,007	-0,02
52,8066	0,413	0,391	0,391	0,01	-0,02
52,866	0,413	0,391	0,391	-0,013	-0,022
52,9254	0,413	0,391	0,391	-0,009	-0,02
52,9848	0,413	0,391	0,391	-0,019	-0,022
53,0442	0,413	0,391	0,391	0,038	-0,005
53,1036	0,413	0,391	0,391	-0,016	-0,02
53,163	0,413	0,391	0,391	0,032	-0,017
53,2224	0,413	0,391	0,391	0,015	-0,02
53,2818	0,413	0,391	0,391	0,023	-0,022
53,3412	0,413	0,391	0,391	-0,001	-0,02
53,4006	0,413	0,391	0,391	0,001	0
53,46	0,391	0,378	0,38	0,002	-0,02
53,5194	0,391	0,378	0,38	-0,007	-0,02
53,5788	0,391	0,378	0,38	0,01	-0,02
53,6382	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,017
53,6976	0,391	0,378	0,38	0,027	-0,02
53,757	0,391	0,378	0,38	0,001	-0,002
53,8164	0,391	0,378	0,38	0,017	-0,02
53,8758	0,391	0,378	0,38	0,003	-0,017
53,9352	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,02
53,9946	0,391	0,378	0,38	-0,011	-0,022
54,054	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,022
54,1134	0,391	0,378	0,38	0,032	-0,002
54,1728	0,391	0,378	0,38	0,017	0,012
54,2322	0,391	0,378	0,38	0,038	0,034
54,2916	0,391	0,378	0,38	0,073	0,054
54,351	0,391	0,378	0,38	0,096	0,054
54,4104	0,391	0,378	0,38	0,062	0,034
54,4698	0,391	0,378	0,38	0,059	0,037
54,5292	0,391	0,378	0,38	0,017	-0,017
54,5886	0,391	0,378	0,38	0,013	-0,02
54,648	0,391	0,378	0,38	-0,014	-0,02
54,7074	0,391	0,378	0,38	0,015	-0,02
54,7668	0,391	0,378	0,38	0,003	-0,022
54,8262	0,391	0,378	0,38	0,01	-0,002
54,8856	0,391	0,378	0,38	0,021	-0,02
54,945	0,391	0,378	0,38	-0,015	-0,02
55,0044	0,391	0,378	0,38	0,007	-0,02
55,0638	0,391	0,378	0,38	-0,006	-0,037
55,1232	0,391	0,378	0,38	-0,061	-0,078
55,1826	0,391	0,378	0,38	0,145	0,098
55,242	0,391	0,378	0,38	0,356	0,31
55,3014	0,391	0,378	0,38	0,379	0,364
55,3608	0,391	0,378	0,38	0,18	0,134
55,4202	0,391	0,378	0,38	-0,058	-0,066

55,4796	0,391	0,378	0,38	-0,038	-0,063
55,539	0,391	0,378	0,38	0,031	-0,002
55,5984	0,391	0,378	0,38	0	-0,022
55,6578	0,391	0,378	0,38	0,019	-0,022
55,7172	0,391	0,378	0,38	0,008	-0,022
55,7766	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,02
55,836	0,391	0,378	0,38	0,002	-0,022
55,8954	0,391	0,378	0,38	0,012	-0,007
55,9548	0,391	0,378	0,38	0,011	-0,02
56,0142	0,391	0,378	0,38	0,01	-0,02
56,0736	0,391	0,378	0,38	0,001	-0,022
56,133	0,391	0,378	0,38	-0,002	-0,02
56,1924	0,391	0,378	0,38	0,008	-0,022
56,2518	0,391	0,378	0,38	0,047	0,015
56,3112	0,391	0,378	0,38	0,061	0,012
56,3706	0,391	0,378	0,38	0,094	0,051
56,43	0,391	0,378	0,38	0,089	0,071
56,4894	0,391	0,378	0,38	0,106	0,09
56,5488	0,391	0,378	0,38	0,132	0,112
56,6082	0,391	0,378	0,38	0,147	0,122
56,6676	0,391	0,378	0,38	0,134	0,127
56,727	0,391	0,378	0,38	0,169	0,129
56,7864	0,391	0,378	0,38	0,143	0,107
56,8458	0,391	0,378	0,38	0,119	0,085
56,9052	0,391	0,378	0,38	0,072	0,068
56,9646	0,391	0,378	0,38	0,078	0,054
57,024	0,391	0,378	0,38	0,026	0,015
57,0834	0,391	0,378	0,38	0,004	-0,022
57,1428	0,391	0,378	0,38	0,012	-0,024
57,2022	0,391	0,378	0,38	-0,019	-0,022
57,2616	0,391	0,378	0,38	0,01	-0,024
57,321	0,391	0,378	0,38	0,033	-0,01
57,3804	0,391	0,378	0,38	-0,017	-0,022
57,4398	0,391	0,378	0,38	0,008	-0,022
57,4992	0,391	0,378	0,38	0,021	-0,022
57,5586	0,391	0,378	0,38	0,024	-0,022
57,618	0,391	0,378	0,38	-0,018	-0,024
57,6774	0,391	0,378	0,38	0,028	-0,007
57,7368	0,391	0,378	0,38	-0,02	-0,022
57,7962	0,391	0,378	0,38	-0,011	-0,022
57,8556	0,391	0,378	0,38	0,027	-0,022
57,915	0,391	0,378	0,38	-0,01	-0,02
57,9744	0,391	0,378	0,38	0,005	-0,024
58,0338	0,391	0,378	0,38	0,025	-0,005
58,0932	0,391	0,378	0,38	0,016	-0,024
58,1526	0,391	0,378	0,38	-0,014	-0,024
58,212	0,391	0,378	0,38	-0,009	-0,024
58,2714	0,391	0,378	0,38	0,007	-0,024
58,3308	0,391	0,378	0,38	-0,005	-0,024
58,3902	0,391	0,378	0,38	0	-0,01
58,4496	0,391	0,378	0,38	-0,026	-0,024
58,509	0,391	0,378	0,38	0,023	-0,027

58,5684	0,391	0,378	0,38	0,001	-0,027
58,6278	0,391	0,378	0,38	0,038	0,007
58,6872	0,391	0,378	0,38	0,059	0,029
58,7466	0,391	0,378	0,38	0,087	0,061
58,806	0,391	0,378	0,38	0,085	0,046
58,8654	0,391	0,378	0,38	0,037	0,029
58,9248	0,391	0,378	0,38	0,049	0,012
58,9842	0,391	0,378	0,38	0,024	-0,024
59,0436	0,391	0,378	0,38	0,022	-0,027
59,103	0,391	0,378	0,38	-0,008	-0,012
59,1624	0,391	0,378	0,38	-0,014	-0,027
59,2218	0,391	0,378	0,38	-0,003	-0,024
59,2812	0,391	0,378	0,38	0,02	-0,024
59,3406	0,391	0,378	0,38	0,02	-0,024
59,4	0,391	0,378	0,38	-0,019	-0,024
59,4594	0,391	0,378	0,38	-0,01	-0,012
59,5188	0,391	0,378	0,38	-0,004	-0,042
59,5782	0,391	0,378	0,38	-0,064	-0,081
59,6376	0,391	0,378	0,38	0,119	0,083
59,697	0,391	0,378	0,38	0,326	0,308
59,7564	0,391	0,378	0,38	0,399	0,359
59,8158	0,391	0,378	0,38	0,203	0,154
59,8752	0,391	0,378	0,38	-0,067	-0,073
59,9346	0,391	0,378	0,38	-0,024	-0,066
59,994	0,391	0,378	0,38	0,021	-0,024
60,0534	0,391	0,378	0,38	-0,012	-0,024
60,1128	0,391	0,378	0,38	0,018	-0,027
60,1722	0,391	0,378	0,38	0,005	-0,017
60,2316	0,391	0,378	0,38	-0,002	-0,027
60,291	0,391	0,378	0,38	0,019	-0,027
60,3504	0,391	0,378	0,38	0,013	-0,029
60,4098	0,391	0,378	0,38	-0,007	-0,027
60,4692	0,391	0,378	0,38	0,01	-0,027
60,5286	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,012
60,588	0,391	0,378	0,38	0,014	-0,024
60,6474	0,391	0,378	0,38	-0,017	-0,024
60,7068	0,391	0,378	0,38	0,024	-0,005
60,7662	0,391	0,378	0,38	0,039	0,015
60,8256	0,391	0,378	0,38	0,07	0,049
60,885	0,391	0,378	0,38	0,086	0,076
60,9444	0,391	0,378	0,38	0,113	0,088
61,0038	0,391	0,378	0,38	0,126	0,11
61,0632	0,391	0,378	0,38	0,151	0,105
61,1226	0,391	0,378	0,38	0,133	0,125
61,182	0,391	0,378	0,38	0,122	0,122
61,2414	0,391	0,378	0,38	0,146	0,115
61,3008	0,391	0,378	0,38	0,101	0,085
61,3602	0,391	0,378	0,38	0,071	0,066
61,4196	0,391	0,378	0,38	0,04	0,029
61,479	0,391	0,378	0,38	0,021	0,012
61,5384	0,391	0,378	0,38	-0,012	-0,027
61,5978	0,391	0,378	0,38	-0,009	-0,015

61,6572	0,391	0,378	0,38	0,011	-0,027
61,7166	0,391	0,378	0,38	-0,017	-0,024
61,776	0,391	0,378	0,38	0,003	-0,024
61,8354	0,391	0,378	0,38	-0,023	-0,024
61,8948	0,391	0,378	0,38	-0,003	-0,024
61,9542	0,391	0,378	0,38	0,037	-0,015
62,0136	0,391	0,378	0,38	0,002	-0,027
62,073	0,391	0,378	0,38	0,002	-0,027
62,1324	0,391	0,378	0,38	-0,008	-0,027
62,1918	0,391	0,378	0,38	0,009	-0,027
62,2512	0,391	0,378	0,38	-0,007	-0,027
62,3106	0,391	0,378	0,38	0,007	-0,02
62,37	0,404	0,364	0,365	0,01	-0,027
62,4294	0,404	0,364	0,365	-0,019	-0,027
62,4888	0,404	0,364	0,365	0,023	-0,029
62,5482	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,029
62,6076	0,404	0,364	0,365	0,013	-0,029
62,667	0,404	0,364	0,365	0,019	-0,02
62,7264	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,029
62,7858	0,404	0,364	0,365	0,019	-0,029
62,8452	0,404	0,364	0,365	-0,002	-0,029
62,9046	0,404	0,364	0,365	0,017	-0,029
62,964	0,404	0,364	0,365	-0,018	-0,029
63,0234	0,404	0,364	0,365	-0,007	-0,022
63,0828	0,404	0,364	0,365	0,011	0,005
63,1422	0,404	0,364	0,365	0,037	0,027
63,2016	0,404	0,364	0,365	0,049	0,044
63,261	0,404	0,364	0,365	0,072	0,044
63,3204	0,404	0,364	0,365	0,054	0,027
63,3798	0,404	0,364	0,365	0,058	0,024
63,4392	0,404	0,364	0,365	0,013	-0,024
63,4986	0,404	0,364	0,365	-0,021	-0,027
63,558	0,404	0,364	0,365	0,01	-0,027
63,6174	0,404	0,364	0,365	0,001	-0,024
63,6768	0,404	0,364	0,365	-0,021	-0,027
63,7362	0,404	0,364	0,365	0,018	-0,022
63,7956	0,404	0,364	0,365	-0,01	-0,027
63,855	0,404	0,364	0,365	0,001	-0,027
63,9144	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,027
63,9738	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,044
64,0332	0,404	0,364	0,365	-0,036	-0,083
64,0926	0,404	0,364	0,365	0,098	0,085
64,152	0,404	0,364	0,365	0,328	0,308
64,2114	0,404	0,364	0,365	0,363	0,356
64,2708	0,404	0,364	0,365	0,167	0,129
64,3302	0,404	0,364	0,365	-0,071	-0,078
64,3896	0,404	0,364	0,365	-0,025	-0,068
64,449	0,404	0,364	0,365	0,01	-0,02
64,5084	0,404	0,364	0,365	-0,002	-0,029
64,5678	0,404	0,364	0,365	0,009	-0,029
64,6272	0,404	0,364	0,365	0,018	-0,029
64,6866	0,404	0,364	0,365	-0,01	-0,029

64,746	0,404	0,364	0,365	-0,025	-0,029
64,8054	0,404	0,364	0,365	0,002	-0,024
64,8648	0,404	0,364	0,365	0,002	-0,029
64,9242	0,404	0,364	0,365	-0,017	-0,032
64,9836	0,404	0,364	0,365	0,014	-0,032
65,043	0,404	0,364	0,365	-0,009	-0,029
65,1024	0,404	0,364	0,365	-0,031	-0,032
65,1618	0,404	0,364	0,365	0,022	-0,007
65,2212	0,404	0,364	0,365	0,048	0,01
65,2806	0,404	0,364	0,365	0,067	0,046
65,34	0,404	0,364	0,365	0,113	0,066
65,3994	0,404	0,364	0,365	0,093	0,085
65,4588	0,404	0,364	0,365	0,15	0,105
65,5182	0,404	0,364	0,365	0,154	0,11
65,5776	0,404	0,364	0,365	0,138	0,125
65,637	0,404	0,364	0,365	0,126	0,125
65,6964	0,404	0,364	0,365	0,145	0,105
65,7558	0,404	0,364	0,365	0,123	0,085
65,8152	0,404	0,364	0,365	0,107	0,066
65,8746	0,404	0,364	0,365	0,034	0,034
65,934	0,404	0,364	0,365	0,048	0,007
65,9934	0,404	0,364	0,365	-0,002	-0,027
66,0528	0,404	0,364	0,365	0,01	-0,029
66,1122	0,404	0,364	0,365	-0,022	-0,032
66,1716	0,404	0,364	0,365	-0,024	-0,032
66,231	0,404	0,364	0,365	-0,026	-0,027
66,2904	0,404	0,364	0,365	-0,019	-0,032
66,3498	0,404	0,364	0,365	-0,014	-0,032
66,4092	0,404	0,364	0,365	0	-0,029
66,4686	0,404	0,364	0,365	0,014	-0,029
66,528	0,404	0,364	0,365	-0,012	-0,029
66,5874	0,404	0,364	0,365	0,013	-0,024
66,6468	0,404	0,364	0,365	0	-0,029
66,7062	0,404	0,364	0,365	0,005	-0,029
66,7656	0,404	0,364	0,365	-0,018	-0,029
66,825	0,404	0,364	0,365	0,023	-0,027
66,8844	0,404	0,364	0,365	-0,022	-0,027
66,9438	0,404	0,364	0,365	0,001	-0,02
67,0032	0,404	0,364	0,365	-0,014	-0,029
67,0626	0,404	0,364	0,365	0,016	-0,029
67,122	0,404	0,364	0,365	-0,031	-0,029
67,1814	0,404	0,364	0,365	-0,014	-0,029
67,2408	0,404	0,364	0,365	0,001	-0,032
67,3002	0,404	0,364	0,365	-0,016	-0,027
67,3596	0,404	0,364	0,365	0,005	-0,032
67,419	0,404	0,364	0,365	-0,003	-0,032
67,4784	0,404	0,364	0,365	-0,013	-0,032
67,5378	0,404	0,364	0,365	0,033	0,005
67,5972	0,404	0,364	0,365	0,033	0,024
67,6566	0,404	0,364	0,365	0,066	0,049
67,716	0,404	0,364	0,365	0,068	0,046
67,7754	0,404	0,364	0,365	0,026	0,027

