ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Ψαρρού Χριστίνα

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καψάλης
Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Ψαρρού Χριστίνα

Επιβλέπων : Χρήστος Ν. Καψάλης
Καθηγητής

Χ.Καψάλης	Φ.Κωνσταντίνου	Π. Κωττής
Μέλος Δ.Ε.Π	Μέλος Δ.Ε.Π	Μέλος Δ.Ε.Π

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

Copyright © Χριστίνα Ψαρρού, 2009
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Για την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον κύριο Χρήστο Καψάλη για την εμπιστοσύνη και τις υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων της εργασίας αυτής .

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην υποψήφια διδάκτωρ Χρυσάνθη Χουντάλα, που χωρίς την καθοδήγηση και τις παρατηρήσεις της , θα ήταν αδύνατη η υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Σε όλους όσους εργάστηκαν πριν από εμένα, στα πειράματα που διεξήχθησαν για την μέτρηση των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου.

Στους φίλους και συμφοιτητές μου, που όλο αυτόν τον καιρό συμπαραστάθηκαν στις προσπάθειες μου και βοήθησαν με τις παρατηρήσεις τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

“Shoot for the moon. Even if you miss, you'll land among the stars.”

Βάλε στόχο το φεγγάρι. Ακόμα κι αν αποτύχεις, θα προσγειωθείς ανάμεσα στ’ αστέρια.

Brian Littrell

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία , αναλύονται οι τρόποι επεξεργασίας του ηλεκτρικού σήματος που λαμβάνονται από τον εγκέφαλο ενός ατόμου και κατά πόσο επηρεάζεται αυτό από την παρουσία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από πηγή με συχνότητα 900MHz. Η μελέτη που ακολουθεί βασίζεται σε μετρήσεις εγκεφαλικών σημάτων που λήφθηκαν από 19 άτομα κατά τη διάρκεια πειραμάτων που διεξήχθησαν στο Αιγηνήτειο Νοσοκομείο.

Αρχικά παρουσιάζεται το θεωρητικό μέρος. Περιγράφονται γενικά στοιχεία νευροφυσιολογίας και ο μηχανισμός παραγωγής και διάδοσης των δυναμικών του εγκεφάλου, αναλύοντας τη δομή και τη λειτουργία των νευρώνων και της κυτταρικής μεμβράνης. Επιπλέον περιγράφονται εκτενώς η λειτουργία του εγκεφαλογράφου, τα χαρακτηριστικά του εγκεφαλογραφήματος καθώς και τα βιωματικά δυναμικά του εγκεφάλου.

Στη συνέχεια περιγράφεται το πειραματικό μέρος και αναλύεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος.

Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος και οι μέθοδοι επεξεργασίας τους. Η μελέτη κλείνει με το σχολιασμό των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τις μεθόδους που επιλέξαμε.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ), δυναμικά εγκεφάλου, ρυθμοί εγκεφαλικού σήματος, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία,GSM, συχνότητα 900 MHz, επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, φύλο, μετασχηματισμός Fourier, ενέργεια, στατιστικές μέθοδοι, μέσος όρος, διάμεσος, γεωμετρικός μέσος όρος, επικρατούσες τιμές

Abstract

The object of the present study is the presentation of the ways which were used to process electrical signals that have received from the brain (EEG signals) and the clarification of how much they are influenced by the presence of electromagnetic radiation , emitted by source of 900MHz. The study that follows is based on measurements of cerebral signals that have been received from 19 individuals during experiments which took place at Aiginiteio Hospital.

At first, the theoretical part is presented. Some basic elements of the neurophysiology and the mechanism of the generation and propagation of the brain potentials are described .The structure and function of neurons and cellular membrane are analyzed. Furthermore, the function of the encephalograph, the characteristics of the EEG signal as well as the brain biomatic potentials are thoroughly described.

Afterwards the experimental part is described, and the experimental provision that was used as well as the process of conduct of experiment is analyzed.

Then, the results of experiment and their methods of process are presented. The study concludes with the discussion of the results over the methods which were used.

Key Words: Electroencephalogram (EEG), brain potentials, brain bands, GSM, 900 MHz frequency, effect of the electromagnetic radiation, Gender, Fourier transform, Joules, energy ,statistic methods, mean, median, geometric mean, mode

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 6
ABSTRACT 7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ 11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 12

1^{O} ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

1.1 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ 15
1.2 ΝΕΥΡΩΝΑΣ 15
1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ 18
1.4 ΟΙ ΣΥΝΑΨΕΙΣ 20
1.5 ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ 23
1.6 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ 25
1.6.1 Δυναμικό Ισορροπίας 26
1.6.2 Δυναμικό ηρεμίας 26
1.6.3 Βαθμωτά Δυναμικά 28
1.6.4 Ενεργά Δυναμικά 28
1.7 ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ 32
1.7.1.Δυναμικό δράσης στον νευρώνα 34
1.7.2 Αναστολή νευρώνα 36
1.8 Η ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ 37

2^{O} ΚΕΦΑΛΑΙΟ 38

2.1 Ο ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ 39
2.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ 41
2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ 48
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 50
2.5 ΒΙΩΜΑΤΙΚΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ- ERP 52
2.6 ΈΡΕΥΝΑ ΒΙΩΜΑΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΨΥΧΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑ 56

3° ΚΕΦΑΛΑΙΟ 60

3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ 61
3.2 ΈΛΕΓΧΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ (EMC) ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ 63
3.2.1 Νομοθεσία EMC και πρότυπα στην Ευρώπη 64

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ 65

4.1 Η ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΜΝΗΜΗΣ WECHSLER 66
4.2 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 67

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ 70

5.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ – ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ 71
5.2 ΑΠΟΘΟΡΥΒΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ 71
5.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΟΡΥΒΟΠΟΙΗΣΗΣ 71
5.3.1 Κατά τη διάρκεια του πειράματος: 71
5.3.2 Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων 71
5.3.2.1 Εύρεση μέσου όρου (signal averaging) 71

5.3.2.2 Wavelets *72*
5.3.2.3 Αλγόριθμος Ανάλυσης Ανεξάρτητων Συνιστωσών (Independent Component Analysis – ICA) *73*
5.3.2.4 Μετασχηματισμός PCA (Principal Component Analysis) *74*
5.3.2.5 Συνδυασμένη χρήση ICA – PCA *76*
5.4 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΟΡΥΒΟΠΟΙΗΣΗΣ 76
5.4.1 Μέση τιμή *77*
5.4.2 Γεωμετρικός μέσος όρος *77*
5.4.3 Διάμεσος *77*
5.4.4 Επικρατούσα τιμή *78*
5.5 Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER 80
5. 6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 82
5.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ 94
6^{ο} ΚΕΦΑΛΑΙΟ 101
6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ 102
6.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 103
7^{ο} ΚΕΦΑΛΑΙΟ 108
Συμπεράσματα *109*
Περαιτέρω Έρευνα *109*
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 111
Βιβλία-Papers *111*
Ιστοσελίδες και οι πηγές τους *112*
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 115
1.Μέσος όρος *115*
2.Επικρατούσες τιμές *119*
3.Γεωμετρικός Μέσος Όρος *123*
4.Διάμεσος *127*
Παρατηρήσεις *131*

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1-Μέσος Όρος-male off & on 83
Διάγραμμα 2- Μέσος Όρος-female off & on 84
Διάγραμμα 3- Μέσος Όρος-male & female off 84
Διάγραμμα 4 -Μέσος Όρος-male & female on 85
Διάγραμμα 5-Μέσος Όρος- Διαφορές off-on κατάστασης 86
Διάγραμμα 6-Επικρατούσα Τιμή – male off & on 86
Διάγραμμα 7-Επικρατούσα Τιμή – female off & on 87
Διάγραμμα 8 -Επικρατούσα Τιμή – male & female off 87
Διάγραμμα 9- -Επικρατούσα Τιμή – male & female on 88
Διάγραμμα 10 -Επικρατούσα Τιμή - Διαφορές off-on κατάστασης 88
Διάγραμμα 11 -Διάμεσος – female off & on 89

Διάγραμμα 12 -Διάμεσος –male & female off 90
Διάγραμμα 13 -Διάμεσος –male & female on 90
Διάγραμμα 14 -Διάμεσος –Διαφορές off-on κατάστασης 91
Διάγραμμα 15-Γεωμετρικός Μέσος όρος – male off & on 92
Διάγραμμα 16 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – female off & on 92
Διάγραμμα 17 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – male & female off 93
Διάγραμμα 18 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – male & female on 93
Διάγραμμα 19 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – Διαφορές off- on κατάστασης 94
Διάγραμμα 20-male off αρχικό , όλες οι μέθοδοι 95
Διάγραμμα 21 -male off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 96
Διάγραμμα 22 -male off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2 96
Διάγραμμα 23 -male on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 97
Διάγραμμα 24 -male on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2 97
Διάγραμμα 25 -female off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 98
Διάγραμμα 26 -female off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2 98
Διάγραμμα 27 -female on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 99
Διάγραμμα 28 -female on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2 99
Διάγραμμα 29-Διαφορές male off-on όλες οι μέθοδοι 100
Διάγραμμα 30 -Διαφορές female off-on όλες οι μέθοδοι 100
Διάγραμμα 31-ERP’s Μέσος όρος και επικρατούσα τιμή-male off, channel 13 103
Διάγραμμα 32 -ERP’s Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος -male off, channel 13 103
Διάγραμμα 33 -ERP’s Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος -male on, channel 13 104
Διάγραμμα 34 -ERP’s Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -male on, channel 13 105
Διάγραμμα 35 -ERP’s Μέσος όρος & επικρατούσες τιμές κανονικοποιημένα -female off, channel 1 105
Διάγραμμα 36 -ERP’s Μέσος όρος ,διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -female off, channel 1 106
Διάγραμμα 37 -ERP’s Μέσος όρος και επικρατούσα τιμή κανονικοποιημένα -female on, channel 1 107
Διάγραμμα 38 -ERP’s Μέσος όρος ,διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -female on, channel 1 107
Διάγραμμα 39-Ρυθμός α, μέσος όρος , male off & on 115
Διάγραμμα 40 -Ρυθμός α, μέσος όρος , female off & on 115
Διάγραμμα 41 -Ρυθμός β, μέσος όρος , male off&on 116
Διάγραμμα 42 -Ρυθμός β, μέσος όρος , female off&on 116
Διάγραμμα 43 Διάγραμμα 44-Ρυθμός δ, μέσος όρος , male off&on 117
Διάγραμμα 45 -Ρυθμός δ, μέσος όρος , female off&on 117
Διάγραμμα 46 -Ρυθμός θ, μέσος όρος , male off&on 118
Διάγραμμα 47 -Ρυθμός θ, μέσος όρος , female off&on 118
Διάγραμμα 48 -Ρυθμός α, επικρατούσες τιμές , male off&on 119
Διάγραμμα 49 -Ρυθμός α, επικρατούσες τιμές , female off&on 119
Διάγραμμα 50 -Ρυθμός β, επικρατούσες τιμές , male off&on 120

Διάγραμμα 51 -Ρυθμός β, επικρατούσες τιμές , female off&on 120
Διάγραμμα 52 -Ρυθμός δ, επικρατούσες τιμές , female off&on 121
Διάγραμμα 53 -Ρυθμός θ, επικρατούσες τιμές , male off&on 122
Διάγραμμα 54 -Ρυθμός θ, επικρατούσες τιμές , female off&on 122
Διάγραμμα 55 -Ρυθμός α, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on 123
Διάγραμμα 56 -Ρυθμός α, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on..... 123
Διάγραμμα 57 -Ρυθμός β, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on 124
Διάγραμμα 58 -Ρυθμός β, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on..... 124
Διάγραμμα 59 -Ρυθμός δ, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on 125
Διάγραμμα 60 -Ρυθμός δ, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on..... 125
Διάγραμμα 61 -Ρυθμός θ, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on 126
Διάγραμμα 62 -Ρυθμός θ, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on..... 126
Διάγραμμα 63 -Ρυθμός α, διάμεσος , male off&on..... 127
Διάγραμμα 64 -Ρυθμός α, διάμεσος , female off&on..... 127
Διάγραμμα 65 -Ρυθμός β, διάμεσος , male off&on 128
Διάγραμμα 66 -Ρυθμός β, διάμεσος , female off&on..... 128
Διάγραμμα 67 -Ρυθμός δ, διάμεσος , male off&on 129
Διάγραμμα 68 -Ρυθμός δ, διάμεσος , female off&on..... 129
Διάγραμμα 69 -Ρυθμός θ, διάμεσος , male off &on 130
Διάγραμμα 70 -Ρυθμός θ, διάμεσος , female off & on 130
Διάγραμμα 71-Διαφορές male off-on ,ρυθμός α..... 131
Διάγραμμα 72 -Διαφορές female off-on ,ρυθμός α..... 131
Διάγραμμα 73 -Διαφορές male off-on ,ρυθμός β 132
Διάγραμμα 74 -Διαφορές female off-on ,ρυθμός β..... 132

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1- Ρυθμοί και καταστάσεις στις οποίες εμφανίζονται 51
Πίνακας 2-Χαρακτηριστικά Προκλητών Δυναμικών 53
Πίνακας 3-Ποσοστό ολικής ενέργειας από το άθροισμα των τεσσάρων ρυθμών 82

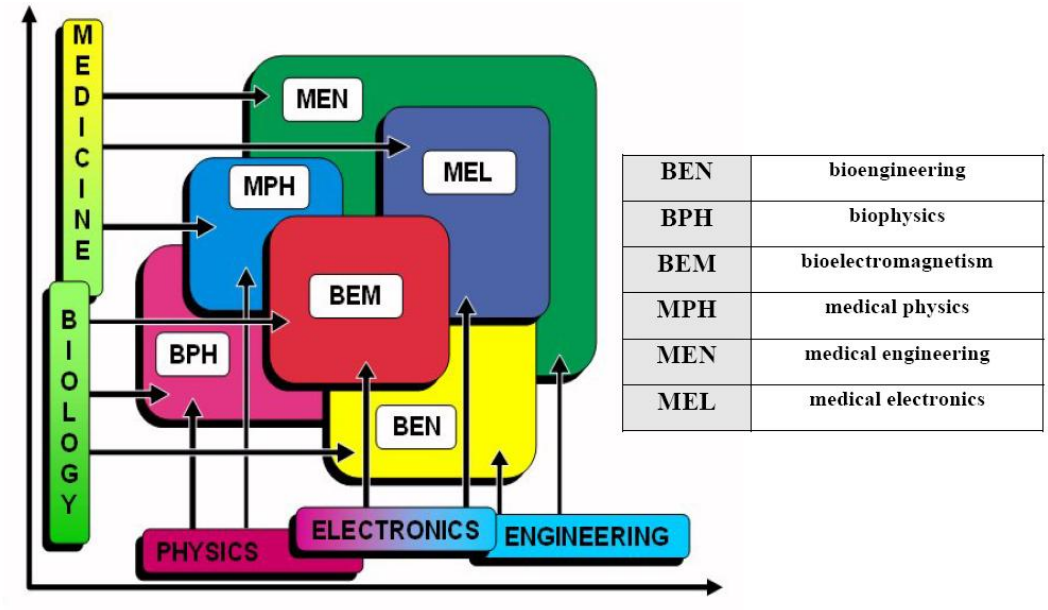
Εισαγωγή

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του μηχανικού είναι να μπορεί να χρησιμοποιεί την γνώση και την τεχνολογία με σκοπό να συμβάλλει στην ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου της κοινωνίας. Ο σκοπός της επιστήμης πρέπει να είναι ανθρωποκεντρικός και ειδικά όσον αφορά στα ιατρικά θέματα, τα τελευταία ειδικά χρόνια, η εφαρμογή της θεωρίας επεξεργασίας σήματος στην επιστήμη της ιατρικής κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να καταφέρουμε να αναπτύξουμε νέες υπολογιστικές και απεικονιστικές τεχνολογίες στην υπηρεσία του ιατρού.

Τα τελευταία χρόνια τα ασύρματα δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων έχουν εξαπλωθεί ευρύτατα. Παράλληλα όμως έχει αυξηθεί η ανησυχία του κοινού για τις πιθανές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος και κυρίως του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η αλματώδης εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών και η ευρεία χρήση πηγών μικροκυματικής ακτινοβολίας και ψηφιακών σημάτων στην καθημερινή ζωή, έφερε στο προσκήνιο τη μελέτη αυτών των επιδράσεων της ακτινοβολίας στον εγκέφαλο. Για τη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών χρήσιμη πηγή πληροφοριών αποτελεί το εγκεφαλογράφημα δηλαδή η καταγραφή του εγκεφαλικού σήματος.

Τα προβλήματα για τις ανάγκες της ιατρικής τίθενται κατ αρχήν από την επιστήμη της ιατρικής και ο μηχανικός καλείται με βάση τις γνώσεις του να παράγει αλγορίθμους και μεθοδολογίες προκειμένου να λύσει αποτελεσματικά το πρόβλημα. Κάθε μέθοδος που προτείνεται αρχικά αξιολογείται από τον μηχανικό μέσα από μια διαδικασία εξομοίωσης και αν τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά ακολουθείται μια διαδικασία κλινικής αξιολόγησης από ιατρούς προκειμένου να εξεταστούν τα τυχόν προβλήματα και βαθμός απόδοσης των εν λόγω μεθόδων.

Η ανάγκη για συνεργασία των επιστημών υγείας με τις λεγόμενες θετικές επιστήμες είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία κλάδων της επιστήμης που συνδυάζουν γνώσεις διάφορων ετερόκλητων πεδίων. Στην εικόνα 1 μπορούμε να δούμε ένα σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει αυτή τη σύζευξη των επιστημών και τους νέους κλάδους που σχηματίζονται προκειμένου να αντιμετωπίσουν σύγχρονα προβλήματα και προκλήσεις που παρουσιάζονται.



Εικόνα 1-Συνεργασία Επιστημονικών Κλάδων

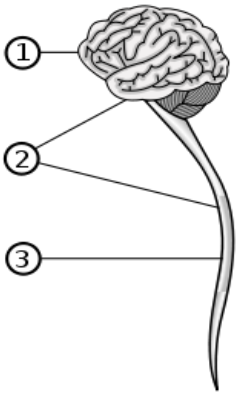
Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται οι τρόποι επεξεργασίας του εγκεφαλικού σήματος που προέκυψε από πειραματικές διαδικασίες και διασαφηνίζεται ποια από αυτές αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για το σκοπό αυτό. Έπειτα παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, με βάση τα συγκεκριμένα πειράματα και για τους παράγοντες που εμπλέκονται στην επίδραση της ακτινοβολίας στα εγκεφαλικά σήματα, όπως είναι το φύλο.

1ο Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μια συνοπτική περιγραφή του κεντρικού νευρικού συστήματος του ανθρώπου . Περιγράφεται η δομή καθώς και οι κατηγορίες των νευρώνων και οι συνάψεις, ο τρόπος σύνδεσής τους δηλαδή, με εστίαση στη δημιουργία και μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων. Παρατίθενται οι ιδιότητες της κυτταρικής μεμβράνης και οι τρόποι δημιουργίας των δυναμικών στην επιφάνεια της, περιγράφονται τα είδη των δυναμικών και οι μηχανισμοί μετάδοσης μιας αρχικής διέγερσης .

1.1 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα αποτελεί το σύστημα που ρυθμίζει και ελέγχει την λειτουργία όλων των οργάνων του ανθρωπίνου σώματος, καθώς επίσης και την μεταξύ τους αρμονική συνεργασία. Τα Σπονδυλωτά διαθέτουν κεντρικό νευρικό σύστημα με την μορφή του νωτιαίου μυελού, το κεφαλικό άκρο του οποίου εξελίχθηκε στα ανώτερα σπονδυλωτά σε εγκέφαλο, καθιστώντας έτσι το νευρικό σύστημα ικανό για πολυπλοκότερες λειτουργίες όπως τις ψυχικές και πνευματικές. Μέσω των αισθητήριων οργάνων (μάτι, αυτί, δέρμα, γλώσσα, μύτη) συμβάλλει στην αντίληψη του περιβάλλοντος από τον άνθρωπο.



1.Μυαλό

2.Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (μυαλό και νωτιαίος μυελός, οι οποίοι προστατεύονται από το κρανίο και τη σπονδυλική στήλη αντίστοιχα και αποτελούν τα κύρια κέντρα όπου γίνεται η διαπλοκή, η συσχέτιση και η ολοκλήρωση των νευρικών πληροφοριών)

3. Νωτιαίος μυελός

Εικόνα 2-Κ.Ν.Σ.

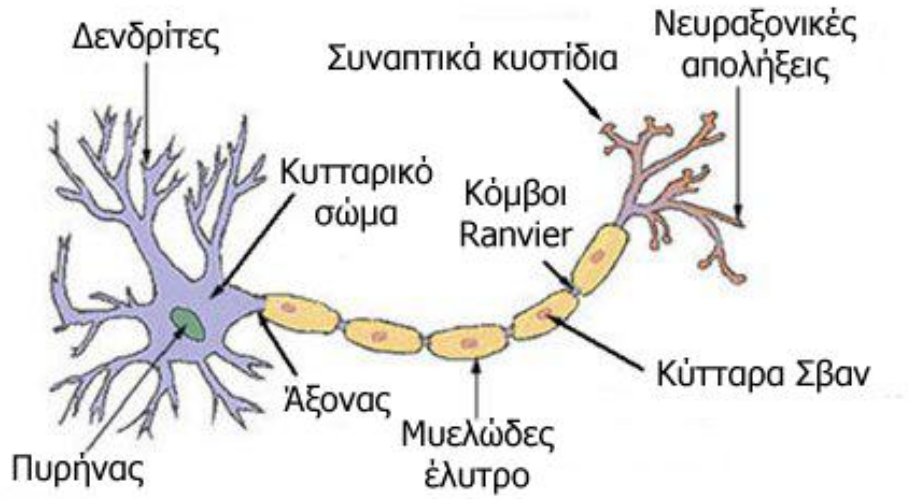
1.2 Νευρώνας

Η βασική μονάδα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος είναι το νευρικό κύτταρο ή αλλιώς νευρώνας. Όλα τα κύτταρα του οργανισμού έχουν διαφορά δυναμικού στη μεμβράνη τους ωστόσο μόνο οι νευρώνες και τα μυϊκά κύτταρα είναι διεγέρσιμα, δηλαδή έχουν την ικανότητα να παράγουν ηλεκτρικό σήμα που μεταφέρεται κατά μήκος της μεμβράνης. Έτσι οι νευρώνες είναι κύτταρα ευερέθιστα στον ηλεκτρισμό τα οποία λειτουργούν για να επεξεργαστούν και να διαβιβάσουν τις πληροφορίες. Η μελέτη του τρόπου διασύνδεσης των νευρικών κυττάρων είναι αρκετά σημαντική προκειμένου να αντιληφθούμε τον τρόπο διασύνδεσης του φυσικού νευρωνικού δικτύου του εγκεφάλου.

Ο κάθε νευρώνας έχει πολλούς δενδρίτες με πολλές διακλαδώσεις. Αυτές οι δομές αποτελούν το δίκτυο με το οποίο ο νευρώνας προσλαμβάνει σήματα από άλλα κύτταρα.

Ο αριθμός των νευρικών κυττάρων είναι τεράστιος και είναι αδύνατο να μετρηθεί, ούτε να υπολογιστεί ακριβώς. Οι παλαιοί ανατόμοι είχαν υπολογίσει ότι στον ανθρώπινο εγκέφαλο υπάρχουν δύο τρισεκατομμύρια νευρώνες.

Ο νευρώνας όπως φαίνεται στην εικόνα 3, αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη :



Εικόνα 3-Δομή νευρώνα

1)Το σώμα (cell body) με διάμετρο 10-80μm που συνιστά το κυρίως μέρος του νευρώνα .

2)Τον Νευράξονα (axon) που ονομάζεται και νευρίτης ή απλά άξονας, μια λεπτή ίνα που μπορεί να έιναι μέχρι και δεκάδες χιλιάδες φορές μεγαλύτερη σε μήκος απο τη διάμετρο του σώματος. Αυτή η δομή μεταφέρει τα νευρικά σήματα απο τον νεύρωνα. Κάθε νευρώνας διαθέτει μόνο ένα άξονα, αλλά αυτός ο άξονας μπορεί να διακλαδίζεται έντονα, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η επικοινωνία με πολλά κύτταρα-στόχους.Εκεί που τελιώνει ο άξονας υπάρχουν συμαντικά στοιχεία τα τελικά κομβία που χρειαζονται για την μεταφορά των πληροφοριών προς αλλους δενδρίτες άλλων νευρώνων.

3)Τους δενδρίτες (dendrites), λεπτές προεκβολές του σώματος του νευρώνα (είσοδοι του νευρώνα) οι οποίοι σχηματίζουν δομές που διακλαδίζονται από το κυρίως σώμα του κυττάρου προς τα έξω.

4)Τις απολήξεις του άξονα (axon terminal)

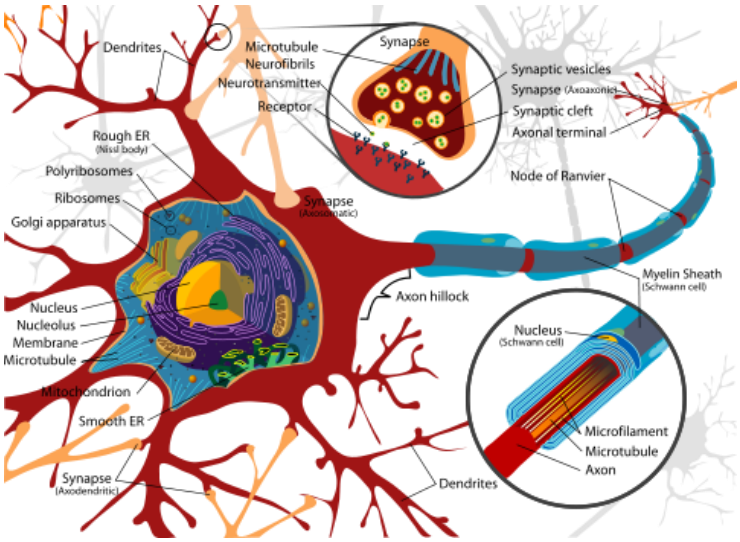
Στο σώμα του νευρικού κυττάρου μπορούμε να βρούμε σχηματισμούς και βιολογικές δομικές μονάδες που είναι κοινές και σε οποιοδήποτε κύτταρο .Το σώμα συμπεριλαμβάνει τον πυρήνα ,τα μιτοχόνδρια , ριβοσώματα και άλλα κυτταρικά οργανίδια . Η δομή τους είναι απολύτως όμοια με τα κυτταρικά οργανίδια που συναντάμε και στα άλλα κύτταρα του ανθρωπίνου σώματος . Τα νευρικά κύτταρα αποτελούνται περίπου από70-80% νερό . Όσον αφορά το μέρος που δεν αποτελείται από νερό αποτελείται από 80% πρωτεΐνες και 20% λιπίδια.

Οι δενδρίτες που αποτελούν λεπτές διακλαδώσεις του σώματος έχουν σαν ρόλο να λαμβάνουν ηλεκτρικά σήματα από άλλα νευρικά κύτταρα και να τα μεταφέρουν στο σώμα. Ένα νευρικό κύτταρο μπορεί να λαμβάνει σήματα από εκατοντάδες χιλιάδες άλλους νευρώνες . Με τον τρόπο αυτό συνδέονται, διακλαδίζονται και συνεργάζονται μεταξύ τους τα νευρικά κύτταρα, κατά ομάδες, για να επιτελέσουν το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν, τη διάδοση των ερεθισμάτων από την περιφέρεια προς το κέντρο (εγκέφαλο) και το αντίστροφο.

Ο άξονας ή νευρική ίνα, αποτελεί μια προέκταση του κυτταρικού σώματος. Το τμήμα του άξονα που βρίσκεται πλησιέστερα στο σώμα του κυττάρου, μαζί με το μέρος του κυττάρου που γίνεται η σύνδεση, ονομάζεται αρχικό τμήμα. Από το σημείο αυτό ξεκινούν τα ηλεκτρικά σήματα που διαδίδονται μακριά από το κυρίως σώμα, κατά μήκος του άξονα. Ο άξονας κατά μήκος του, μπορεί επίσης να εμφανίζει εγκάρσιες διακλαδώσεις, ενώ και στις απολήξεις τόσο του άξονα, όσο και των διακλαδώσεων υπάρχουν περαιτέρω διακλαδώσεις. Κάθε διακλάδωση τελειώνει σε μια απόληξη του άξονα. Αυτές οι απολήξεις είναι υπεύθυνες για τη μεταβίβαση χημικών σημάτων από τους νευρώνες. Οι άξονες μερικών νευρώνων καλύπτονται από μυελίνη μια λιπώδη μεμβρανική θήκη που σχηματίζεται από κύτταρα στήριξης περιελισσόμενα γύρω από τον άξονα, η οποία επιταχύνει τη διέλευση των ιατρικών σημάτων κατά μήκος του άξονα. Ο χώρος μεταξύ των κυττάρων της μυελίνης που αποτελείται από μεμβράνη του άξονα, εκτίθεται σε εξωκυττάριο υγρό και ονομάζεται κόμβος του Ranvier.