67,8348	0,404	0,364	0,365	0,007	0,01
67,8942	0,404	0,364	0,365	0,003	-0,027
67,9536	0,404	0,364	0,365	-0,014	-0,029
68,013	0,404	0,364	0,365	-0,01	-0,027
68,0724	0,404	0,364	0,365	0,016	-0,027
68,1318	0,404	0,364	0,365	-0,001	-0,027
68,1912	0,404	0,364	0,365	0,012	-0,029
68,2506	0,404	0,364	0,365	-0,002	-0,027
68,31	0,404	0,364	0,365	-0,019	-0,029
68,3694	0,404	0,364	0,365	-0,01	-0,022
68,4288	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,049
68,4882	0,404	0,364	0,365	-0,046	-0,088
68,5476	0,404	0,364	0,365	0,086	0,076
68,607	0,404	0,364	0,365	0,326	0,303
68,6664	0,404	0,364	0,365	0,398	0,354
68,7258	0,404	0,364	0,365	0,136	0,132
68,7852	0,404	0,364	0,365	-0,059	-0,083
68,8446	0,404	0,364	0,365	-0,058	-0,068
68,904	0,404	0,364	0,365	-0,014	-0,029
68,9634	0,404	0,364	0,365	-0,029	-0,034
69,0228	0,404	0,364	0,365	-0,018	-0,034
69,0822	0,404	0,364	0,365	0,016	-0,029
69,1416	0,404	0,364	0,365	-0,027	-0,034
69,201	0,404	0,364	0,365	0,003	-0,032
69,2604	0,404	0,364	0,365	-0,018	-0,032
69,3198	0,404	0,364	0,365	-0,02	-0,029
69,3792	0,404	0,364	0,365	0,008	-0,032
69,4386	0,404	0,364	0,365	-0,002	-0,029
69,498	0,404	0,364	0,365	0,013	-0,032
69,5574	0,404	0,364	0,365	-0,023	-0,032
69,6168	0,404	0,364	0,365	0,02	-0,012
69,6762	0,404	0,364	0,365	0,021	0,007
69,7356	0,404	0,364	0,365	0,052	0,044
69,795	0,404	0,364	0,365	0,093	0,068
69,8544	0,404	0,364	0,365	0,102	0,085
69,9138	0,404	0,364	0,365	0,114	0,103
69,9732	0,404	0,364	0,365	0,109	0,103
70,0326	0,404	0,364	0,365	0,164	0,122
70,092	0,404	0,364	0,365	0,168	0,122
70,1514	0,404	0,364	0,365	0,112	0,105
70,2108	0,404	0,364	0,365	0,113	0,083
70,2702	0,404	0,364	0,365	0,104	0,066
70,3296	0,404	0,364	0,365	0,069	0,029
70,389	0,404	0,364	0,365	0,038	0,007
70,4484	0,404	0,364	0,365	-0,011	-0,027
70,5078	0,404	0,364	0,365	0,021	-0,022
70,5672	0,404	0,364	0,365	-0,011	-0,029
70,6266	0,404	0,364	0,365	-0,007	-0,029
70,686	0,404	0,364	0,365	-0,029	-0,029
70,7454	0,404	0,364	0,365	0,016	-0,032
70,8048	0,404	0,364	0,365	-0,015	-0,032
70,8642	0,404	0,364	0,365	0,003	-0,029

70,9236	0,404	0,364	0,365	0,005	-0,032
70,983	0,404	0,364	0,365	-0,025	-0,029
71,0424	0,404	0,364	0,365	-0,005	-0,032
71,1018	0,404	0,364	0,365	-0,023	-0,032
71,1612	0,404	0,364	0,365	-0,006	-0,032
71,2206	0,404	0,364	0,365	0,01	-0,029
71,28	0,404	0,356	0,358	-0,011	-0,032
71,3394	0,404	0,356	0,358	-0,025	-0,034
71,3988	0,404	0,356	0,358	0,008	-0,034
71,4582	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,032
71,5176	0,404	0,356	0,358	-0,021	-0,032
71,577	0,404	0,356	0,358	-0,013	-0,029
71,6364	0,404	0,356	0,358	-0,01	-0,029
71,6958	0,404	0,356	0,358	-0,018	-0,029
71,7552	0,404	0,356	0,358	-0,013	-0,029
71,8146	0,404	0,356	0,358	0	-0,029
71,874	0,404	0,356	0,358	-0,004	-0,029
71,9334	0,404	0,356	0,358	0,024	-0,027
71,9928	0,404	0,356	0,358	0,018	0,005
72,0522	0,404	0,356	0,358	0,065	0,027
72,1116	0,404	0,356	0,358	0,067	0,046
72,171	0,404	0,356	0,358	0,094	0,046
72,2304	0,404	0,356	0,358	0,048	0,027
72,2898	0,404	0,356	0,358	0,028	0,007
72,3492	0,404	0,356	0,358	0,001	-0,029
72,4086	0,404	0,356	0,358	-0,012	-0,032
72,468	0,404	0,356	0,358	0,01	-0,032
72,5274	0,404	0,356	0,358	-0,007	-0,034
72,5868	0,404	0,356	0,358	-0,013	-0,034
72,6462	0,404	0,356	0,358	-0,012	-0,032
72,7056	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,032
72,765	0,404	0,356	0,358	0,005	-0,032
72,8244	0,404	0,356	0,358	0,003	-0,032
72,8838	0,404	0,356	0,358	-0,011	-0,049
72,9432	0,404	0,356	0,358	-0,038	-0,088
73,0026	0,404	0,356	0,358	0,104	0,078
73,062	0,404	0,356	0,358	0,339	0,305
73,1214	0,404	0,356	0,358	0,374	0,354
73,1808	0,404	0,356	0,358	0,153	0,127
73,2402	0,404	0,356	0,358	-0,035	-0,081
73,2996	0,404	0,356	0,358	-0,02	-0,068
73,359	0,404	0,356	0,358	0,015	-0,024
73,4184	0,404	0,356	0,358	-0,013	-0,029
73,4778	0,404	0,356	0,358	0,005	-0,029
73,5372	0,404	0,356	0,358	-0,004	-0,029
73,5966	0,404	0,356	0,358	0,007	-0,032
73,656	0,404	0,356	0,358	-0,017	-0,032
73,7154	0,404	0,356	0,358	0,004	-0,032
73,7748	0,404	0,356	0,358	-0,006	-0,032
73,8342	0,404	0,356	0,358	-0,032	-0,032
73,8936	0,404	0,356	0,358	0,009	-0,032
73,953	0,404	0,356	0,358	-0,001	-0,032

74,0124	0,404	0,356	0,358	0,007	-0,032
74,0718	0,404	0,356	0,358	-0,011	-0,012
74,1312	0,404	0,356	0,358	0,021	0,005
74,1906	0,404	0,356	0,358	0,047	0,042
74,25	0,404	0,356	0,358	0,074	0,061
74,3094	0,404	0,356	0,358	0,085	0,078
74,3688	0,404	0,356	0,358	0,12	0,098
74,4282	0,404	0,356	0,358	0,134	0,1
74,4876	0,404	0,356	0,358	0,122	0,12
74,547	0,404	0,356	0,358	0,126	0,12
74,6064	0,404	0,356	0,358	0,131	0,103
74,6658	0,404	0,356	0,358	0,085	0,083
74,7252	0,404	0,356	0,358	0,103	0,063
74,7846	0,404	0,356	0,358	0,058	0,029
74,844	0,404	0,356	0,358	0,027	0,007
74,9034	0,404	0,356	0,358	0,022	-0,027
74,9628	0,404	0,356	0,358	-0,02	-0,029
75,0222	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,029
75,0816	0,404	0,356	0,358	0,013	-0,029
75,141	0,404	0,356	0,358	-0,026	-0,029
75,2004	0,404	0,356	0,358	-0,006	-0,029
75,2598	0,404	0,356	0,358	-0,019	-0,032
75,3192	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,029
75,3786	0,404	0,356	0,358	-0,011	-0,032
75,438	0,404	0,356	0,358	0,013	-0,029
75,4974	0,404	0,356	0,358	0,016	-0,029
75,5568	0,404	0,356	0,358	-0,025	-0,032
75,6162	0,404	0,356	0,358	-0,013	-0,029
75,6756	0,404	0,356	0,358	0,015	-0,029
75,735	0,404	0,356	0,358	0,018	-0,032
75,7944	0,404	0,356	0,358	-0,002	-0,032
75,8538	0,404	0,356	0,358	0,011	-0,029
75,9132	0,404	0,356	0,358	0,016	-0,032
75,9726	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,034
76,032	0,404	0,356	0,358	-0,026	-0,032
76,0914	0,404	0,356	0,358	-0,006	-0,034
76,1508	0,404	0,356	0,358	0,009	-0,034
76,2102	0,404	0,356	0,358	0,002	-0,032
76,2696	0,404	0,356	0,358	0,005	-0,034
76,329	0,404	0,356	0,358	-0,018	-0,032
76,3884	0,404	0,356	0,358	-0,008	-0,032
76,4478	0,404	0,356	0,358	-0,001	0,002
76,5072	0,404	0,356	0,358	0,043	0,022
76,5666	0,404	0,356	0,358	0,077	0,039
76,626	0,404	0,356	0,358	0,072	0,042
76,6854	0,404	0,356	0,358	0,058	0,022
76,7448	0,404	0,356	0,358	0,012	0,002
76,8042	0,404	0,356	0,358	0,021	-0,032
76,8636	0,404	0,356	0,358	0,016	-0,034
76,923	0,404	0,356	0,358	-0,022	-0,032
76,9824	0,404	0,356	0,358	-0,021	-0,032
77,0418	0,404	0,356	0,358	-0,023	-0,032

77,1012	0,404	0,356	0,358	0,023	-0,029
77,1606	0,404	0,356	0,358	-0,019	-0,032
77,22	0,404	0,356	0,358	-0,012	-0,032
77,2794	0,404	0,356	0,358	0,014	-0,032
77,3388	0,404	0,356	0,358	-0,042	-0,049
77,3982	0,404	0,356	0,358	-0,06	-0,085
77,4576	0,404	0,356	0,358	0,12	0,081
77,517	0,404	0,356	0,358	0,359	0,308
77,5764	0,404	0,356	0,358	0,362	0,354
77,6358	0,404	0,356	0,358	0,146	0,127
77,6952	0,404	0,356	0,358	-0,036	-0,085
77,7546	0,404	0,356	0,358	-0,045	-0,068
77,814	0,404	0,356	0,358	-0,005	-0,032
77,8734	0,404	0,356	0,358	-0,015	-0,032
77,9328	0,404	0,356	0,358	-0,01	-0,032
77,9922	0,404	0,356	0,358	-0,001	-0,032
78,0516	0,404	0,356	0,358	0,007	-0,032
78,111	0,404	0,356	0,358	0,017	-0,032
78,1704	0,404	0,356	0,358	0,01	-0,032
78,2298	0,404	0,356	0,358	0,006	-0,032
78,2892	0,404	0,356	0,358	-0,031	-0,034
78,3486	0,404	0,356	0,358	-0,026	-0,034
78,408	0,404	0,356	0,358	0	-0,032
78,4674	0,404	0,356	0,358	-0,004	-0,032
78,5268	0,404	0,356	0,358	0,001	-0,012
78,5862	0,404	0,356	0,358	0,045	0,007
78,6456	0,404	0,356	0,358	0,056	0,046
78,705	0,404	0,356	0,358	0,104	0,063
78,7644	0,404	0,356	0,358	0,123	0,085
78,8238	0,404	0,356	0,358	0,128	0,103
78,8832	0,404	0,356	0,358	0,141	0,103
78,9426	0,404	0,356	0,358	0,146	0,12
79,002	0,404	0,356	0,358	0,168	0,122
79,0614	0,404	0,356	0,358	0,131	0,103
79,1208	0,404	0,356	0,358	0,092	0,083
79,1802	0,404	0,356	0,358	0,113	0,063
79,2396	0,404	0,356	0,358	0,043	0,027
79,299	0,404	0,356	0,358	0,034	0,005
79,3584	0,404	0,356	0,358	-0,025	-0,029
79,4178	0,404	0,356	0,358	-0,007	-0,034
79,4772	0,404	0,356	0,358	-0,02	-0,034
79,5366	0,404	0,356	0,358	-0,018	-0,034
79,596	0,404	0,356	0,358	0,009	-0,034
79,6554	0,404	0,356	0,358	-0,035	-0,034
79,7148	0,404	0,356	0,358	-0,017	-0,034
79,7742	0,404	0,356	0,358	-0,007	-0,032
79,8336	0,404	0,356	0,358	0,002	-0,032
79,893	0,404	0,356	0,358	0,018	-0,032
79,9524	0,404	0,356	0,358	0,001	-0,032
80,0118	0,404	0,356	0,358	-0,011	-0,032
80,0712	0,404	0,356	0,358	0,004	-0,032
80,1306	0,404	0,356	0,358	0,009	-0,032

80,19	0,384	0,354	0,355	-0,012	-0,032
80,2494	0,384	0,354	0,355	-0,007	-0,032
80,3088	0,384	0,354	0,355	-0,012	-0,029
80,3682	0,384	0,354	0,355	-0,029	-0,029
80,4276	0,384	0,354	0,355	0,012	-0,029
80,487	0,384	0,354	0,355	-0,018	-0,029
80,5464	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,029
80,6058	0,384	0,354	0,355	0,006	-0,032
80,6652	0,384	0,354	0,355	-0,025	-0,029
80,7246	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,032
80,784	0,384	0,354	0,355	-0,008	-0,032
80,8434	0,384	0,354	0,355	0,016	-0,032
80,9028	0,384	0,354	0,355	0,015	0,005
80,9622	0,384	0,354	0,355	0,062	0,024
81,0216	0,384	0,354	0,355	0,045	0,044
81,081	0,384	0,354	0,355	0,043	0,044
81,1404	0,384	0,354	0,355	0,069	0,024
81,1998	0,384	0,354	0,355	0,026	0,005
81,2592	0,384	0,354	0,355	-0,027	-0,032
81,3186	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,034
81,378	0,384	0,354	0,355	-0,016	-0,032
81,4374	0,384	0,354	0,355	0,012	-0,034
81,4968	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,032
81,5562	0,384	0,354	0,355	-0,031	-0,032
81,6156	0,384	0,354	0,355	-0,025	-0,034
81,675	0,384	0,354	0,355	-0,008	-0,034
81,7344	0,384	0,354	0,355	-0,012	-0,034
81,7938	0,384	0,354	0,355	-0,049	-0,054
81,8532	0,384	0,354	0,355	-0,061	-0,093
81,9126	0,384	0,354	0,355	0,088	0,073
81,972	0,384	0,354	0,355	0,332	0,303
82,0314	0,384	0,354	0,355	0,366	0,349
82,0908	0,384	0,354	0,355	0,169	0,122
82,1502	0,384	0,354	0,355	-0,05	-0,085
82,2096	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,071
82,269	0,384	0,354	0,355	-0,004	-0,034
82,3284	0,384	0,354	0,355	-0,028	-0,032
82,3878	0,384	0,354	0,355	-0,017	-0,034
82,4472	0,384	0,354	0,355	0,005	-0,032
82,5066	0,384	0,354	0,355	-0,005	-0,032
82,566	0,384	0,354	0,355	-0,027	-0,032
82,6254	0,384	0,354	0,355	-0,026	-0,032
82,6848	0,384	0,354	0,355	0	-0,032
82,7442	0,384	0,354	0,355	0,01	-0,029
82,8036	0,384	0,354	0,355	-0,023	-0,029
82,863	0,384	0,354	0,355	-0,012	-0,029
82,9224	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,029
82,9818	0,384	0,354	0,355	-0,005	-0,012
83,0412	0,384	0,354	0,355	0,021	0,007
83,1006	0,384	0,354	0,355	0,073	0,046
83,16	0,384	0,354	0,355	0,093	0,063
83,2194	0,384	0,354	0,355	0,091	0,083

83,2788	0,384	0,354	0,355	0,121	0,103
83,3382	0,384	0,354	0,355	0,134	0,1
83,3976	0,384	0,354	0,355	0,144	0,122
83,457	0,384	0,354	0,355	0,153	0,122
83,5164	0,384	0,354	0,355	0,117	0,1
83,5758	0,384	0,354	0,355	0,094	0,081
83,6352	0,384	0,354	0,355	0,097	0,061
83,6946	0,384	0,354	0,355	0,07	0,024
83,754	0,384	0,354	0,355	0,023	0,002
83,8134	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,032
83,8728	0,384	0,354	0,355	-0,023	-0,032
83,9322	0,384	0,354	0,355	0,003	-0,032
83,9916	0,384	0,354	0,355	-0,017	-0,034
84,051	0,384	0,354	0,355	0,009	-0,034
84,1104	0,384	0,354	0,355	0,002	-0,032
84,1698	0,384	0,354	0,355	0,011	-0,032
84,2292	0,384	0,354	0,355	0	-0,032
84,2886	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,032
84,348	0,384	0,354	0,355	0,013	-0,029
84,4074	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,032
84,4668	0,384	0,354	0,355	-0,013	-0,029
84,5262	0,384	0,354	0,355	-0,014	-0,029
84,5856	0,384	0,354	0,355	-0,015	-0,029
84,645	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,029
84,7044	0,384	0,354	0,355	0,008	-0,029
84,7638	0,384	0,354	0,355	-0,033	-0,032
84,8232	0,384	0,354	0,355	-0,028	-0,029
84,8826	0,384	0,354	0,355	0,003	-0,032
84,942	0,384	0,354	0,355	-0,016	-0,032
85,0014	0,384	0,354	0,355	-0,022	-0,032
85,0608	0,384	0,354	0,355	-0,019	-0,032
85,1202	0,384	0,354	0,355	0,004	-0,032
85,1796	0,384	0,354	0,355	-0,028	-0,032
85,239	0,384	0,354	0,355	-0,021	-0,032
85,2984	0,384	0,354	0,355	-0,003	-0,032
85,3578	0,384	0,354	0,355	0,025	0,002
85,4172	0,384	0,354	0,355	0,055	0,022
85,4766	0,384	0,354	0,355	0,083	0,042
85,536	0,384	0,354	0,355	0,055	0,042
85,5954	0,384	0,354	0,355	0,068	0,022
85,6548	0,384	0,354	0,355	0,043	0,002
85,7142	0,384	0,354	0,355	-0,026	-0,029
85,7736	0,384	0,354	0,355	-0,016	-0,032
85,833	0,384	0,354	0,355	-0,031	-0,034
85,8924	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,032
85,9518	0,384	0,354	0,355	-0,011	-0,032
86,0112	0,384	0,354	0,355	-0,024	-0,032
86,0706	0,384	0,354	0,355	0,012	-0,032
86,13	0,384	0,354	0,355	-0,02	-0,032
86,1894	0,384	0,354	0,355	-0,013	-0,032
86,2488	0,384	0,354	0,355	-0,019	-0,049
86,3082	0,384	0,354	0,355	-0,07	-0,088

86,3676	0,384	0,354	0,355	0,093	0,081
86,427	0,384	0,354	0,355	0,325	0,308
86,4864	0,384	0,354	0,355	0,392	0,354
86,5458	0,384	0,354	0,355	0,134	0,122
86,6052	0,384	0,354	0,355	-0,043	-0,085
86,6646	0,384	0,354	0,355	-0,027	-0,068
86,724	0,384	0,354	0,355	0,012	-0,029
86,7834	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,029
86,8428	0,384	0,354	0,355	-0,015	-0,029
86,9022	0,384	0,354	0,355	-0,02	-0,032
86,9616	0,384	0,354	0,355	0,014	-0,029
87,021	0,384	0,354	0,355	0,001	-0,029
87,0804	0,384	0,354	0,355	0,013	-0,029
87,1398	0,384	0,354	0,355	0,004	-0,032
87,1992	0,384	0,354	0,355	-0,001	-0,032
87,2586	0,384	0,354	0,355	-0,027	-0,032
87,318	0,384	0,354	0,355	-0,011	-0,032
87,3774	0,384	0,354	0,355	-0,015	-0,032
87,4368	0,384	0,354	0,355	-0,012	-0,01
87,4962	0,384	0,354	0,355	0,04	0,007
87,5556	0,384	0,354	0,355	0,047	0,044
87,615	0,384	0,354	0,355	0,078	0,061
87,6744	0,384	0,354	0,355	0,128	0,081
87,7338	0,384	0,354	0,355	0,136	0,098
87,7932	0,384	0,354	0,355	0,136	0,1
87,8526	0,384	0,354	0,355	0,168	0,12
87,912	0,384	0,354	0,355	0,153	0,12
87,9714	0,384	0,354	0,355	0,108	0,098
88,0308	0,384	0,354	0,355	0,09	0,081
88,0902	0,384	0,354	0,355	0,083	0,061
88,1496	0,384	0,354	0,355	0,071	0,027
88,209	0,384	0,354	0,355	0,019	0,005
88,2684	0,384	0,354	0,355	-0,03	-0,032
88,3278	0,384	0,354	0,355	-0,027	-0,037
88,3872	0,384	0,354	0,355	0,003	-0,034
88,4466	0,384	0,354	0,355	-0,029	-0,032
88,506	0,384	0,354	0,355	0,015	-0,032
88,5654	0,384	0,354	0,355	-0,023	-0,034
88,6248	0,384	0,354	0,355	-0,009	-0,032
88,6842	0,384	0,354	0,355	0,015	-0,034
88,7436	0,384	0,354	0,355	-0,031	-0,034
88,803	0,384	0,354	0,355	0,003	-0,032
88,8624	0,384	0,354	0,355	0,007	-0,032
88,9218	0,384	0,354	0,355	-0,022	-0,032
88,9812	0,384	0,354	0,355	-0,018	-0,032
89,0406	0,384	0,354	0,355	-0,019	-0,034
89,1	0,398	0,354	0,355	0,001	-0,032
89,1594	0,398	0,354	0,355	0,019	-0,029
89,2188	0,398	0,354	0,355	0,003	-0,029
89,2782	0,398	0,354	0,355	-0,004	-0,029
89,3376	0,398	0,354	0,355	-0,021	-0,029
89,397	0,398	0,354	0,355	0,013	-0,029

89,4564	0,398	0,354	0,355	0,001	-0,027
89,5158	0,398	0,354	0,355	-0,003	-0,029
89,5752	0,398	0,354	0,355	0,018	-0,029
89,6346	0,398	0,354	0,355	0,022	-0,029
89,694	0,398	0,354	0,355	-0,008	-0,032
89,7534	0,398	0,354	0,355	-0,019	-0,032
89,8128	0,398	0,354	0,355	0,032	0,005
89,8722	0,398	0,354	0,355	0,052	0,027
89,9316	0,398	0,354	0,355	0,053	0,044
89,991	0,398	0,354	0,355	0,079	0,044
90,0504	0,398	0,354	0,355	0,071	0,024
90,1098	0,398	0,354	0,355	0,04	0,002
90,1692	0,398	0,354	0,355	-0,009	-0,032
90,2286	0,398	0,354	0,355	0,014	-0,032
90,288	0,398	0,354	0,355	-0,032	-0,034
90,3474	0,398	0,354	0,355	-0,037	-0,034
90,4068	0,398	0,354	0,355	-0,024	-0,032
90,4662	0,398	0,354	0,355	0,015	-0,034
90,5256	0,398	0,354	0,355	0,013	-0,032
90,585	0,398	0,354	0,355	0,011	-0,029
90,6444	0,398	0,354	0,355	-0,027	-0,029
90,7038	0,398	0,354	0,355	-0,016	-0,051
90,7632	0,398	0,354	0,355	-0,042	-0,088
90,8226	0,398	0,354	0,355	0,107	0,078
90,882	0,398	0,354	0,355	0,336	0,31
90,9414	0,398	0,354	0,355	0,392	0,354
91,0008	0,398	0,354	0,355	0,17	0,127
91,0602	0,398	0,354	0,355	-0,045	-0,083
91,1196	0,398	0,354	0,355	-0,025	-0,066
91,179	0,398	0,354	0,355	-0,019	-0,032
91,2384	0,398	0,354	0,355	-0,024	-0,029
91,2978	0,398	0,354	0,355	0,005	-0,029
91,3572	0,398	0,354	0,355	-0,02	-0,032
91,4166	0,398	0,354	0,355	-0,032	-0,032
91,476	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,032
91,5354	0,398	0,354	0,355	-0,033	-0,034
91,5948	0,398	0,354	0,355	-0,026	-0,032
91,6542	0,398	0,354	0,355	0,013	-0,032
91,7136	0,398	0,354	0,355	-0,002	-0,032
91,773	0,398	0,354	0,355	0	-0,032
91,8324	0,398	0,354	0,355	-0,017	-0,032
91,8918	0,398	0,354	0,355	-0,002	-0,017
91,9512	0,398	0,354	0,355	0,018	0,005
92,0106	0,398	0,354	0,355	0,082	0,042
92,07	0,398	0,354	0,355	0,106	0,061
92,1294	0,398	0,354	0,355	0,121	0,078
92,1888	0,398	0,354	0,355	0,103	0,098
92,2482	0,398	0,354	0,355	0,138	0,098
92,3076	0,398	0,354	0,355	0,129	0,12
92,367	0,398	0,354	0,355	0,124	0,12
92,4264	0,398	0,354	0,355	0,121	0,103
92,4858	0,398	0,354	0,355	0,094	0,083

92,5452	0,398	0,354	0,355	0,072	0,063
92,6046	0,398	0,354	0,355	0,042	0,024
92,664	0,398	0,354	0,355	0,059	0,007
92,7234	0,398	0,354	0,355	0,003	-0,029
92,7828	0,398	0,354	0,355	0,012	-0,029
92,8422	0,398	0,354	0,355	-0,025	-0,029
92,9016	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,029
92,961	0,398	0,354	0,355	-0,001	-0,032
93,0204	0,398	0,354	0,355	0,012	-0,029
93,0798	0,398	0,354	0,355	-0,002	-0,029
93,1392	0,398	0,354	0,355	-0,016	-0,029
93,1986	0,398	0,354	0,355	0,012	-0,032
93,258	0,398	0,354	0,355	0,006	-0,029
93,3174	0,398	0,354	0,355	-0,016	-0,032
93,3768	0,398	0,354	0,355	0	-0,029
93,4362	0,398	0,354	0,355	0,002	-0,029
93,4956	0,398	0,354	0,355	-0,001	-0,027
93,555	0,398	0,354	0,355	0,009	-0,029
93,6144	0,398	0,354	0,355	0,01	-0,029
93,6738	0,398	0,354	0,355	0,004	-0,032
93,7332	0,398	0,354	0,355	-0,019	-0,029
93,7926	0,398	0,354	0,355	0,001	-0,032
93,852	0,398	0,354	0,355	-0,001	-0,032
93,9114	0,398	0,354	0,355	0,01	-0,032
93,9708	0,398	0,354	0,355	0,014	-0,032
94,0302	0,398	0,354	0,355	-0,006	-0,034
94,0896	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,032
94,149	0,398	0,354	0,355	-0,011	-0,032
94,2084	0,398	0,354	0,355	0,011	-0,032
94,2678	0,398	0,354	0,355	0,013	0,002
94,3272	0,398	0,354	0,355	0,052	0,024
94,3866	0,398	0,354	0,355	0,065	0,039
94,446	0,398	0,354	0,355	0,058	0,044
94,5054	0,398	0,354	0,355	0,041	0,022
94,5648	0,398	0,354	0,355	0,015	0,005
94,6242	0,398	0,354	0,355	-0,012	-0,032
94,6836	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,032
94,743	0,398	0,354	0,355	0,009	-0,034
94,8024	0,398	0,354	0,355	-0,007	-0,032
94,8618	0,398	0,354	0,355	-0,03	-0,032
94,9212	0,398	0,354	0,355	-0,027	-0,032
94,9806	0,398	0,354	0,355	-0,003	-0,034
95,04	0,398	0,354	0,355	-0,026	-0,032
95,0994	0,398	0,354	0,355	0,005	-0,037
95,1588	0,398	0,354	0,355	-0,043	-0,049
95,2182	0,398	0,354	0,355	-0,059	-0,088
95,2776	0,398	0,354	0,355	0,123	0,081
95,337	0,398	0,354	0,355	0,332	0,31
95,3964	0,398	0,354	0,355	0,383	0,354
95,4558	0,398	0,354	0,355	0,153	0,12
95,5152	0,398	0,354	0,355	-0,041	-0,085
95,5746	0,398	0,354	0,355	-0,04	-0,068

95,634	0,398	0,354	0,355	0,013	-0,029
95,6934	0,398	0,354	0,355	0,006	-0,029
95,7528	0,398	0,354	0,355	0	-0,029
95,8122	0,398	0,354	0,355	0,007	-0,029
95,8716	0,398	0,354	0,355	-0,007	-0,029
95,931	0,398	0,354	0,355	0,003	-0,027
95,9904	0,398	0,354	0,355	0,007	-0,029
96,0498	0,398	0,354	0,355	0	-0,029
96,1092	0,398	0,354	0,355	-0,001	-0,029
96,1686	0,398	0,354	0,355	-0,008	-0,034
96,228	0,398	0,354	0,355	-0,011	-0,032
96,2874	0,398	0,354	0,355	-0,011	-0,032
96,3468	0,398	0,354	0,355	0,037	-0,012
96,4062	0,398	0,354	0,355	0,015	0,007
96,4656	0,398	0,354	0,355	0,07	0,044
96,525	0,398	0,354	0,355	0,07	0,061
96,5844	0,398	0,354	0,355	0,082	0,083
96,6438	0,398	0,354	0,355	0,141	0,098
96,7032	0,398	0,354	0,355	0,141	0,1
96,7626	0,398	0,354	0,355	0,167	0,12
96,822	0,398	0,354	0,355	0,163	0,12
96,8814	0,398	0,354	0,355	0,116	0,098
96,9408	0,398	0,354	0,355	0,092	0,083
97,0002	0,398	0,354	0,355	0,079	0,066
97,0596	0,398	0,354	0,355	0,053	0,029
97,119	0,398	0,354	0,355	0,036	0,007
97,1784	0,398	0,354	0,355	0,016	-0,027
97,2378	0,398	0,354	0,355	0,009	-0,032
97,2972	0,398	0,354	0,355	-0,003	-0,029
97,3566	0,398	0,354	0,355	-0,031	-0,029
97,416	0,398	0,354	0,355	0,019	-0,029
97,4754	0,398	0,354	0,355	-0,013	-0,029
97,5348	0,398	0,354	0,355	0,006	-0,027
97,5942	0,398	0,354	0,355	-0,027	-0,032
97,6536	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,029
97,713	0,398	0,354	0,355	-0,016	-0,029
97,7724	0,398	0,354	0,355	0,009	-0,029
97,8318	0,398	0,354	0,355	0,025	-0,029
97,8912	0,398	0,354	0,355	-0,015	-0,032
97,9506	0,398	0,354	0,355	-0,018	-0,034
98,01	0,396	0,354	0,355	0,011	-0,032
98,0694	0,396	0,354	0,355	-0,007	-0,032
98,1288	0,396	0,354	0,355	0,003	-0,032
98,1882	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,029
98,2476	0,396	0,354	0,355	0,015	-0,032
98,307	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,034
98,3664	0,396	0,354	0,355	-0,002	-0,032
98,4258	0,396	0,354	0,355	0,014	-0,032
98,4852	0,396	0,354	0,355	-0,004	-0,032
98,5446	0,396	0,354	0,355	-0,034	-0,034
98,604	0,396	0,354	0,355	0,012	-0,032
98,6634	0,396	0,354	0,355	0,01	-0,034

98,7228	0,396	0,354	0,355	0,038	0,005
98,7822	0,396	0,354	0,355	0,063	0,024
98,8416	0,396	0,354	0,355	0,046	0,044
98,901	0,396	0,354	0,355	0,061	0,044
98,9604	0,396	0,354	0,355	0,061	0,024
99,0198	0,396	0,354	0,355	0,047	0
99,0792	0,396	0,354	0,355	0	-0,032
99,1386	0,396	0,354	0,355	0,016	-0,032
99,198	0,396	0,354	0,355	0,015	-0,032
99,2574	0,396	0,354	0,355	-0,016	-0,034
99,3168	0,396	0,354	0,355	0,013	-0,032
99,3762	0,396	0,354	0,355	0,007	-0,034
99,4356	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,032
99,495	0,396	0,354	0,355	-0,013	-0,032
99,5544	0,396	0,354	0,355	0,015	-0,032
99,6138	0,396	0,354	0,355	-0,017	-0,051
99,6732	0,396	0,354	0,355	-0,074	-0,09
99,7326	0,396	0,354	0,355	0,099	0,076
99,792	0,396	0,354	0,355	0,342	0,308
99,8514	0,396	0,354	0,355	0,378	0,352
99,9108	0,396	0,354	0,355	0,159	0,125
99,9702	0,396	0,354	0,355	-0,056	-0,085
100,0296	0,396	0,354	0,355	-0,066	-0,066
100,089	0,396	0,354	0,355	-0,017	-0,034
100,1484	0,396	0,354	0,355	0,014	-0,029
100,2078	0,396	0,354	0,355	0,008	-0,029
100,2672	0,396	0,354	0,355	-0,027	-0,029
100,3266	0,396	0,354	0,355	0,002	-0,032
100,386	0,396	0,354	0,355	-0,008	-0,032
100,4454	0,396	0,354	0,355	-0,016	-0,032
100,5048	0,396	0,354	0,355	-0,024	-0,029
100,5642	0,396	0,354	0,355	-0,012	-0,029
100,6236	0,396	0,354	0,355	-0,004	-0,027
100,683	0,396	0,354	0,355	-0,021	-0,027
100,7424	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,027
100,8018	0,396	0,354	0,355	-0,009	-0,01
100,8612	0,396	0,354	0,355	0,008	0,01
100,9206	0,396	0,354	0,355	0,081	0,046
100,98	0,396	0,354	0,355	0,079	0,066
101,0394	0,396	0,354	0,355	0,09	0,085
101,0988	0,396	0,354	0,355	0,121	0,103
101,1582	0,396	0,354	0,355	0,105	0,1
101,2176	0,396	0,354	0,355	0,139	0,125
101,277	0,396	0,354	0,355	0,167	0,125
101,3364	0,396	0,354	0,355	0,127	0,105
101,3958	0,396	0,354	0,355	0,133	0,085
101,4552	0,396	0,354	0,355	0,108	0,063
101,5146	0,396	0,354	0,355	0,036	0,024
101,574	0,396	0,354	0,355	0,024	0,005
101,6334	0,396	0,354	0,355	0,013	-0,029
101,6928	0,396	0,354	0,355	-0,021	-0,032
101,7522	0,396	0,354	0,355	-0,021	-0,032