Τόσο ο νευράξονας όσο και οι δενδρίτες έχουν τυπικό μέγεθος γύρω στο 1 μm, ενώ το Σώμα είναι γύρω στα 25 μm, όχι πολύ μεγαλύτερο απο τον πυρήνα που περιέχει. Ο νευράξονας ενός κινητικού νευρώνα μπορεί να είναι μεγαλύτερος απο 1 μέτρο σε μήκος, συνδέοντας, για παράδειγμα, τη βάση της σπονδυλικής στήλης με τα δάχτυλα των ποδιών.

Αντιλαμβανόμαστε την ομοιότητα που φέρει ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι νευρώνες και συνιστούν το φυσικό νευρωνικό δίκτυο του εγκεφάλου με την δομή που έχουμε επινοήσει προκειμένου να λύνουμε προβλήματα βελτιστοποίησης (τεχνητά νευρωνικά δίκτυα).



Εικόνα 4-Νευρωνικό Δίκτυο

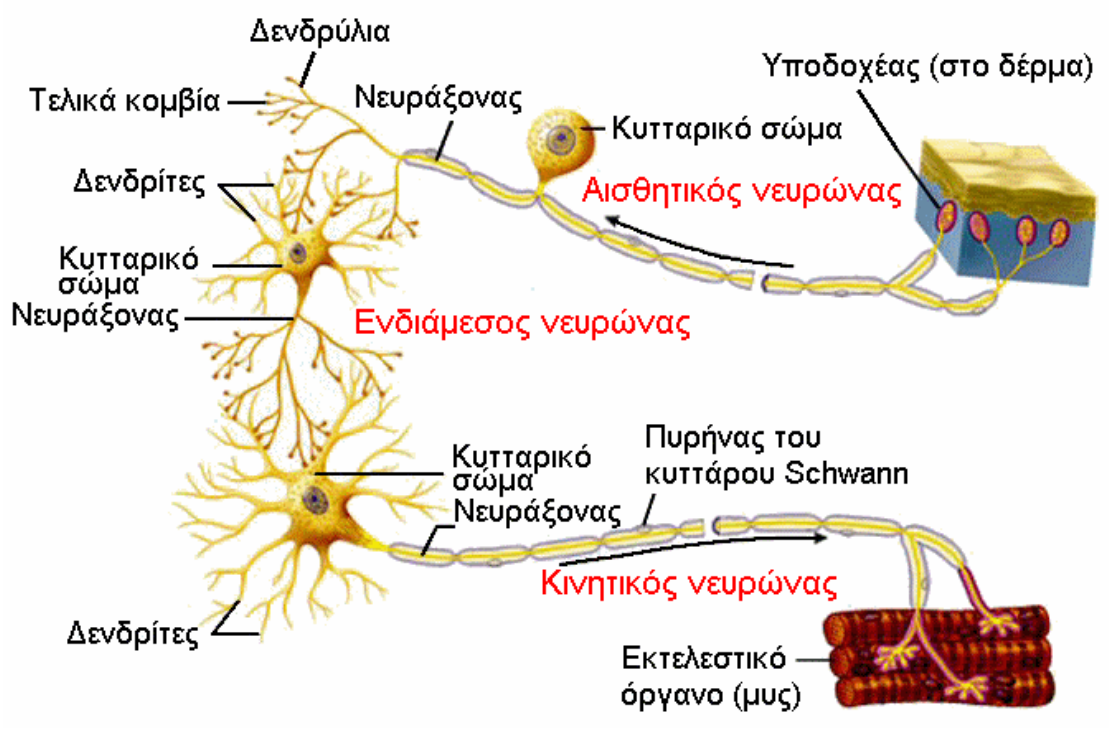
1.3 Κατηγορίες νευρώνων

Οι σημαντικότεροι τύποι νευρώνων είναι οι εξής:

1)Οι αισθητήριοι νευρώνες (προσαγωγός νευρώνας): συμμετέχουν στη λήψη ερεθισμάτων από το περιβάλλον, μεταφέροντας τις πληροφορίες από τα αισθητήρια οργάνα στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Το σώμα τους βρίσκεται έξω από το Κ.Ν.Σ., στα μεσοσπονδύλια γάγγλια και στους αισθητικούς πυρήνες των εγκεφαλικών νεύρων. Αμέσως μετά το κυτταρικό σώμα ο άξονάς τους διαιρείται σε δύο σκέλη, εκ των οποίων το ένα καταλήγει στους υποδοχείς (περιφερειακό), ενώ το άλλο (κεντρικό), εισέρχεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα και συνδέεται με άλλους νευρώνες.

2)Οι ενδιάμεσοι ή συνδετικοί νευρώνες: στο εσωτερικό του κεντρικού συστήματος, ενσωματώνουν τις πληροφορίες που παρέχουν οι αισθητήριοι νευρώνες και τις μεταδίδουν στους κινητικούς νευρώνες. Αποτελούν το 99.98% του συνόλου των κυττάρων του. Έχουν μεγάλο εύρος φυσιολογικών ιδιοτήτων, σχημάτων, χημείας και λειτουργιών. Σε κάθε προσαγωγό νευρώνα, που εισέρχεται στο Κ.Ν.Σ., αντιστοιχούν περίπου 10 απαγωγοί νευρώνες και 200.000 διανευρώνες.

3)Οι κινητικοί νευρώνες (απαγωγός νευρώνας): μεταφέρουν τα μηνύματα στα δραστικά κύτταρα. Το σώμα και οι δενδρίτες των κινητικών νευρώνων βρίσκονται μέσα στο Κ.Ν.Σ. αλλά οι άξονες τους εκτείνονται στην περιφέρεια.



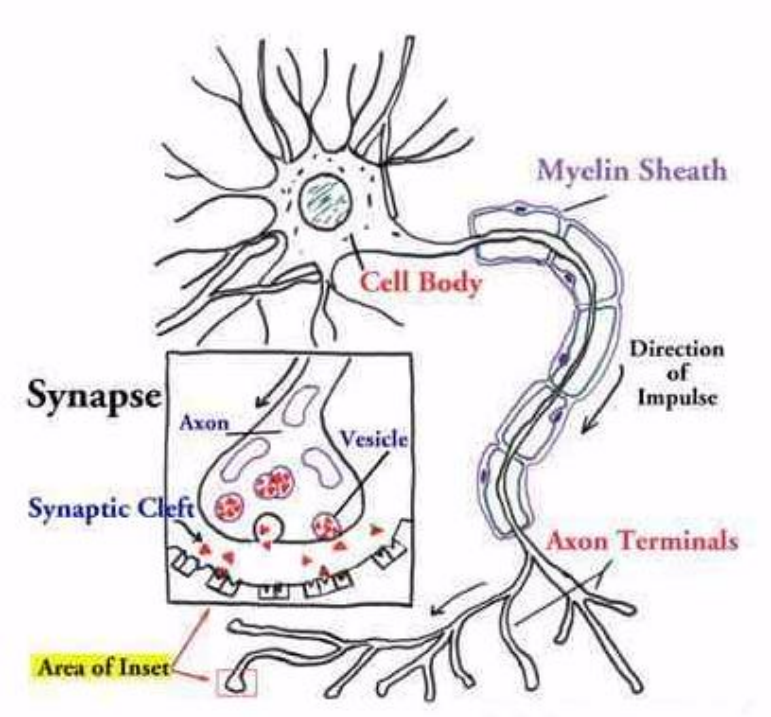
Εικόνα 5- Τύποι Νευρώνων

Σύμφωνα με τον αριθμό, το μήκος και τις διακλαδώσεις που έχουν οι νευρώνες, μπορούν να χωριστούν και στις εξής κατηγορίες :

-Μονόπολοι ή καλύτερα Ψευδομονόπολοι νευρώνες με μία αποφυάδα που είναι πολύ κοντή και χωρίζεται σε δύο κλάδους από τους οποίους ο ένας από τους δύο θα λειτουργήσει ως δενδρίτης. (τους βρίσκουμε στα νωτίαια γάγγλια)
-Δίπολοι νευρώνες με σώμα απο το οποίο εκφύονται ένας άξονας και ένας δενδρίτης από αντίθετους πόλους. (τους βρίσκουμε στα δίπολα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς)
-Πολύπολοι νευρώνες με έναν μόνο άξονα και πολλούς δενδρίτες. (οι περισσότεροι νευρώνες)

1.4 Οι συνάψεις

Με ποιον τρόπο γίνεται όμως η σύνδεση ανάμεσα στους νευράξονες του ενός κυττάρου με το σώμα του επόμενου ; Ο μηχανισμός μεταφοράς του ηλεκτρικού σήματος από το ένα κύτταρο στο άλλο χρίζει ιδιαίτερης σημασίας μιας και ολοκληρώνει την εικόνα που έχουμε για την διασύνδεση των νευρικών κυττάρων μεταξύ τους. Η σύνδεση λοιπόν των δυο κυττάρων γίνεται με τον μηχανισμό της σύναψης. Οι συνάψεις δημιουργούνται γενικώς μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή δενδρίτη ενός άλλου, αλλά μπορούν και να δημιουργηθούν μεταξύ των δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή μεταξύ των απολήξεων των δύο αξόνων. Οι νευρώνες που άγουν σήματα προς μία σύναψη λέγονται προσυναπτικοί, ενώ οι νευρώνες που λαμβάνουν σήματα από τη σύναψη και τα οδηγούν μακριά από αυτήν, ονομάζονται μετασυναπτικοί.
Τα συναπτικά κομβία είναι οι τελικές απολήξεις νευρικών ινιδίων που ξεκινούν από πολλούς άλλους νευρώνες και συνήθως καθένα προέρχεται από ξεχωριστό προηγούμενο νευρώνα. Μπορούν να είναι είτε διεγερτικά, με έκκριση ουσίας που διεγείρει το νευρώνα ή ανασταλτικά, με έκκριση ουσίας που αναστέλλει τη δραστηριότητά του.

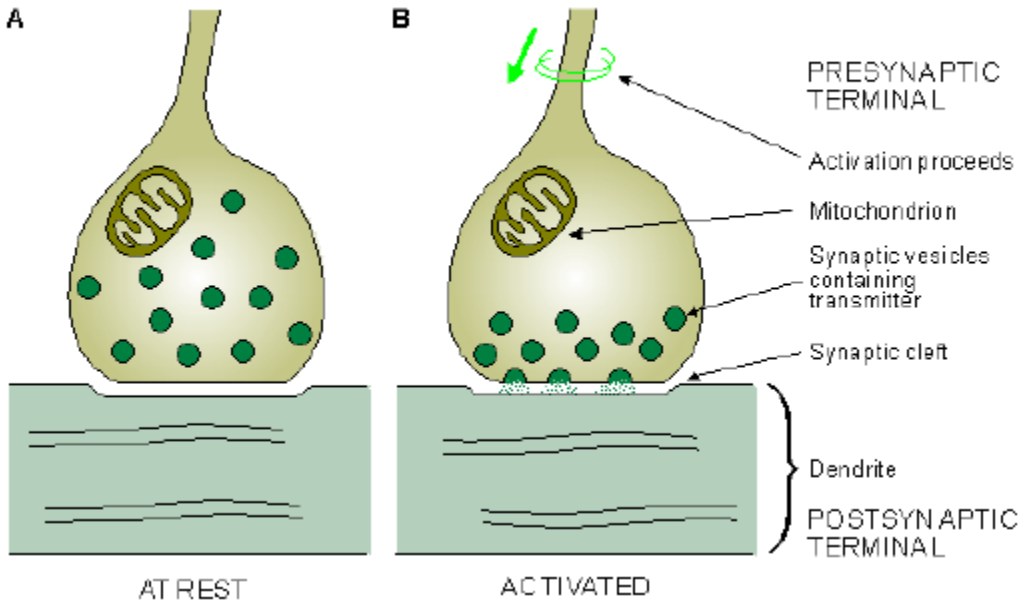


Εικόνα 6- Η Σύναψη

Το συναπτικό κομβίο της εικόνας χωρίζεται από το σώμα του νευρώνα με το συναπτικό χάσμα (σχισμή), πλάτους 20-30nm. Στο εσωτερικό του περιέχει δύο ειδών μορφώματα μεγάλης σημασίας για τις διεγερτικές ή ανασταλτικές λειτουργίες της σύναψης: τα αποθηκευτικά κυστίδια και τα μιτοχόνδρια.

Τα αποθηκευτικά κυστίδια περιέχουν διαβιβαστική ουσία, η οποία όταν απελευθερωθεί μέσα στο συναπτικό χάσμα διεγείρει ή αναστέλλει τους νευρώνες, ανάλογα με τους υποδοχείς που φέρουν αυτοί. Τα μιτοχόνδρια προμηθεύουν το ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) που απαιτείται για τη σύνθεση καινούριας διαβιβαστικής ουσίας. Η ουσία αυτή πρέπει να σχηματίζεται εξαιρετικά γρήγορα, γιατί η ποσότητα της που είναι αποθηκευμένη στα κυστίδια, μπορεί να επαρκέσει μόνο για δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά μέγιστης δραστηριότητας.

Κατά την εξάπλωση μιας διέγερσης σε ένα συναπτικό κομβίο, η εκπόλωση της μεμβράνης προκαλεί εκκένωση μερικών κυστιδίων μέσα στο συναπτικό χάσμα. Ο νευροδιαβιβαστής που απελευθερώνεται προκαλεί άμεση μεταβολή των χαρακτηριστικών διαπερατότητας του νευρώνα, που οδηγεί σε διέγερση ή αναστολή ανάλογα με τον τύπο της διαβιβαστικής ουσίας. Κάθε νευρώνας εκλύει μόνο ένα τύπο νευροδιαβιστή σε όλες τις νευρικές απολήξεις. Οι πιο σημαντικοί νευροδιαβιβαστές είναι η ακετυλοχολίνη, νοραδρεναλίνη, αδρεναλίνη, ντοπαμίνη, γλυκίνη.



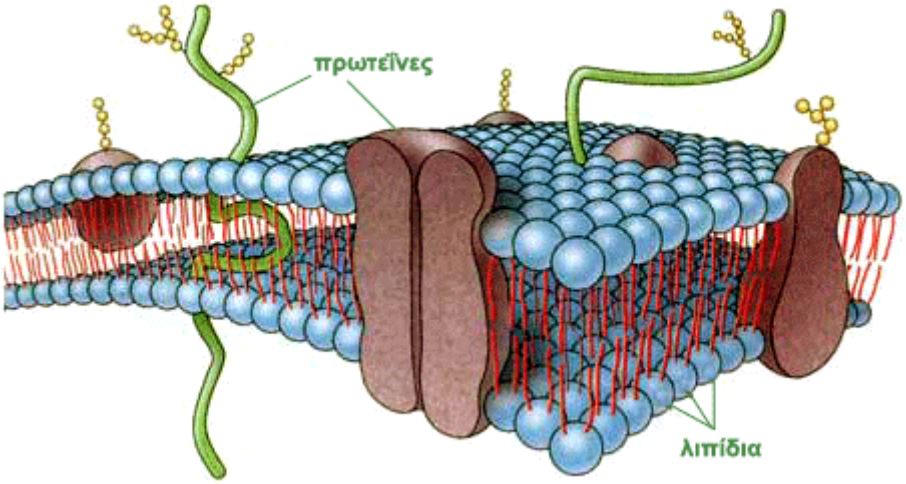
Εικόνα 7- Προσυναπτικό και Μετασυναπτικό Τερματικό

Η μεταφερόμενη πληροφορία μεταφέρεται από το άνω μέρος της σύναψης δηλαδή τον άξονα του ενός κυττάρου προς το κάτω μέρος της σύναψης που είναι το επόμενο κύτταρο (το οποίο σημειώνεται ότι μπορεί να είναι νευρικό ή μυϊκό) .Το μέρος που βρίσκεται από την πλευρά του άξονα ονομάζεται προσυναπτικό τερματικό (presynaptic terminal) ενώ το άλλο κομμάτι ονομάζεται μετασυναπτικό τερματικό (postsynaptic terminal). Όταν η σύναψη υπάρχει ανάμεσα σε ένα νευρικό κύτταρο και ένα μυϊκό τότε ονομάζεται νευρομυϊκή σύναψη.

1.5 Κυτταρική Μεμβράνη

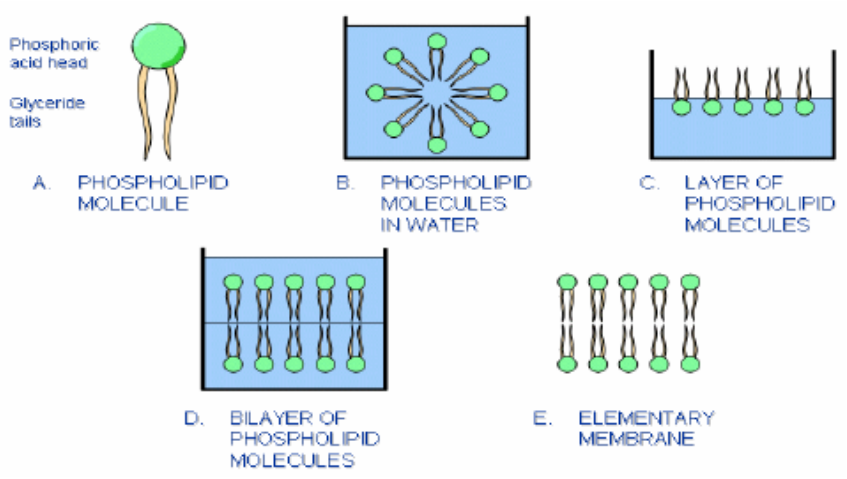
Η δομή της κυτταρικής μεμβράνης είναι αρκετά σημαντική μιας και είναι υπεύθυνη για την δημιουργία διαφορών δυναμικού ανάμεσα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κυττάρου που με τη σειρά τους είναι υπεύθυνες για την δημιουργία ηλεκτρικών σημάτων και κατ επέκταση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Ολόκληρος ο νευρώνας μαζί με τον άξονα και τους δενδρίτες καλύπτεται από την κυτταρική μεμβράνη .Η κυτταρική μεμβράνη είναι ουσιαστικά ένα διπλό (διμοριακό) στρώμα από μόρια λιπιδίων, μέσα στο οποίο υπάρχουν τοποθετημένα εγκαρσίως πολλά διαφορετικά είδη πρωτεϊνικών μορίων. Η μεμβράνη έχει πάχος περίπου 8-10nm.



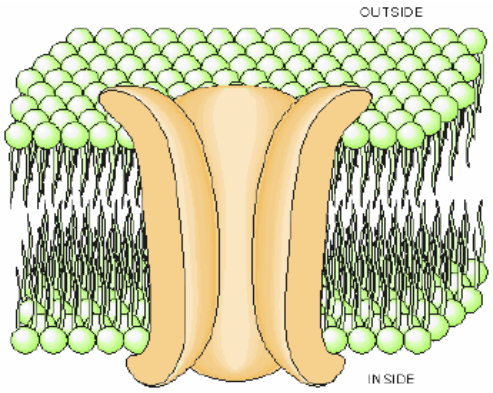
Εικόνα 8- Η Κυτταρική Μεμβράνη

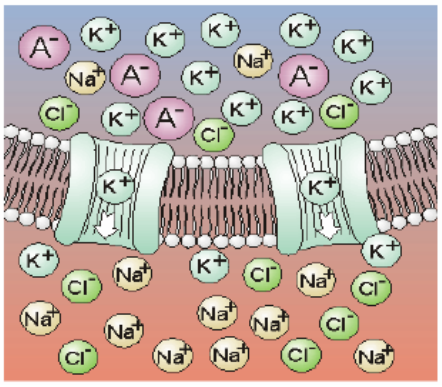
Τα λιπίδια του διμοριακού στρώματος είναι κυρίως φωσφολιπίδια τα οποία είναι βιολογικά μακρομόρια που αποτελούνται από μια υδρόφιλη κεφαλή (προσελκύεται από το νερό) και μια υδρόφοβη ουρά (απωθείται από το νερό) . Έτσι αν βρεθούν σε υδατώδες περιβάλλον τείνουν να δημιουργούν σχηματισμούς προκειμένου η κεφαλή να βρίσκεται στο νερό ενώ παράλληλα να προστατεύεται η υδρόφοβη ουρά.



Εικόνα 9- Τα Φωσφολιπίδια

Έτσι λόγω αυτής της ιδιότητας των φωσφολιπιδίων δημιουργούνται φωσφολιπιδικές στοιβάδες που στην ουσία συνιστουν στοιχειώδεις κυτταρικές μεμβράνες.





Εικόνα 10 &

Εικόνα 11 – Οι αντλίες ιόντων

Στις παραπάνω εικόνες βλέπουμε τις στοιβάδες των φωσφολιπιδίων με την υδρόφιλη κεφαλή να στρέφεται προς το εξωτερικό (υδάτινο) περιβάλλον και την υδρόφοβη ουρά να προστατεύεται στο εσωτερικό της μεμβράνης .Με πορτοκάλί χρώμα απεικονίζονται πρωτεΐνες που αποτελούν μέρος της κυτταρικής μεμβράνης .Τα μακρομόρια αυτά δημιουργούν αντλίες ιόντων μέσα από τις οποίες μπορούν να μεταφερθούν ιόντα διαφόρων στοιχείων όπως καλίου ($K+$) , νατρίου ($Na+$) και χλωρίου ($Cl-$) . Τέτοιου είδους αντλίες ιόντων είναι υπεύθυνες για τα

ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που εξετάζουμε. Η σημαντική ιδιότητα των αντλιών ιόντων είναι ότι δεν επιτρέπουν την ελεύθερη μεταφορά ιόντων από το ένα άκρο τους στο άλλο άλλα διατηρούν μια σταθερή διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό του κυττάρου . Μπορούν να χωριστούν σε διόδους ελεγχόμενες από τάση, σε χημικά ελεγχόμενες διόδους και σε μη ελεγχόμενες διόδους, δηλαδή αντίστοιχα ιοντικές διόδους που ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με την τάση που τους επιβάλλεται διαμεμβρανικά, ανάλογα με την παρουσία κάποιων χημικών ουσιών και των χημικών φαινομένων που τις συνοδεύουν ή τέλος διόδους που δεν ελέγχονται από εξωτερικές συνθήκες.

1.6 Δυναμικό Μεμβράνης

Το δυναμικό μεμβράνης είναι η ηλεκτρική διαφορά δυναμικού (τάση) που εμφανίζεται μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης και καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των ιόντων που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτής, όπως ήδη αναφέραμε. Σε κάθε κυτταρικό τμήμα ή μεμβρανώδες διαμέρισμα υπάρχει ένα διαμεμβρανικό δυναμικό (αν και η τιμή του μπορεί να είναι μηδέν). Το δυναμικό αυτό δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη τη μεμβράνη. Στα νευρικά κύτταρα μια τοπική μεταβολή του δυναμικού συμβαίνει στις συνάψεις .

Σε συνθήκες ηρεμίας τα κύτταρα έχουν μία διαφορά δυναμικού, κατά μήκος των μεμβρανών. Στις περισσότερες περιπτώσεις το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικά φορτισμένο ως προς το εξωτερικό. Οι δύο καταστάσεις στις οποίες μπορεί να υπεισέλθει το δυναμικό της μεμβράνης, κατά τη μεταβολή του από το δυναμικό σε κατάσταση ηρεμίας, είναι η αποπόλωση και η υπερπόλωση.

Ο όρος αποπόλωση σημαίνει ότι το δυναμικό είναι λιγότερο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας. Κατόπιν παραδοχής, αφορά καταστάσεις όπου αντιστρέφεται η πολικότητα της μεμβράνης και το εσωτερικό του κυττάρου γίνεται θετικό.

Υπερπόλωση σημαίνει ότι το δυναμικό είναι περισσότερο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας. Όταν μια μεμβράνη επιστρέφει προς την τιμή ηρεμίας, από αποπόλωση ή υπερπόλωση, το φαινόμενο ονομάζεται επαναπόλωση.

1.6.1 Δυναμικό Ισορροπίας

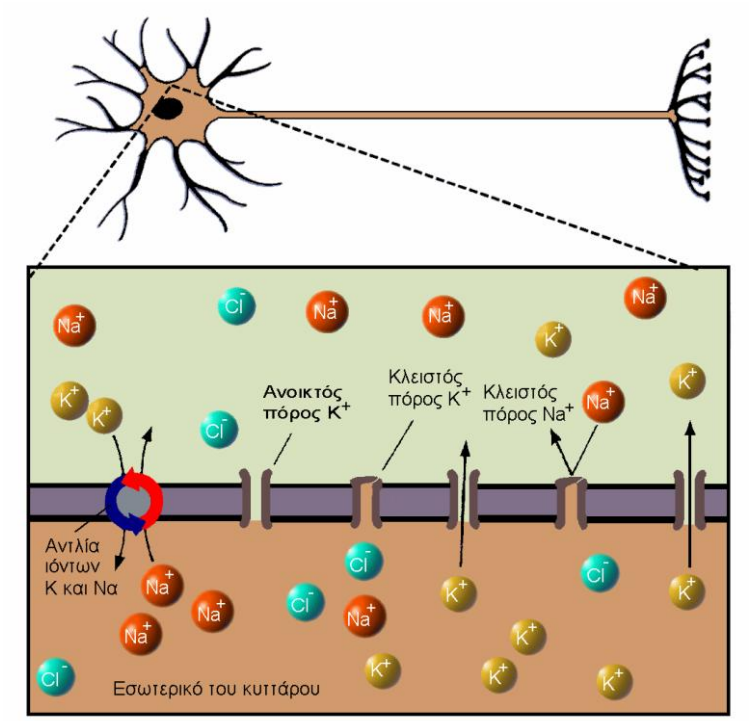
Το δυναμικό ισορροπίας είναι η τάση που έχει η κυτταρική μεμβράνη όταν βρίσκεται σε ισορροπία ένα συγκεκριμένο ιόν, η τάση δηλαδή στην οποία η ηλεκτρική δύναμη που προκύπτει από το φορτίο των ιόντων και η οποία εμποδίζει τη διάχυσή τους προς τα έξω, γίνεται ίση σε μέγεθος και αντίθετη σε πρόσημο με την τάση για εξωτερική διάχυση των ιόντων. Όταν επιτυγχάνεται δυναμικό ισορροπίας οι ροές του ιόντος προς τις δύο κατευθύνσεις (εντός ή εκτός της μεμβράνης) εξισώνονται. Κάθε ιόν έχει το δυναμικό ισορροπίας του το οποίο καθορίζεται από τη συγκέντρωση του ιόντος εντός και εκτός μεμβράνης. Για το κάλιο το δυναμικό ισορροπίας E_K είναι −80 mV (αρνητικό στο εσωτερικό του κυττάρου) ενώ για το νάτριο E_{Na} = +60 mV (θετικό στο εσωτερικό του κυττάρου). Ας σημειωθεί ότι τα δύο δυναμικά έχουν αντίθετα πρόσημα κι αυτό συμβαίνει γιατί τα ιόντα καλίου έχουν τάση διάχυσης προς το εξωτερικό του κυττάρου ενώ τα ιόντα νατρίου προς το εσωτερικό. Το δυναμικό ισορροπίας για ένα ιόν καθορίζεται από τη συγκέντρωσή του εντός και εκτός της μεμβράνης και από τη θερμοκρασία και υπολογίζεται με την εξίσωση του Nernst.

1.6.2 Δυναμικό ηρεμίας

Σε συνθήκες ηρεμίας όλα τα κύτταρα έχουν μια διαφορά δυναμικού κατά μήκος των μεμβρανών, με το εσωτερικό του κυττάρου αρνητικά φορτισμένο ως προς το εξωτερικό (μετράται όταν δεν υπάρχουν άλλα δυναμικά ή ενεργές μεταβολές του δυναμικού μεμβράνης) . Το δυναμικό αυτό λέγεται δυναμικό ηρεμίας της μεμβράνης κι εξαρτάται από τη διαφορά στη συγκέντρωση ιόντων μεταξύ ενδοκυττάριου κι εξωκυττάριου υγρού και από τη διαπερατότητα της μεμβράνης στα διάφορα ιόντα.

Η συγκέντρωση ιόντων Na^+ και Cl^- είναι υψηλότερη στο εξωκυττάριο υγρό ενός νευρικού κυττάρου, ενώ η συγκέντρωση ιόντων K^+ είναι υψηλότερη στο ενδοκυττάριο υγρό. Η αντλία Na^+- K^+ μεταφέρει 3 ιόντα νατρίου έξω από το κύτταρο και 2 ιόντα καλίου μέσα στο κύτταρο. Η αντλία Na^+-K^+ ενισχύει το αποτέλεσμα της παρουσίας των ανιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων. Τα ανιόντα αυτά δεν

μπορούν, λόγω μεγέθους, να εγκαταλείψουν το κύτταρο, αλλά ελκύουν κατιόντα από το εξωτερικό περιβάλλον. Η πλασματική μεμβράνη δεν παρουσιάζει την ίδια διαπερατότητα στα κατιόντα. Για παράδειγμα, η πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία είναι κατά πολύ πιο διαπερατή στα K^+ παρά σε οποιαδήποτε άλλα κατιόντα και το αποτέλεσα αυτής της προτίμησης της μεμβράνης προς τα ιόντα καλίου είναι να παρατηρείται ισχυρή έλξη των ιόντων αυτών προς το εσωτερικό των κυττάρων. Έτσι η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στο εσωτερικό είναι κατά 30 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων αυτών στο εξωτερικό των κυττάρων. Το αποτέλεσμα είναι να γίνεται άνιση κατανομή αυτών των ιόντων και το εσωτερικό των κυττάρων να διαθέτει λιγότερα θετικά φορτία από το εξωτερικό των κυττάρων. Τυπική τιμή ενός δυναμικού ηρεμίας νευρώνα είναι -70mV. Το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση τάσης των Goldman Hodgkin και Katz.