101,8116	0,396	0,354	0,355	0,005	-0,032
101,871	0,396	0,354	0,355	-0,005	-0,034
101,9304	0,396	0,354	0,355	0,011	-0,032
101,9898	0,396	0,354	0,355	-0,011	-0,032
102,0492	0,396	0,354	0,355	-0,018	-0,032
102,1086	0,396	0,354	0,355	-0,011	-0,032
102,168	0,396	0,354	0,355	-0,009	-0,032
102,2274	0,396	0,354	0,355	-0,009	-0,032
102,2868	0,396	0,354	0,355	-0,002	-0,029
102,3462	0,396	0,354	0,355	0,012	-0,029
102,4056	0,396	0,354	0,355	-0,02	-0,029
102,465	0,396	0,354	0,355	-0,024	-0,029
102,5244	0,396	0,354	0,355	-0,022	-0,027
102,5838	0,396	0,354	0,355	-0,007	-0,032
102,6432	0,396	0,354	0,355	-0,005	-0,027
102,7026	0,396	0,354	0,355	0,01	-0,029
102,762	0,396	0,354	0,355	0	-0,027
102,8214	0,396	0,354	0,355	-0,021	-0,029
102,8808	0,396	0,354	0,355	-0,02	-0,027
102,9402	0,396	0,354	0,355	0,02	-0,029
102,9996	0,396	0,354	0,355	0,012	-0,029
103,059	0,396	0,354	0,355	0,015	-0,029
103,1184	0,396	0,354	0,355	0,008	-0,029
103,1778	0,396	0,354	0,355	0,022	0,01
103,2372	0,396	0,354	0,355	0,03	0,027
103,2966	0,396	0,354	0,355	0,043	0,042
103,356	0,396	0,354	0,355	0,059	0,046
103,4154	0,396	0,354	0,355	0,057	0,027
103,4748	0,396	0,354	0,355	0,021	0,005
103,5342	0,396	0,354	0,355	-0,019	-0,029
103,5936	0,396	0,354	0,355	-0,025	-0,032
103,653	0,396	0,354	0,355	-0,021	-0,032
103,7124	0,396	0,354	0,355	-0,013	-0,029
103,7718	0,396	0,354	0,355	0,006	-0,032
103,8312	0,396	0,354	0,355	-0,016	-0,032
103,8906	0,396	0,354	0,355	0,01	-0,032
103,95	0,396	0,354	0,355	-0,006	-0,032
104,0094	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,037
104,0688	0,396	0,354	0,355	-0,023	-0,051
104,1282	0,396	0,354	0,355	-0,076	-0,09
104,1876	0,396	0,354	0,355	0,083	0,078
104,247	0,396	0,354	0,355	0,317	0,308
104,3064	0,396	0,354	0,355	0,393	0,352
104,3658	0,396	0,354	0,355	0,145	0,12
104,4252	0,396	0,354	0,355	-0,084	-0,088
104,4846	0,396	0,354	0,355	-0,063	-0,071
104,544	0,396	0,354	0,355	-0,013	-0,032
104,6034	0,396	0,354	0,355	-0,032	-0,032
104,6628	0,396	0,354	0,355	-0,006	-0,032
104,7222	0,396	0,354	0,355	-0,003	-0,032
104,7816	0,396	0,354	0,355	-0,012	-0,029
104,841	0,396	0,354	0,355	0,019	-0,029

104,9004	0,396	0,354	0,355	0,016	-0,029
104,9598	0,396	0,354	0,355	0,008	-0,029
105,0192	0,396	0,354	0,355	-0,015	-0,029
105,0786	0,396	0,354	0,355	0,015	-0,032
105,138	0,396	0,354	0,355	-0,026	-0,029
105,1974	0,396	0,354	0,355	-0,01	-0,029
105,2568	0,396	0,354	0,355	0,012	-0,01
105,3162	0,396	0,354	0,355	0,017	0,01
105,3756	0,396	0,354	0,355	0,07	0,046
105,435	0,396	0,354	0,355	0,087	0,063
105,4944	0,396	0,354	0,355	0,108	0,085
105,5538	0,396	0,354	0,355	0,13	0,103
105,6132	0,396	0,354	0,355	0,136	0,107
105,6726	0,396	0,354	0,355	0,143	0,122
105,732	0,396	0,354	0,355	0,131	0,125
105,7914	0,396	0,354	0,355	0,115	0,103
105,8508	0,396	0,354	0,355	0,129	0,085
105,9102	0,396	0,354	0,355	0,081	0,066
105,9696	0,396	0,354	0,355	0,046	0,029
106,029	0,396	0,354	0,355	0,021	0,01
106,0884	0,396	0,354	0,355	0,006	-0,024
106,1478	0,396	0,354	0,355	0,006	-0,029
106,2072	0,396	0,354	0,355	0,019	-0,027
106,2666	0,396	0,354	0,355	-0,008	-0,027
106,326	0,396	0,354	0,355	-0,015	-0,029
106,3854	0,396	0,354	0,355	-0,011	-0,029
106,4448	0,396	0,354	0,355	0,017	-0,029
106,5042	0,396	0,354	0,355	-0,002	-0,032
106,5636	0,396	0,354	0,355	0,003	-0,029
106,623	0,396	0,354	0,355	-0,007	-0,027
106,6824	0,396	0,354	0,355	-0,009	-0,027
106,7418	0,396	0,354	0,355	0,009	-0,027
106,8012	0,396	0,354	0,355	-0,02	-0,027
106,8606	0,396	0,354	0,355	0	-0,029
106,92	0,401	0,352	0,352	-0,018	-0,027
106,9794	0,401	0,352	0,352	-0,022	-0,029
107,0388	0,401	0,352	0,352	-0,021	-0,029
107,0982	0,401	0,352	0,352	-0,018	-0,029
107,1576	0,401	0,352	0,352	0	-0,029
107,217	0,401	0,352	0,352	-0,011	-0,029
107,2764	0,401	0,352	0,352	0,005	-0,027
107,3358	0,401	0,352	0,352	0,013	-0,029
107,3952	0,401	0,352	0,352	-0,001	-0,027
107,4546	0,401	0,352	0,352	-0,002	-0,029
107,514	0,401	0,352	0,352	0,006	-0,029
107,5734	0,401	0,352	0,352	-0,033	-0,034
107,6328	0,401	0,352	0,352	0,017	0,005
107,6922	0,401	0,352	0,352	0,056	0,027
107,7516	0,401	0,352	0,352	0,056	0,044
107,811	0,401	0,352	0,352	0,062	0,044
107,8704	0,401	0,352	0,352	0,031	0,027
107,9298	0,401	0,352	0,352	0,025	0,002

107,9892	0,401	0,352	0,352	0,009	-0,029
108,0486	0,401	0,352	0,352	-0,03	-0,032
108,108	0,401	0,352	0,352	0,012	-0,029
108,1674	0,401	0,352	0,352	-0,006	-0,029
108,2268	0,401	0,352	0,352	0,003	-0,029
108,2862	0,401	0,352	0,352	0,006	-0,032
108,3456	0,401	0,352	0,352	-0,009	-0,029
108,405	0,401	0,352	0,352	-0,019	-0,027
108,4644	0,401	0,352	0,352	0,005	-0,027
108,5238	0,401	0,352	0,352	0,001	-0,046
108,5832	0,401	0,352	0,352	-0,061	-0,083
108,6426	0,401	0,352	0,352	0,123	0,083
108,702	0,401	0,352	0,352	0,361	0,312
108,7614	0,401	0,352	0,352	0,396	0,354
108,8208	0,401	0,352	0,352	0,175	0,127
108,8802	0,401	0,352	0,352	-0,071	-0,083
108,9396	0,401	0,352	0,352	-0,042	-0,066
108,999	0,401	0,352	0,352	-0,019	-0,032
109,0584	0,401	0,352	0,352	0,017	-0,027
109,1178	0,401	0,352	0,352	0,013	-0,027
109,1772	0,401	0,352	0,352	-0,013	-0,027
109,2366	0,401	0,352	0,352	-0,028	-0,029
109,296	0,401	0,352	0,352	0,014	-0,027
109,3554	0,401	0,352	0,352	-0,011	-0,032
109,4148	0,401	0,352	0,352	-0,012	-0,029
109,4742	0,401	0,352	0,352	0,016	-0,029
109,5336	0,401	0,352	0,352	-0,031	-0,032
109,593	0,401	0,352	0,352	0,019	-0,029
109,6524	0,401	0,352	0,352	-0,016	-0,029
109,7118	0,401	0,352	0,352	-0,004	-0,012
109,7712	0,401	0,352	0,352	0,055	0,007
109,8306	0,401	0,352	0,352	0,074	0,044
109,89	0,401	0,352	0,352	0,09	0,063
109,9494	0,401	0,352	0,352	0,119	0,083
110,0088	0,401	0,352	0,352	0,131	0,1
110,0682	0,401	0,352	0,352	0,122	0,098
110,1276	0,401	0,352	0,352	0,124	0,12
110,187	0,401	0,352	0,352	0,116	0,12
110,2464	0,401	0,352	0,352	0,111	0,103
110,3058	0,401	0,352	0,352	0,124	0,083
110,3652	0,401	0,352	0,352	0,074	0,063
110,4246	0,401	0,352	0,352	0,04	0,024
110,484	0,401	0,352	0,352	0,053	0,007
110,5434	0,401	0,352	0,352	0,012	-0,029
110,6028	0,401	0,352	0,352	-0,019	-0,029
110,6622	0,401	0,352	0,352	-0,016	-0,032
110,7216	0,401	0,352	0,352	0,004	-0,032
110,781	0,401	0,352	0,352	-0,024	-0,032
110,8404	0,401	0,352	0,352	0,001	-0,029
110,8998	0,401	0,352	0,352	0,013	-0,029
110,9592	0,401	0,352	0,352	-0,019	-0,027
111,0186	0,401	0,352	0,352	-0,009	-0,027

111,078	0,401	0,352	0,352	-0,003	-0,029
111,1374	0,401	0,352	0,352	-0,021	-0,032
111,1968	0,401	0,352	0,352	-0,017	-0,029
111,2562	0,401	0,352	0,352	-0,023	-0,027
111,3156	0,401	0,352	0,352	-0,025	-0,027
111,375	0,401	0,352	0,352	0,01	-0,029
111,4344	0,401	0,352	0,352	-0,015	-0,029
111,4938	0,401	0,352	0,352	0,016	-0,029
111,5532	0,401	0,352	0,352	-0,014	-0,027
111,6126	0,401	0,352	0,352	-0,026	-0,027
111,672	0,401	0,352	0,352	-0,025	-0,027
111,7314	0,401	0,352	0,352	-0,019	-0,027
111,7908	0,401	0,352	0,352	0,01	-0,027
111,8502	0,401	0,352	0,352	-0,027	-0,032
111,9096	0,401	0,352	0,352	-0,012	-0,027
111,969	0,401	0,352	0,352	-0,002	-0,027
112,0284	0,401	0,352	0,352	-0,017	-0,027
112,0878	0,401	0,352	0,352	0,054	0,01
112,1472	0,401	0,352	0,352	0,045	0,032
112,2066	0,401	0,352	0,352	0,048	0,046
112,266	0,401	0,352	0,352	0,081	0,051
112,3254	0,401	0,352	0,352	0,058	0,029
112,3848	0,401	0,352	0,352	0,056	0,01
112,4442	0,401	0,352	0,352	-0,003	-0,027
112,5036	0,401	0,352	0,352	-0,017	-0,027
112,563	0,401	0,352	0,352	-0,018	-0,029
112,6224	0,401	0,352	0,352	-0,013	-0,027
112,6818	0,401	0,352	0,352	-0,008	-0,027
112,7412	0,401	0,352	0,352	0,012	-0,024
112,8006	0,401	0,352	0,352	0,021	-0,027
112,86	0,401	0,352	0,352	-0,014	-0,027
112,9194	0,401	0,352	0,352	-0,001	-0,029
112,9788	0,401	0,352	0,352	-0,037	-0,046
113,0382	0,401	0,352	0,352	-0,049	-0,085
113,0976	0,401	0,352	0,352	0,124	0,083
113,157	0,401	0,352	0,352	0,321	0,312
113,2164	0,401	0,352	0,352	0,356	0,354
113,2758	0,401	0,352	0,352	0,154	0,12
113,3352	0,401	0,352	0,352	-0,061	-0,085
113,3946	0,401	0,352	0,352	-0,03	-0,068
113,454	0,401	0,352	0,352	-0,024	-0,029
113,5134	0,401	0,352	0,352	0,017	-0,029
113,5728	0,401	0,352	0,352	0,012	-0,029
113,6322	0,401	0,352	0,352	0,009	-0,032
113,6916	0,401	0,352	0,352	0,014	-0,032
113,751	0,401	0,352	0,352	0	-0,032
113,8104	0,401	0,352	0,352	0,022	-0,029
113,8698	0,401	0,352	0,352	0,011	-0,029
113,9292	0,401	0,352	0,352	0,007	-0,029
113,9886	0,401	0,352	0,352	-0,023	-0,032
114,048	0,401	0,352	0,352	0	-0,027
114,1074	0,401	0,352	0,352	0,002	-0,027

114,1668	0,401	0,352	0,352	0	-0,007
114,2262	0,401	0,352	0,352	0,042	0,012
114,2856	0,401	0,352	0,352	0,064	0,049
114,345	0,401	0,352	0,352	0,107	0,066
114,4044	0,401	0,352	0,352	0,119	0,088
114,4638	0,401	0,352	0,352	0,119	0,105
114,5232	0,401	0,352	0,352	0,14	0,107
114,5826	0,401	0,352	0,352	0,167	0,127
114,642	0,401	0,352	0,352	0,142	0,127
114,7014	0,401	0,352	0,352	0,153	0,105
114,7608	0,401	0,352	0,352	0,105	0,088
114,8202	0,401	0,352	0,352	0,095	0,068
114,8796	0,401	0,352	0,352	0,072	0,029
114,939	0,401	0,352	0,352	0,019	0,007
114,9984	0,401	0,352	0,352	0,006	-0,027
115,0578	0,401	0,352	0,352	-0,02	-0,032
115,1172	0,401	0,352	0,352	-0,023	-0,029
115,1766	0,401	0,352	0,352	0,004	-0,029
115,236	0,401	0,352	0,352	0,001	-0,027
115,2954	0,401	0,352	0,352	-0,022	-0,029
115,3548	0,401	0,352	0,352	0,006	-0,029
115,4142	0,401	0,352	0,352	-0,001	-0,032
115,4736	0,401	0,352	0,352	-0,016	-0,029
115,533	0,401	0,352	0,352	0,019	-0,032
115,5924	0,401	0,352	0,352	-0,017	-0,029
115,6518	0,401	0,352	0,352	0,007	-0,032
115,7112	0,401	0,352	0,352	0,003	-0,032
115,7706	0,401	0,352	0,352	-0,031	-0,032
115,83	0,399	0,354	0,355	0,016	-0,029
115,8894	0,399	0,354	0,355	0,011	-0,029
115,9488	0,399	0,354	0,355	-0,008	-0,029
116,0082	0,399	0,354	0,355	-0,029	-0,029
116,0676	0,399	0,354	0,355	0,023	-0,029
116,127	0,399	0,354	0,355	-0,004	-0,032
116,1864	0,399	0,354	0,355	-0,015	-0,029
116,2458	0,399	0,354	0,355	-0,019	-0,029
116,3052	0,399	0,354	0,355	-0,002	-0,029
116,3646	0,399	0,354	0,355	0,013	-0,029
116,424	0,399	0,354	0,355	-0,001	-0,027
116,4834	0,399	0,354	0,355	0,019	-0,029
116,5428	0,399	0,354	0,355	0,028	0,01
116,6022	0,399	0,354	0,355	0,032	0,029
116,6616	0,399	0,354	0,355	0,069	0,049
116,721	0,399	0,354	0,355	0,075	0,049
116,7804	0,399	0,354	0,355	0,062	0,029
116,8398	0,399	0,354	0,355	0,017	0,005
116,8992	0,399	0,354	0,355	0,005	-0,027
116,9586	0,399	0,354	0,355	0,021	-0,027
117,018	0,399	0,354	0,355	0,017	-0,024
117,0774	0,399	0,354	0,355	-0,001	-0,027
117,1368	0,399	0,354	0,355	-0,018	-0,024
117,1962	0,399	0,354	0,355	-0,026	-0,027