Εικόνα 12- Κατανομή ιόντων σε ένα κύτταρο

Συνεπώς το δυναμικό ηρεμίας οφείλεται σε άνιση κατανομή ιόντων, η οποία διατηρείται από τη μεταβολική δραστηριότητα του κυττάρου, μέχρι κάποιο είδος αναταραχής να διαταράξει αυτή την ισορροπία. Η ισορροπία αυτή διαταράζεται από παροδικές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης που προκαλούν ηλεκτρικά σήματα

και μπορούν να αλλάξουν την κατάσταση της μεμβράνης και τις λειτουργίες του κυττάρου.
Τα ηλεκτρικά σήματα που προκαλούν αυτές τις αλλαγές στο δυναμικό μπορούν να εμφανιστούν με δύο μορφές: τα βαθμωτά δυναμικά και τα ενεργά δυναμικά.

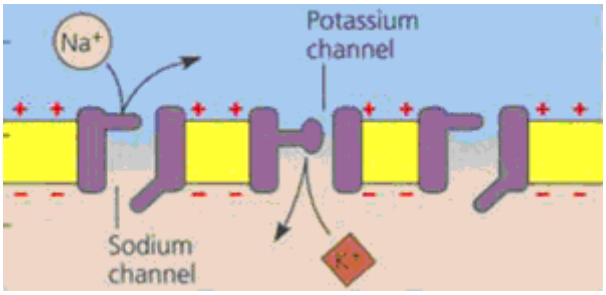
1.6.3 Βαθμωτά Δυναμικά

Το βαθμωτά δυναμικά είναι ένα μέτρο του δυναμικού κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης και είναι ιδιαίτερα σημαντικά στους νευρώνες που εμφανίζουν έλλειψη δράσης. Τα βαθμωτά δυναμικά που αποπολώνουν την μεμβράνη, αυξάνουν δηλαδή το δυναμικό της πάνω από το δυναμικό ηρεμίας είναι σημαντικά ως δυναμικά «σκανδαλισμού» που μπορεί να εξαπλωθούν σε όλη την επιφάνεια των νευρικών κυττάρων και να προκαλέσουν ενεργά δυναμικά .Τα βαθμωτά δυναμικά που υπερπολώνουν την κυτταρική μεμβράνη μειώνοντας το δυναμικό της σε τιμές κάτω από το δυναμικό ηρεμίας, αναστέλλουν τη δημιουργία ενεργών δυναμικών. Τα βαθμωτά δυναμικά μπορούν να προκύψουν είτε σε τμήματα των κυττάρων που λειτουργούν ως αισθητήριοι δέκτες είτε στις συνάψεις και λέγονται αντίστοιχα δυναμικά υποδοχέων και συναπτικά δυναμικά. Είναι υψηλότερα στην πηγή τους , περιορίζονται σε μια μικρή περιοχή αυτής και εξασθενούν μετά από 1-2mm από το σημείο διέγερσης.

1.6.4 Ενεργά Δυναμικά

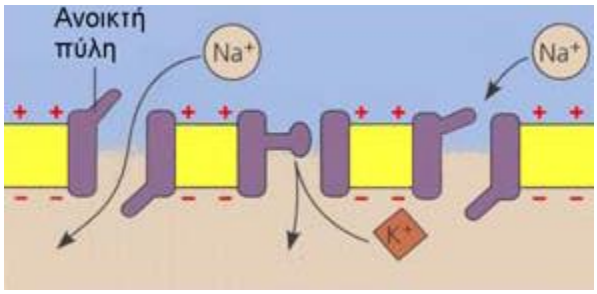
Τα ενεργά δυναμικά χρησιμοποιούνται κυρίως από το νευρικό σύστημα για την επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων και των μυών καθώς και των αδένων με τους νευρώνες. Σε αντίθεση με τα βαθμωτά δυναμικά, τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι απαραίτητα για τη ζωή καθώς είναι τα δυναμικά που μεταφέρουν πληροφορία μεταξύ και ανάμεσα στους ιστούς.
Οι φάσεις από τις οποίες διέρχεται ένα ενεργό δυναμικό αναπτύσσονται παρακάτω:

Δυναμικό ηρεμίας: Με τη διάχυση ιόντων καλίου έξω από το κύτταρο δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού δια μέσου της κυτταρικής μεμβράνης όπου αρνητικό φορτίο βρίσκεται συσσωρευμένο στο εσωτερικό του κυττάρου.



Εικόνα 13- Δυναμικό Ηρεμίας

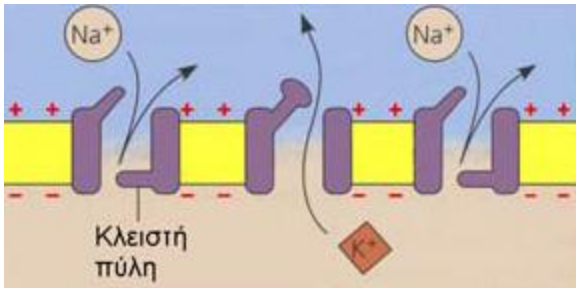
Διέγερση: Μια τοπική αποπόλωση των μεμβρανών που προκαλείται από ένα διεγερτικό ερέθισμα αναγκάζει μερικά κανάλια νατρίου, στα οποία η είσοδος εξαρτάται από την τάση στα άκρα τους, να ανοίξουν και κατά συνέπεια ιόντα νατρίου διαχέονται μέσω των καναλιών. Καθώς η μεμβράνη αποπολώνεται, αν η διάχυση των ιόντων Νατρίου είναι αρκετή ώστε να φτάσει η αποπόλωση σε μια κρίσιμη τιμή που ονομάζεται τιμή κατωφλίου (μεταξύ -50mV και -55mV) παράγεται νευρική ώση ή δυναμικό δράσης. Η προς τα έσω μετακίνηση των ιόντων νατρίου ευνοείται επίσης από την περίσσεια αρνητικού φορτίου στο εσωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης. .



Εικόνα 14- Διέγερση

Ανοδική φάση: Καθώς τα ιόντα νατρίου εισέρχονται και το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται λιγότερο αρνητικό, περισσότερα κανάλια νατρίου ανοίγουν, προκαλώντας μια ακόμα μεγαλύτερη εισροή των ιόντων νατρίου κατά συνέπεια το ρεύμα νατρίου επικρατεί του ρεύματος καλίου και το δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης γίνεται θετικό στο εσωτερικό της.

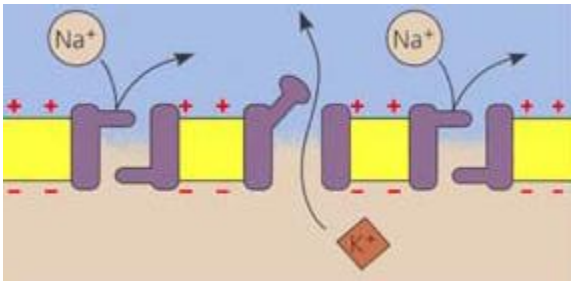
Αιχμή: Όταν το δυναμικό της μεμβράνης αγγίζει τα 30mV ,κλείνουν τα κανάλια νατρίου ενώ ανοίγουν τα κανάλια καλίου. Ενώ συμβαίνει αυτό , οι ευαίσθητες στην τάση είσοδοι των καναλιών καλίου ξεκινούν να ανοίγουν.



Εικόνα 15- Αιχμή

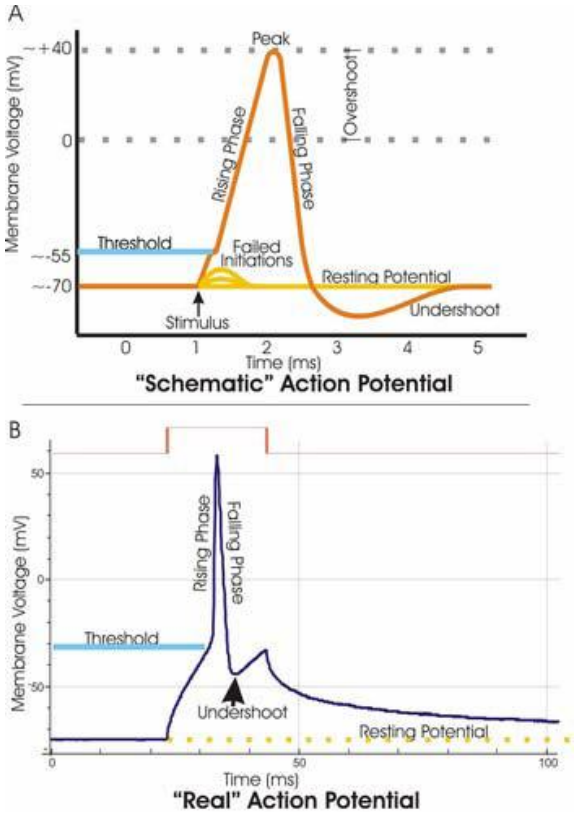
Καθοδική Φάση: Καθώς τα κανάλια καλίου ανοίγουν, ξεκινά μια μεγάλη μετακίνηση προς τα έξω των ιόντων καλίου η οποία ευνοείται από το θετικό φορτίο που υπάρχει στο εσωτερικό. Καθώς τα ιόντα καλίου διαχέονται στο εξωτερικό του κυττάρου συμβαίνει μετακίνηση θετικού φορτίου η οποία προκαλεί αντιστροφή του δυναμικού της μεμβράνης και επαναπόλωση του νευρώνα στην κατάσταση του δυναμικού ηρεμίας.

Undershoot: Το κλείσιμο των καναλιών καλίου εξαρτάται από την τάση που αναπτύσσεται και το χρόνο. Καθώς το κάλιο βγαίνει από το κύτταρο, η προκύπτουσα επαναπόλωση της μεμβράνης αρχίζει το κλείσιμο των καναλιών καλίου. Αυτά τα κανάλια δεν κλείνουν αμέσως αλλά έχουν μια καθυστερημένη απάντηση στην αλλαγή του δυναμικού της μεμβράνης, έτσι ώστε το κάλιο συνεχίζει να ρέει από το κύτταρο ακόμα και αφού έχει επαναπολωθεί πλήρως η μεμβράνη. Κατά συνέπεια το δυναμικό μεμβράνης βυθίζεται κάτω από την κανονική τιμή του δυναμικού ηρεμίας για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό το βύθισμα ονομάζεται undershoot.



Εικόνα 16-Undershoot

Όλα τα παραπάνω στάδια συνοψίζονται στο επόμενο διάγραμμα :



Εικόνα 17- Στάδια του δυναμικού σε σχηματική (πάνω) και πραγματική (κάτω) παρουσίαση

1.7 Διάδοση ενεργού δυναμικού

Τα ενεργά δυναμικά προκαλούνται όταν μια αρχική αποπόλωση πλησιάζει ένα κατώφλι. Η τιμή κατωφλίου ποικίλει αλλά γενικά είναι περίπου 15 mVolts πάνω από το δυναμικό της μεμβράνης του κυττάρου και εμφανίζεται όταν το προς τα έσω ρεύμα νατρίου υπερβαίνει το προς τα έξω ρεύμα καλίου. Η καθαρή εισροή των θετικών φορτίων που φέρονται από τα ιόντα νατρίου αποπολώνει το δυναμικό της μεμβράνης και οδηγεί στο περαιτέρω άνοιγμα των καναλιών νατρίου. Αυτά τα κανάλια υποστηρίζουν την ανάπτυξη ακόμα μεγαλύτερου εσωτερικό ρεύματος προς το εσωτερικό του κυττάρου προκαλώντας την περαιτέρω αποπόλωση, που δημιουργεί έναν κύκλο θετικής ανατροφοδότησης που οδηγεί το δυναμικό της μεμβράνης σε πολύ αποπολωμένο επίπεδο.

Το κατώφλι για την έναρξη του ενεργού δυναμικού συχνά συγχέεται με το κατώτατο όριο του ανοίγματος καναλιών νατρίου. Αυτό είναι λάθος, καθώς τα

κανάλια νατρίου δεν έχουν κανένα κατώτατο όριο. Αντί αυτού, ανοίγουν κατά τρόπο στοχαστικό. Η αποπόλωση δε συμβάλλει τόσο στο άνοιγμα του καναλιού όσο αυξάνει την πιθανότητα να είναι αυτό ανοικτό. Ακόμη και σε υπερπολωμένα δυναμικά ένα κανάλι νατρίου θα ανοίξει πολύ περιστασιακά. Επιπλέον, το κατώφλι ενός ενεργού δυναμικού δεν είναι η τάση στην οποία το ρεύμα νατρίου γίνεται μεγάλο αλλά είναι το σημείο όπου υπερβαίνει το ρεύμα καλίου.

Αφότου δημιουργηθεί, ένα συγκεκριμένο ενεργό δυναμικό δεν διαδίδεται από μόνο του κατά μήκος της μεμβράνης. Αντίθετα κάθε ενεργό δυναμικό ενεργοποιεί, μέσω της δημιουργίας ενός τοπικού ρεύματος, ένα άλλο σε γειτονική περιοχή της μεμβράνης. Η τοπική ροή ρεύματος είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να αποπολώσει τη γειτονική περιοχή της μεμβράνης στο δυναμικό κατωφλίου και να επικρατήσει ο κύκλος θετικής ανάδρασης του νατρίου και να δημιουργηθεί ένα νέο ενεργό δυναμικό σε αυτή τη θέση. Το νέο ενεργό δυναμικό είναι θεωρητικά ταυτόσημο με αυτό που το προξένησε και παράγει τοπικά ρεύματα από μόνο του, τα οποία αποπολώνουν την περιοχή γύρω από αυτό και δημιουργούν ένα ακόμα ενεργό δυναμικό στη γειτονική περιοχή. Αυτό συνεχίζεται κατά μήκος της μεμβράνης. Επομένως, δεν υφίσταται παραμόρφωση καθώς αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κατά μήκος της μεμβράνης και το ενεργό δυναμικό που φτάνει στο άκρο της μεμβράνης είναι το ίδιο σε σχήμα με το αρχικό.

Λόγω των τοπικών ρευμάτων που υπάρχουν ανάμεσα σε περιοχές διαφορετικού δυναμικού, ρέει επίσης φορτίο προς την αρχική θέση διέγερσης από τις νέες διεγειρόμενες γειτονικές περιοχές. Όμως επειδή οι περιοχές της μεμβράνης που έχουν μόλις δεχθεί ένα ενεργό δυναμικό είναι ανενεργές και δεν μπορούν να δεχθούν και άλλο, η μόνη διεύθυνση διάδοσης του ενεργού δυναμικού είναι μακριά από τη περιοχή της μεμβράνης, η οποία έχει πρόσφατα υποστεί ενεργό δυναμικό.

Οι διεγειρόμενες μεμβράνες είναι ικανές να άγουν ενεργά δυναμικά προς κάθε κατεύθυνση διάδοσης, η οποία καθορίζεται μάλλον από τη θέση του ερεθίσματος, παρά από κάποια εγγενή ανικανότητα της μεμβράνης να άγει, προς την αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, τα ενεργά δυναμικά σε κύτταρα των σκελετικών μυών ξεκινούν κοντά στο μέσον αυτών των κυλινδρικών κυττάρων και διαδίδονται προς τα δύο άκρα, αλλά στα περισσότερα νευρικά κύτταρα, τα ενεργά δυναμικά ξεκινούν στο ένα άκρο του κυττάρου και διαδίδονται προς το άλλο άκρο.

Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το ενεργό δυναμικό κατά μήκος μιας μεμβράνης εξαρτάται από τη διάμετρο της ίνας και από το εάν ή όχι η ίνα έχει θήκη μυελίνης. Όσο μεγαλύτερη η διάμετρος της ίνας, τόσο γρηγορότερη είναι η διάδοση του ενεργού δυναμικού καθώς η μεγαλύτερη ίνα χαρακτηρίζεται από μικρότερη αντίσταση σε τοπικά ρεύματα και κατά συνέπεια, γειτονικές περιοχές της μεμβράνης αποκτούν ταχύτερα την τιμή κατωφλίου.

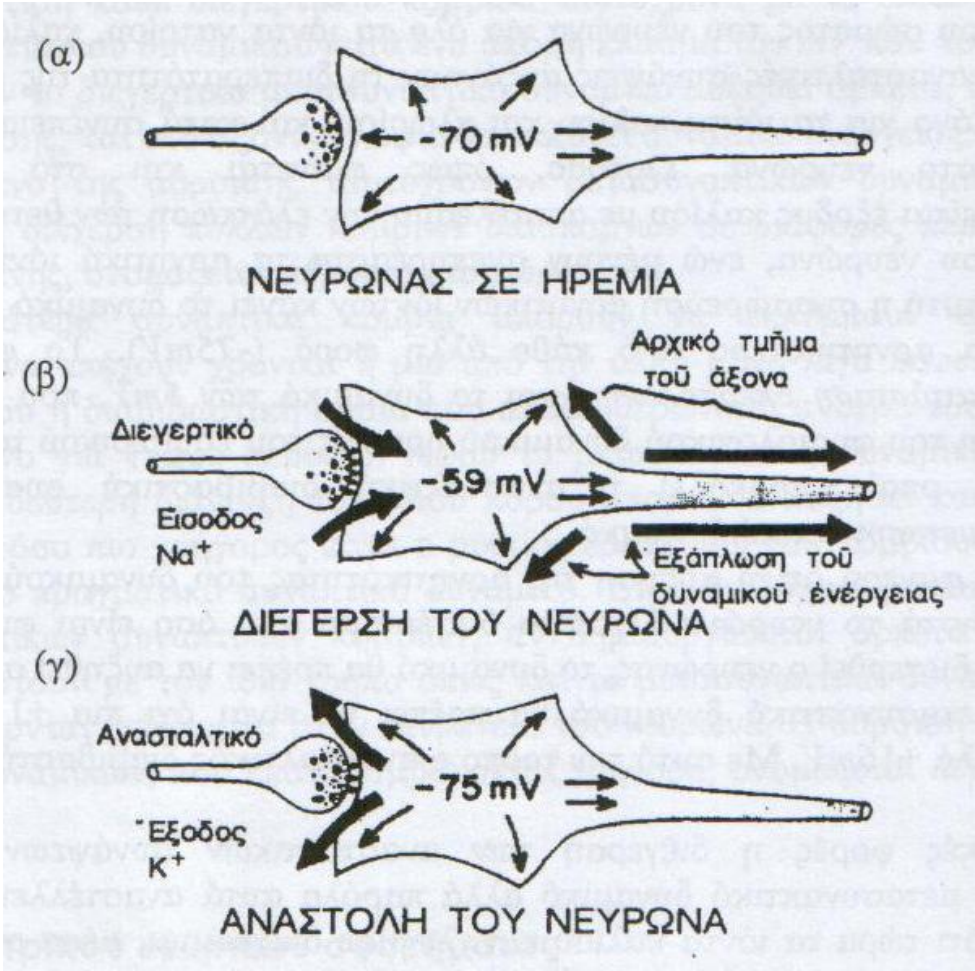
Η μυελίνη, η λιπώδης ουσία που περιβάλλει τους άξονες ορισμένων νευρώνων, όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1, είναι ένας μονωτής που καθιστά πιο δύσκολη τη ροή του φορτίου ανάμεσα στα τμήματα του ενδοκυτταρικού και του εξωκυτταρικού υγρού. Τα ενεργά δυναμικά δεν υφίστανται κατά μήκος των τμημάτων της μεμβράνης που προστατεύεται από μυελίνη. Αντίθετα, υφίστανται μόνο όταν το περίβλημα της μυελίνης διακόπτεται στους κόμβους του Ranvier (nodes of Ranvier) σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά μήκος του άξονα. Επομένως, το ενεργό δυναμικό αναπηδά από έναν κόμβο στον επόμενο καθώς διαδίδεται κατά μήκος μιας ίνας με περίβλημα μυελίνης και για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος διάδοσης ονομάζεται διάδοση με άλματα (salutatory conduction).

Η διάδοση μέσω αλμάτων είναι ταχύτερη σε σχέση με τη διάδοση σε ίνες που δεν έχουν περίβλημα μυελίνης για την ίδια διάμετρο άξονα, εξαιτίας του ότι λιγότερο φορτίο διαρρέει προς τα έξω, μέσω του τμήματος της μεμβράνης που έχει περίβλημα μυελίνης.

Επομένως, περισσότερο φορτίο φτάνει σε μια δεδομένη χρονική στιγμή στον κόμβο, που είναι γειτονικός στον ενεργό κόμβο και ο κόμβος αποπολώνεται γρήγορα και υφίσταται ένα ενεργό δυναμικό συντομότερα, σε σύγκριση με την περίπτωση που δεν υπάρχει μυελίνη.

1.7.1.Δυναμικό δράσης στον νευρώνα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένας νευρώνας σε κατάσταση ηρεμίας, με συναπτικό κομβίο επίσης σε κατάσταση ηρεμίας στην επιφάνεια του. Στη συνέχεια το κομβίο διεγείρεται με αποτέλεσμα την έκκριση διαβιβαστικής ουσίας στο χάσμα μεταξύ αυτού και της μεμβράνης του σώματος του νευρώνα. Ο διαβιβαστής δρα στο διεγερτικό υποδοχέα της μεμβράνης και αυξάνει τη διαπερατότητα της στα ιόντα με αποτέλεσμα τη διάχυση κυρίως ιόντων νατρίου. Έτσι το δυναμικό αυξάνεται από -70mV σε -59mV. Η αύξηση της τάσης αυτής στον νευρώνα ονομάζεται διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό (excitatory postsynaptic potential-EPSP), γιατί όταν γίνει αρκετά ισχυρό θα διεγείρει το νευρώνα προκαλώντας την έκλυση του δυναμικού ενέργειας.



Εικόνα 18- Φάσεις του νευρώνα

Η εκφόρτιση όμως ενός μόνο διεγερτικού συναπτικού κομβίου δεν μπορεί ποτέ να προκαλέσει την έκλυση τέτοιου μετασυναπτικού δυναμικού (PSP). Για τη δημιουργία ενός δυναμικού τέτοιου μεγέθους απαιτείται η ταυτόχρονη εκφόρτιση πολλών, συνήθως δεκάδων μέχρι εκατοντάδων διεγερτικών κομβίων, με τη διαδικασία της λεγόμενης άθροισης, σύμφωνα με την οποία τα μετασυναπτικά δυναμικά αθροίζονται τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο.

Όπως ειπώθηκε, όταν το δυναμικό της μεμβράνης αυξηθεί σημαντικά, πυροδοτείται το δυναμικό ενέργειας. Ωστόσο το δυναμικό ενέργειας δεν αρχίζει στην περιοχή της νευρωνικής μεμβράνης που γειτονεύει με τις νευρωνικές συνάψεις αλλά στο αρχικό τμήμα του νευράξονα, γνωστό και ως αξονικό λοφίδιο. Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται ως εξής: κάθε παράγοντας που προκαλεί αύξηση του δυναμικού σε οποιοδήποτε σημείο του εσωτερικού του σώματος του νευρώνα το αυξάνει ταυτόχρονα και σε κάθε άλλο σημείο. Εξαιτίας όμως φυσικών διαφορών ανάμεσα σε

διάφορες θέσεις της μεμβράνης και διαφορών στη γεωμετρική διάταξη της μεμβράνης ανάμεσα στα διάφορα σημεία του νευρώνα, το περισσότερο διεγέρσιμο μέρος του είναι το αρχικό τμήμα του νευράξονα, δηλαδή τα πρώτα 50-100μm του μήκους του πέρα από το σημείο όπου εγκαταλείπει το σώμα του νευρώνα. Το διεγερτικό συναπτικό δυναμικό που θα προκαλέσει έκλυση δυναμικού ενέργειας σε αυτό το τμήμα του νευρώνα είναι περίπου +11mV σε αντίθεση με τα 30mV που απαιτούνται για την έκλυση δυναμικού ενέργειας στο ίδιο το σώμα του νευρώνα. Για τάση διέγερσης του νευρώνα -59mV, θα σημαίνει ότι το διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό είναι +11mV, δηλαδή τάση κατά 11mV θετικότερη από τα -70mV που αντιπροσωπεύουν το φυσιολογικό δυναμικό ηρεμίας του νευρώνα.

1.7.2 Αναστολή νευρώνα

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι διεγερτικές συνάψεις αυξάνουν τη διαπερατότητα της μεμβράνης του σώματος του νευρώνα για όλα τα ιόντα νατρίου ,καλίου και χλωρίου. Αντίθετα, οι ανασταλτικές συνάψεις αυξάνουν τη διαπερατότητα της μετασυναπτικής μεμβράνης μόνο για τα ιόντα καλίου και χλωρίου και κατά συνέπεια το νάτριο δεν εισέρχεται στο νευρώνα. Ωστόσο πραγματοποιείται έξοδος καλίου με αποτέλεσμα την ελάττωση των θετικών ιόντων στο εσωτερικό του νευρώνα, ενώ μένουν ανεπηρέαστα τα αρνητικά ιόντα του που δεν διαχέονται. Αυτή η συσσώρευση αρνητικών ιόντων κάνει το δυναμικό του εσωτερικού του νευρώνα αρνητικότερο από κάθε άλλη φορά (-75mV). Η κατάσταση αυτή είναι η κατάσταση υπερπόλωσης και το δυναμικό των 5mV ονομάζεται ανασταλτικό μετασυναπτικό δυναμικό (inhibitory PSP - IPSP).

Είναι φανερό ότι η αύξηση της αρνητικότητας του δυναμικού της μεμβράνης (-75mV) καθιστά το νευρώνα λιγότερο διεγέρσιμο από ότι είναι κανονικά. Κι αφού για να διεγερθεί ο νευρώνας το δυναμικό πρέπει να αυξηθεί σε -59mV, το νέο διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό θα πρέπει να είναι +16mV. Με αυτόν τον τρόπο ο ανασταλτικός διαβιβαστής αναστέλλει το νευρώνα.

Μερικές φορές η διέγερση των ανασταλτικών συνάψεων δεν προκαλεί ανασταλτικό μετασυναπτικό δυναμικό αλλά παρόλα αυτά αναστέλλει το νευρώνα. Ο λόγος είναι ότι τώρα τα ιόντα καλίου και χλωρίου διαχέονται , μέσα από τους τελείως ανοικτούς πόρους και προς τις δύο κατευθύνσεις, με ταχύτητα πολλές φορές μεγαλύτερη από τη

φυσιολογική και η μεγάλη αυτή ροή αναστέλλει τη λειτουργία του νευρώνα με τον εξής τρόπο: όταν πυροδοτούνται οι διεγερτικές συνάψεις, η ροή ιόντων νατρίου προς το εσωτερικό του νευρώνα αυξάνει το ενδονευρωνικό δυναμικό πολύ λιγότερο από ότι συνήθως, γιατί κάθε τάση μεταβολής του δυναμικού της μεμβράνης αντιρροπείται αμέσως από τα ιόντα του καλίου και του χλωρίου, που περνούν γρήγορα από τους ανασταλτικούς πόρους για να ξαναφέρουν το δυναμικό στη φυσιολογική τιμή ηρεμίας. Έτσι για να προκληθεί διέγερση είναι δυνατό να απαιτηθεί αύξηση της ροής ιόντων νατρίου 5-20 φορές πάνω από το φυσιολογικό.

Η τάση αυτή του καλίου και του χλωρίου να διατηρούν την τιμή του δυναμικού της μεμβράνης κοντά στα επίπεδα ηρεμίας όταν ανοίγουν πολύ οι ανασταλτικοί πόροι ονομάζεται σταθεροποίηση του δυναμικού ηρεμίας της μεμβράνης.