117,2556	0,399	0,354	0,355	0,019	-0,027
117,315	0,399	0,354	0,355	0,022	-0,027
117,3744	0,399	0,354	0,355	0,01	-0,027
117,4338	0,399	0,354	0,355	-0,028	-0,046
117,4932	0,399	0,354	0,355	-0,075	-0,083
117,5526	0,399	0,354	0,355	0,092	0,083
117,612	0,399	0,354	0,355	0,329	0,315
117,6714	0,399	0,354	0,355	0,372	0,356
117,7308	0,399	0,354	0,355	0,17	0,129
117,7902	0,399	0,354	0,355	-0,073	-0,083
117,8496	0,399	0,354	0,355	-0,051	-0,063
117,909	0,399	0,354	0,355	0,013	-0,029
117,9684	0,399	0,354	0,355	-0,009	-0,024
118,0278	0,399	0,354	0,355	0,002	-0,027
118,0872	0,399	0,354	0,355	-0,003	-0,024
118,1466	0,399	0,354	0,355	-0,02	-0,027
118,206	0,399	0,354	0,355	-0,017	-0,027
118,2654	0,399	0,354	0,355	-0,015	-0,027
118,3248	0,399	0,354	0,355	0,028	-0,024
118,3842	0,399	0,354	0,355	0,024	-0,024
118,4436	0,399	0,354	0,355	-0,011	-0,024
118,503	0,399	0,354	0,355	-0,02	-0,024
118,5624	0,399	0,354	0,355	-0,018	-0,024
118,6218	0,399	0,354	0,355	0,033	-0,01
118,6812	0,399	0,354	0,355	0,019	0,012
118,7406	0,399	0,354	0,355	0,078	0,049
118,8	0,399	0,354	0,355	0,075	0,068
118,8594	0,399	0,354	0,355	0,137	0,088
118,9188	0,399	0,354	0,355	0,124	0,105
118,9782	0,399	0,354	0,355	0,121	0,105
119,0376	0,399	0,354	0,355	0,131	0,125
119,097	0,399	0,354	0,355	0,157	0,127
119,1564	0,399	0,354	0,355	0,154	0,105
119,2158	0,399	0,354	0,355	0,109	0,085
119,2752	0,399	0,354	0,355	0,105	0,066
119,3346	0,399	0,354	0,355	0,049	0,027
119,394	0,399	0,354	0,355	0,049	0,007
119,4534	0,399	0,354	0,355	0,014	-0,027
119,5128	0,399	0,354	0,355	0,022	-0,027
119,5722	0,399	0,354	0,355	-0,007	-0,029
119,6316	0,399	0,354	0,355	-0,003	-0,027
119,691	0,399	0,354	0,355	-0,004	-0,032
119,7504	0,399	0,354	0,355	0,006	-0,029
119,8098	0,399	0,354	0,355	0,02	-0,029
119,8692	0,399	0,354	0,355	0,003	-0,029
119,9286	0,399	0,354	0,355	0,016	-0,029
119,988	0,399	0,354	0,355	0,019	-0,029
120,0474	0,399	0,354	0,355	-0,004	-0,029
120,1068	0,399	0,354	0,355	-0,015	-0,027
120,1662	0,399	0,354	0,355	0,005	-0,027
120,2256	0,399	0,354	0,355	-0,022	-0,027
120,285	0,399	0,354	0,355	0,006	-0,024

120,3444	0,399	0,354	0,355	0,002	-0,027
120,4038	0,399	0,354	0,355	-0,002	-0,029
120,4632	0,399	0,354	0,355	0	-0,024
120,5226	0,399	0,354	0,355	-0,012	-0,024
120,582	0,399	0,354	0,355	-0,008	-0,024
120,6414	0,399	0,354	0,355	0,018	-0,024
120,7008	0,399	0,354	0,355	-0,008	-0,024
120,7602	0,399	0,354	0,355	-0,017	-0,027
120,8196	0,399	0,354	0,355	0,006	-0,024
120,879	0,399	0,354	0,355	0,023	-0,024
120,9384	0,399	0,354	0,355	0,003	-0,024
120,9978	0,399	0,354	0,355	0,012	0,012
121,0572	0,399	0,354	0,355	0,042	0,032
121,1166	0,399	0,354	0,355	0,081	0,046
121,176	0,399	0,354	0,355	0,066	0,049
121,2354	0,399	0,354	0,355	0,05	0,032
121,2948	0,399	0,354	0,355	0,046	0,01
121,3542	0,399	0,354	0,355	0,009	-0,027
121,4136	0,399	0,354	0,355	-0,011	-0,027
121,473	0,399	0,354	0,355	-0,01	-0,029
121,5324	0,399	0,354	0,355	0,001	-0,027
121,5918	0,399	0,354	0,355	0,001	-0,027
121,6512	0,399	0,354	0,355	-0,012	-0,027
121,7106	0,399	0,354	0,355	-0,025	-0,027
121,77	0,399	0,354	0,355	0,007	-0,029
121,8294	0,399	0,354	0,355	-0,014	-0,034
121,8888	0,399	0,354	0,355	-0,045	-0,049
121,9482	0,399	0,354	0,355	-0,053	-0,085
122,0076	0,399	0,354	0,355	0,112	0,085
122,067	0,399	0,354	0,355	0,316	0,312
122,1264	0,399	0,354	0,355	0,387	0,354
122,1858	0,399	0,354	0,355	0,137	0,122
122,2452	0,399	0,354	0,355	-0,074	-0,085
122,3046	0,399	0,354	0,355	-0,038	-0,068
122,364	0,399	0,354	0,355	-0,002	-0,029
122,4234	0,399	0,354	0,355	0,003	-0,029
122,4828	0,399	0,354	0,355	0,007	-0,029
122,5422	0,399	0,354	0,355	-0,017	-0,029
122,6016	0,399	0,354	0,355	0,009	-0,029
122,661	0,399	0,354	0,355	0,008	-0,029
122,7204	0,399	0,354	0,355	0,001	-0,027
122,7798	0,399	0,354	0,355	-0,018	-0,029
122,8392	0,399	0,354	0,355	-0,015	-0,027
122,8986	0,399	0,354	0,355	0,012	-0,032
122,958	0,399	0,354	0,355	0,004	-0,029
123,0174	0,399	0,354	0,355	-0,01	-0,029
123,0768	0,399	0,354	0,355	0,005	-0,01
123,1362	0,399	0,354	0,355	0,016	0,01
123,1956	0,399	0,354	0,355	0,086	0,049
123,255	0,399	0,354	0,355	0,081	0,063
123,3144	0,399	0,354	0,355	0,093	0,085
123,3738	0,399	0,354	0,355	0,118	0,103

123,4332	0,399	0,354	0,355	0,119	0,105
123,4926	0,399	0,354	0,355	0,159	0,122
123,552	0,399	0,354	0,355	0,174	0,122
123,6114	0,399	0,354	0,355	0,108	0,1
123,6708	0,399	0,354	0,355	0,105	0,085
123,7302	0,399	0,354	0,355	0,073	0,066
123,7896	0,399	0,354	0,355	0,059	0,029
123,849	0,399	0,354	0,355	0,032	0,007
123,9084	0,399	0,354	0,355	0,007	-0,029
123,9678	0,399	0,354	0,355	-0,023	-0,032
124,0272	0,399	0,354	0,355	-0,013	-0,027
124,0866	0,399	0,354	0,355	-0,017	-0,029
124,146	0,399	0,354	0,355	-0,016	-0,029
124,2054	0,399	0,354	0,355	-0,025	-0,027
124,2648	0,399	0,354	0,355	-0,011	-0,029
124,3242	0,399	0,354	0,355	0,003	-0,032
124,3836	0,399	0,354	0,355	-0,004	-0,029
124,443	0,399	0,354	0,355	0,012	-0,027
124,5024	0,399	0,354	0,355	-0,022	-0,029
124,5618	0,399	0,354	0,355	-0,016	-0,029
124,6212	0,399	0,354	0,355	0,007	-0,027
124,6806	0,399	0,354	0,355	-0,013	-0,032
124,74	0,391	0,356	0,357	-0,002	-0,029
124,7994	0,391	0,356	0,357	0,006	-0,029
124,8588	0,391	0,356	0,357	0,006	-0,029
124,9182	0,391	0,356	0,357	0,011	-0,029
124,9776	0,391	0,356	0,357	0,001	-0,027
125,037	0,391	0,356	0,357	0,016	-0,027
125,0964	0,391	0,356	0,357	0,023	-0,024
125,1558	0,391	0,356	0,357	0,015	-0,024
125,2152	0,391	0,356	0,357	-0,02	-0,024
125,2746	0,391	0,356	0,357	0,009	-0,024
125,334	0,391	0,356	0,357	-0,002	-0,024
125,3934	0,391	0,356	0,357	0	-0,027
125,4528	0,391	0,356	0,357	0,049	0,012
125,5122	0,391	0,356	0,357	0,045	0,032
125,5716	0,391	0,356	0,357	0,065	0,051
125,631	0,391	0,356	0,357	0,057	0,051
125,6904	0,391	0,356	0,357	0,039	0,034
125,7498	0,391	0,356	0,357	0,021	0,01
125,8092	0,391	0,356	0,357	-0,011	-0,022
125,8686	0,391	0,356	0,357	-0,002	-0,024
125,928	0,391	0,356	0,357	-0,009	-0,024
125,9874	0,391	0,356	0,357	0,024	-0,024
126,0468	0,391	0,356	0,357	0,012	-0,027
126,1062	0,391	0,356	0,357	-0,01	-0,027
126,1656	0,391	0,356	0,357	0,013	-0,024
126,225	0,391	0,356	0,357	0,019	-0,027
126,2844	0,391	0,356	0,357	0,003	-0,024
126,3438	0,391	0,356	0,357	0	-0,046
126,4032	0,391	0,356	0,357	-0,059	-0,083
126,4626	0,391	0,356	0,357	0,117	0,083

126,522	0,391	0,356	0,357	0,364	0,315
126,5814	0,391	0,356	0,357	0,383	0,354
126,6408	0,391	0,356	0,357	0,128	0,127
126,7002	0,391	0,356	0,357	-0,06	-0,085
126,7596	0,391	0,356	0,357	-0,062	-0,066
126,819	0,391	0,356	0,357	0,005	-0,032
126,8784	0,391	0,356	0,357	0,015	-0,027
126,9378	0,391	0,356	0,357	-0,008	-0,027
126,9972	0,391	0,356	0,357	-0,025	-0,027
127,0566	0,391	0,356	0,357	0,023	-0,027
127,116	0,391	0,356	0,357	0,007	-0,027
127,1754	0,391	0,356	0,357	0	-0,029
127,2348	0,391	0,356	0,357	0,008	-0,029
127,2942	0,391	0,356	0,357	-0,014	-0,029
127,3536	0,391	0,356	0,357	-0,027	-0,027
127,413	0,391	0,356	0,357	-0,021	-0,027
127,4724	0,391	0,356	0,357	-0,023	-0,027
127,5318	0,391	0,356	0,357	0,018	-0,01
127,5912	0,391	0,356	0,357	0,014	0,012
127,6506	0,391	0,356	0,357	0,065	0,049
127,71	0,391	0,356	0,357	0,115	0,071
127,7694	0,391	0,356	0,357	0,12	0,088
127,8288	0,391	0,356	0,357	0,138	0,105
127,8882	0,391	0,356	0,357	0,132	0,105
127,9476	0,391	0,356	0,357	0,144	0,125
128,007	0,391	0,356	0,357	0,153	0,127
128,0664	0,391	0,356	0,357	0,149	0,107
128,1258	0,391	0,356	0,357	0,128	0,09
128,1852	0,391	0,356	0,357	0,116	0,071
128,2446	0,391	0,356	0,357	0,044	0,029
128,304	0,391	0,356	0,357	0,051	0,012
128,3634	0,391	0,356	0,357	-0,016	-0,022
128,4228	0,391	0,356	0,357	0,023	-0,024
128,4822	0,391	0,356	0,357	-0,008	-0,027
128,5416	0,391	0,356	0,357	-0,014	-0,024
128,601	0,391	0,356	0,357	-0,013	-0,027
128,6604	0,391	0,356	0,357	-0,016	-0,024
128,7198	0,391	0,356	0,357	0,009	-0,024
128,7792	0,391	0,356	0,357	0,013	-0,022
128,8386	0,391	0,356	0,357	-0,014	-0,024
128,898	0,391	0,356	0,357	-0,005	-0,024
128,9574	0,391	0,356	0,357	0,023	-0,024
129,0168	0,391	0,356	0,357	0,01	-0,024
129,0762	0,391	0,356	0,357	0,017	-0,022
129,1356	0,391	0,356	0,357	-0,012	-0,024
129,195	0,391	0,356	0,357	0,007	-0,024
129,2544	0,391	0,356	0,357	0,004	-0,024
129,3138	0,391	0,356	0,357	0,003	-0,027
129,3732	0,391	0,356	0,357	-0,017	-0,022
129,4326	0,391	0,356	0,357	-0,011	-0,024
129,492	0,391	0,356	0,357	0,008	-0,024
129,5514	0,391	0,356	0,357	0,025	-0,022

129,6108	0,391	0,356	0,357	0	-0,024
129,6702	0,391	0,356	0,357	-0,022	-0,027
129,7296	0,391	0,356	0,357	-0,025	-0,024
129,789	0,391	0,356	0,357	-0,015	-0,024
129,8484	0,391	0,356	0,357	0,013	-0,024
129,9078	0,391	0,356	0,357	0,058	0,012
129,9672	0,391	0,356	0,357	0,082	0,032
130,0266	0,391	0,356	0,357	0,079	0,049
130,086	0,391	0,356	0,357	0,089	0,054
130,1454	0,391	0,356	0,357	0,061	0,034
130,2048	0,391	0,356	0,357	0,029	0,012
130,2642	0,391	0,356	0,357	0,017	-0,022
130,3236	0,391	0,356	0,357	-0,014	-0,024
130,383	0,391	0,356	0,357	0	-0,027
130,4424	0,391	0,356	0,357	-0,022	-0,024
130,5018	0,391	0,356	0,357	0	-0,024
130,5612	0,391	0,356	0,357	0,01	-0,024
130,6206	0,391	0,356	0,357	-0,002	-0,022
130,68	0,391	0,356	0,357	-0,005	-0,022
130,7394	0,391	0,356	0,357	-0,003	-0,024
130,7988	0,391	0,356	0,357	-0,013	-0,042
130,8582	0,391	0,356	0,357	-0,053	-0,081
130,9176	0,391	0,356	0,357	0,132	0,088
130,977	0,391	0,356	0,357	0,345	0,317
131,0364	0,391	0,356	0,357	0,378	0,356
131,0958	0,391	0,356	0,357	0,155	0,125
131,1552	0,391	0,356	0,357	-0,061	-0,083
131,2146	0,391	0,356	0,357	-0,025	-0,066
131,274	0,391	0,356	0,357	0,021	-0,024
131,3334	0,391	0,356	0,357	0,018	-0,024
131,3928	0,391	0,356	0,357	-0,013	-0,024
131,4522	0,391	0,356	0,357	-0,011	-0,027
131,5116	0,391	0,356	0,357	0,014	-0,027
131,571	0,391	0,356	0,357	0,002	-0,027
131,6304	0,391	0,356	0,357	0,016	-0,027
131,6898	0,391	0,356	0,357	0,024	-0,027
131,7492	0,391	0,356	0,357	0,019	-0,027
131,8086	0,391	0,356	0,357	-0,022	-0,029
131,868	0,391	0,356	0,357	0,013	-0,027
131,9274	0,391	0,356	0,357	0,006	-0,027
131,9868	0,391	0,356	0,357	0,01	-0,007
132,0462	0,391	0,356	0,357	0,023	0,01
132,1056	0,391	0,356	0,357	0,087	0,049
132,165	0,391	0,356	0,357	0,074	0,066
132,2244	0,391	0,356	0,357	0,128	0,085
132,2838	0,391	0,356	0,357	0,142	0,103
132,3432	0,391	0,356	0,357	0,141	0,107
132,4026	0,391	0,356	0,357	0,16	0,125
132,462	0,391	0,356	0,357	0,175	0,127
132,5214	0,391	0,356	0,357	0,112	0,105
132,5808	0,391	0,356	0,357	0,133	0,09
132,6402	0,391	0,356	0,357	0,112	0,071

132,6996	0,391	0,356	0,357	0,047	0,034
132,759	0,391	0,356	0,357	0,018	0,012
132,8184	0,391	0,356	0,357	0,015	-0,022
132,8778	0,391	0,356	0,357	0,017	-0,027
132,9372	0,391	0,356	0,357	0,003	-0,024
132,9966	0,391	0,356	0,357	-0,01	-0,024
133,056	0,391	0,356	0,357	0,005	-0,024
133,1154	0,391	0,356	0,357	0,008	-0,024
133,1748	0,391	0,356	0,357	0,004	-0,024
133,2342	0,391	0,356	0,357	-0,018	-0,024
133,2936	0,391	0,356	0,357	-0,008	-0,022
133,353	0,391	0,356	0,357	-0,019	-0,022
133,4124	0,391	0,356	0,357	-0,007	-0,024
133,4718	0,391	0,356	0,357	0,001	-0,024
133,5312	0,391	0,356	0,357	0,018	-0,024
133,5906	0,391	0,356	0,357	-0,002	-0,027
133,65	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,024
133,7094	0,395	0,356	0,358	-0,018	-0,024
133,7688	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,022
133,8282	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,022
133,8876	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,022
133,947	0,395	0,356	0,358	-0,015	-0,027
134,0064	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,022
134,0658	0,395	0,356	0,358	0,007	-0,024
134,1252	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,022
134,1846	0,395	0,356	0,358	-0,007	-0,024
134,244	0,395	0,356	0,358	-0,006	-0,024
134,3034	0,395	0,356	0,358	0,009	-0,024
134,3628	0,395	0,356	0,358	0,029	0,012
134,4222	0,395	0,356	0,358	0,058	0,034
134,4816	0,395	0,356	0,358	0,093	0,054
134,541	0,395	0,356	0,358	0,077	0,054
134,6004	0,395	0,356	0,358	0,052	0,034
134,6598	0,395	0,356	0,358	0,015	0,01
134,7192	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,024
134,7786	0,395	0,356	0,358	-0,017	-0,024
134,838	0,395	0,356	0,358	0,021	-0,024
134,8974	0,395	0,356	0,358	-0,014	-0,024
134,9568	0,395	0,356	0,358	0,017	-0,024
135,0162	0,395	0,356	0,358	0,01	-0,024
135,0756	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,022
135,135	0,395	0,356	0,358	-0,003	-0,024
135,1944	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,022
135,2538	0,395	0,356	0,358	-0,006	-0,042
135,3132	0,395	0,356	0,358	-0,037	-0,081
135,3726	0,395	0,356	0,358	0,102	0,085
135,432	0,395	0,356	0,358	0,331	0,317
135,4914	0,395	0,356	0,358	0,368	0,359
135,5508	0,395	0,356	0,358	0,171	0,129
135,6102	0,395	0,356	0,358	-0,042	-0,081
135,6696	0,395	0,356	0,358	-0,015	-0,061
135,729	0,395	0,356	0,358	0	-0,024

135,7884	0,395	0,356	0,358	0,017	-0,022
135,8478	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,024
135,9072	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,022
135,9666	0,395	0,356	0,358	-0,014	-0,024
136,026	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,024
136,0854	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,027
136,1448	0,395	0,356	0,358	-0,003	-0,024
136,2042	0,395	0,356	0,358	0,023	-0,024
136,2636	0,395	0,356	0,358	-0,01	-0,024
136,323	0,395	0,356	0,358	-0,016	-0,022
136,3824	0,395	0,356	0,358	0,001	-0,022
136,4418	0,395	0,356	0,358	0,041	-0,005
136,5012	0,395	0,356	0,358	0,033	0,017
136,5606	0,395	0,356	0,358	0,064	0,054
136,62	0,395	0,356	0,358	0,109	0,071
136,6794	0,395	0,356	0,358	0,099	0,09
136,7388	0,395	0,356	0,358	0,124	0,11
136,7982	0,395	0,356	0,358	0,133	0,107
136,8576	0,395	0,356	0,358	0,156	0,129
136,917	0,395	0,356	0,358	0,176	0,129
136,9764	0,395	0,356	0,358	0,118	0,11
137,0358	0,395	0,356	0,358	0,127	0,09
137,0952	0,395	0,356	0,358	0,1	0,071
137,1546	0,395	0,356	0,358	0,066	0,032
137,214	0,395	0,356	0,358	0,046	0,012
137,2734	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,024
137,3328	0,395	0,356	0,358	0,021	-0,024
137,3922	0,395	0,356	0,358	0,006	-0,027
137,4516	0,395	0,356	0,358	-0,019	-0,027
137,511	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,027
137,5704	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,024
137,6298	0,395	0,356	0,358	-0,001	-0,024
137,6892	0,395	0,356	0,358	-0,009	-0,024
137,7486	0,395	0,356	0,358	-0,026	-0,027
137,808	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,027
137,8674	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,027
137,9268	0,395	0,356	0,358	0,024	-0,027
137,9862	0,395	0,356	0,358	-0,016	-0,027
138,0456	0,395	0,356	0,358	0	-0,027
138,105	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,027
138,1644	0,395	0,356	0,358	-0,018	-0,027
138,2238	0,395	0,356	0,358	-0,026	-0,029
138,2832	0,395	0,356	0,358	0,014	-0,024
138,3426	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,027
138,402	0,395	0,356	0,358	0,027	-0,024
138,4614	0,395	0,356	0,358	-0,01	-0,024
138,5208	0,395	0,356	0,358	-0,011	-0,027
138,5802	0,395	0,356	0,358	0,02	-0,027
138,6396	0,395	0,356	0,358	0,025	-0,024
138,699	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,024
138,7584	0,395	0,356	0,358	-0,011	-0,024
138,8178	0,395	0,356	0,358	0,035	0,015

138,8772	0,395	0,356	0,358	0,053	0,034
138,9366	0,395	0,356	0,358	0,06	0,051
138,996	0,395	0,356	0,358	0,057	0,054
139,0554	0,395	0,356	0,358	0,079	0,034
139,1148	0,395	0,356	0,358	0,028	0,015
139,1742	0,395	0,356	0,358	-0,012	-0,024
139,2336	0,395	0,356	0,358	0,004	-0,024
139,293	0,395	0,356	0,358	0,008	-0,027
139,3524	0,395	0,356	0,358	-0,008	-0,024
139,4118	0,395	0,356	0,358	0,023	-0,024
139,4712	0,395	0,356	0,358	0,003	-0,022
139,5306	0,395	0,356	0,358	-0,017	-0,022
139,59	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,022
139,6494	0,395	0,356	0,358	0,012	-0,024
139,7088	0,395	0,356	0,358	-0,038	-0,042
139,7682	0,395	0,356	0,358	-0,045	-0,081
139,8276	0,395	0,356	0,358	0,102	0,09
139,887	0,395	0,356	0,358	0,363	0,317
139,9464	0,395	0,356	0,358	0,368	0,359
140,0058	0,395	0,356	0,358	0,166	0,127
140,0652	0,395	0,356	0,358	-0,044	-0,081
140,1246	0,395	0,356	0,358	-0,043	-0,061
140,184	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,022
140,2434	0,395	0,356	0,358	-0,011	-0,022
140,3028	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,022
140,3622	0,395	0,356	0,358	0,012	-0,024
140,4216	0,395	0,356	0,358	0,02	-0,024
140,481	0,395	0,356	0,358	0,016	-0,022
140,5404	0,395	0,356	0,358	-0,021	-0,022
140,5998	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,024
140,6592	0,395	0,356	0,358	0,016	-0,024
140,7186	0,395	0,356	0,358	-0,014	-0,024
140,778	0,395	0,356	0,358	0,017	-0,022
140,8374	0,395	0,356	0,358	-0,018	-0,022
140,8968	0,395	0,356	0,358	0,029	-0,002
140,9562	0,395	0,356	0,358	0,06	0,017
141,0156	0,395	0,356	0,358	0,054	0,051
141,075	0,395	0,356	0,358	0,12	0,068
141,1344	0,395	0,356	0,358	0,105	0,09
141,1938	0,395	0,356	0,358	0,15	0,107
141,2532	0,395	0,356	0,358	0,137	0,11
141,3126	0,395	0,356	0,358	0,132	0,129
141,372	0,395	0,356	0,358	0,152	0,129
141,4314	0,395	0,356	0,358	0,121	0,11
141,4908	0,395	0,356	0,358	0,135	0,093
141,5502	0,395	0,356	0,358	0,121	0,073
141,6096	0,395	0,356	0,358	0,064	0,034
141,669	0,395	0,356	0,358	0,059	0,015
141,7284	0,395	0,356	0,358	0,009	-0,022
141,7878	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,027
141,8472	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,024
141,9066	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,024

141,966	0,395	0,356	0,358	-0,004	-0,022
142,0254	0,395	0,356	0,358	0,029	-0,022
142,0848	0,395	0,356	0,358	-0,009	-0,022
142,1442	0,395	0,356	0,358	0,001	-0,024
142,2036	0,395	0,356	0,358	0	-0,022
142,263	0,395	0,356	0,358	0,009	-0,022
142,3224	0,395	0,356	0,358	0,02	-0,022
142,3818	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,022
142,4412	0,395	0,356	0,358	0,029	-0,022
142,5006	0,395	0,356	0,358	0,024	-0,024
142,56	0,377	0,359	0,36	-0,02	-0,022
142,6194	0,377	0,359	0,36	0,004	-0,022
142,6788	0,377	0,359	0,36	-0,007	-0,022
142,7382	0,377	0,359	0,36	0,025	-0,022
142,7976	0,377	0,359	0,36	-0,02	-0,022
142,857	0,377	0,359	0,36	0,004	-0,024
142,9164	0,377	0,359	0,36	-0,011	-0,022
142,9758	0,377	0,359	0,36	0,005	-0,024
143,0352	0,377	0,359	0,36	0,025	-0,022
143,0946	0,377	0,359	0,36	-0,004	-0,022
143,154	0,377	0,359	0,36	-0,005	-0,022
143,2134	0,377	0,359	0,36	-0,015	-0,024
143,2728	0,377	0,359	0,36	0,045	0,015
143,3322	0,377	0,359	0,36	0,08	0,037
143,3916	0,377	0,359	0,36	0,098	0,054
143,451	0,377	0,359	0,36	0,061	0,054
143,5104	0,377	0,359	0,36	0,077	0,034
143,5698	0,377	0,359	0,36	0,028	0,012
143,6292	0,377	0,359	0,36	0,015	-0,022
143,6886	0,377	0,359	0,36	-0,002	-0,024
143,748	0,377	0,359	0,36	0,028	-0,024
143,8074	0,377	0,359	0,36	0,022	-0,024
143,8668	0,377	0,359	0,36	-0,014	-0,024
143,9262	0,377	0,359	0,36	-0,011	-0,024
143,9856	0,377	0,359	0,36	0,005	-0,024
144,045	0,377	0,359	0,36	0,001	-0,022
144,1044	0,377	0,359	0,36	0	-0,024
144,1638	0,377	0,359	0,36	-0,003	-0,044
144,2232	0,377	0,359	0,36	-0,079	-0,083
144,2826	0,377	0,359	0,36	0,134	0,085
144,342	0,377	0,359	0,36	0,36	0,317
144,4014	0,377	0,359	0,36	0,356	0,356
144,4608	0,377	0,359	0,36	0,134	0,127
144,5202	0,377	0,359	0,36	-0,053	-0,083
144,5796	0,377	0,359	0,36	-0,055	-0,063
144,639	0,377	0,359	0,36	-0,002	-0,027
144,6984	0,377	0,359	0,36	-0,024	-0,027
144,7578	0,377	0,359	0,36	0,022	-0,024
144,8172	0,377	0,359	0,36	0,006	-0,024
144,8766	0,377	0,359	0,36	-0,012	-0,027
144,936	0,377	0,359	0,36	-0,014	-0,027
144,9954	0,377	0,359	0,36	0,008	-0,027

145,0548	0,377	0,359	0,36	-0,004	-0,027
145,1142	0,377	0,359	0,36	-0,004	-0,027
145,1736	0,377	0,359	0,36	0,007	-0,024
145,233	0,377	0,359	0,36	-0,005	-0,024
145,2924	0,377	0,359	0,36	0,02	-0,027
145,3518	0,377	0,359	0,36	-0,006	-0,01
145,4112	0,377	0,359	0,36	0,027	0,012
145,4706	0,377	0,359	0,36	0,058	0,049
145,53	0,377	0,359	0,36	0,084	0,068
145,5894	0,377	0,359	0,36	0,1	0,088
145,6488	0,377	0,359	0,36	0,128	0,107
145,7082	0,377	0,359	0,36	0,132	0,107
145,7676	0,377	0,359	0,36	0,159	0,127
145,827	0,377	0,359	0,36	0,143	0,127
145,8864	0,377	0,359	0,36	0,123	0,107
145,9458	0,377	0,359	0,36	0,129	0,088
146,0052	0,377	0,359	0,36	0,086	0,068
146,0646	0,377	0,359	0,36	0,04	0,029
146,124	0,377	0,359	0,36	0,018	0,01
146,1834	0,377	0,359	0,36	0,002	-0,024
146,2428	0,377	0,359	0,36	0,019	-0,024
146,3022	0,377	0,359	0,36	-0,023	-0,024
146,3616	0,377	0,359	0,36	-0,013	-0,024
146,421	0,377	0,359	0,36	-0,021	-0,027
146,4804	0,377	0,359	0,36	-0,021	-0,027
146,5398	0,377	0,359	0,36	-0,009	-0,027
146,5992	0,377	0,359	0,36	-0,001	-0,027
146,6586	0,377	0,359	0,36	0,022	-0,027
146,718	0,377	0,359	0,36	0,018	-0,024
146,7774	0,377	0,359	0,36	-0,001	-0,027
146,8368	0,377	0,359	0,36	-0,003	-0,024
146,8962	0,377	0,359	0,36	0,021	-0,024
146,9556	0,377	0,359	0,36	-0,021	-0,024
147,015	0,377	0,359	0,36	-0,002	-0,024
147,0744	0,377	0,359	0,36	-0,008	-0,024
147,1338	0,377	0,359	0,36	0,011	-0,029
147,1932	0,377	0,359	0,36	0,007	-0,024
147,2526	0,377	0,359	0,36	0,016	-0,027
147,312	0,377	0,359	0,36	-0,013	-0,024
147,3714	0,377	0,359	0,36	0,008	-0,024
147,4308	0,377	0,359	0,36	-0,009	-0,024
147,4902	0,377	0,359	0,36	0,023	-0,027
147,5496	0,377	0,359	0,36	0,019	-0,027
147,609	0,377	0,359	0,36	0,001	-0,027
147,6684	0,377	0,359	0,36	-0,024	-0,024
147,7278	0,377	0,359	0,36	0,032	0,012
147,7872	0,377	0,359	0,36	0,045	0,034
147,8466	0,377	0,359	0,36	0,059	0,049
147,906	0,377	0,359	0,36	0,054	0,051
147,9654	0,377	0,359	0,36	0,046	0,032
148,0248	0,377	0,359	0,36	0,054	0,012
148,0842	0,377	0,359	0,36	-0,008	-0,024