1.8 Η αξία του ενεργού δυναμικού

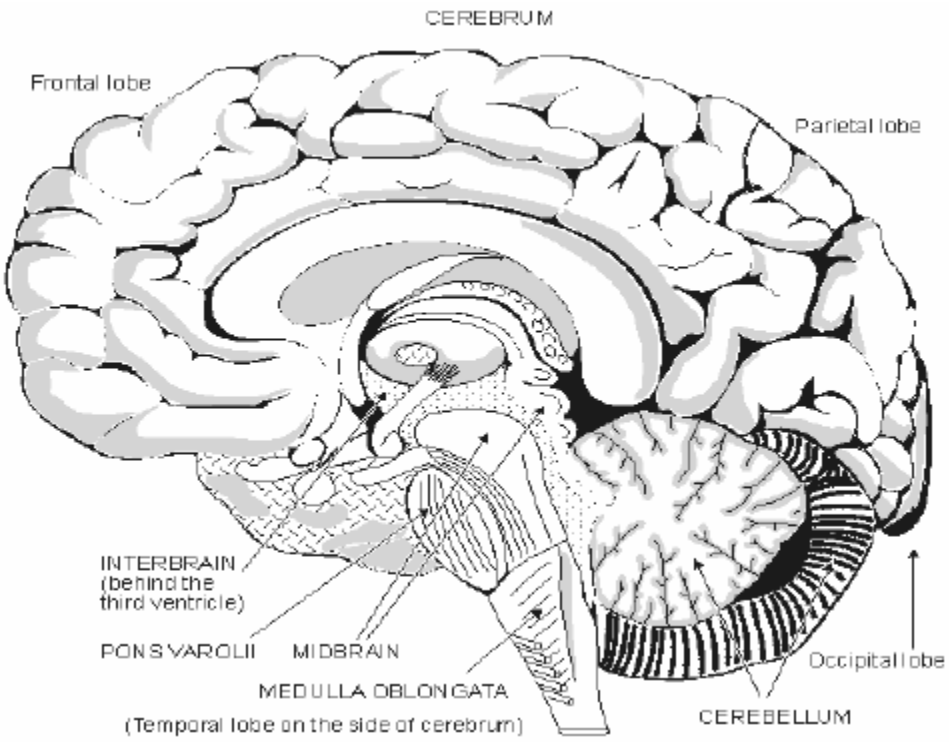
Το ενεργό δυναμικό, ως μέθοδος επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις, είναι κατάλληλο για μια συγκεκριμένη βιολογική ανάγκη η οποία φαίνεται πιο έντονα αν αναλογιστούμε τη μετάδοση πληροφορίας κατά μήκος ενός νευρικού άξονα. Για τη μετακίνηση ενός σήματος από τη μία άκρη ενός άξονα στην άλλη, η φύση πρέπει να εφαρμόσει φυσικές αρχές παρόμοιες με αυτές που διέπουν την κίνηση ηλεκτρικών σημάτων κατά μήκος ενός καλωδίου. Λόγω της αντίστασης και της χωρητικότητας ενός καλωδίου τα σήματα φθίνουν με την απόσταση. Αυτές οι ιδιότητες, γνωστές ως ιδιότητες καλωδίου, θέτουν τα φυσικά όρια με βάση τα οποία διαδίδονται τα σήματα Η σωστή λειτουργία του σώματος απαιτεί τα σήματα να μεταφέρονται κατά μήκος των αξόνων χωρίς απώλειες. Η αξία του ενεργού δυναμικού βρίσκεται όχι τόσο στη διάδοσή του κατά μήκος του άξονα αλλά στη διαρκή αναγέννησή του σε όλη την έκταση της μεμβράνης κατά τη διαδρομή του. Με άλλα λόγια, η κυτταρική μεμβράνη των νευρώνων αναδημιουργεί το ενεργό δυναμικό στο πλήρες πλάτος του καθώς αυτό διαδίδεται στον άξονα, υπερνικώντας τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη φυσική των καλωδίων.

2° Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η δομή του ανθρώπινου εγκέφαλου και στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία του εγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του εγκεφαλικού σήματος. Δίνεται μια σύντομη περιγραφή της καταγραφής του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος και αναλύονται οι τεχνικές επεξεργασίας του. Έπειτα ορίζονται οι φασματικές συνιστώσες – ρυθμοί- του σήματος και οι βασικές κορυφώσεις των προκλητών δυναμικών .

2.1 Ο εγκέφαλος

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι το όργανο το οποίο ρυθμίζει τη λειτουργία του οργανισμού και συντονίζει τις επιμέρους λειτουργίες των οργάνων του σώματος. Αποτελείται από έναν στηρικτικό σκελετό, τη νευρογλοία και τα νευρικά κύτταρα, τους νευρώνες, ο αριθμός των οποίων εκτιμάται από 10^{10}-10^{11} ,συνδεδεμένους μεταξύ τους με δενδρίτες και νευράξονες . Ένας νευρώνας μπορεί να λαμβάνει ερέθισμα από 10^{3} έως και 10^{5} άλλους νευρώνες. Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, η επικοινωνία των κυττάρων επιτελείται μέσω συνάψεων, με μεσολαβητές χημικές ουσίες. Η στοιχειώδης επικοινωνία είναι ηλεκτροχημική, δηλαδή διαμέσου των νευρώνων μεταδίδονται ηλεκτρικά σήματα από το κέντρο στην περιφέρεια και αντίστροφα αλλά και μεταξύ νευρώνων. Όταν μια περιοχή του εγκεφάλου δραστηριοποιείται για να επιτελέσει μια συγκεκριμένη απλή ή πολύπλοκη ενέργεια, τότε συμβαίνουν σε τοπικό επίπεδο φυσικοχημικές και ηλεκτρικές μεταβολές όπως έχουν αναφερθεί παραπάνω.

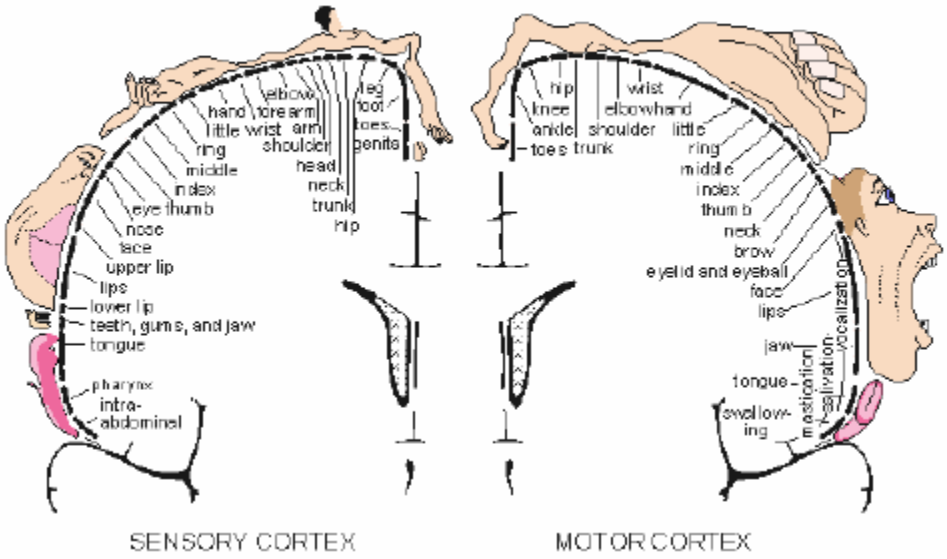


Εικόνα 19- Ο ανθρώπινος Εγκέφαλος

Οι βασικές περιοχές που μπορούμε να διακρίνουμε είναι οι εξής:

1. Μετωπιαίος λοβός (frontal lobe)
2. Βρεγματικός λοβός (Parietal lobe)
3. Ινιακός λοβός(Occiptical lobe)
4. Παρεγγεφαλιτιδα (Cerebellum)
5. Μέσος εγκεφαλος (mid brain)
6. Γέφυρα (pons vapoli)
7. Προμήκης μυελός (medulla oblongata)

Ο εγκέφαλος ζυγίζει γύρω στα 1500 γραμμάρια . Χωρίζεται σε δυο φλοιούς. Τον αισθητικό φλοιό (sensory cortex) που βρίσκεται στην αριστερή μεριά και στον κινητικό φλοιό (motor cortex) που βρίσκεται στην δεξια μερια. Ο αισθητικός φλοιός ενεργοποιείται όταν έχουμε ερεθίσματα που προέρχονται από τις αισθήσεις (αφή όραση κτλ) ενώ ο κινητικός έχει να κάνει με τη μυϊκή κίνηση.



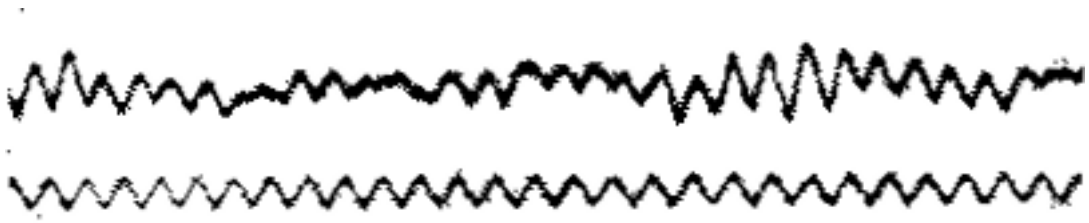
Εικόνα 20-Λειτουργίες που ελέγχει ο εγκέφαλος

2.2 Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Η ύπαρξη της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου αποδείχθηκε το 1875 από τον Άγγλο φυσιολόγο Ρίτσαρντ Κέιτον ο οποίος χρησιμοποιώντας γαλβανόμετρο μελέτησε τους παλμούς που αναπτύσσονται στον εγκέφαλο.

Μόνο όμως μετά τον θάνατο του , αναγνωρίστηκε η σπουδαιότητα των μετρήσεων του από τον Hans Berger ο οποίος έγραψε το 1929 :

«Ο Caton έχει δημοσιεύσει ήδη τα πειράματα του για τους εγκεφάλους των σκυλιών και των πίθηκων στους οποίους τοποθετήθηκαν ηλεκτρόδια , το ένα στον φλοιό και το άλλο στην επιφάνεια του κρανίου. Τα ρεύματα μετρήθηκαν από ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο. Υπήρξαν ευδιάκριτες παραλλαγές στο ρεύμα, το οποίο αυξήθηκε κατά τη διάρκεια του ύπνου και με την αρχή του προκαλούμενου θανάτου έγιναν πιο αδύνατοι, και μετά από το θάνατο εξαφανίστηκαν εντελώς. »

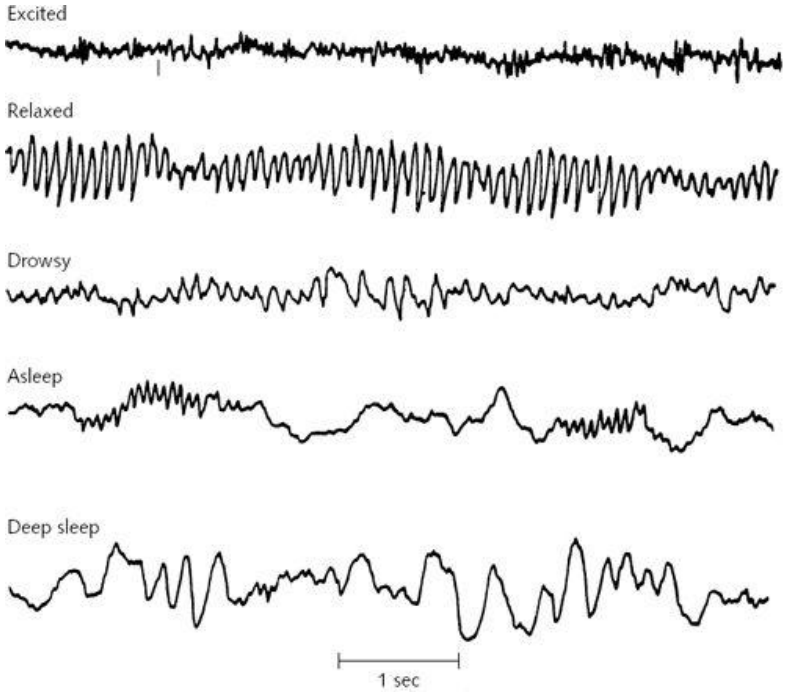


Εικόνα 21- Μια από τις πρώτες καταγραφές EEG, που λήφθηκε από τον Hans Berger το 1924. Η 1η κυματομορφή είναι το EEG η κάτω είναι ένα σήμα ρολογιού στ α 10 Hz.

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ ή EEG) καλούμε την καταγραφή δυναμικών από το τριχωτό της κεφαλής το οποίο προκαλείται από τις αδιάκοπες ταλαντώσεις των εξωκυττάριων δυναμικών που με τη σειρά τους οφείλονται σε ταλαντώσεις των δυναμικών των μεμβρανών μεγάλου αριθμού νευρωνικών κυττάρων. Επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ηλεκτροδίων που τοποθετούνται πάνω ή ακριβώς κάτω από το κρανίο και συνδέονται με έναν ηλεκτροεγκεφαλογράφο. Το αποτέλεσμα αυτής της καταγραφής των ηλεκτρικών δυναμικών αποτελεί το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) και αναπαριστά το ηλεκτρικό σήμα του εγκεφάλου.

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι χρήσιμο στην ιατρική για την ανακάλυψη και τον εντοπισμό εγκεφαλικών βλαβών. Συμβάλλει στην τοπογραφική διαγνωστική των εγκεφαλικών όγκων και έτσι στη χειρουργική θεραπεία τους. Επίσης βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην έρευνα των νευρολογικών διαταραχών και δίνει σημαντικές

πληροφορίες που σχετίζονται με τοξικολογικές διαταραχές του ασθενή. Από τη μελέτη του μπορούν να εξαχθούν εξαιρετικά χρήσιμα συμπεράσματα για τη σωστή εξέλιξη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος ενός ανθρώπου, από τη γέννησή του έως την ενηλικίωση. Ακόμη, σε περίπτωση εγκεφαλοπαθειών, όπως για παράδειγμα η νόσος Jacobs-Kreutzfeldt και το Alzheimer, το ΗΕΓ μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία τόσο για τη βαρύτητα της νόσου, όσο και για την υποβοήθηση της διάγνωσης και της πρόγνωσης. Προσφέρει στοιχεία για την παρακολούθηση της θεραπείας των ψυχικών νόσων με τη χημειοθεραπεία, τα ηλεκτροσόκ και την ψυχοχειρουργική. Κυρίως όμως είναι η μέθοδος εκλογής στην ανάλυση των επιληψιών, που σήμερα ορίζονται ως ηλεκτρικές δυσρυθμίες του εγκεφάλου. Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία χρησιμοποιείται επίσης στην ιατροδικαστική, όπου παρέχει το κατεξοχήν κριτήριο της επέλευσης του θανάτου, την αντικατάσταση των εγκεφαλικών κυμάτων από ισοηλεκτρική γραμμή που αποτελεί και βασική προϋπόθεση για τη λήψη πτωματικών μοσχευμάτων. Ακόμη συμβάλλει στη μελέτη διαταραχών του ύπνου, όπως στη ναρκοληψία.



Εικόνα 22- Μορφές Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος σε διάφορες συνθήκες που βιώνει ένα άτομο

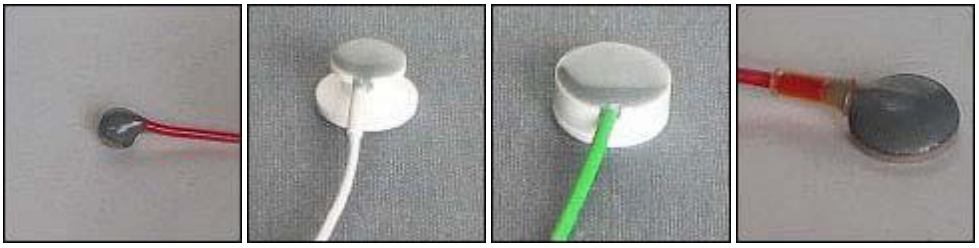
Στο συμβατικό ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, η καταγραφή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων πάνω στο δέρμα της κεφαλής, αφού η περιοχή καθαριστεί από λιπαρές ουσίες και εφαρμοστεί σε αυτήν ένα αγώγιμο υλικό (gel) ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν η αντίσταση και προκειμένου να βελτιώσουμε την σηματοθορυβική σχέση και να εξαλείψουμε τυχόν θόρυβο . Οι ιδιότητες που πρέπει να φέρουν τέτοιου είδους σκευάσματα εκτός της προφανούς (να αυξάνουν δηλαδή την αγωγιμότητα),είναι να μην επηρεάζονται από ιδρώτα ή θερμοκρασία σώματος ,να είναι υποαλλεργικά και γενικά να μην είναι επικίνδυνα για το τριχωτό της κεφαλής.

Εικόνα 23-Αγώγιμο Υλικό- Τζελ

Εικόνα 24-Σκούφος με ηλεκτρόδια

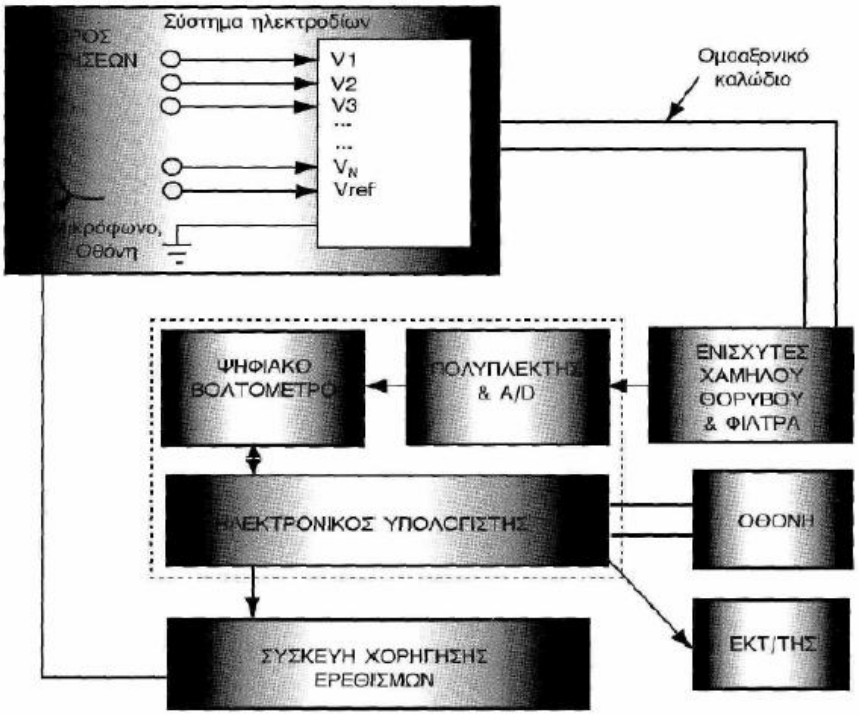
Το ηλεκτρόδιο έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με το αγώγιμο υλικό. Με αυτόν τον τρόπο διεξάγεται κίνηση ιόντων από το δέρμα στο ηλεκτρόδιο μέσω του αγώγιμου υλικού μέχρι να επέλθει ισορροπία η οποία εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων που υπάρχει και στις δύο πλευρές. Δημιουργούνται τελικά δύο φορτισμένες επιφάνειες, μία στο ηλεκτρόδιο και μία στην περιοχή που αυτό εφάπτεται όπου ανάμεσά τους αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού η οποία είναι ευαίσθητη στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων. Όταν αναπτύσσεται ένα εγκεφαλικό σήμα, μεταβάλλεται η ιοντική συγκέντρωση και ακολούθως η διαφορά δυναμικού μεταξύ δέρματος και ηλεκτροδίου στο σημείο επαφής. Άρα υπάρχει ροή ηλεκτρονίων στο ηλεκτρόδιο. Είναι σημαντικό η διαφορά δυναμικού να επηρεάζεται μόνο από ιοντικά ρεύματα που προκαλούνται από εγκεφαλικά σήματα και όχι από άλλους παράγοντες όπως οι θερμοκρασιακές μεταβολές ή οι μετακινήσεις των ηλεκτροδίων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν τα ιόντα της περιοχής επαφής του ηλεκτροδίου έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων πράγμα που συμβαίνει σε ηλεκτρόδια από υλικό που προέρχεται από το συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του. Συνήθως

χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια που κατασκευάζονται από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) ενώ το αγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου (Cl-) .



Εικόνα 25- Διάφορα Ηλεκτρόδια

Κάθε ηλεκτρόδιο συνδέεται με την είσοδο ενός διαφορικού ενισχυτή (ένας ενισχυτής για κάθε ηλεκτρόδιο) ο οποίος ενισχύει την τάση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων από 1000 έως 100000 φορές . Συνήθως υπάρχει μια πρώτη βαθμίδα ενίσχυσης, οι προενισχυτές, η οποία αποτελείται από ενισχυτές χαμηλού θορύβου, της τάξεως των nV, λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα προς ενίσχυση σήματα είναι της τάξεως των μV.



Εικόνα 26- Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης

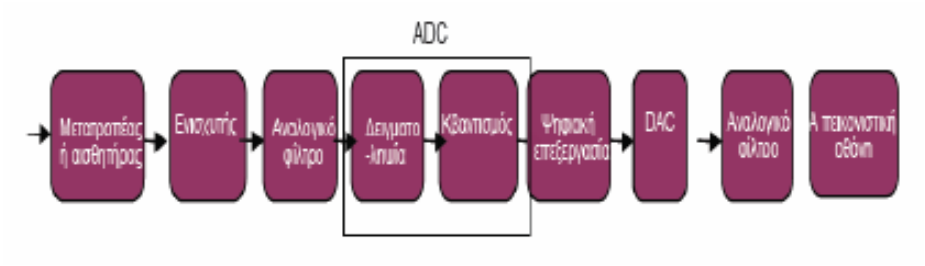
Η ενίσχυση του σήματος των ηλεκτροδίων γίνεται συνήθως με έναν εκ των ακολούθων τριών τρόπων:

1)Ενίσχυση κοινής αναφοράς (Μονοπολική) : Ο τερματισμός κάθε ενισχυτή συνδέεται σε ένα κοινό για όλους ηλεκτρόδιο και τα σήματα όλων των άλλων ηλεκτροδίων μετρώνται σε σχέση με αυτό το ηλεκτρόδιο που ονομάζεται ηλεκτρόδιο αναφοράς. Συνήθως το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετείται σε κάποιο σημείο που ανήκει στη μεσαία γραμμή του κρανίου (νοητή ευθεία που χωρίζει το κρανίο συμμετρικά σε δύο μέρη) ή τοποθετείται στα λοβία των αυτιών, εκ του γεγονότος ότι τα λοβία των αυτιών έχουν μηδαμινή βιολογική δραστηριότητα και έτσι προσφέρονται ως σημεία αναφοράς.

2)Ενίσχυση μέσης αναφοράς : Οι έξοδοι όλων των ενισχυτών αθροίζονται και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους. Αυτό το σήμα αποτελεί την κοινή αναφορά για κάθε ενισχυτή.

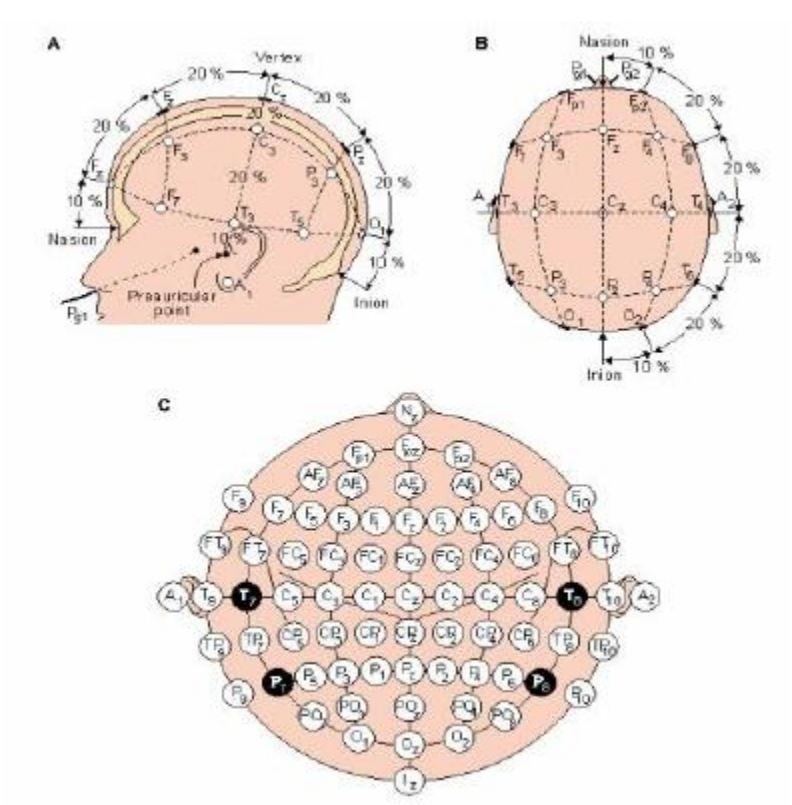
3)Διπολική ενίσχυση : Τα ηλεκτρόδια συνδέονται σειριακά σε ισάριθμους ενισχυτές.

Συνήθως χρησιμοποιούνται διαφορικοί ενισχυτές, ώστε ο λόγος απόρριψης κοινού σήματος (Common Mode Rejection Ratio - CMRR) να είναι στο επίπεδο των 120 dB. Οι συντελεστές ενίσχυσης τέτοιων διατάξεων είναι της τάξης του 105.Χρησιμοποιούνται μερικές φορές και προενισχυτές χαμηλού θορύβου. Το προκύπτον σήμα φιλτράρεται από ένα υψιπερατό και ένα βαθυπερατό φίλτρο με χαρακτηριστικά 0.5Hz και 35-70Hz αντίστοιχα. Το υψιπερατό φίλτρο απορρίπτει χαμηλόσυχνα σήματα που προκαλεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος ενώ το βαθυπερατό απορρίπτει ηλεκτρομυογραφικά σήματα. Το φιλτραρισμένο σήμα αποτυπώνεται σε χαρτί (Παλιότερα η καταγραφή του γινόταν πάνω σε ειδικό χαρτί) ή παρουσιάζεται στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή αφού πρώτα ψηφιοποιηθεί και ληφθεί από κάρτα δεδομένων (Data Acquisition Card – DAQ) . Για καλύτερη οργάνωση ψυχοφυσιολογικών πειραμάτων ο υπολογιστής μπορεί να είναι εξοπλισμένος με λογισμικό που θα είναι σε θέση να χορηγεί ερεθισμούς στον ασθενή. Έτσι θα είναι δυνατή η καταγραφή των αντιδράσεων στην χορήγηση ερεθισμών. Μια τελευταία παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε για να κλείσουμε με την παρουσίαση του εγκεφαλογράφου είναι ότι η γείωση όλων των τμημάτων της συσκευής θα πρέπει να είναι κοινή προκειμένου να αποφεύγονται βρόχοι μεταξύ διαφορετικών γειώσεων και να έχουμε θόρυβο.



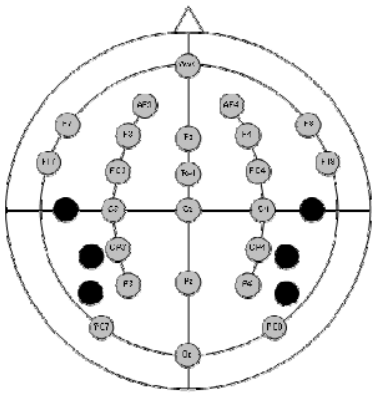
Εικόνα 27- Επεξεργασία Σήματος

Το ποιο γνωστό σύστημα για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι το σύστημα 10/20.Το σύστημα αυτό αποτελεί διεθνές στάνταρτ που έχει καθιερώσει η American Electroencephalographic Society .Σε αυτό το σύστημα παίρνουμε σαν σημεία αναφοράς την μύτη και το αντιδιαμετρικό σημείο στο πίσω μέρος του κρανίου .Στην συνέχεια χωρίζουμε την απόσταση αυτήν των δυο σημείων σε αποστάσεις που απέχουν μεταξύ τους 10% και 20% της συνολικής απόστασης με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω όπου βλέπουμε και τα ονόματα των ηλεκτροδίων που έχουν θεσπιστεί από την American Electroencephalographic Society για να υπάρχει ένα κοινό σημείο αναφοράς .



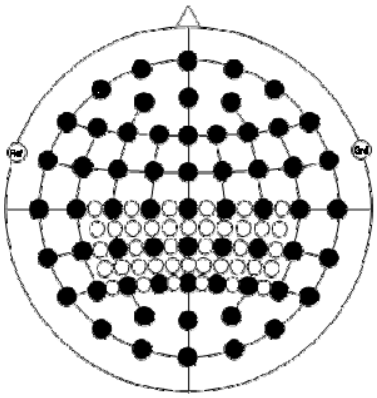
Εικόνα 28- Τοποθέτηση ηλεκτροδίων με το σύστημα 10/20

Εκτός από το σύστημα 10/20 που αναλύσαμε υπάρχουν και άλλα συστήματα που χρησιμοποιούνται και προορίζονται κυρίως για εξειδικευμένες εφαρμογές. Χαρακτηριστικά μπορούμε να παραθέσουμε μερικές εναλλακτικές τοποθετήσεις . Στο πρώτο παράδειγμα έχουμε την τοποθέτηση Wernicke-Left/Wernicke-Right (WL/WR) με 29 κανάλια για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την μελέτη της γλώσσας.



Εικόνα 29- τοποθέτηση κατά Wernicke-Left/Wernicke-Right (WL/WR)

Ένα άλλο σύστημα τοποθέτησης είναι το Kombi-Montage:



Εικόνα 30- τοποθέτησης κατά Kombi-Montage:

Τα διάφορα συστήματα για τοποθέτηση ηλεκτρόδιων δεν σταματάνε εδώ . Άλλα τέτοια συστήματα είναι το σύστημα Queen square ,το σύστημα BESA για μελέτη της επιληψίας κτλ .Η πληθώρα συστημάτων τοποθέτησης ηλεκτροδίων έγκειται στην πληθώρα εφαρμογών που έχει το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.

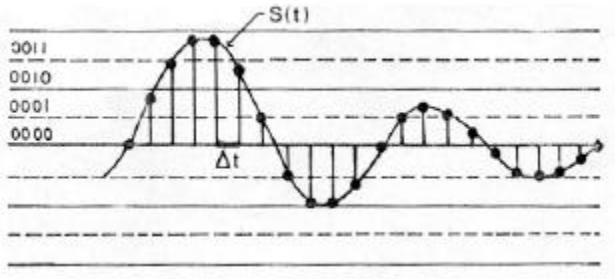
2.3 Επεξεργασία του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος

Τα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα αποτελούν τιμές μιας συνεχούς συνάρτησης του δυναμικού ως προς το χρόνο. Κατά συνέπεια κάθε μετατροπή ή μετασχηματισμός ο οποίος εφαρμόζεται στο EEG σήμα, είναι επίσης μια συνεχής συνάρτηση του χρόνου. Έτσι, για παράδειγμα, το συνεχές δυναμικό που παίρνουμε στην έξοδο ενός ενισχυτή είναι ανάλογο του επίσης συνεχούς δυναμικού που εφαρμόζεται στην είσοδο του, αναλογία η οποία διατηρείται διαρκώς. Άρα το EEG σήμα είναι αναλογικό και κατ' επέκταση οι τεχνικές λήψης, ενίσχυσης και καταγραφής του είναι και αυτές αναλογικές. Με τα συστήματα υπολογιστών όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Όπως είναι γνωστό, τα σήματα για να τύχουν επεξεργασίας από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή πρέπει προηγουμένως να υποβληθούν στη διαδικασία μετατροπής τους σε ψηφιακά. Έτσι λοιπόν το συνεχές αναλογικό ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα πρέπει να μετατραπεί σε μια σειρά διακριτών σημείων που αντιπροσωπεύονται από δυαδικούς αριθμούς οι οποίοι κατόπιν θα δοθούν στο σύστημα για επεξεργασία. Η μετατροπή του αναλογικού σε ψηφιακό και η περαιτέρω επεξεργασία συνιστά την ψηφιακή μέθοδο.

Το πλάτος (amplitude) του συνεχούς, αναλογικού δυναμικού, μετριέται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως από 1 μs μέχρι 1 ms) και κατόπιν οι τιμές μέτρησης μετατρέπονται από έναν κωδικοποιητή ή αναλογοψηφιακό μετατροπέα (analog to digital converter, A/D C) σε ψηφία του δυαδικού συστήματος τα οποία τοποθετούνται σε καθορισμένες διευθύνσεις της μνήμης του ΗΥ για περαιτέρω επεξεργασία. Στην περίπτωση ενίσχυσης ή ανόρθωσης του σήματος, μετά το τέλος της επεξεργασίας μπορεί να πάρει κανείς το αντίστοιχο του αναλογικού σήματος αφού προηγηθεί αυτή τη φορά η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό από ένα αποκωδικοποιητή (D/A C). Η διαδικασία των διαδοχικών μετρήσεων (παρατηρήσεων) ανά τακτά και ίσα μεταξύ τους χρονικά διαστήματα ονομάζεται δειγματοληψία (sampling). Προκειμένου βέβαια το παράγωγο σήμα να παριστά αξιόπιστα το αρχικό αναλογικό σήμα, θα πρέπει κατ' αρχήν ο ρυθμός ή συχνότητα δειγματοληψίας (sampling rate), δηλαδή ο αριθμός των μετρήσεων ανά sec, να υπακούει σε κάποιους νόμους έτσι ώστε να μην υπάρχει απόκρυψη στοιχείων, δηλαδή απώλεια πληροφορίας, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν το μεσοδιάστημα των παρατηρήσεων είναι μεγάλο. Στον καθορισμό της συχνότητας δειγματοληψίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο 1ος νόμος του Nyquist, ο οποίος ορίζει ότι η

συχνότητα της δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα. Δηαλδή : $f_s \geq 2f_{max}$

Η εφαρμογή του νόμου του Nyquist αποτρέπει την εμφάνιση του φαινομένου της φασματικής επικάλυψης (aliasing). Για τα βραδέα κύματα είναι ικανοποιητική ακόμη και μια μικρή συχνότητα δειγματοληψίας, για τις αιχμές όμως και τα αιχμηρά στοιχεία είναι αυτονόητο ότι απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας. Για τις κλινικές εφαρμογές της χαρτογράφησης του EEG (όπου οι συχνότητες που ενδιαφέρουν είναι 1-30 Hz) η ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψίας είναι 60 Hz, αλλά καλό είναι η συχνότητα της δειγματοληψίας να ορίζεται τριπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα που περιέχει το σήμα . Στην πράξη λοιπόν, η ακρίβεια της δειγματοληψίας και κατ' επέκταση η πιστότητα της παράστασης του αναλογικού σήματος, εξαρτάται από την εκλογή της συχνότητας δειγματοληψίας η οποία κατόπιν με τη σειρά εξαρτάται από ορισμένα χαρακτηριστικά του αναλογοψηφιακού μετατροπέα. Η διακριτική ή διαχωριστική ικανότητα (resolution) ενός αναλογοψηφιακού μετατροπέα, εκφράζει την ελάχιστη μεταβολή του δυναμικού που μπορεί να διακρίνει ο μετατροπέας , έχει σχέση με το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δυο διαδοχικές μετρήσεις του δείγματος, είναι αντιστρόφως ανάλογη της μέγιστης συχνότητας δειγματοληψίας και εκφράζεται σε bits ανά λέξη – bps . Για το EEG μια διακριτική ικανότητα 8-11 bits (που ισοδυναμεί με: +256 έως +2048 μετρήσεις σε κάθε δειγματοληπτική περίοδο) είναι ικανοποιητική. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του αναλογοψηφιακού μετατροπέα είναι η μέγιστη διακύμανση ή μέγιστο εύρος (fullscale range) δυναμικού, το οποίο καλείται και ευαισθησία, και το οποίο καθορίζει τις ακρότατες (ελάχιστη και μέγιστη) τιμές του δυναμικού εισόδου που μπορεί να χειριστεί ο μετατροπέας χωρίς παραμόρφωση του σήματος.

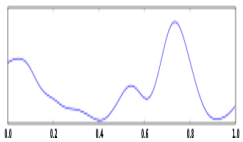
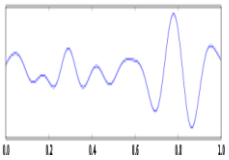
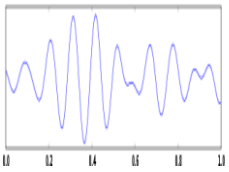
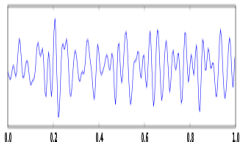
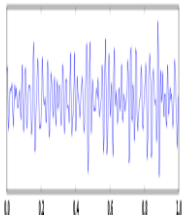


Εικόνα 31- Δειγματοληψία

2.4 Χαρακτηριστικά Εγκεφαλογραφήματος

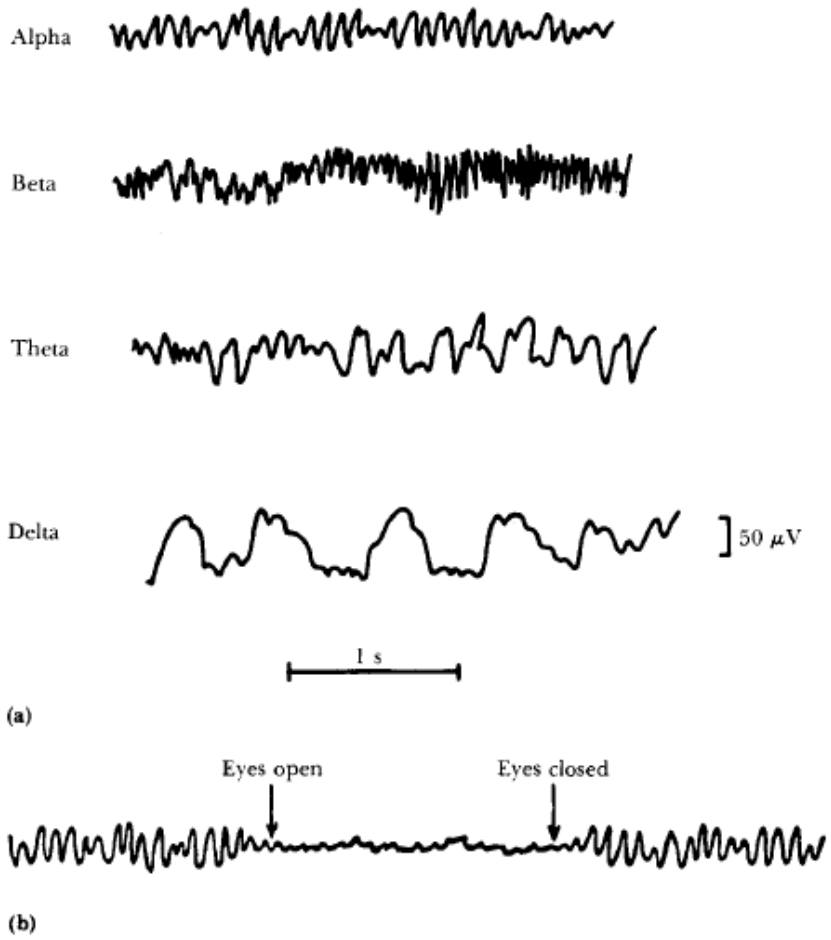
Τα EEG σήματα είναι συνεχή και χαρακτηρίζονται από μία ρυθμικότητα χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι επαναλαμβάνονται ακριβώς από κύκλο σε κύκλο. Έχουν δηλαδή μία εξέλιξη τυχαία. Από μαθηματική άποψη αποτελούν τιμές μιας στοχαστικής ανέλιξης, μιας συνάρτησης δηλαδή με απρόβλεπτη εξέλιξη στο χρόνο, εξαναγκασμένης όμως να συμπεριφέρεται με στατιστική ομαλότητα. Βέβαια ενώ τα στοχαστικά φαινόμενα κατά τη διαχρονική τους εξέλιξη οφείλουν να διατηρούν μία σταθερή κατανομή φασματικής ισχύος, αυτό δε φαίνεται να ισχύει για την EEG δραστηριότητα. Η διαπίστωση όμως αυτή δεν αποτελεί σοβαρό εμπόδιο στη μελέτη των EEG σημάτων διότι η EEG δραστηριότητα σα συνισταμένη ενός πολύ μεγάλου αριθμού επιμέρους διαδικασιών υπακούει στο κεντρικό θεώρημα της στατιστικής το οποίο ορίζει ότι η συνισταμένη ενός μεγάλου αριθμού επιμέρους διαδικασιών ανεξάρτητα από την κατανομή που ακολουθεί κάθε μία από αυτές, ακολουθεί την κανονική κατανομή .Ο καλύτερος τρόπος να αναδειχθεί οποιαδήποτε περιοδικότητα είναι πιθανώς κρυμμένη μέσα στο σήμα είναι να υπολογίσουμε το φάσμα του σήματός μας, δηλαδή τον μετασχηματισμό Fourier αυτού. Το φάσμα ενός χρονικά εξαρτώμενου σήματος μας πληροφορεί για το πόσο έντονο είναι το σήμα σε μία δεδομένη συχνότητα.

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι κυριότεροι ρυθμοί δηλαδή οι συχνοτικές περιοχές που περιέχονται σε ένα EEG σήμα και αποκαλύπτονται όταν γίνει φασματική ανάλυση αυτού. Επίσης αναγράφεται ανά ρυθμό το πλάτος του σήματος δηλαδή το μέγεθος της μετρούμενης τάσης σε μVolt.

Ρυθμός	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)	Πλάτος (μV)	Φυσιολογική κατάσταση	Παθολογική κατάσταση
Δέλτα 	Έως 4	Έως 100-200	Στα μωρά έως το 2° έτος της ηλικίας τους και στον βαθύ ύπνο στους ενήλικες	μερικές εγκεφαλοπάθειες βαθιά εγκεφαλικά τραύματα
Θήτα 	4-7	<30	Υπνηλία στην παιδική ηλικία, την εφηβεία και τη νεαρή ενηλικίωση. Στην ύπνωση, τα βαθιά όνειρα κατά τη διάρκεια της μέρας και στον ελαφρύ ύπνο κατά το ξύπνημα και ακριβώς πριν τον ύπνο.	οργανική εγκεφαλική βλάβη
Άλφα 	8-12	30-50	άγρυπνη χαλαρή κατάσταση, ανιχνεύεται καλύτερα με τα μάτια κλειστά &καταστέλλεται όταν τα μάτια είναι ανοιχτά ή όταν το άτομο είναι συναισθηματικά διεγερμένο ή επιτελεί πνευματική εργασία	Ασθενής σε κώμα
Αργός Βήτα	12-19	<20	Πλήρης εγρήγορση μεγάλη συγκέντρωση και έντονη σκέψη	
Ταχύς Βήτα 	20-30	<20	Πλήρης εγρήγορση μεγάλη συγκέντρωση και έντονη σκέψη	Εμφάνιση με χρήση ναρκωτικών ουσιών
Γάμμα 	30-100+	<20	Ανώτερη πνευματική δραστηριότητα, όπως επίλυση προβλημάτων, φόβος, αντίληψη θεμάτων και συνείδησης είναι παρών κατά τη διαδικασία της αφύπνισης καθώς και κατά τη διάρκεια του ύπνου REM (rapid eye movement).	

Πίνακας 1- Ρυθμοί και καταστάσεις στις οποίες εμφανίζονται

Παρακάτω βλέπουμε όλες τις μπάντες συχνοτήτων μαζί :



Εικόνα 32-Μορφές των ρυθμών

2.5 Βιωματικά Δυναμικά του Εγκεφάλου- ERP

Οι διαφορές δυναμικού που καταγράφονται, συνήθως, στη δερματική επιφάνεια του εγκεφάλου, οι οποίες προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένο γεγονός, το οποίο συμβαίνει είτε στον εξωτερικό φυσικό κόσμο, είτε λαμβάνει χώρα ως ψυχολογική διαδικασία ονομάζονται Βιωματικά Δυναμικά - ΒΔ (Event Related Potentials – ERP). Τα Βιωματικά Δυναμικά χωρίζονται σε:

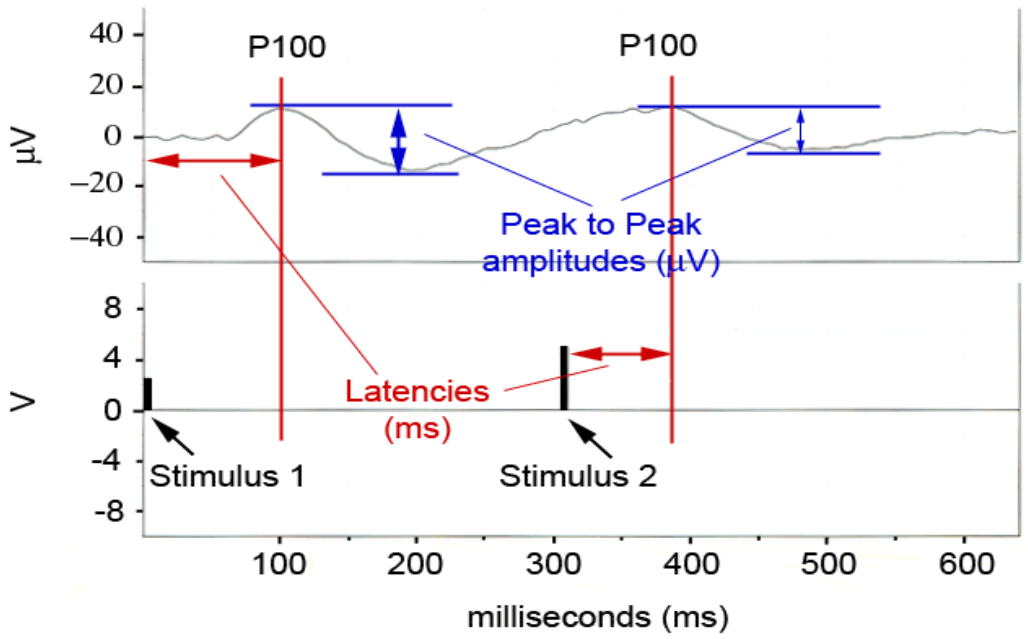
-Προκλητά Δυναμικά – λέγονται τα δυναμικά που καταγράφονται από την επιφάνεια του εγκεφάλου όταν ο οργανισμός εκτίθενται σε διακεκριμένους ερεθισμούς (Evoked Potentials).

-Εκπεμπόμενα Δυναμικά (Emitted Potentials) όταν σχετίζονται με μία ψυχολογική διαδικασία.

Τα προκλητά δυναμικά είναι αυτά που μπορούμε να καταγράψουμε και να επεξεργαστούμε μέσω πειραματικών διαδικασιών στο εργαστήριο, αφού αντικατοπτρίζουν την εγκεφαλική δραστηριότητα σχετιζόμενη με ένα εξωτερικό ερέθισμα. Τα προκλητά δυναμικά έχουν σχετικά μικρό πλάτος το οποίο κυμαίνεται από λιγότερο από 1 έως 10mV. Από την άλλη πλευρά το ΗΕΓ είναι της τάξης των 10 έως 100 mV. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι εύκολο να διακρίνουμε τα προκλητά δυναμικά σε ένα ΗΕΓ. Πρέπει να προσέξουμε ότι το ΗΕΓ μας δίνει πληροφορίες για όλη τη δραστηριότητα του εγκεφάλου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ενώ τα ΠΔ αποτελούν μέρος της δραστηριότητας που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο γεγονός .Τα προκλητά έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Απόλυτος λανθάνων χρόνος	είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της παρουσίασης ερεθισμάτων και του σημείου της μέγιστης αιχμής του σήματος
Σχετικός λανθάνων χρόνος	είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο ερεθισμάτων και μετράει την μετάδοση ηλεκτρικών ρευμάτων της διέγερσης μεταξύ των δύο ερεθισμάτων
Πλάτος	Peak-to-peak: κάθετη απόσταση που μετριέται από την μικρότερη στη μέγιστη αιχμή (αρνητική ή θετική). Δίνει πληροφορίες για το πόσοι νευρώνες ενεργοποιούνται και κατά πόσο συγχρονίζονται με την δημιουργία του ερεθίσματος.
Διάρκεια	Χρονικό διάστημα από την αρχή της αλλαγής τάσης έως την επιστροφή του σήματος στη αρχική κατάσταση. Δείχνει επίσης το πόσο συγχρονίζονται οι νευρώνες που εκτελούν την διεργασία. Μεγαλύτερα σε χρόνο προκλητά δυναμικά δείχνουν λιγότερο συγχρονισμό των νευρώνων.

Πίνακας 2-Χαρακτηριστικά Προκλητών Δυναμικών



Εικόνα 33-Προκλητό Δυναμικό και χαρακτηριστικά του

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξαρτώνται από :

* Το εκλυτικό ερέθισμα
* Την ακεραιότητα και τη λειτουργική επίδοση των συνδέσεων της περιφέρειας με το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα.
* Τις ψυχολογικές πτυχές του συστήματος επεξεργασίας πληροφοριών του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος.

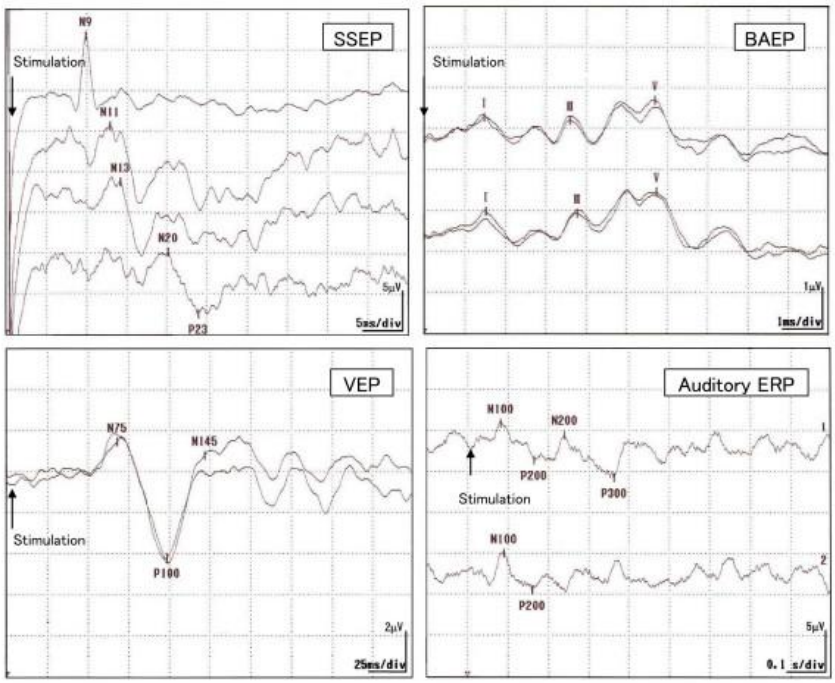
Ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που τα προκαλεί τα Προκλητά Δυναμικά, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

α) Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials - VEP): Εκλύονται με τη βοήθεια οπτικών ερεθισμάτων, όπως εμφάνιση μιας συγκεκριμένης εικόνας, αλλαγή χρωμάτων, λάμψεις κ.ά.

β) Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Auditory Evoked Potentials - AEP): Εκλύονται με τη βοήθεια ακουστικών ερεθισμάτων, δηλ. ήχους, λέξεις, τόνους διαφόρων συχνοτήτων και έντασης.

γ) Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials - SEP): Εκλύονται όταν ένα μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικό ρεύμα ερεθίσει κάποιο συγκεκριμένο νεύρο.

Παρακάτω βλέπουμε κάποια δείγματα από αυτά τα δυναμικά:



Εικόνα 34- Διάφορα είδη ERP's

Επιπλέον τα Προκλητά Δυναμικά μπορούν επίσης χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το χρόνο εμφάνισής τους μετά από την εφαρμογή του εξωτερικού ερεθίσματος (λανθάνον χρόνος). Έτσι τα προκλητά δυναμικά διακρίνονται σε:

* πρώιμα (early, fast) όταν εμφανίζονται σε χρονικό διάστημα από 2 ως 12 ms από τη στιγμή του εξωτερικού ερεθίσματος.
* μέσα (middle) όταν εμφανίζονται σε χρονικό διάστημα από 12 ως 50ms από τη στιγμή του εξωτερικού ερεθίσματος.
* αργά ή ύστερα (late) όταν εμφανίζονται σε χρονικό διάστημα από 50 ως 800ms από τη στιγμή του εξωτερικού ερεθίσματος.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι καθώς αυξάνεται ο λανθάνον χρόνος μειώνεται η συχνότητα των κυματομορφών και αυξάνεται το πλάτος τους. Προσεγγιστικά μπορούμε να πούμε ότι στα πρώιμα δυναμικά έχουμε πλάτη της τάξης του 0,1 ως 0,5μV και συχνότητας 100 ως 1000Hz ενώ στα ύστερα δυναμικά παρατηρούνται συχνότητες 0,1Hz (σχεδόν DC) ως 5Hz και πλάτη από 1 ως 20μV. Τα

χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο έκλυσης των αντίστοιχων δυναμικών. Τα πρώιμα σχετίζονται με τη διαβίβαση των νευρωνικών ώσεων κατά μήκος του ακουστικού ή οπτικού νεύρου για ακουστικά ή οπτικά προκλητά δυναμικά και κατά μήκος της σωματοαισθητικής οδού για τα σωματοαισθητικά. Αντίθετα, τα ύστερα δυναμικά αντανακλούν την εγκεφαλική δραστηριότητα περιοχών του φλοιού ως αντίδραση στην άφιξη της εξωτερικής πληροφορίας.

Τέλος, μπορούμε να χωρίσουμε τα Προκλητά Δυναμικά σε ενδογενή και εξωγενή.

* Τα εξωγενή σχετίζονται άμεσα με τη φύση του εκλυτικού ερεθίσματος δηλ. την ένταση, τη συχνότητά του κ.τ.λ. και την ακεραιότητα των αισθητικών οδών.
* Τα ενδογενή εξαρτώνται ουσιαστικά από την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου και τα ψυχολογικά γνωρίσματα του ερεθίσματος, π.χ. αν το ερέθισμα είναι γνωστό ή άγνωστο, αν προκαλεί δυσφορία ή ευχαρίστηση, αν είναι σημασιολογικά ορθό ή λάθος, ενδιαφέρον ή αδιάφορο κ.ο.κ.

2.6 Έρευνα βιωματικών δυναμικών στην ψυχιατρική και τη νευρολογία

Από σύμβαση η κυματομορφή των προκλητών δυναμικών μελετάται βάσει των λεγόμενων συστατικών (components) των προκλητών δυναμικών. Τα συστατικά είναι μερικές κυματομορφές του συνολικού σήματος, τα οποία καθορίζονται βάσει των κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του πλάτους του δυναμικού, της χρονικής στιγμής στην οποία κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση και του χρονικού εύρους, το οποίο καταλαμβάνει η μερική κυματομορφή που περιέχει τη συγκεκριμένη κορύφωση.

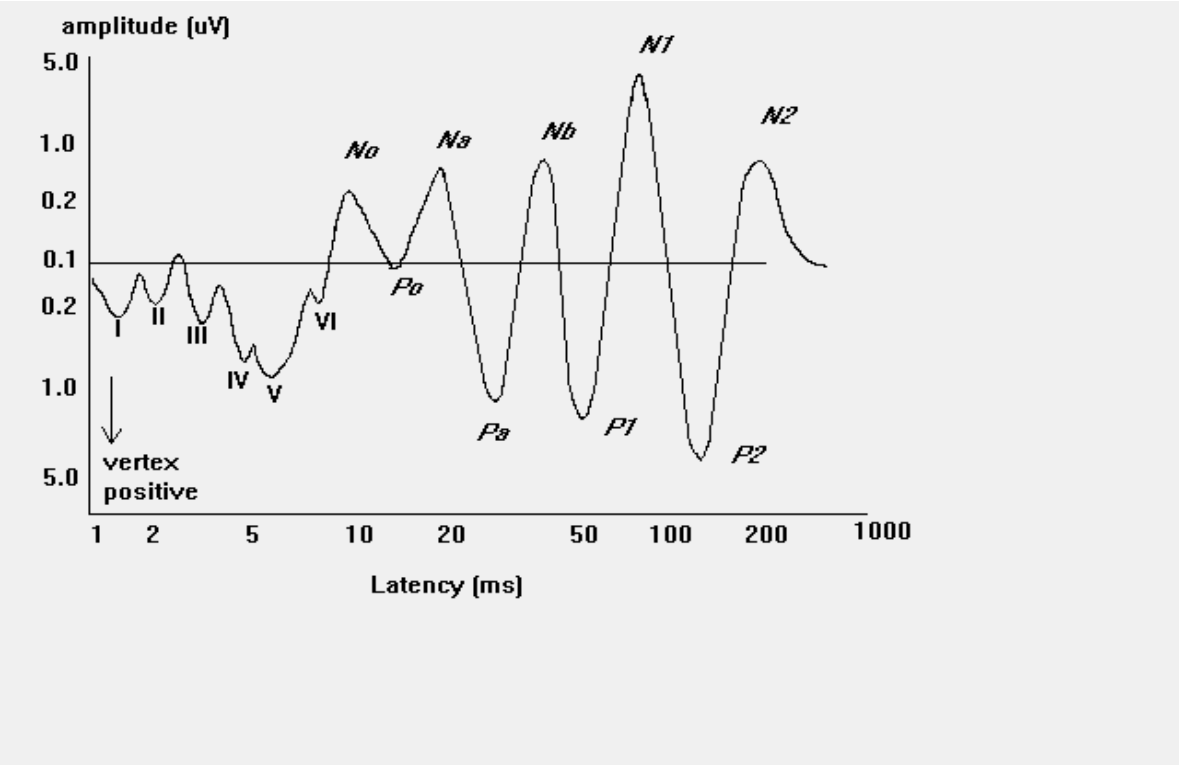
Το πλάτος του συστατικού συνήθως μετράται με αναφορά την ισοηλεκτρική γραμμή (=0 Volts) ή το επίπεδο δυναμικού στην έναρξη της διαδικασίας μέτρησης ή κάποια άλλη προγενέστερη κορύφωση. Οι χρόνοι των συστατικών έχουν αρχή τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα το ερέθισμα που προκαλεί το προκλητό δυναμικό. Ενδιαφέρον ακόμα παρουσιάζει το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή αναφοράς του δυναμικού και τη μερική κυματομορφή δυναμικού του συστατικού, ιδίως όταν δεν υπάρχει κάποια σαφώς διαχωρισμένη κορύφωση, αλλά ένα μάλλον συνεχές μοτίβο συγκεκριμένης πολικότητας με οριοθετημένα χρονικά όρια.

Στην περίπτωση των ακουστικών προκλητών δυναμικών έχουν χαρακτηριστεί οι μερικές κυματομορφές ως εξής: (όπου N ή P σημαίνει αρνητική ή θετική κορύφωση και ο δείκτης αναφέρεται στον λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης, κατά προσέγγιση, του μεγίστου, σε ms)

α) Για τα πρώιμα δυναμικά, 2-12ms από τη στιγμή που λαμβάνει χώρα το ακουστικό ερέθισμα, επτά διαδοχικές κορυφώσεις αριθμούμενες από το I ως το VII.