148,1436	0,377	0,359	0,36	-0,02	-0,024
148,203	0,377	0,359	0,36	0,01	-0,027
148,2624	0,377	0,359	0,36	0,001	-0,024
148,3218	0,377	0,359	0,36	0,014	-0,024
148,3812	0,377	0,359	0,36	-0,021	-0,024
148,4406	0,377	0,359	0,36	-0,008	-0,024
148,5	0,377	0,359	0,36	0,004	-0,024
148,5594	0,377	0,359	0,36	0,017	-0,024
148,6188	0,377	0,359	0,36	-0,005	-0,044
148,6782	0,377	0,359	0,36	-0,042	-0,083
148,7376	0,377	0,359	0,36	0,125	0,088
148,797	0,377	0,359	0,36	0,361	0,317
148,8564	0,377	0,359	0,36	0,39	0,356
148,9158	0,377	0,359	0,36	0,158	0,127
148,9752	0,377	0,359	0,36	-0,049	-0,083
149,0346	0,377	0,359	0,36	-0,027	-0,063
149,094	0,377	0,359	0,36	0,013	-0,024
149,1534	0,377	0,359	0,36	0,011	-0,027
149,2128	0,377	0,359	0,36	0,022	-0,027
149,2722	0,377	0,359	0,36	-0,016	-0,027
149,3316	0,377	0,359	0,36	-0,017	-0,027
149,391	0,377	0,359	0,36	-0,022	-0,027
149,4504	0,377	0,359	0,36	-0,017	-0,024
149,5098	0,377	0,359	0,36	-0,005	-0,024
149,5692	0,377	0,359	0,36	-0,004	-0,024
149,6286	0,377	0,359	0,36	0,002	-0,024
149,688	0,377	0,359	0,36	0,017	-0,022
149,7474	0,377	0,359	0,36	0,003	-0,024
149,8068	0,377	0,359	0,36	0,017	-0,005
149,8662	0,377	0,359	0,36	0,035	0,015
149,9256	0,377	0,359	0,36	0,101	0,054
149,985	0,377	0,359	0,36	0,118	0,071
150,0444	0,377	0,359	0,36	0,121	0,093
150,1038	0,377	0,359	0,36	0,149	0,11
150,1632	0,377	0,359	0,36	0,127	0,112
150,2226	0,377	0,359	0,36	0,175	0,129
150,282	0,377	0,359	0,36	0,143	0,129
150,3414	0,377	0,359	0,36	0,133	0,11
150,4008	0,377	0,359	0,36	0,121	0,093
150,4602	0,377	0,359	0,36	0,099	0,073
150,5196	0,377	0,359	0,36	0,076	0,037
150,579	0,377	0,359	0,36	0,022	0,017
150,6384	0,377	0,359	0,36	-0,015	-0,02
150,6978	0,377	0,359	0,36	0,018	-0,022
150,7572	0,377	0,359	0,36	-0,007	-0,022
150,8166	0,377	0,359	0,36	0,008	-0,022
150,876	0,377	0,359	0,36	0,029	-0,022
150,9354	0,377	0,359	0,36	0,005	-0,022
150,9948	0,377	0,359	0,36	0,016	-0,022
151,0542	0,377	0,359	0,36	0,021	-0,022
151,1136	0,377	0,359	0,36	0,012	-0,022
151,173	0,377	0,359	0,36	0,017	-0,022

151,2324	0,377	0,359	0,36	0,005	-0,02
151,2918	0,377	0,359	0,36	0,006	-0,022
151,3512	0,377	0,359	0,36	-0,007	-0,022
151,4106	0,377	0,359	0,36	-0,012	-0,024
151,47	0,395	0,356	0,358	0,021	-0,022
151,5294	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
151,5888	0,395	0,356	0,358	0,001	-0,022
151,6482	0,395	0,356	0,358	-0,022	-0,022
151,7076	0,395	0,356	0,358	-0,02	-0,022
151,767	0,395	0,356	0,358	0,025	-0,022
151,8264	0,395	0,356	0,358	-0,02	-0,02
151,8858	0,395	0,356	0,358	0,025	-0,022
151,9452	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,02
152,0046	0,395	0,356	0,358	-0,016	-0,022
152,064	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,022
152,1234	0,395	0,356	0,358	-0,003	-0,022
152,1828	0,395	0,356	0,358	0,036	0,017
152,2422	0,395	0,356	0,358	0,041	0,037
152,3016	0,395	0,356	0,358	0,099	0,056
152,361	0,395	0,356	0,358	0,061	0,054
152,4204	0,395	0,356	0,358	0,069	0,034
152,4798	0,395	0,356	0,358	0,051	0,015
152,5392	0,395	0,356	0,358	-0,003	-0,022
152,5986	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
152,658	0,395	0,356	0,358	0,014	-0,022
152,7174	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,02
152,7768	0,395	0,356	0,358	0,014	-0,02
152,8362	0,395	0,356	0,358	-0,014	-0,022
152,8956	0,395	0,356	0,358	0,008	-0,022
152,955	0,395	0,356	0,358	0,023	-0,022
153,0144	0,395	0,356	0,358	-0,002	-0,022
153,0738	0,395	0,356	0,358	-0,019	-0,042
153,1332	0,395	0,356	0,358	-0,075	-0,081
153,1926	0,395	0,356	0,358	0,101	0,09
153,252	0,395	0,356	0,358	0,357	0,322
153,3114	0,395	0,356	0,358	0,384	0,361
153,3708	0,395	0,356	0,358	0,162	0,132
153,4302	0,395	0,356	0,358	-0,055	-0,078
153,4896	0,395	0,356	0,358	-0,021	-0,061
153,549	0,395	0,356	0,358	-0,018	-0,024
153,6084	0,395	0,356	0,358	-0,015	-0,022
153,6678	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
153,7272	0,395	0,356	0,358	-0,021	-0,022
153,7866	0,395	0,356	0,358	-0,009	-0,022
153,846	0,395	0,356	0,358	0,028	-0,022
153,9054	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,022
153,9648	0,395	0,356	0,358	0,003	-0,02
154,0242	0,395	0,356	0,358	0,014	-0,022
154,0836	0,395	0,356	0,358	-0,011	-0,022
154,143	0,395	0,356	0,358	-0,022	-0,024
154,2024	0,395	0,356	0,358	0,008	-0,022
154,2618	0,395	0,356	0,358	0,044	-0,005

154,3212	0,395	0,356	0,358	0,042	0,017
154,3806	0,395	0,356	0,358	0,075	0,054
154,44	0,395	0,356	0,358	0,102	0,076
154,4994	0,395	0,356	0,358	0,1	0,093
154,5588	0,395	0,356	0,358	0,139	0,11
154,6182	0,395	0,356	0,358	0,117	0,107
154,6776	0,395	0,356	0,358	0,129	0,129
154,737	0,395	0,356	0,358	0,171	0,132
154,7964	0,395	0,356	0,358	0,128	0,112
154,8558	0,395	0,356	0,358	0,109	0,093
154,9152	0,395	0,356	0,358	0,112	0,076
154,9746	0,395	0,356	0,358	0,068	0,037
155,034	0,395	0,356	0,358	0,055	0,017
155,0934	0,395	0,356	0,358	0,012	-0,022
155,1528	0,395	0,356	0,358	0,019	-0,022
155,2122	0,395	0,356	0,358	0,021	-0,022
155,2716	0,395	0,356	0,358	0,028	-0,022
155,331	0,395	0,356	0,358	-0,015	-0,022
155,3904	0,395	0,356	0,358	-0,01	-0,02
155,4498	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,02
155,5092	0,395	0,356	0,358	-0,008	-0,02
155,5686	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,02
155,628	0,395	0,356	0,358	-0,004	-0,02
155,6874	0,395	0,356	0,358	0,024	-0,022
155,7468	0,395	0,356	0,358	-0,016	-0,022
155,8062	0,395	0,356	0,358	-0,018	-0,022
155,8656	0,395	0,356	0,358	0,013	-0,022
155,925	0,395	0,356	0,358	0,015	-0,02
155,9844	0,395	0,356	0,358	-0,017	-0,02
156,0438	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,024
156,1032	0,395	0,356	0,358	-0,002	-0,022
156,1626	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,022
156,222	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,022
156,2814	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,024
156,3408	0,395	0,356	0,358	-0,008	-0,022
156,4002	0,395	0,356	0,358	-0,004	-0,024
156,4596	0,395	0,356	0,358	0,024	-0,022
156,519	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,022
156,5784	0,395	0,356	0,358	0,016	-0,022
156,6378	0,395	0,356	0,358	0,021	0,015
156,6972	0,395	0,356	0,358	0,047	0,034
156,7566	0,395	0,356	0,358	0,098	0,051
156,816	0,395	0,356	0,358	0,081	0,051
156,8754	0,395	0,356	0,358	0,046	0,034
156,9348	0,395	0,356	0,358	0,054	0,015
156,9942	0,395	0,356	0,358	0,02	-0,024
157,0536	0,395	0,356	0,358	0,014	-0,022
157,113	0,395	0,356	0,358	0,012	-0,024
157,1724	0,395	0,356	0,358	0	-0,022
157,2318	0,395	0,356	0,358	0,001	-0,024
157,2912	0,395	0,356	0,358	0,004	-0,022
157,3506	0,395	0,356	0,358	0,018	-0,024

157,41	0,395	0,356	0,358	0,003	-0,024
157,4694	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,027
157,5288	0,395	0,356	0,358	-0,012	-0,044
157,5882	0,395	0,356	0,358	-0,058	-0,081
157,6476	0,395	0,356	0,358	0,106	0,09
157,707	0,395	0,356	0,358	0,336	0,32
157,7664	0,395	0,356	0,358	0,396	0,359
157,8258	0,395	0,356	0,358	0,129	0,127
157,8852	0,395	0,356	0,358	-0,059	-0,081
157,9446	0,395	0,356	0,358	-0,057	-0,063
158,004	0,395	0,356	0,358	-0,006	-0,024
158,0634	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
158,1228	0,395	0,356	0,358	0,005	-0,022
158,1822	0,395	0,356	0,358	0,026	-0,022
158,2416	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
158,301	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,022
158,3604	0,395	0,356	0,358	0,011	-0,022
158,4198	0,395	0,356	0,358	-0,007	-0,022
158,4792	0,395	0,356	0,358	0,007	-0,022
158,5386	0,395	0,356	0,358	0,002	-0,024
158,598	0,395	0,356	0,358	0,015	-0,022
158,6574	0,395	0,356	0,358	0,006	-0,022
158,7168	0,395	0,356	0,358	0,039	-0,002
158,7762	0,395	0,356	0,358	0,049	0,02
158,8356	0,395	0,356	0,358	0,089	0,056
158,895	0,395	0,356	0,358	0,08	0,073
158,9544	0,395	0,356	0,358	0,127	0,093
159,0138	0,395	0,356	0,358	0,118	0,11
159,0732	0,395	0,356	0,358	0,143	0,112
159,1326	0,395	0,356	0,358	0,136	0,132
159,192	0,395	0,356	0,358	0,159	0,132
159,2514	0,395	0,356	0,358	0,121	0,112
159,3108	0,395	0,356	0,358	0,124	0,095
159,3702	0,395	0,356	0,358	0,116	0,076
159,4296	0,395	0,356	0,358	0,071	0,037
159,489	0,395	0,356	0,358	0,059	0,017
159,5484	0,395	0,356	0,358	0,008	-0,022
159,6078	0,395	0,356	0,358	-0,023	-0,024
159,6672	0,395	0,356	0,358	0,022	-0,022
159,7266	0,395	0,356	0,358	0,001	-0,022
159,786	0,395	0,356	0,358	0,024	-0,02
159,8454	0,395	0,356	0,358	0,023	-0,022
159,9048	0,395	0,356	0,358	-0,001	-0,022
159,9642	0,395	0,356	0,358	-0,005	-0,022
160,0236	0,395	0,356	0,358	-0,009	-0,022
160,083	0,395	0,356	0,358	0,021	-0,022
160,1424	0,395	0,356	0,358	-0,004	-0,022
160,2018	0,395	0,356	0,358	-0,013	-0,022
160,2612	0,395	0,356	0,358	0,016	-0,022
160,3206	0,395	0,356	0,358	0,004	-0,022
160,38	0,403	0,361	0,362	0,019	-0,02
160,4394	0,403	0,361	0,362	0,023	-0,02

160,4988	0,403	0,361	0,362	0,033	-0,02
160,5582	0,403	0,361	0,362	0,012	-0,02
160,6176	0,403	0,361	0,362	-0,012	-0,022
160,677	0,403	0,361	0,362	0,022	-0,022
160,7364	0,403	0,361	0,362	0,013	-0,02
160,7958	0,403	0,361	0,362	0,001	-0,022
160,8552	0,403	0,361	0,362	0,003	-0,02
160,9146	0,403	0,361	0,362	-0,014	-0,02
160,974	0,403	0,361	0,362	-0,007	-0,02
161,0334	0,403	0,361	0,362	0,001	-0,022
161,0928	0,403	0,361	0,362	0,035	0,017
161,1522	0,403	0,361	0,362	0,062	0,037
161,2116	0,403	0,361	0,362	0,1	0,054
161,271	0,403	0,361	0,362	0,08	0,056
161,3304	0,403	0,361	0,362	0,069	0,037
161,3898	0,403	0,361	0,362	0,048	0,015
161,4492	0,403	0,361	0,362	-0,005	-0,02
161,5086	0,403	0,361	0,362	0,026	-0,02
161,568	0,403	0,361	0,362	-0,007	-0,02
161,6274	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,02
161,6868	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,02
161,7462	0,403	0,361	0,362	-0,008	-0,022
161,8056	0,403	0,361	0,362	-0,013	-0,02
161,865	0,403	0,361	0,362	-0,019	-0,022
161,9244	0,403	0,361	0,362	0,021	-0,022
161,9838	0,403	0,361	0,362	0,006	-0,042
162,0432	0,403	0,361	0,362	-0,077	-0,078
162,1026	0,403	0,361	0,362	0,111	0,093
162,162	0,403	0,361	0,362	0,359	0,322
162,2214	0,403	0,361	0,362	0,401	0,361
162,2808	0,403	0,361	0,362	0,167	0,132
162,3402	0,403	0,361	0,362	-0,064	-0,081
162,3996	0,403	0,361	0,362	-0,035	-0,061
162,459	0,403	0,361	0,362	0,004	-0,024
162,5184	0,403	0,361	0,362	-0,02	-0,022
162,5778	0,403	0,361	0,362	-0,019	-0,022
162,6372	0,403	0,361	0,362	0,014	-0,022
162,6966	0,403	0,361	0,362	-0,018	-0,022
162,756	0,403	0,361	0,362	0,021	-0,022
162,8154	0,403	0,361	0,362	0,017	-0,022
162,8748	0,403	0,361	0,362	0,011	-0,022
162,9342	0,403	0,361	0,362	0,011	-0,022
162,9936	0,403	0,361	0,362	-0,022	-0,024
163,053	0,403	0,361	0,362	0,017	-0,022
163,1124	0,403	0,361	0,362	0,008	-0,022
163,1718	0,403	0,361	0,362	0,012	-0,005
163,2312	0,403	0,361	0,362	0,024	0,015
163,2906	0,403	0,361	0,362	0,089	0,054
163,35	0,403	0,361	0,362	0,098	0,071
163,4094	0,403	0,361	0,362	0,12	0,09
163,4688	0,403	0,361	0,362	0,135	0,11
163,5282	0,403	0,361	0,362	0,159	0,107