β) Για τα μέσου χρόνου δυναμικά (12-50ms) υπάρχουν τα συστατικά N_o, P_o, N_a, P_a, N_b. Οι κορυφώσεις N_o, P_o λαμβάνουν χώρα πριν τα 20ms οι δε N_a, P_o, N_b περίπου στα 20, 30 και 40 ms αντίστοιχα.

γ) Για τα ύστερα δυναμικά (50msec και πέρα) αναφέρονται τα συστατικά N_{100}, P_{200}, N_{200}, P_{300}, N_{400}.

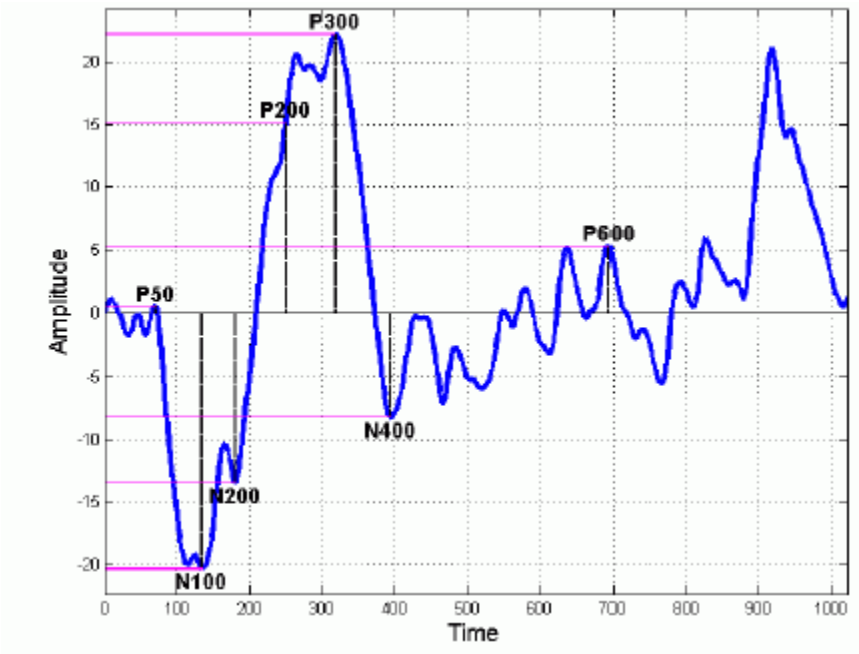


Εικόνα 35- Μερικές Κυματομορφές

Τα συστατικά που εμφανίζονται πριν από τα 100ms συνήθως ανήκουν στα εξωγενή δυναμικά, για κάθε είδους ερεθισμό που εκλύει το προκλητό δυναμικό. Όπως προαναφέρθηκε σχετίζονται με την ακεραιότητα των αισθητικών οδών και γι' αυτό έχουν μεγάλο ενδιαφέρον και κλινικές εφαρμογές στη Νευρολογία. Τα ενδογενή ΠΔ

συμπίπτουν εν πολλοίς με τα πέραν των 70 ms μετρούμενα δυναμικά. Αυτά τα δυναμικά έχουν άμεση σχέση με τα διάφορα στάδια νοητικής επεξεργασίας των εξωτερικών ερεθισμών στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα .

Παρακάτω παρουσιάζονται εκτιμήσεις για τα χαρακτηριστικά των κορυφώσεων της χρονοσειράς των προκλητών δυναμικών, όπως εκείνα έχουν καθιερωθεί στη βιβλιογραφία.



Εικόνα 36- Καταγραφή Προκλητών Δυναμικών.

P50: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 ως 80ms μετά το ερέθισμα. Θεωρείται δείκτης πρώιμων πτυχών προσοχής.

N100: Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 90 ως 150ms μετά την παρουσίαση του ερεθίσματος. Υποδηλώνει φαινόμενα κινητοποίησης προσοχής. Ο λανθάνων χρόνος (latency) αντικατοπτρίζει την ταχύτητα κινητοποίησης της προσοχής, ενώ το μέγιστο πλάτος (amplitude) αντικατοπτρίζει την ικανότητα ή χωρητικότητα της προσοχής.

P200: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 140 ως 25 ms μετά το ερέθισμα. Αποτελεί ένα μέτρο για την επικέντρωση της προσοχής του ατόμου.

N200 : Περιγράφει την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 180 ως 300ms μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τις επιδόσεις των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο Κεντρικού Νευρικού Συστήματος.

P300: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 220 ως 500ms μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τη νευρωνική δραστηριότητα η οποία υπόκειται των διεργασιών που συναρτώνται με τον επιμερισμό προσοχής για την κινητοποίηση των προγραμμάτων δράσης. Ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής του φαίνεται να αντανακλά το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να πάρει ο εξεταζόμενος μια απόφαση για το ερέθισμα .

N400: Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού η οποία λαμβάνει χώρα από 280 ως 500ms μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τη λειτουργία των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπηρετούν και εκφράζουν την 'συντακτική' διάσταση της εκάστοτε απάντησης του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Συμβάλλει στην εξέταση μηχανισμών που σχετίζονται με τη γλώσσα και το εννοιολογικό – συντακτικό της περιεχόμενο.

P600: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 500 ως 800 msec μετά το ερέθισμα. Έχει καθιερωθεί ως δείκτης συγχρονισμού σημαντικών και συντακτικών διαστάσεων της απάντησης.

3° Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η περιγραφή της πειραματικής διάταξης όπου έγιναν οι μετρήσεις καθώς και των ορίων της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας .

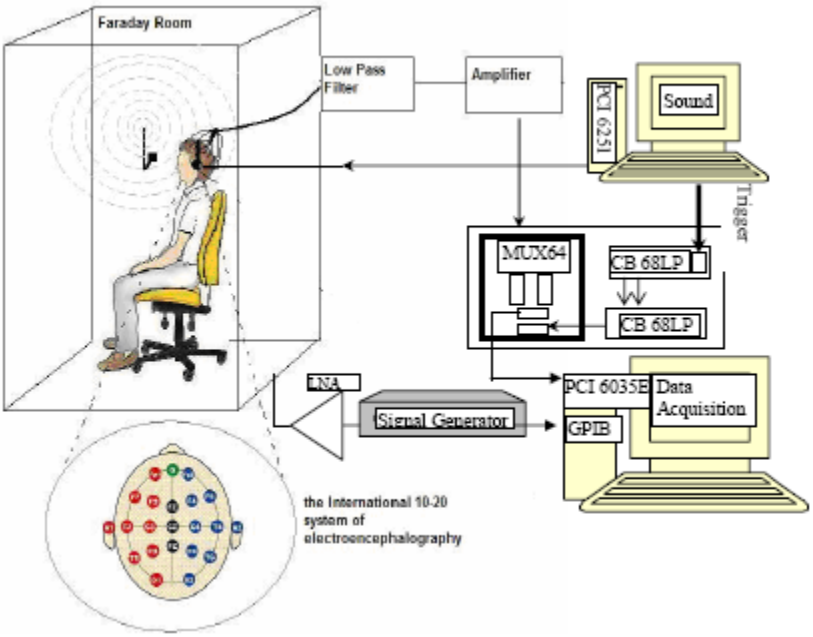
3.1 Ανάπτυξη πειραματικών διατάξεων

Τα πειράματα έγιναν στο ψυχοφυσιολογικό εργαστήριο του Αιγινητείου Νοσοκομείου υφίσταται από το 1988 σύστημα καταγραφής εγκεφαλικών προκλητών δυναμικών διαμορφωθέν με την ουσιαστική συμβολή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου . Για την υλοποίηση του πειράματος χρειάστηκε η συναρμολόγηση και η κατασκευή συσκευών, η ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών και ειδικού λογισμικού και η γενική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος.

Στη διάταξή μας έχουμε 16 ηλεκτρόδια (το ένα παίζει τον ρόλο της γείωσης) τα οποία απάγουν το ηλεκτρικό σήμα του εγκεφάλου ερχόμενα σε επαφή με το κεφάλι του εξεταζόμενου και τα οποία καταλήγουν στον προενισχυτή, με τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Δύο ηλεκτρόδια που έρχονται σε επαφή με τους λοβούς των αυτιών και είναι βραχυκυκλωμένα, αποτελούν την γείωση. Το τμήμα της διάταξης βρίσκεται μέσα σε κλωβό Faraday, με μόνωση από αλουμίνιο, με σκοπό την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις. Στη συνέχεια και εκτός του κλωβού Faraday, τα 16 σήματα οδηγούνται στο διαφορικό ενισχυτή όπου και υποβάλλονται σε ενίσχυση. Το κέρδος του ενισχυτή έχει επιλεγεί στις 50000 ενώ κόρος εμφανίζεται αν το σήμα ξεπεράσει τα 5Volts. Μετά την ενίσχυση το σήμα εισέρχεται σε ένα βαθυπερατό (low pass) φίλτρο. Το φίλτρο κόβει συχνότητες άνω των 35Hz, ώστε να αποφευχθεί παρεμβολή από το δίκτυο παροχής ρεύματος που λειτουργεί στα 50 Hz. Η έξοδος του ενισχυτή οδηγεί σε ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) ο οποίος καταλήγει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κάρτα ανάκτησης δεδομένων (Data Acquisition (DAQ) PCI 6035) 16 εισόδων των 16-bit. Μέσω της κάρτας λαμβάνονται τα 16 εγκεφαλικά σήματα, αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή και παράλληλα οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη του. Η συχνότητα δειγματοληψίας τέθηκε στο1kHz.

Για τη λήψη μετρήσεων υπό την επίδραση ακτινοβολίας χρησιμοποιείται επιπλέον μία γεννήτρια που παράγει σήματα ποικίλων συχνοτήτων, διαμορφώσεων και ισχύων (Avionics IFR 2031, 10 kHz – 2.7 GHz). Η γεννήτρια οδηγεί διπολική κεραία που είναι τοποθετημένη στη δεξιά πλευρά του κεφαλιού του εξεταζόμενου ατόμου σε απόσταση περίπου 20cm. Η γεννήτρια συνδέεται με τον πρώτο υπολογιστή μέσω

κάρτας GPIB, ενώ δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να επιλεχθεί αν θα χρησιμοποιηθεί ακτινοβολία κατά τις μετρήσεις ή όχι και οι λοιπές ρυθμίσεις.



Εικόνα 37- Δομή της Διάταξης

Στην πειραματική διάταξη που φαίνεται, τα δεδομένα που αποθηκεύονται είναι εγκεφαλικά σήματα διάρκειας 1.5sec το καθένα και η αποθήκευση γίνεται κάθε φορά που ο χρήστης δίνει εντολή να ακούσει ο εξεταζόμενος ένα ηχητικό μήνυμα. Με βάση τη συχνότητα δειγματοληψίας (1kHz) η κάθε σειρά δεδομένων αποτελείται από 1500 τιμές εκ των οποίων οι πρώτες 500 (0.5 sec) είναι εγκεφαλικό σήμα πριν την έναρξη του ηχητικού μηνύματος και οι οποίες βρίσκονται σε buffer πριν την τελική αποθήκευσή τους ενώ οι επόμενες 1000 καταγράφονται μετά την έναρξη του ηχητικού μηνύματος. Άρα το σήμα που αποθηκεύεται είναι αρχικά EEG (500 τιμές) και έπειτα (1000 τιμές) ακολουθούν τα προκλητά δυναμικά (ERPs).

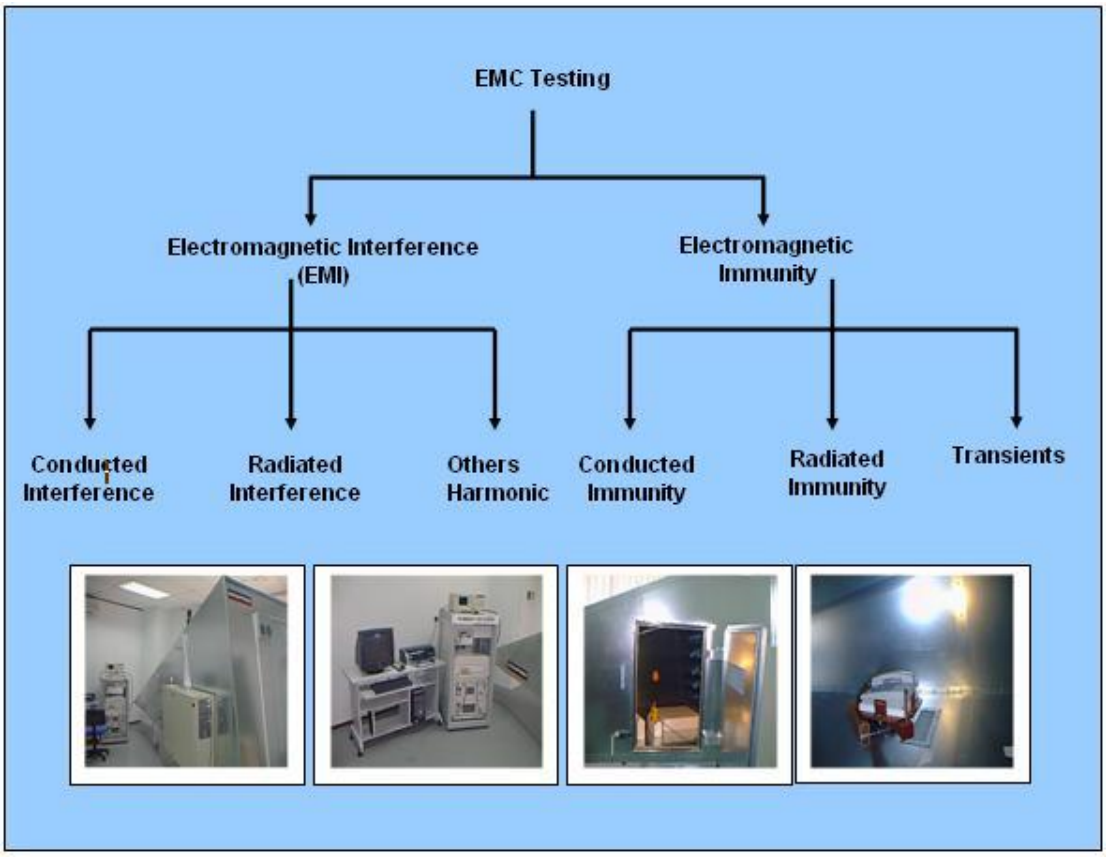
Χρησιμοποιήσαμε μονοχρωματική ακτινοβολία στα 900MHz μέσης ισχύος 64 mW. Η γεννήτρια έδινε σήμα ισχύος -25 dBm το οποίο ενισχυόταν κατά 43 dBm Το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο που βρισκόταν το κεφάλι των εξεταζομένων είχε ένταση 3V/m. Χρησιμοποιήθηκε μονοχρωματική ακτινοβολία με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων παρεμβολών του πιθανώς να παρουσιάζονταν αν χρησιμοποιείτο

διαμορφωμένο σήμα. Το φίλτρο στα 35 Hz εξασφαλίζει ότι στο καταγεγραμμένο σήμα δεν υπάρχει συνιστώσα του σήματος ακτινοβολίας.

3.2 Έλεγχοι Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (EMC) της πειραματικής διάταξης

Οι πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τα τελευταία χρόνια πολλαπλασιάζονται με ταχείς ρυθμούς. Οι αναφορές για δυσλειτουργία ιατρικών συσκευών λόγω ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής αυξάνονται και διάφοροι κανονισμοί έχουν θεσπιστεί προκειμένου να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα. Γενικά οι συσκευές και τα συστήματα που παράγονται για ιατρικούς σκοπούς από μηχανικούς-κατασκευαστές πρέπει να καταδεικνύουν πολύ υψηλό επίπεδο EMC. Οι ασυμβατότητες μπορούν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργίες καθώς επίσης και σε λανθασμένες διαγνωστικές, θεραπευτικές ή ελεγκτικές διαδικασίες.

Ειδικά μιλώντας για σήματα EEG , αξίζει να σημειωθεί ότι ένα επιπλέον πρόβλημα προκύπτει από την αποδιαμόρφωση των παλμών των RF σημάτων από μη γραμμικά τμήματα των κυκλωμάτων των EEG ενισχυτών. Τα τελευταία χρόνια εξετάζονται προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) που αφορούν στα σήματα GSM καθώς και στα ασύρματα δίκτυα WiFi όπως έχουν αναφερθεί σε σχετικές μελέτες .



Εικόνα 38- Έλεγχοι Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας σε ασύρματες και ενσύρματες εγκαταστάσεις και κυκλώματα

3.2.1 Νομοθεσία EMC και πρότυπα στην Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή ένωση υπάρχουν τρεις οδηγίες EMC για ιατρικές συσκευές οι οποίες αλληλεπικαλύπτονται σε αρκετά σημεία :

* η Active Implantable Medical Device (AIMD) Directive - 90/385/EEC για τις εμφυτεύσιμες συσκευές
* η In Vitro Diagnostic Device Directive (IVD) - 98/79/EC
* η Medical Device Directive (MDD) - 93/42/EEC

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο EN60601-1-2 το οποίο ενσωματώθηκε στην Medical Device Directive για τις συχνότητες 80 έως 2.500 MHz ,η ένταση του πεδίου στο χώρο που βρίσκεται ο εξοπλισμός δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3V/m ενώ για εξοπλισμό που είναι κρίσιμος για τη ζωή των ατόμων δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10V/m.

4ο Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό έχουμε την περιγραφή της διαδικασίας του πειράματος και την περιγραφή του test στο οποίο υποβλήθηκαν τα άτομα.

4.1 Η δοκιμασία ακουστικής λειτουργικής μνήμης Wechsler

Η δοκιμασία ακουστικής λειτουργικής μνήμης που έχει αυτοματοποιηθεί στο εργαστήριο Ψυχοφυσιολογίας του Αιγινητείου Νοσοκομείου είναι τμήμα του γενικού test νοημοσύνης (IQ) για ενήλικες του Wechsler (Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS)) το οποίο εκδόθηκε το 1955 . Θεωρείται test μεγάλης αξιοπιστίας και η τελευταία έκδοσή του είναι το WAIS-III (1997). Ένα εκ των επτά λεκτικών test που υπάρχουν στο test, αφορά στο διάστημα μνήμης (digital span) δηλαδή στο πόσα νούμερα μπορεί να συγκρατήσει ένας άνθρωπος και να τα επαναλάβει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι αξιολογεί την λειτουργική μνήμη (working memory) παρότι η προσοχή και η κατανόηση είναι σημαντικοί παράγοντες επίσης για τη διεξαγωγή του test. Με βάση τις σύγχρονες νευροψυχολογικές μελέτες υποστηρίζεται ότι η λειτουργική μνήμη αναφέρεται στην ικανότητα του να διατηρούνται πληροφορίες στη συνείδηση και να υφίστανται χειρισμούς ανάλογους με τις απαιτήσεις δεδομένων αποστολών. Πέραν των προαναφερθέντων εκτιμάται επίσης ότι βρίσκεται στην υπηρεσία σύνθετων γνωστικών λειτουργιών όπως

1. Γλωσσικών διαδικασιών
2. Οπτικοχωρικής θεώρησης
3. Συλλογισμών και επίλυσης προβλημάτων
4. Λήψης αποφάσεων

Για τις ανάγκες του Εργαστηρίου Ψυχοφυσιολογίας το test αναπτύχθηκε όπως περιγράφεται ακολούθως:

Η διαδικασία στην οποία υποβάλλονται τα εξεταζόμενα άτομα βασίζεται στην αποστολή ακουστικών ερεθισμάτων από έναν υπολογιστή. Τα ηχητικά αυτά μηνύματα οδηγούνται σε ειδικά ακουστικά που φοράει ο εξεταζόμενος, ο οποίος μάλιστα κατά την εκτέλεση του πειράματος πρέπει να είναι απομονωμένος από κάθε λογής εξωτερικά ερεθίσματα.

Το test αποτελείται από 26 σειρές αριθμών (ερωτήσεις), κάθε μία εκ των οποίων περιλαμβάνει τη μετάδοση ενός ακουστικού τόνου αρχικά, στη συνέχεια μίας σειράς ψηφίων (από 1 έως 9), και τελειώνει με την επανάληψη του αρχικού τόνου. Σε κάθε ένα από αυτά τα ηχογραφημένα μηνύματα, μεταξύ της μετάδοσης του αρχικού τόνου και του πρώτου ψηφίου καθώς και του τελευταίου αριθμού και του τελικού τόνου, μεσολαβούν παύσεις ορισμένων δευτερολέπτων για τη διευκόλυνση του

εξεταζόμενου, ο οποίος καλείται αμέσως μετά να εκφωνήσει δυνατά τους αριθμούς που άκουσε. Σε κάθε ερώτηση αντιστοιχεί ένας βαθμός ώστε να μπορεί να αποτιμηθεί η απόδοση του εξεταζομένου. Όσον αφορά στους τόνους υπάρχουν διαθέσιμοι σε δύο διαφορετικές συχνότητες. Ο πρώτος εκ των δύο είναι βραχύς, συχνότητας 500 Hz , ενώ ο δεύτερος είναι οξύτερος, συχνότητας 3 KHz. Τυχόν μετάδοση του υψίσυχνου τόνου σημαίνει ότι το εξεταζόμενο άτομο καλείται, μετά το τέλος της ερώτησης. να επαναλάβει τα ψηφία που ακολουθούν. με την αντίστροφη σειρά από αυτή που τα άκουσε. Αντίθετα, ο βραχύς τόνος σηματοδοτεί την απαίτηση για ευθεία απαγγελία των μεταδιδόμενων ψηφίων.

4.2 Διεξαγωγή πειραμάτων

Στο πείραμα που μελετάμε, όπως ήδη είπαμε, εξετάστηκε η επίδραση μονοχρωματικής ακτινοβολίας στα 900MHz μέσης ισχύος 64 mW και έλαβαν μέρος 19 άτομα εκ των οποίων 9 ήταν άντρες και 10 γυναίκες . Οι εξεταζόμενοι είχαν ηλικία κατά μέσο όρο τα 18 έτη. Η γεννήτρια έδινε σήμα ισχύος -25 dBm το οποίο ενισχυόταν κατά 43 dBm Το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο που βρισκόταν το κεφάλι των εξεταζομένων είχε ένταση 3V/m. Χρησιμοποιήθηκε μονοχρωματική ακτινοβολία με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων παρεμβολών του πιθανώς να παρουσιάζονταν αν χρησιμοποιείτο διαμορφωμένο σήμα. Το φίλτρο στα 35 Hz εξασφαλίζει ότι στο καταγεγραμμένο σήμα δεν υπάρχει συνιστώσα του σήματος ακτινοβολίας.

Το δείγμα ήταν ομογενές ως προς την ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο ενώ ήταν όλοι δεξιόχειρες και δεν είχαν προβλήματα ακοής. Ο κάθε εξεταζόμενος υποβλήθηκε στο ακουστικό test Wechsler δύο φορές, τη μία με ακτινοβολία και την άλλη χωρίς. Μεταξύ των δύο επισκέψεων μεσολάβησε χρόνος δύο εβδομάδων ενώ η σειρά με την οποία εκτίθετο ο εξεταζόμενος στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (στην πρώτη επίσκεψη ή στη δεύτερη) ήταν τυχαία. Επίσης ο εξεταζόμενος δεν είχε γνώση της ύπαρξης ή μη της ακτινοβολίας για την αποφυγή φαινομένων αυθυποβολής (single blind experiment).

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθείται σε κάθε επίσκεψη είναι η εξής: Ο εξεταζόμενος εισέρχεται μέσα στον κλωβό Faraday και αφού πάρει θέση στο ειδικό κάθισμα, ο υπεύθυνος ιατρός του εργαστηρίου τοποθετεί με προσοχή τα ηλεκτρόδια

στις τυποποιημένες θέσεις (Σύστημα 10/20) του κρανίου. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία, ο εξεταζόμενος φοράει τα ειδικά ακουστικά που συνδέονται με τον υπολογιστή που παράγει τα ακουστικά ερεθίσματα. Ταυτόχρονα, στον άλλο υπολογιστή δημιουργείται ένας φάκελος με τα προσωπικά στοιχεία του εκάστοτε ατόμου και στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία το πρόγραμμα μας, και ρυθμίζονται κατάλληλα οι παράμετροί του ανάλογα με το είδος της μέτρησης. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις γίνονται παρουσία ακτινοβολίας ενεργοποιείται μέσω του υπολογιστή η γεννήτρια. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η προπαρασκευαστική διαδικασία, δοθούν από το γιατρό οι απαραίτητες οδηγίες στον εξεταζόμενο και γίνει μία δοκιμαστική μετάδοση δύο ηχητικών μηνυμάτων, η πόρτα του θαλάμου κλείνει και ξεκινά η διαδικασία του πειράματος. Ο εξεταζόμενος παρακολουθείται σε οθόνη καθ' όλη τη διάρκεια της εξέτασης. Ο υπεύθυνος χειριστής του προγράμματος Wechsler ξεκινά την αναπαραγωγή ηχητικών μηνυμάτων πατώντας ένα πλήκτρο στον υπολογιστή το οποίο αντιπροσωπεύει κάθε φορά μία συγκεκριμένη σειρά ψηφίων. Κάθε τέτοιας σειράς προηγείται η μετάδοση ενός εκ των δύο τόνων, που περιγράφηκαν παραπάνω, ένα δευτερόλεπτο πριν από το πρώτο ψηφίο, ενώ έπεται ο ίδιος τόνος επίσης ένα δευτερόλεπτο μετά τον τελευταίο αριθμό, δηλώνοντας έτσι το τέλος της συγκεκριμένης ερώτησης. Με τη μετάδοση του αρχικού τόνου δίνεται και ένας παλμός trigger που σηματοδοτεί το ξεκίνημα της μέτρησης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, η οποία γίνεται κατά το διάστημα του ενός δευτερολέπτου που μεσολαβεί μέχρι τη μετάδοση του πρώτου ψηφίου της εκάστοτε σειράς. Αφού ολοκληρωθεί η αναπαραγωγή κάθε ερώτησης από τα ακουστικά, ο εξεταζόμενος καλείται να προσπαθήσει να επαναλάβει τους αριθμούς είτε με τη σειρά που τους άκουσε είτε με την αντίστροφη σειρά, ανάλογα με το είδος του παλμού που τους συνόδευαν. Το test πραγματοποιείται δύο φορές διαδοχικά αποτελούμενο τελικά από 52 ερωτήσεις (2 σετ των 26).

Τη στιγμή που ο εξεταζόμενος δίνει τις απαντήσεις του, κάποιο άλλο άτομο είναι επιφορτισμένο με την καταγραφή αυτών, ώστε αργότερα να μπορεί να γίνει η απαραίτητη σύγκριση με τις σωστές απαντήσεις, από την οποία τελικά θα προκύψουν τα αποτελέσματα της εξέτασης. Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη των αποτελεσμάτων, αφορούν στο βαθμό ανταπόκρισης στο αρχικό ερέθισμα και στις διεργασίες εγρήγορσης, αναγνώρισης, σύγκρισης και επεξεργασίας που αφορούν τα λαμβανόμενα ερεθίσματα.

Για κάθε ερώτηση, λαμβάνουμε 15 διαφορετικές γραφικές παραστάσεις που προφανώς κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί στο σήμα που διέρχεται μέσα από ένα ηλεκτρόδιο. Οι κυματομορφές αυτές έχουν διάρκεια 1500 msec, όσο δηλαδή διαρκεί η μέτρηση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος εκ των οποίων 500 msec αφορούν σε σήμα EEG (δηλαδή τα σήματα καταγράφονται πριν το ηχητικό ερέθισμα) και 1000msec αφορούν σε σήμα ERP (δηλαδή μετά το ηχητικό ερέθισμα) . Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος για κάθε εξεταζόμενο, έχουμε 15 αρχεία Excel, ένα για κάθε ηλεκτρόδιο, τα οποία αποτελούνται από 1500 γραμμές που αντιστοιχούν σε 1500 χρονικές στιγμές και 52 στήλες που η καθεμιά αντιστοιχεί σε ερώτηση του test Wechsler. (Το 16^{ο} ηλεκτρόδιο που παίζει το ρόλο της γείωσης, δε μας δίνει πληροφορίες και αγνοείται στην επεξεργασία μας .)

5° Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η επεξεργασία των αριθμητικών δεδομένων που προέκυψαν από το πείραμα και η μελέτη των αποτελεσμάτων μας. Δίνεται μια περίληψη διαφόρων τρόπων αποθορυβοποίησης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Χρησιμοποιήθηκαν τελικά τέσσερις μέθοδοι και συγκρίθηκαν μεταξύ τους . Ο μέσος όρος , οι επικρατούσες τιμές, η διάμεσος και ο γεωμετρικός μέσος όρος. Αναλύεται εδώ, το EEG σήμα που προέκυψε και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

5.1 Μετασχηματισμός – Αρχική επεξεργασία των δεδομένων και αποθήκευση

Όπως ειπώθηκε και ανωτέρω τα αρχικά δεδομένα που καταγράφονται αποθηκεύονται σε αρχεία Excel. Για την περαιτέρω επεξεργασία τους όμως απαιτείται κάποιος μετασχηματισμός. Αρχικά γίνεται η αφαίρεση της ενίσχυσης για να έρθει το σήμα σε πραγματική κλίμακα. Εν προκειμένω γίνεται διαίρεση του σήματος με 50000. Επίσης πολλαπλασιάζονται οι τιμές με 1000000 ώστε να εμφανίζονται με μονάδα το μV και με -1 ώστε να εμφανίζονται σε μορφή με την οποία συνηθίζουν να εργάζονται οι ψυχίατροι.