163,5876	0,403	0,361	0,362	0,137	0,132
163,647	0,403	0,361	0,362	0,152	0,129
163,7064	0,403	0,361	0,362	0,129	0,112
163,7658	0,403	0,361	0,362	0,136	0,093
163,8252	0,403	0,361	0,362	0,093	0,073
163,8846	0,403	0,361	0,362	0,044	0,032
163,944	0,403	0,361	0,362	0,039	0,015
164,0034	0,403	0,361	0,362	-0,002	-0,022
164,0628	0,403	0,361	0,362	0,023	-0,022
164,1222	0,403	0,361	0,362	0,004	-0,022
164,1816	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,022
164,241	0,403	0,361	0,362	0	-0,022
164,3004	0,403	0,361	0,362	0,019	-0,02
164,3598	0,403	0,361	0,362	-0,012	-0,022
164,4192	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,02
164,4786	0,403	0,361	0,362	0,026	-0,022
164,538	0,403	0,361	0,362	-0,018	-0,022
164,5974	0,403	0,361	0,362	0,006	-0,022
164,6568	0,403	0,361	0,362	0,004	-0,022
164,7162	0,403	0,361	0,362	0,026	-0,02
164,7756	0,403	0,361	0,362	0,003	-0,02
164,835	0,403	0,361	0,362	-0,02	-0,022
164,8944	0,403	0,361	0,362	0,005	-0,02
164,9538	0,403	0,361	0,362	-0,017	-0,022
165,0132	0,403	0,361	0,362	0,023	-0,022
165,0726	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,022
165,132	0,403	0,361	0,362	0,009	-0,02
165,1914	0,403	0,361	0,362	0,022	-0,022
165,2508	0,403	0,361	0,362	-0,007	-0,02
165,3102	0,403	0,361	0,362	0,028	-0,02
165,3696	0,403	0,361	0,362	-0,005	-0,02
165,429	0,403	0,361	0,362	0,002	-0,02
165,4884	0,403	0,361	0,362	-0,011	-0,02
165,5478	0,403	0,361	0,362	0,02	0,017
165,6072	0,403	0,361	0,362	0,082	0,037
165,6666	0,403	0,361	0,362	0,095	0,054
165,726	0,403	0,361	0,362	0,063	0,054
165,7854	0,403	0,361	0,362	0,058	0,034
165,8448	0,403	0,361	0,362	0,037	0,017
165,9042	0,403	0,361	0,362	0,03	-0,02
165,9636	0,403	0,361	0,362	-0,01	-0,022
166,023	0,403	0,361	0,362	-0,006	-0,022
166,0824	0,403	0,361	0,362	-0,007	-0,02
166,1418	0,403	0,361	0,362	-0,008	-0,022
166,2012	0,403	0,361	0,362	0,029	-0,022
166,2606	0,403	0,361	0,362	0	-0,022
166,32	0,403	0,361	0,362	0,013	-0,022
166,3794	0,403	0,361	0,362	0,012	-0,022
166,4388	0,403	0,361	0,362	0,002	-0,039
166,4982	0,403	0,361	0,362	-0,075	-0,078
166,5576	0,403	0,361	0,362	0,134	0,095
166,617	0,403	0,361	0,362	0,363	0,322

166,6764	0,403	0,361	0,362	0,404	0,361
166,7358	0,403	0,361	0,362	0,165	0,129
166,7952	0,403	0,361	0,362	-0,054	-0,078
166,8546	0,403	0,361	0,362	-0,04	-0,061
166,914	0,403	0,361	0,362	-0,012	-0,02
166,9734	0,403	0,361	0,362	0,006	-0,02
167,0328	0,403	0,361	0,362	0,029	-0,02
167,0922	0,403	0,361	0,362	0,016	-0,022
167,1516	0,403	0,361	0,362	0,003	-0,02
167,211	0,403	0,361	0,362	0,024	-0,02
167,2704	0,403	0,361	0,362	0,025	-0,02
167,3298	0,403	0,361	0,362	-0,013	-0,022
167,3892	0,403	0,361	0,362	0,015	-0,022
167,4486	0,403	0,361	0,362	-0,012	-0,022
167,508	0,403	0,361	0,362	-0,001	-0,02
167,5674	0,403	0,361	0,362	-0,016	-0,02
167,6268	0,403	0,361	0,362	0,013	0
167,6862	0,403	0,361	0,362	0,036	0,017
167,7456	0,403	0,361	0,362	0,104	0,056
167,805	0,403	0,361	0,362	0,09	0,073
167,8644	0,403	0,361	0,362	0,14	0,093
167,9238	0,403	0,361	0,362	0,15	0,112
167,9832	0,403	0,361	0,362	0,13	0,112
168,0426	0,403	0,361	0,362	0,16	0,132
168,102	0,403	0,361	0,362	0,176	0,134
168,1614	0,403	0,361	0,362	0,157	0,112
168,2208	0,403	0,361	0,362	0,137	0,095
168,2802	0,403	0,361	0,362	0,093	0,076
168,3396	0,403	0,361	0,362	0,074	0,037
168,399	0,403	0,361	0,362	0,04	0,015
168,4584	0,403	0,361	0,362	0,002	-0,02
168,5178	0,403	0,361	0,362	-0,017	-0,022
168,5772	0,403	0,361	0,362	-0,015	-0,022
168,6366	0,403	0,361	0,362	-0,012	-0,02
168,696	0,403	0,361	0,362	-0,015	-0,02
168,7554	0,403	0,361	0,362	-0,009	-0,02
168,8148	0,403	0,361	0,362	-0,013	-0,02
168,8742	0,403	0,361	0,362	0,01	-0,022
168,9336	0,403	0,361	0,362	0,005	-0,022
168,993	0,403	0,361	0,362	0,003	-0,022
169,0524	0,403	0,361	0,362	0	-0,022
169,1118	0,403	0,361	0,362	0,014	-0,022
169,1712	0,403	0,361	0,362	0,002	-0,022
169,2306	0,403	0,361	0,362	0,018	-0,02
169,29	0,41	0,361	0,362	0,009	-0,02
169,3494	0,41	0,361	0,362	-0,014	-0,02
169,4088	0,41	0,361	0,362	0,013	-0,02
169,4682	0,41	0,361	0,362	0,012	-0,02
169,5276	0,41	0,361	0,362	-0,001	-0,022
169,587	0,41	0,361	0,362	0,024	-0,022
169,6464	0,41	0,361	0,362	-0,014	-0,02
169,7058	0,41	0,361	0,362	0,031	-0,02

169,7652	0,41	0,361	0,362	0,012	-0,02
169,8246	0,41	0,361	0,362	-0,024	-0,02
169,884	0,41	0,361	0,362	0,012	-0,02
169,9434	0,41	0,361	0,362	-0,019	-0,02
170,0028	0,41	0,361	0,362	0,033	0,017
170,0622	0,41	0,361	0,362	0,038	0,037
170,1216	0,41	0,361	0,362	0,058	0,056
170,181	0,41	0,361	0,362	0,082	0,056
170,2404	0,41	0,361	0,362	0,066	0,037
170,2998	0,41	0,361	0,362	0,046	0,015
170,3592	0,41	0,361	0,362	-0,019	-0,02
170,4186	0,41	0,361	0,362	-0,008	-0,02
170,478	0,41	0,361	0,362	-0,014	-0,02
170,5374	0,41	0,361	0,362	0,032	-0,02
170,5968	0,41	0,361	0,362	-0,002	-0,022
170,6562	0,41	0,361	0,362	-0,017	-0,022
170,7156	0,41	0,361	0,362	0,013	-0,02
170,775	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,022
170,8344	0,41	0,361	0,362	0,011	-0,022
170,8938	0,41	0,361	0,362	-0,002	-0,042
170,9532	0,41	0,361	0,362	-0,058	-0,081
171,0126	0,41	0,361	0,362	0,122	0,09
171,072	0,41	0,361	0,362	0,339	0,322
171,1314	0,41	0,361	0,362	0,397	0,359
171,1908	0,41	0,361	0,362	0,176	0,129
171,2502	0,41	0,361	0,362	-0,079	-0,083
171,3096	0,41	0,361	0,362	-0,043	-0,063
171,369	0,41	0,361	0,362	-0,023	-0,027
171,4284	0,41	0,361	0,362	-0,024	-0,024
171,4878	0,41	0,361	0,362	-0,004	-0,022
171,5472	0,41	0,361	0,362	-0,01	-0,022
171,6066	0,41	0,361	0,362	0,006	-0,022
171,666	0,41	0,361	0,362	-0,002	-0,022
171,7254	0,41	0,361	0,362	0,004	-0,024
171,7848	0,41	0,361	0,362	-0,021	-0,022
171,8442	0,41	0,361	0,362	-0,015	-0,022
171,9036	0,41	0,361	0,362	-0,006	-0,024
171,963	0,41	0,361	0,362	-0,015	-0,022
172,0224	0,41	0,361	0,362	0,01	-0,022
172,0818	0,41	0,361	0,362	0,045	-0,005
172,1412	0,41	0,361	0,362	0,026	0,015
172,2006	0,41	0,361	0,362	0,092	0,054
172,26	0,41	0,361	0,362	0,114	0,073
172,3194	0,41	0,361	0,362	0,102	0,09
172,3788	0,41	0,361	0,362	0,115	0,11
172,4382	0,41	0,361	0,362	0,108	0,11
172,4976	0,41	0,361	0,362	0,161	0,129
172,557	0,41	0,361	0,362	0,166	0,129
172,6164	0,41	0,361	0,362	0,126	0,11
172,6758	0,41	0,361	0,362	0,09	0,09
172,7352	0,41	0,361	0,362	0,116	0,073
172,7946	0,41	0,361	0,362	0,056	0,034

172,854	0,41	0,361	0,362	0,067	0,015
172,9134	0,41	0,361	0,362	0,01	-0,024
172,9728	0,41	0,361	0,362	-0,012	-0,024
173,0322	0,41	0,361	0,362	0,006	-0,024
173,0916	0,41	0,361	0,362	0,005	-0,022
173,151	0,41	0,361	0,362	-0,019	-0,024
173,2104	0,41	0,361	0,362	-0,015	-0,022
173,2698	0,41	0,361	0,362	-0,02	-0,022
173,3292	0,41	0,361	0,362	0,023	-0,022
173,3886	0,41	0,361	0,362	0,012	-0,022
173,448	0,41	0,361	0,362	0,022	-0,024
173,5074	0,41	0,361	0,362	0,007	-0,024
173,5668	0,41	0,361	0,362	-0,021	-0,024
173,6262	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,024
173,6856	0,41	0,361	0,362	0,008	-0,022
173,745	0,41	0,361	0,362	0,021	-0,022
173,8044	0,41	0,361	0,362	-0,008	-0,022
173,8638	0,41	0,361	0,362	0,024	-0,024
173,9232	0,41	0,361	0,362	-0,008	-0,024
173,9826	0,41	0,361	0,362	0,008	-0,022
174,042	0,41	0,361	0,362	0,016	-0,024
174,1014	0,41	0,361	0,362	-0,022	-0,024
174,1608	0,41	0,361	0,362	0,013	-0,024
174,2202	0,41	0,361	0,362	-0,004	-0,024
174,2796	0,41	0,361	0,362	-0,002	-0,022
174,339	0,41	0,361	0,362	-0,004	-0,024
174,3984	0,41	0,361	0,362	-0,015	-0,022
174,4578	0,41	0,361	0,362	0,066	0,015
174,5172	0,41	0,361	0,362	0,042	0,034
174,5766	0,41	0,361	0,362	0,095	0,051
174,636	0,41	0,361	0,362	0,077	0,051
174,6954	0,41	0,361	0,362	0,069	0,032
174,7548	0,41	0,361	0,362	0,041	0,012
174,8142	0,41	0,361	0,362	-0,021	-0,024
174,8736	0,41	0,361	0,362	0,015	-0,024
174,933	0,41	0,361	0,362	0,012	-0,024
174,9924	0,41	0,361	0,362	0,008	-0,022
175,0518	0,41	0,361	0,362	-0,015	-0,024
175,1112	0,41	0,361	0,362	0,03	-0,022
175,1706	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,024
175,23	0,41	0,361	0,362	0,006	-0,024
175,2894	0,41	0,361	0,362	-0,006	-0,024
175,3488	0,41	0,361	0,362	0,002	-0,044
175,4082	0,41	0,361	0,362	-0,044	-0,081
175,4676	0,41	0,361	0,362	0,125	0,093
175,527	0,41	0,361	0,362	0,355	0,32
175,5864	0,41	0,361	0,362	0,405	0,359
175,6458	0,41	0,361	0,362	0,155	0,129
175,7052	0,41	0,361	0,362	-0,031	-0,081
175,7646	0,41	0,361	0,362	-0,04	-0,061
175,824	0,41	0,361	0,362	-0,007	-0,022
175,8834	0,41	0,361	0,362	-0,021	-0,022

175,9428	0,41	0,361	0,362	-0,001	-0,024
176,0022	0,41	0,361	0,362	0,014	-0,022
176,0616	0,41	0,361	0,362	-0,005	-0,02
176,121	0,41	0,361	0,362	0,007	-0,022
176,1804	0,41	0,361	0,362	0,004	-0,02
176,2398	0,41	0,361	0,362	0,028	-0,022
176,2992	0,41	0,361	0,362	0,002	-0,022
176,3586	0,41	0,361	0,362	-0,02	-0,022
176,418	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,022
176,4774	0,41	0,361	0,362	-0,007	-0,02
176,5368	0,41	0,361	0,362	0,03	0
176,5962	0,41	0,361	0,362	0,063	0,02
176,6556	0,41	0,361	0,362	0,091	0,056
176,715	0,41	0,361	0,362	0,117	0,076
176,7744	0,41	0,361	0,362	0,107	0,095
176,8338	0,41	0,361	0,362	0,119	0,112
176,8932	0,41	0,361	0,362	0,131	0,112
176,9526	0,41	0,361	0,362	0,171	0,132
177,012	0,41	0,361	0,362	0,152	0,132
177,0714	0,41	0,361	0,362	0,133	0,112
177,1308	0,41	0,361	0,362	0,124	0,095
177,1902	0,41	0,361	0,362	0,089	0,076
177,2496	0,41	0,361	0,362	0,04	0,037
177,309	0,41	0,361	0,362	0,03	0,017
177,3684	0,41	0,361	0,362	-0,01	-0,02
177,4278	0,41	0,361	0,362	-0,01	-0,022
177,4872	0,41	0,361	0,362	0,014	-0,022
177,5466	0,41	0,361	0,362	-0,008	-0,022
177,606	0,41	0,361	0,362	-0,003	-0,022
177,6654	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,022
177,7248	0,41	0,361	0,362	-0,004	-0,022
177,7842	0,41	0,361	0,362	0,004	-0,022
177,8436	0,41	0,361	0,362	0,006	-0,022
177,903	0,41	0,361	0,362	-0,009	-0,022
177,9624	0,41	0,361	0,362	0,018	-0,022
178,0218	0,41	0,361	0,362	0,021	-0,022
178,0812	0,41	0,361	0,362	0,024	-0,022
178,1406	0,41	0,361	0,362	0,006	-0,024
178,2	0,41	0,359	0,36	-0,017	-0,022
178,2594	0,41	0,359	0,36	0,014	-0,022
178,3188	0,41	0,359	0,36	-0,002	-0,022
178,3782	0,41	0,359	0,36	-0,001	-0,022
178,4376	0,41	0,359	0,36	-0,009	-0,022
178,497	0,41	0,359	0,36	-0,02	-0,024
178,5564	0,41	0,359	0,36	0,013	-0,022
178,6158	0,41	0,359	0,36	-0,003	-0,024
178,6752	0,41	0,359	0,36	-0,02	-0,022
178,7346	0,41	0,359	0,36	0,027	-0,022
178,794	0,41	0,359	0,36	-0,005	-0,022
178,8534	0,41	0,359	0,36	-0,02	-0,024
178,9128	0,41	0,359	0,36	0,036	0,015
178,9722	0,41	0,359	0,36	0,085	0,034

179,0316	0,41	0,359	0,36	0,091	0,054
179,091	0,41	0,359	0,36	0,064	0,054
179,1504	0,41	0,359	0,36	0,07	0,034
179,2098	0,41	0,359	0,36	0,026	0,012
179,2692	0,41	0,359	0,36	0,007	-0,022
179,3286	0,41	0,359	0,36	-0,007	-0,022
179,388	0,41	0,359	0,36	-0,008	-0,022
179,4474	0,41	0,359	0,36	0,003	-0,022
179,5068	0,41	0,359	0,36	0,007	-0,022
179,5662	0,41	0,359	0,36	0,018	-0,024
179,6256	0,41	0,359	0,36	0,012	-0,022
179,685	0,41	0,359	0,36	-0,017	-0,022
179,7444	0,41	0,359	0,36	0,025	-0,022
179,8038	0,41	0,359	0,36	-0,009	-0,042
179,8632	0,41	0,359	0,36	-0,049	-0,081
179,9226	0,41	0,359	0,36	0,136	0,09
179,982	0,41	0,359	0,36	0,333	0,322