5.2 Αποθορυβοποίηση Σημάτων

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει στατιστική επεξεργασία του σήματος μας και να αφαιρεθεί ο θόρυβος. Επειδή είχαμε 52 ερωτήσεις έπρεπε κάθε φορά και για κάθε χρονική στιγμή να έχουμε μία τιμή. Η κυριότερη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι αυτή του μέσου όρου των 52 αυτών τιμών. Θεωρώντας ότι ο θόρυβος στο σήμα μας είναι λευκός, τότε ο μέσος όρος του θα είναι μηδενικός και έτσι θα έχουμε μόνο το σήμα μας, καθαρό.

5.3 Διάφορες Μέθοδοι Αποθορυβοποίησης

Για την αποθορυβοποίηση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος έχουν και χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές, μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

5.3.1 Κατά τη διάρκεια του πειράματος:

Χρησιμοποιούνται ενισχυτές μεγάλης ευαισθησίας και φροντίζεται έτσι ώστε οι χώροι μέτρησης των σημάτων είναι απομονωμένοι από εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία, όπως αυτά που δημιουργούν ενσύρματες ή ασύρματες ηλεκτρικές συσκευές, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.ά.. Η προτιμώμενη λύση είναι η μέτρηση να γίνεται σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένο δωμάτιο (κλωβό Faraday) ή σε ανηχοϊκό θάλαμο.

5.3.2 Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων

5.3.2.1 Εύρεση μέσου όρου (signal averaging)

Το συνολικό αυτό σήμα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα, το καθαρό σήμα EEG(t) και τον θόρυβο NOISE (t). Επομένως SIGNALi(t) = EEGi (t) +

NOISE i(t) όπου i=1 ως N (N ο αριθμός των επαναλήψεων του πειράματος). Ο μέσος όρος των σημάτων αυτών είναι:

$$Mean = \frac{\sum_{i=1}^{N} SIGNAL(t)}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{N} EEG\ (t)}{N} + \frac{\sum_{i=1}^{N} NOISE(t)}{N}$$

Θεωρώντας ότι ο θόρυβος είναι λευκός, η μέση τιμή του είναι μηδενική ενώ το σήμα ERP κάθε φορά έχει τα ίδια χαρακτηριστικά. Με τον υπολογισμό του μέσου όρου λοιπόν ο θόρυβος ελαχιστοποιείται ενώ το σήμα των προκλητών δυναμικών ενισχύεται και τελικώς αποκαλύπτεται.

Η μέθοδος του μέσου όρου εφαρμόζεται συχνότατα, παρουσιάζει όμως κάποια μειονεκτήματα καθώς η κόπωση, η προσαρμογή, η εξοικείωση, η μεταβολή της έντασης της προσοχής του εξεταζόμενου επηρεάζουν τα προκλητά δυναμικά, ως προς το πλάτος, το εύρος και τον λανθάνοντα χρόνο. Έτσι ο αριθμός επαναλήψεων του πειράματος λαβαίνοντας υπόψιν την κατάσταση του εξεταζομένου πρέπει να ελέγχεται.

5.3.2.2 Wavelets

Ο μετασχηματισμός wavelets αναφέρεται στην αναπαράσταση ενός σήματος με τη βοήθεια κάποιων συναρτήσεων που πρέπει να είναι ορισμένου μήκους ή να φθίνουν γρήγορα στο μηδέν, “κυματίζοντας” πάνω και κάτω από το x-άξονα. Μεγάλα και θορυβώδη πακέτα δεδομένων, μπορούν εύκολα και γρήγορα να μετασχηματιστούν μέσω του διακριτού μετασχηματισμού wavelet. Τα δεδομένα κωδικοποιούνται από τους συντελεστές wavelet.

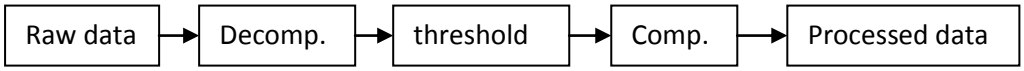
Για τον μετασχηματισμό FFT (Fast Fourier Transform), η πολυπλοκότητα υπολογισμού είναι O(n·log2(n)), ενώ για τον FWT (Fast Wavelet Transform) είναι μόνο O(n). Η ανάλυση wavelet μπορεί να ανιχνεύσει απότομες μεταβάσεις. Αυτή η ιδιότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάλυση του EEG, αφού οι επιληπτικές αιχμές είναι μικρές κυματομορφές οι οποίες είναι σχεδόν αδύνατο να ανιχνευθούν με την ανάλυση Fourier. Ο διακριτός μετασχηματισμός wavelets (Discrete Wavelet Transform (DWT)) εφαρμόζεται στο σήμα των προκλητών δυναμικών. Το σήμα χωρίζεται σε διάφορες συχνοτικές ζώνες με διαφορετικές αναλύσεις αφού πρώτα αναλυθεί σε δύο μέρη, την προσέγγιση και την λεπτομερειακή πληροφορία.

Υπάρχουν πολλών ειδών wavelets. Το πιο απλό είναι το Haar wavelet. Όπως τα ημίτονα και τα συνημίτονα στην ανάλυση Fourier, έτσι και τα wavelets χρησιμοποιούνται ως βασικές συναρτήσεις για να αναπαραστήσουν άλλες

συναρτήσεις. Όταν το wavelet ψ(x) (που ονομάζεται μερικές φορές και mother wavelet – μητρικό wavelet) ορισθεί, μπορούν να γίνουν παράλληλες μετατοπίσεις ως προς τον x-άξονα (translations) και διαστολές (dilations)του mother wavelet

$$\{\psi\left(\frac{\chi-\beta}{\alpha}\right),(\alpha,\beta)\ \epsilon R^{+}\times R\}$$

Έτσι, πολλά είδη επεξεργασίας δεδομένων μπορούν να γίνουν από τους αντίστοιχους συντελεστές wavelet. Για παράδειγμα, μπορεί να κάποιος να κάνει λείανση (smoothing) των δεδομένων, χρησιμοποιώντας την τεχνική κατωφλίωσης (thresholding) των συντελεστών wavelet και στη συνέχεια να ξαναδουλέψει τον επεξεργασμένο κώδικα γυρίζοντας στο πεδίο του χρόνου.



5.3.2.3 Αλγόριθμος Ανάλυσης Ανεξάρτητων Συνιστωσών (Independent Component Analysis – ICA)

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες αποδείχθηκε ότι η αποθορυβοποίηση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος με την μέθοδο των ανεξάρτητων συνιστωσών μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική.

Το πρόβλημα της ανάλυσης των δεδομένων σε ανεξάρτητες συνιστώσες έχει ως εξής: Έστω ο πίνακας των μετρήσεων για k χρονικές στιγμές . Εκφράζουμε τον πίνακα των δεδομένων σαν γινόμενο ενός πίνακα που φέρει τις ανεξάρτητες συνιστώσες επί έναν πίνακα M που ονομάζουμε πίνακα ανάμιξης

$$F(t)=MSi(t)$$

Στην συνέχεια αναζητούμε έναν πίνακα W τέτοιο ώστε:

$$WF(t)=WMSi(t)=Si(t) \quad \text{άρα} \quad Si(t)=WF(t)$$

Δηλαδή:

$$W^{-1}=M$$

Οι ανεξάρτητες συνιστώσες που θέλουμε να παράγουμε θεωρούμε ότι δεν υπερβαίνουν τον αριθμό των ηλεκτροδίων . Το πρόβλημα είναι ότι δεν γνωρίζουμε τον πίνακα M για να τον αντιστρέψουμε . Το μόνο στοιχείο που έχουμε είναι ο πίνακας F με τα δεδομένα μας .Για να προσδιορίσουμε τον πίνακα που διαχωρίζει τα σήματα έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις .Από κάθε προσέγγιση προκύπτουν διαφορετικοί αλγόριθμοι όπως ο αλγόριθμος FastICA ο οποίος επιδιώκει να δημιουργήσει μη Γκαουσιαννές μεταβλητές μεγιστοποιώντας την αρνητική εντροπία

(negentropy).Ο αλγόριθμος FastICA είναι κατάλληλος για εξαγωγή διαφορετικών στοιχείων από το EEG ,ακόμη και όταν τα προκλητά αυτά δυναμικά είναι πολύ μικρότερα από την γενικευμένη δραστηριότητα του εγκεφάλου όπως και συμβαίνει.
Με την χρήση αυτής της μεθόδου μπορούμε να απομονώσουμε την απόκριση που μας ενδιαφέρει με εύρος σφάλματος το πολύ 100 ms ,και λόγω της ευαισθησίας της μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για την καλύτερη κατανόηση του ανθρώπινου εγκεφάλου.

5.3.2.4 Μετασχηματισμός PCA (Principal Component Analysis)

Ο μετασχηματισμός PCA γνωστός μερικές φορές και σα διακριτός μετασχηματισμός Karhunen-Loeve χρησιμοποιείται σαν μέθοδος στατιστικής προεπεξεργασίας για τον διαχωρισμό του χρήσιμου σήματος από τον θόρυβο. Ο αλγόριθμος ξεκινάει με δεδομένο το σήμα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και προσπαθεί να εντοπίσει συνιστώσες που θα είναι ορθογώνιες μεταξύ τους (δηλαδή θα έχουν μηδενική συσχέτιση).Η εξαγωγή τέτοιων συνιστωσών θα μας οδηγήσει στην μείωση της τάξης του προβλήματος μας και θα μας δώσει μια πρώτη εκτίμηση για τον αριθμό των διπόλων που αναζητούμε.
Αρχικά παίρνουμε τον πίνακα με τα δεδομένα F από τα N κανάλια σε k χρονικές στιγμές . Δηλαδή:

$$F(t) = \begin{bmatrix} \varphi_1(t_1) & \cdots & \varphi_1(t_k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_N(t_1) & \cdots & \varphi_N(t_k) \end{bmatrix}$$

Υπολογίζουμε τον πίνακα συνδιακύμανσης $R = E\{FiF^T\}$ και τον αναλύσουμε σε γινόμενο ιδιοτιμών-ιδιοδιανυσμάτων. Συνεπώς έχουμε:

$$R = U \cdot \Lambda \cdot U^T = U_S \cdot \Lambda_S \cdot U_S^T + U_N \cdot \Lambda_n \cdot U_n^T$$

Όπως βλέπουμε διαμερίζουμε τον πίνακα R σε δυο πίνακες-υποχώρους.Ο υποχώρος με δείκτη s που συνιστά τον υποχώρο του σήματος και ο υποχώρος με δείκτη n που συνιστά τον υποχώρο του θορύβου .Οι διαστάσεις τους είναι NxN.Ο διαμελισμός αυτός γίνεται με βάση τις ιδιοτιμές. Έτσι σχηματίζουμε τον υποχώρο του σήματος από τις μεγαλύτερες ιδιοτιμές (και τα αντίστοιχα ιδιοδιανύσματα) ενώ οι υπόλοιπες ιδιοτιμές συνιστούν τον υποχώρο του θορύβου. Αφού ξεχωρίσουμε τους δυο υποχώρους παίρνάμε στην δεύτερη φάση του μετασχηματισμού όπου θα πρέπει να

ανακασκευάσουμε το σήμα μας χρησιμοποιώντας τις ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα του υποχώρου του σήματος .

Για κάθε τέτοια ιδιοτιμή λ_i θα έχουμε:

$$S^i = \sqrt{\frac{1}{\lambda_i}} U_i^T F = \sqrt{\frac{1}{\lambda_i}} \left[u_1^i \;\; u_2^i \;\; \ldots . u_N^i\right] \begin{bmatrix} \varphi_1(t_1) & \cdots & \varphi_1(t_k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_N(t_1) & \cdots & \varphi_N(t_k) \end{bmatrix}$$

Το διάνυσμα $U_i^T = [u_1^i \, u_2^i \ldots u_N^i]$ είναι το ιδιοδιάνυσμα από τον πίνακα U που αντιστοιχεί στην λ_i ιδιοτιμή . Για το i ισχύει $1 \leq i \leq r$. Έτσι από τα αρχικά δεδομένα θα πάρουμε τον πίνακα s(t) που θα έχει **r** γραμμές και **k** στήλες (για k χρονικές στιγμές). Αυτή η σχέση σε μορφή πινάκων παίρνει την εξής μορφή:

$$S_{PCA}(t) = \sqrt{\Lambda_s}^{-1} \cdot U^T \cdot F(t)$$

Με :

$$W_{PCA} = \sqrt{\Lambda_S}^{-1} \cdot U^T$$

$$S_{PCA}(t) = W_{PCA} F(t)$$

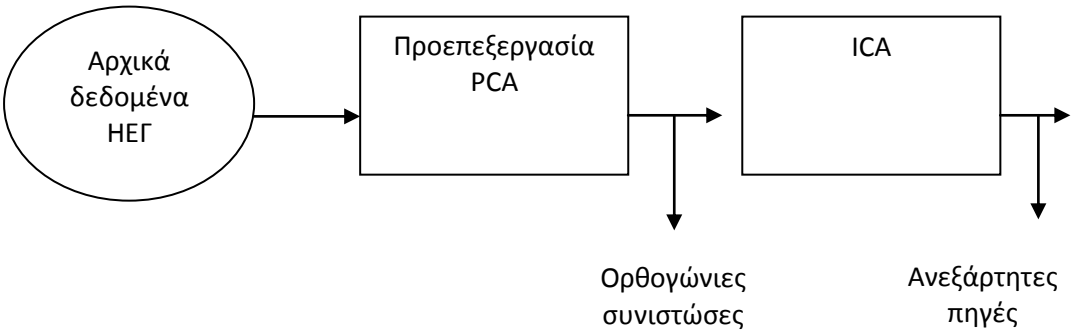
Έτσι με την μέθοδο της ανάλυσης σε ιδιοτιμές καταφέρνουμε να αντικαταστήσουμε τον αρχικό πίνακα F (t) διάστασης N στον πίνακα s(t) με διάσταση όσες και οι σημαντικές ιδιοτιμές . Επιπλέον οι γραμμές του πίνακα s(t) παρουσιάζουν μηδενική συσχέτιση , δηλαδή είναι ορθογώνειες.

Υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι που ενσωματώνουν τον μετασχηματισμό PCA προκειμένου να επιλύσουν το αντίστροφο πρόβλημα. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι γνωστοί περισσότερο σαν μέθοδοι υποχώρου σήματος (signal subspace methods).

Κοινό χαρακτηριστικό αυτών των αλγορίθμων είναι ότι αρχικά διαμερίζουν τον χόρο του εγκεφαλογραφήματος-σηματος σε υποχώρους σηματος και θορύβου.στην συνέχεια καθε ένας εισάγει ένα μετρικό προκειμένου να αξιολογήσει τα σημεία του μοντέλου του εγκεφάλου σαν πιθανά σημεία ύπαρξης διπόλων. Τέτοιοι είναι ο αλγόριθμος MUSIC (MUltiple SIgnal Classification και οι βελτιωμένες εκδοχές του R-MUSIC,IESMUSIC,RAP-MUSIC και FINES .)

5.3.2.5 Συνδυασμένη χρήση ICA – PCA

Τις περισσότερες φορές για καλύτερα αποτελέσματα έχουμε συνδιασμένη χρήση των δύο παραπάνω τεχνικών με την εξής ροή :



-αλγόριθμοι βασισμένοι στην Εντροπία, για την επιλογή καλύτερης βάσης

Η ιδέα είναι να χτιστεί από δεδομένες συναρτήσεις μια ορθοκανονική βάση σχετική με το αρχικό σήμα. Ο πιο χρήσιμος αλγόριθμος βασίζεται στην εντροπία Shannon. Η αποδοτικότητα του εκάστοτε αλγορίθμου βασίζεται στην εύρεση της ορθογώνιας βάσης.Οι περισσότεροι έχουν O (NlogN).Οι τρεις παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή των συναρτήσεων βάσης είναι η συχνότητα, η θέση και η τάξη.

5.4 Επιπλέον Μέθοδοι Αποθορυβοποίησης

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται ακόμη τρεις μέθοδοι όπως θα δούμε και παρακάτω, ο γεωμετρικός μέσος όρος, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή. Έτσι , ελέγχουμε, κατά πόσο οι μέθοδοι αυτές ενδείκνυνται για την επεξεργασία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων αυτών, καθώς και της μέσης τιμής η οποία και χρησιμοποιείται ως η σωστότερη εξ' αυτών (βάση αυτής γίνεται η αξιολόγηση των μεθόδων ,μιας και έχει χρησιμοποιηθεί και σε παλαιότερα πειράματα).

5.4.1 Μέση τιμή

Η τεχνική αποθορυβοποίησης όπως έχουμε αναλύσει με τη χρήση του μέσου όρου είναι διαδεδομένη στα σήματα που προέρχονται από εγκεφαλογράφο και γενικά είναι αρκετά θορυβώδη .

Για τις ερωτήσεις σε κάθε ηλεκτρόδιο ,βρήκαμε τον μέσο όρο βάση της σχέσης :

$$\bar{V} = \frac{1}{52}\sum_{i=1}^{52} V_i$$

Έτσι προέκυψαν για τις δύο περιπτώσεις (με και χωρίς GSM σήμα) δύο set δεδομένων που το καθένα περιείχε 1500 τιμές που αντιπροσωπεύουν την τάση σε μV στα άκρα κάθε ηλεκτροδίου (15 x1500).

5.4.2 Γεωμετρικός μέσος όρος

Ο γεωμετρικός μέσος όρος είναι ένας τύπος όπως ο μέσος όρος ή η διάμεσος, ο οποίος δείχνει την κεντρική τάση ή τη χαρακτηριστική αξία ενός συνόλου αριθμών. Ορίζεται ως εξής :

$$\left(\prod_{i=1}^{n} a_i\right)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdots a_n}.$$

Για τα δικά μας δεδομένα όπου είχαμε και αρνητικές τιμές, και δε θα μπορούσαμε να δουλέψουμε με ρίζες και για να μην εισάγουμε μιγαδικούς αριθμούς , βρήκαμε την ελάχιστη τιμή σε κάθε πίνακα τιμών για κάθε ηλεκτρόδιο, την προσθέσαμε κατά απόλυτη τιμή σε κάθε τιμή του πίνακα ,τις κάναμε έτσι όλες θετικές ,και βρήκαμε τον γεωμετρικό μέσο όρο τους, και στην συνέχεια ξανααφαιρέσαμε από το αποτέλεσμα την τιμή αυτή.

Να σημειώσουμε ότι η σχέση ανάμεσα στον μέσο όρο και τον γεωμετρικό μέσο όρο είναι η εξής :

$$\left(\prod_{i=1}^{n} a_i\right)^{1/n} = \exp\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln a_i\right]$$

5.4.3 Διάμεσος

Στη θεωρία των πιθανοτήτων και της στατιστικής , η διάμεσος περιγράφεται ως ο αριθμός που χωρίζει το υψηλότερο μισό ενός δείγματος, ενός πληθυσμού, ή μιας

κατανομής πιθανότητας, από το χαμηλότερο μισό . Η διάμεσος ενός πεπερασμένου καταλόγου αριθμών μπορεί να βρεθεί με την διάταξη όλων των παρατηρήσεων από τη χαμηλότερη τιμή στην υψηλότερη ,και την επιλογή της μέσης έαν το δείγμα αποτελείται από περιττό αριθμό παρατηρήσεων. Εάν υπάρχει ζυγός αριθμός παρατηρήσεων, η διάμεσος είναι ο μέσος όρος των δύο μέσων τιμών.

Για παράδειγμα, για τους αριθμούς 1, 5, 2, 8, 7.Με ταξινόμηση των αριθμών έχουμε : 1, 2, 5, 7, 8. Σε αυτήν την περίπτωση που έχουμε περιττό πλήθος , το 5 είναι η διάμεσος.Για τους αριθμούς όμως : 1, 5, 2, 10, 8, 7 ,τους οποίους ταξινομούμε: 1, 2, 5, 7, 8, 10. Θα έχουμε : Και το 5 και το 7, και όλοι οι αριθμοί μεταξύ 5 και 7 είναι διάμεσοι των στοιχείων. Συνήθως παίρνουμε το μέσο όρο των δύο μεσαίων αριθμών για να έχουμε μια μοναδική τιμή ,δηλαδή (5+7) /2 = 12/2 = 6.

5.4.4 Επικρατούσα τιμή

Στη στατιστική, επικρατούσα τιμή είναι η τιμή εκείνη που εμφανίζεται πιο συχνά μέσα στο σύνολο των στοιχείων ή μιας κατανομής ,έχει δηλαδή την μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης . Μερικές φορές ,μπορεί να μην είναι μόνο ένας αριθμός μ αυτή την ιδιότητα , δηλαδή ενώ για τα στοιχεία [1, 3, 6, 6, 6, 6, 7, 7, 12, 12, 17] η επικρατούσα τιμή είναι το 6 που εμφανίζεται 4 φορές, στα στοιχεία [1, 1, 2, 4, 4] και το 1 και το 4 εμφανίζονται από 2 φορές το καθένα . Ένα άλλο πρόβλημα με την συγκεκριμένη στατιστική μέθοδο είναι η περίπτωση όπου σε ένα δείγμα κάθε τιμή είναι μοναδική , δηλαδή στο δείγμα [1 2 4 6 7 8 12 19] παραδείγματος χάριν , όπου επικρατούσα τιμή θα μπορούσε να είναι οποιαδήποτε, κάτι το οποίο συμβαίνει και στι δική μας περίπτωση.

Ο τρόπος για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα είναι η δημιουργία bins , τμημάτων παρατήρησης, διαστημάτων δηλαδή, και να δούμε σε ποιο διάστημα εμφανίστηκαν πιο πολλές παρατηρήσεις και άρα εκεί βρίσκεται η επικρατούσα τιμή. Ο τύπος που χρησιμοποιήσαμε είναι ο εξής :

$$T_0 = L_{T_0} + \delta \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}$$

Με:

L_{T_0} =Το αριστερό άκρο του τμήματος στο οποίο βρίσκεται η επικρατούσα τιμή (Τμήμα όπου βρίσκονται οι περισσότερες τιμές του δείγματος)

δ= Το εύρος της τάξης , δηλαδή το μέγεθος του διαστήματός μας .

$\Delta_1=f_0-f_{0-1}$, $\Delta_2=f_0-f_{0+1}$

Με: f_0 : Η μέγιστη συχνότητα που παρατηρούμε στο δείγμα, πόσες τιμές δηλαδή εμφανίζονται στο διάστημα μας ,εδώ δηλαδή είναι ο μέγιστος αριθμός.

f_{0-1} : Είναι ο αριθμός των τιμών που βρίσκονται ακριβώς στο προηγούμενο διάστημα παρατήρησης.

f_{0+1} =Είναι ο αριθμός των τιμών που εμφανίζονται στο αμέσως επόμενο διάστημα παρατήρησης.

Θα δώσουμε ένα παράδειγμα για να γίνουν κατανοητοί όλοι οι παραπάνω τρόποι στατιστικής επεξεργασίας ενός δείγματος .

Έστω ότι έχουμε τους εξής 20 (n=20) αριθμούς :

[11 15 66 78 91 23 45 34 46 81 28 83 44 29 32 8 22 63 90 17]

Τους ταξινομούμε από τον μικρότερο στον μεγαλύτερο:

[8 11 15 17 22 23 28 29 32 34 44 45 46 63 66 78 81 83 90 91]

Μέση τιμή = (Άθροισμα αριθμών / 20) = 906/20= 45.3

Διάμεσος= ($10^η$ +$11^η$ τιμή)/2= (34+44)/2= 39

Γεωμετρικός Μέσος: $\sqrt[20]{Γινομένου} = \sqrt[20]{1.63 * 10^{31}} = 36.36$

Επικρατούσα τιμή : Χωρίζουμε το δείγμα μας σε 5 π.χ. διαστήματα, με εύρος δ= (Μέγιστη τιμή- Ελάχιστη τιμή) / 5= (91-8)/5=16.6

Έχουμε έτσι τα εξής διαστήματα ,τις τιμές που ανήκουν σε αυτά και δίπλα την ποσότητά τους :

8 έως 24.6	8,11,15,17,22,23	6
24.7 έως 42.2	28,29,32,34,	4
41.3 έως 57.8	44,45,46,	3
57.9 έως 74.4	63,66,	2
74.5 έως 91	78,81,83,90,91	4

Βλέπουμε λοιπόν ότι $f_0=6$, $f_{0-1}=0$, $f_{0+1}=4$, $L_{T_0} = 8$,δ=16.6 και $\Delta_1=6-0=6$ και $\Delta_2=6-4=2$

Και έτσι βάση του τύπου

$$T_0 = L_{T_0} + \delta \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}$$

Θα έχουμε : $T_o = 20.45$

Βέβαια κάθε φορά έχει σημασία και σε πόσα διαστήματα χωρίζεται το δείγμα μας. Για 3 π.χ. διαστήματα (μιας και το δείγμα μας είναι σχετικά μικρό) θα έχουμε T_o=25.29 .

Να σημειώσουμε ότι υπάρχει ένας εμπειρικός τύπος που συνδέει την επικρατούσα τιμή , την διάμεσο και τον μέσο όρο , απ' όπου είναι δυνατό, με μικρές αποκλίσεις να επαληθευτεί το αποτέλεσμα :

Επικρατούσα τιμή=3*Διάμεσο-2*Μέσο όρο

Έτσι έχουμε: Επικρατούσα τιμή = 3*39-2*45.3=26.4 , που απ' ότι βλέπουμε συμπίπτει περισσότερο με την τιμή που βγήκε για χωρισμό του δείγματος μας σε 3 διαστήματα.

5.5 Ο μετασχηματισμός Fourier

Στη συνέχεια,, για όλα τα άτομα που υποβλήθηκαν στο τεστ ,και για κάθε ηλεκτρόδιο, εφαρμόσαμε τις προηγούμενες μεθόδους, πρώτα για τα πρώτα 500 ms που έχουμε και το EEG όπως είχαμε πει κι έπειτα για τα υπόλοιπα 1000ms που έχουμε τα ERP's.

Για το EEG λοιπόν, με κώδικα που αναπτύχθηκε σε πακέτο λογισμικού Matlab , έγινε ο μετασχηματισμός Fourier των επεξεργασμένων σημάτων και υπολογίστηκε η ενέργεια τους τόσο για παρουσία GSM σήματος όσο και κατά την απουσία του. Επίσης διαχωρίσαμε τις ενέργειες και κατά ρυθμούς, όπως είχαμε προαναφέρει (άλφα, βήτα , δέλτα, γάμμα, θήτα) και υπολογίσαμε επίσης και την ολική ενέργεια του κάθε σήματος. Έκτος από τον διαχωρισμό GSM-ON GSM-OFF έχουμε και διαχωρισμό Male Female, αρσενικά δηλαδή και θηλυκά άτομα.

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα γραμμικός μετασχηματισμός που αναλύει μια συνάρτηση στα συχνοτικά τμήματά της (Fourier Analysis) και ο αντίστροφος μετασχηματισμός, την ανασυνθέτει από το φάσμα των συχνοτικών τμημάτων της (Fourier Synthesis). Πιο συγκεκριμένα, ο μετασχηματισμός Fourier είναι μία

διαδικασία που συνδέει δύο συναρτήσεις f(t) και F(ω) , όπου ω είναι πραγματικός αριθμός, έτσι ώστε :

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

Οι ικανές και αναγκαίες συνθήκες για την ύπαρξη του μετασχηματισμός Fourier μιας συνάρτησης f(t) είναι οι εξής :

α) Η f(t) έχει πεπερασμένο πλήθος μεγίστων και ελαχίστων σε κάθε πεπερασμένο διάστημα (t_1,t_2).

β) Η f(t) έχει πεπερασμένο πλήθος πεπερασμένων ασυνεχειών σε κάθε πεπερασμένο διάστημα (t_1,t_2).

γ) Η *f(t)* είναι απολύτως ολοκληρώσιμη, δηλαδή το ολοκλήρωμα $\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)| dt$ έχει πεπερασμένη τιμή.

Μια συνθήκη ασθενέστερη της τελευταίας, που ανταποκρίνεται όμως καλύτερα στα ενεργειακά σήματα είναι το πεπερασμένο της τιμής του ολοκληρώματος

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt$$

Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του σήματος *f(t)*, είναι πεπερασμένη.

Εφόσον υπάρχει ο μετασχηματισμός Fourier μιας συνάρτησης f(t) θα ισχύει και η σχέση που αφορά στον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{-j\omega t} dt$$

Το ζευγάρι των συναρτήσεων f(t) και F(ω) ονομάζεται ζεύγος Fourier.

Η μεγάλη αξία αυτού του εργαλείου αναβαθμίστηκε όταν λόγω της χρήσης των υπολογιστών και επομένως της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, εφαρμόστηκε σε διακριτές σειρές δεδομένων (όπως στην δική μας περίπτωση) οπότε και ονομάστηκε διακριτός μετασχηματισμός Fourier (Discrete Fourier Transform). Αυτός ο μετασχηματισμός δίνεται από τον τύπο

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-i2\pi \frac{k}{N} n}$$

Όπου $X[k]$είναι ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier του σήματος $x[n]$, με μήκος σήματος N και για τις δύο μορφές.

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (πολυπλοκότητας $O(N_2)$) υπολογίζεται πιο αποδοτικά από το Γρήγορο Μετασχηματισμό Fourier (Fast Fourier Transform (FFT)) ο οποίος έχει πολυπλοκότητα O(N log N).

5. 6 Διαγράμματα

Έχει βρεθεί από παλαιότερες μελέτες για την μέθοδο του μέσου όρου, ότι το άθροισμα των ενεργειών των τεσσάρων ρυθμών ισούται κατά μέσο όρο περίπου με το 80 % της συνολικής ενέργειας του EEG σήματος. Επαληθεύουμε το γεγονός αυτό και ελέγχουμε αν αυτό ισχύει και για τις υπόλοιπες μεθόδους μας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο μέσος όρος των ενεργειών για τα 15 ηλεκτρόδια, του ποσοστού που καλύπτουν οι 4 ρυθμοί (αγνοούμε τον γ ρυθμό γιατί δεν είχαμε μετρήσεις για όλο το συχνοτικό του εύρος) σε σχέση με την ολική ενέργεια:

P=[(α+β+δ+θ)*100]/ total energy

	mean	mode	median	geometric
Average_Male_off_%	76,24108	76,04709	75,70164	76,80511
Average_Male_on_%	82,23157	66,82216	80,44599	81,50623
Average_Female_off_%	85,02425	80,95853	83,48231	81,80944
Average_Female_on_%	82,00887	75,82473	82,75125	79,07419
average	81,37644	74,91313	80,5953	79,79874

Πίνακας 3-Ποσοστό ολικής ενέργειας από το άθροισμα των τεσσάρων ρυθμών

Παρατηρείτε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές σε καμία από τις τέσσερις μεθόδους που χρησιμοποιήσαμε . Η μόνη που αποκλίνει κάπως είναι η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές, αλλά όχι σημαντικά .

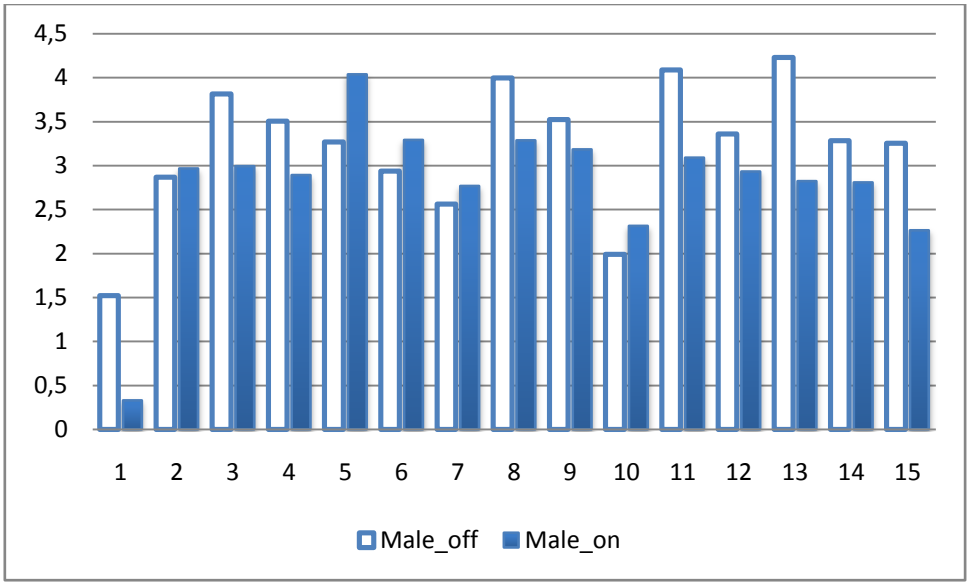
Ακολουθούν μερικά διαγράμματα όπου συγκρίνεται η ενέργεια για άντρες και γυναίκες, παρουσία ή μη σήματος, καθώς και σύγκριση των μεθόδων επεξεργασίας μας. Επικεντρωνόμαστε κυρίως στην ολική ενέργεια και στην σύγκριση των μεθόδων

μεταξύ τους. Στο Παράρτημα φαίνονται αναλυτικά όλα τα διαγράμματα για κάθε ρυθμό ξεχωριστά ,αλλά και για κάθε μέθοδο.

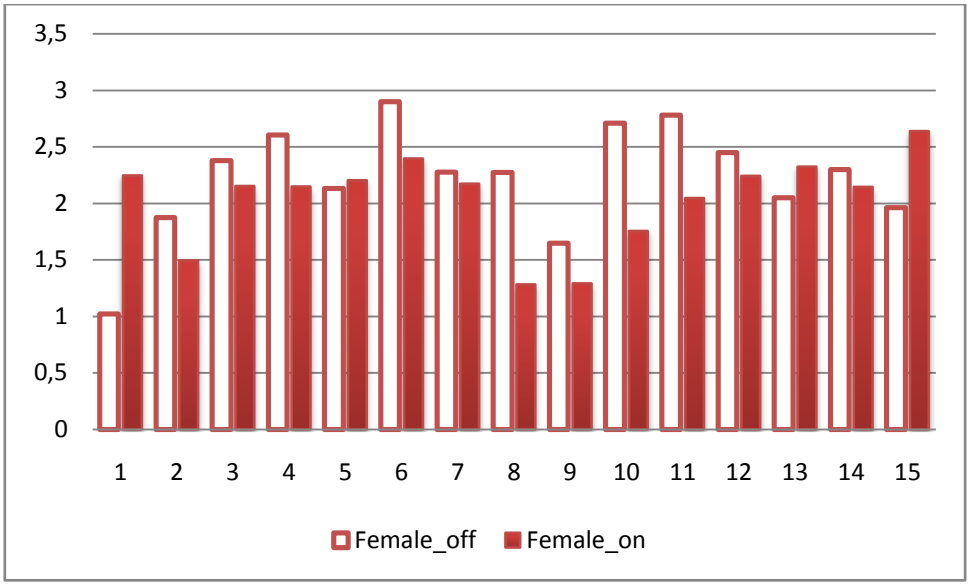
Στους παρακάτω άξονες, στον οριζόντιο έχουμε τα 15 ηλεκτρόδια ενώ στον κατακόρυφο την αντίστοιχη ενέργεια σε μJoules= 10^{-6} Joules .

1.Μέθοδος Μέσου Όρου

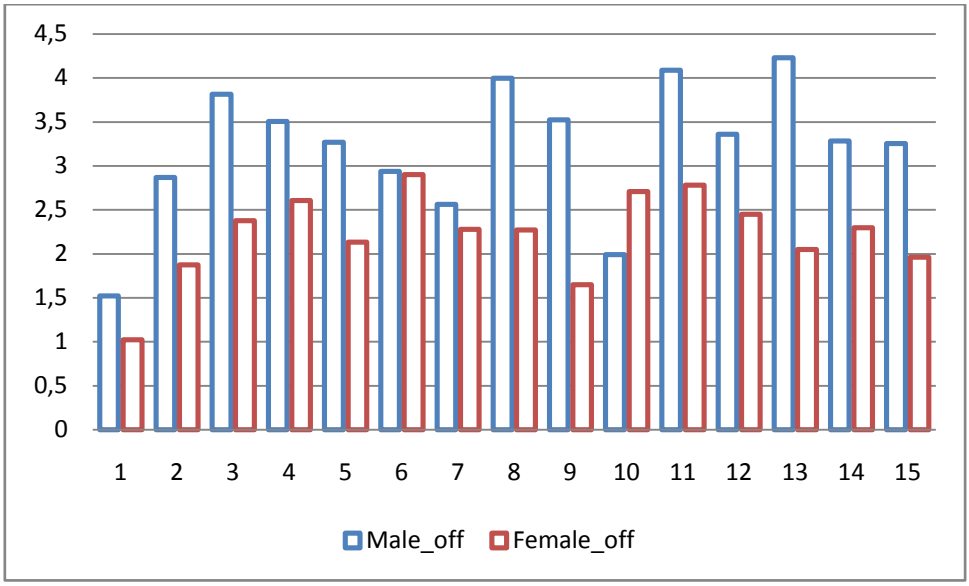
Συνολική Ενέργεια



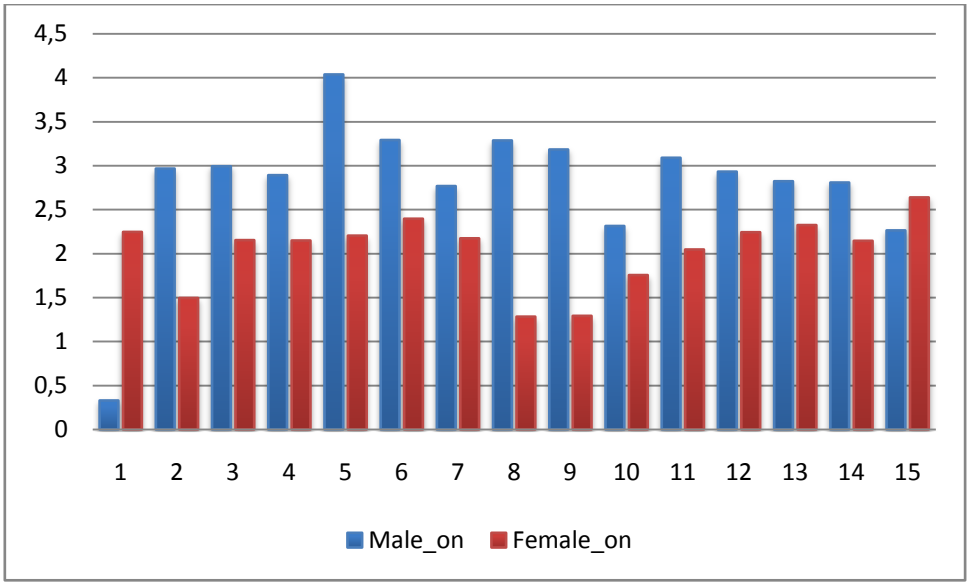
Διάγραμμα 1-Μέσος Όρος-male off & on



Διάγραμμα 2- Μέσος Όρος-female off & on



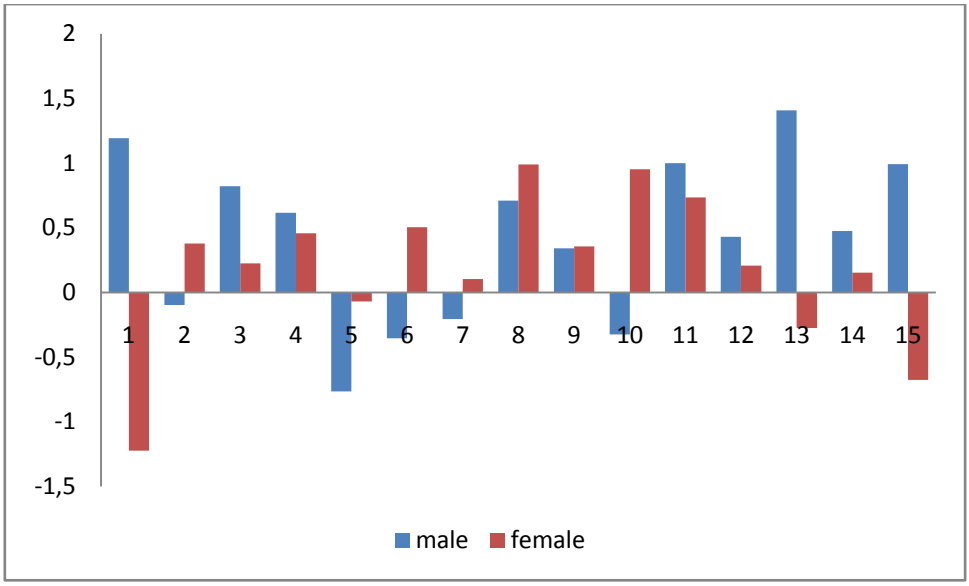
Διάγραμμα 3- Μέσος Όρος-male & female off



Διάγραμμα 4 -Μέσος Όρος-male & female on

Στα πρώτα δύο διαγράμματα παρατηρείται ότι , στα περισσότερα ηλεκτρόδια η ενέργεια είναι μεγαλύτερη χωρίς την παρουσία σήματος. Στα επόμενα διαγράμματα διακρίνεται ότι χωρίς την παρουσία σήματος οι άντρες έχουν μεγαλύτερη ενέργεια σε όλα τα ηλεκτρόδια από ότι οι γυναίκες, ενώ με την παρουσία σήματος , έχουν μεν μεγαλύτερη ενέργεια από τις γυναίκες αλλά με μικρότερη διαφορά από ότι πριν.

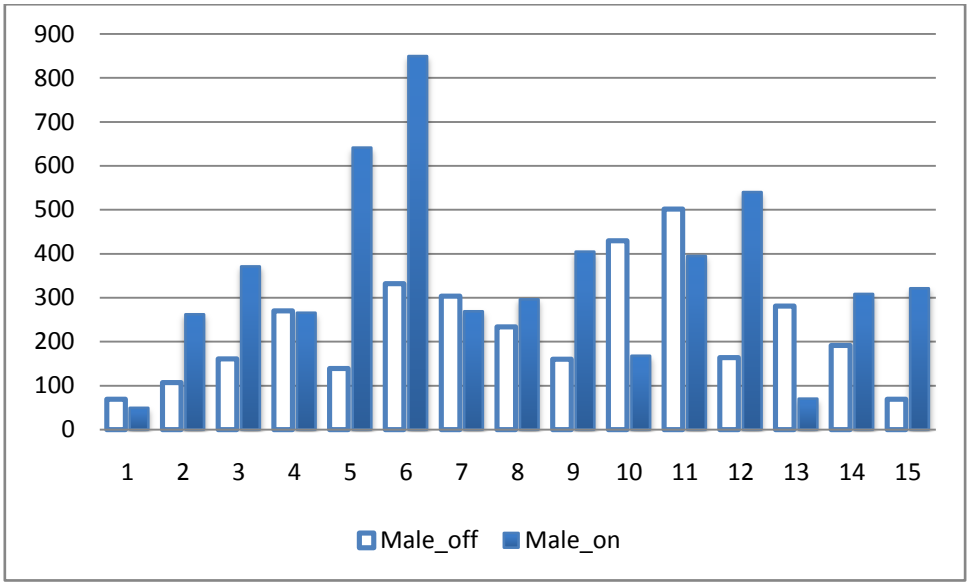
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται καλύτερα αυτή η διαφορά της ενέργειας σε κάθε ηλεκτρόδιο από την κατάσταση off στην on για αρσενικά και θηλυκά άτομα, όπου παρατηρείται ότι για τα αρσενικά άτομα η αλλαγή που επέρχεται με την παρουσία gsm σήματος είναι μεγαλύτερη.



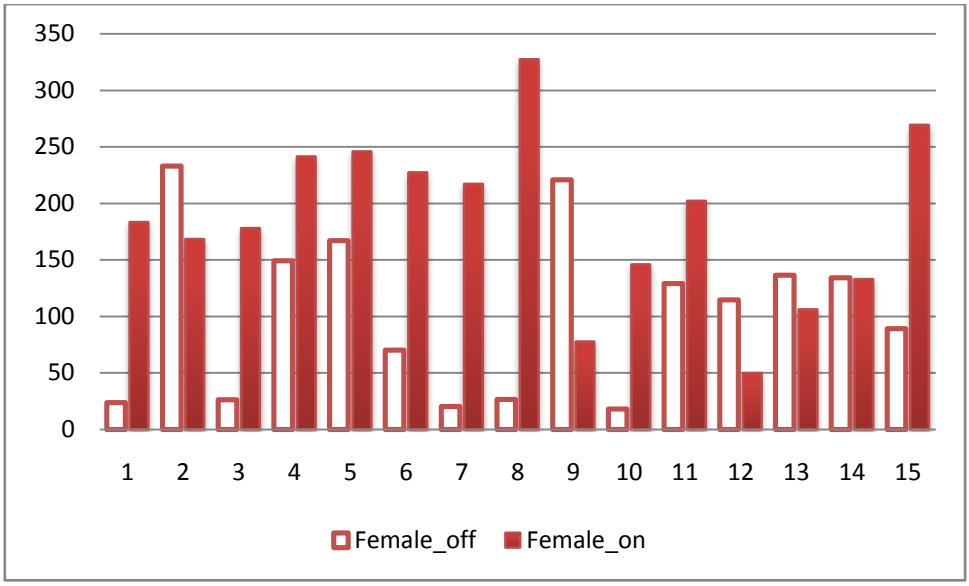
Διάγραμμα 5-Μέσος Όρος- Διαφορές off-on κατάστασης

2.Επικρατούσα τιμή

Συνολική Ενέργεια



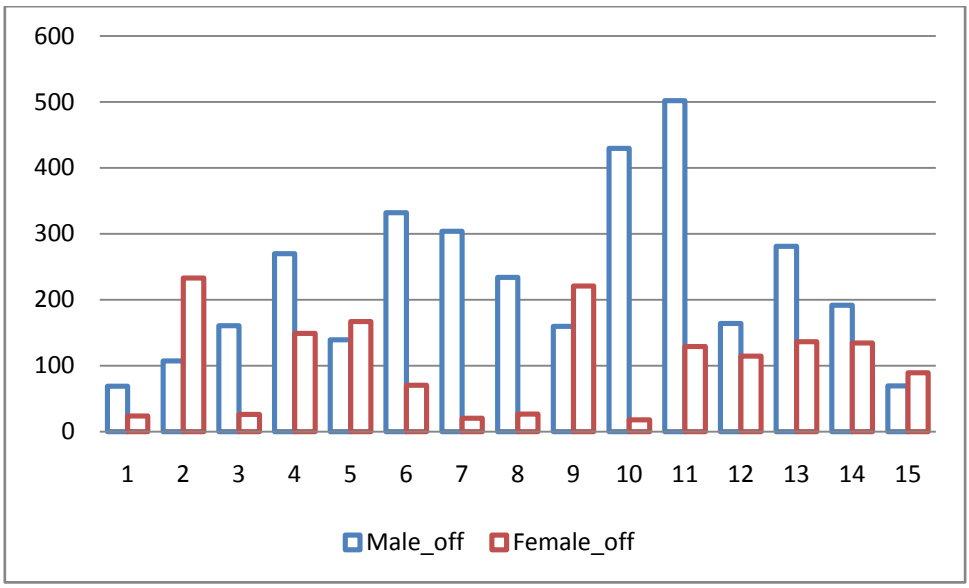
Διάγραμμα 6-Επικρατούσα Τιμή – male off & on



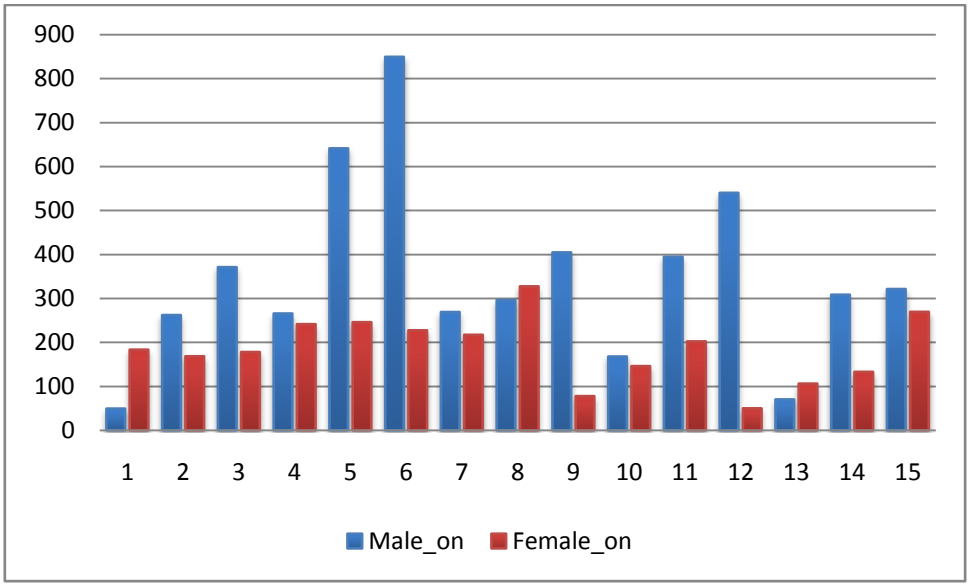
Διάγραμμα 7-Επικρατούσα Τιμή – female off & on

Στα διαγράμματα 6 και 7 φαίνεται ότι με την μέθοδο των επικρατουσών τιμών οι ενέργειες των ατόμων είναι μεγαλύτερες με την παρουσία σήματος και στα αρσενικά και τα θηλυκά άτομα.

Ακολουθούν τα διαγράμματα για τις καταστάσεις χωρίς σήμα, και με παρουσία σήματος.

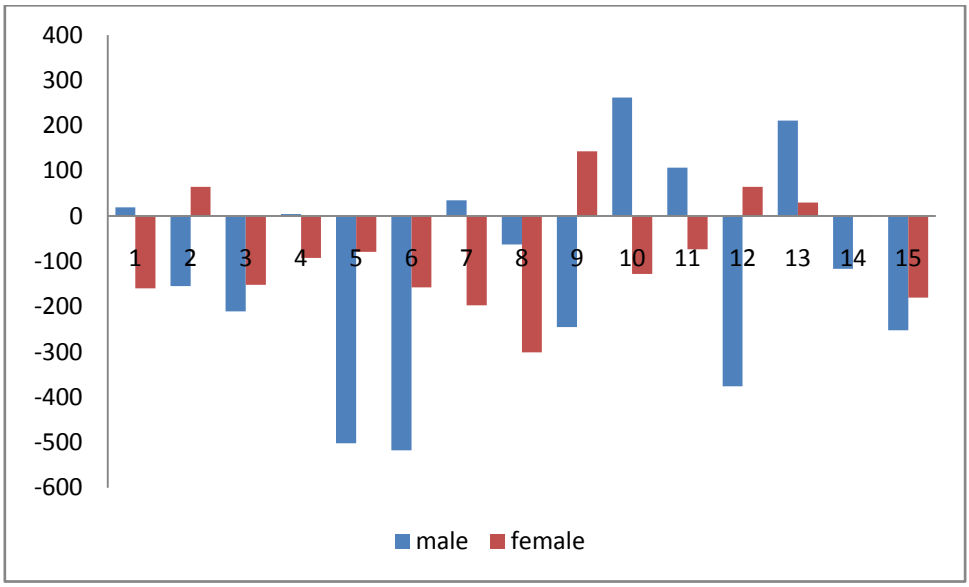


Διάγραμμα 8 -Επικρατούσα Τιμή – male & female off



Διάγραμμα 9- -Επικρατούσα Τιμή – male & female on

Προκύπτει ότι η ενέργειες στα αρσενικά άτομα είναι μεγαλύτερες και στις δύο καταστάσεις.



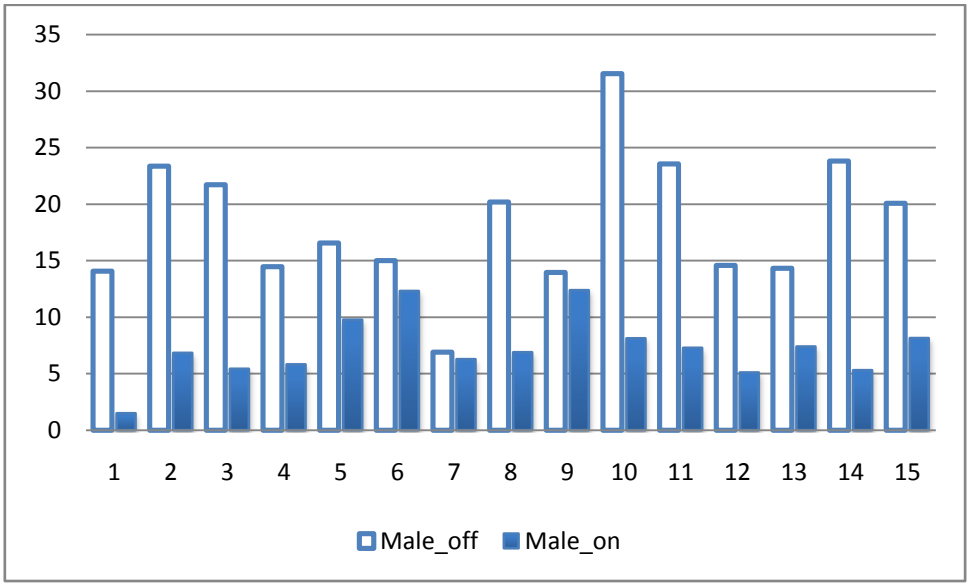
Διάγραμμα 10 -Επικρατούσα Τιμή - Διαφορές off-on κατάστασης

Στο τελευταίο αυτό διάγραμμα με τις διαφορές μεταξύ off και on κατάστασης , παρατηρείται ότι και πάλι οι άντρες φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο με την παρουσία σήματος από ότι οι γυναίκες, αν και η μέθοδος αυτή δεν είναι τόσο

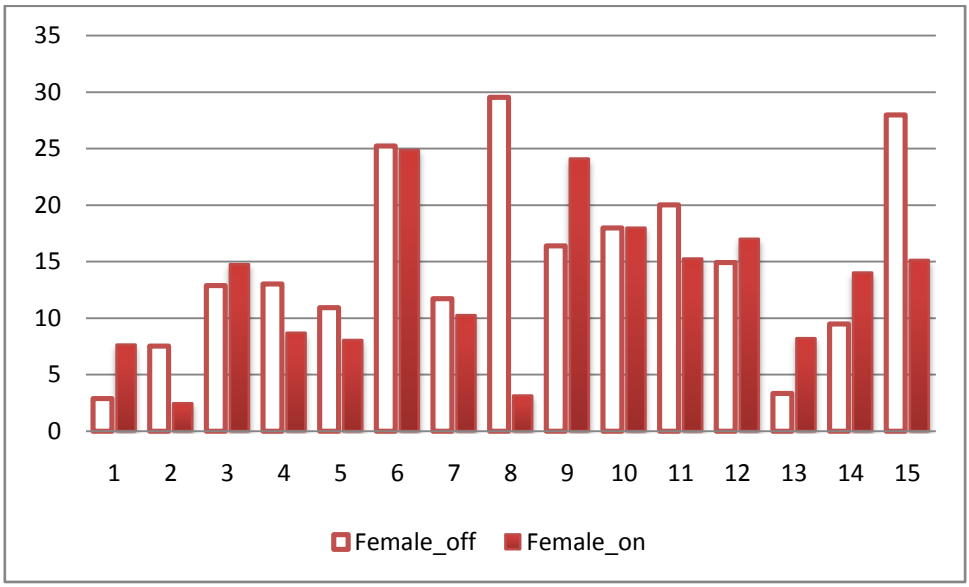
αξιόπιστη γιατί δίνει μεγαλύτερη ενέργεια στις on καταστάσεις , που δεν επαληθεύεται από τους υπόλοιπους τρόπους.

3. Διάμεσος

Συνολική Ενέργεια

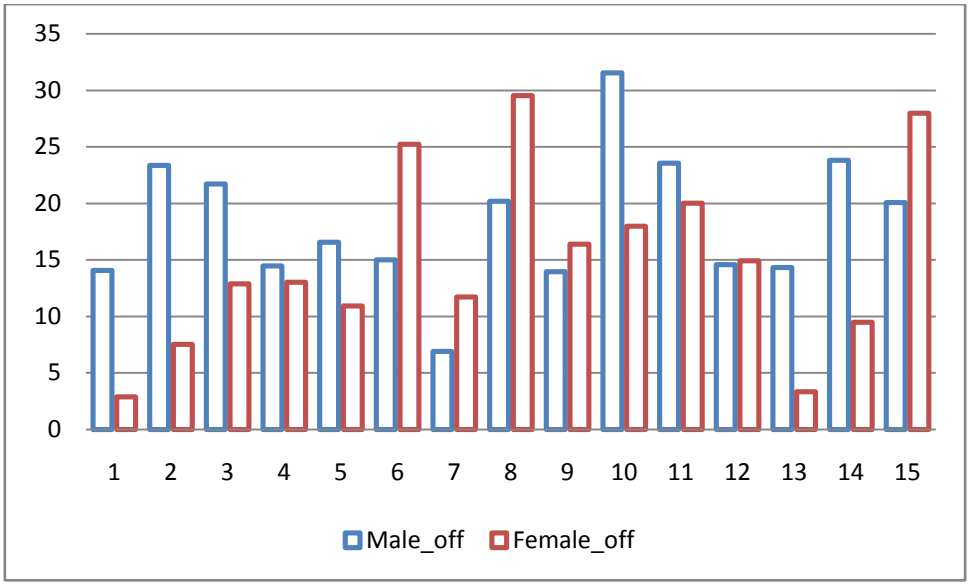


Διάγραμμα 11-Διάμεσος –male off & on

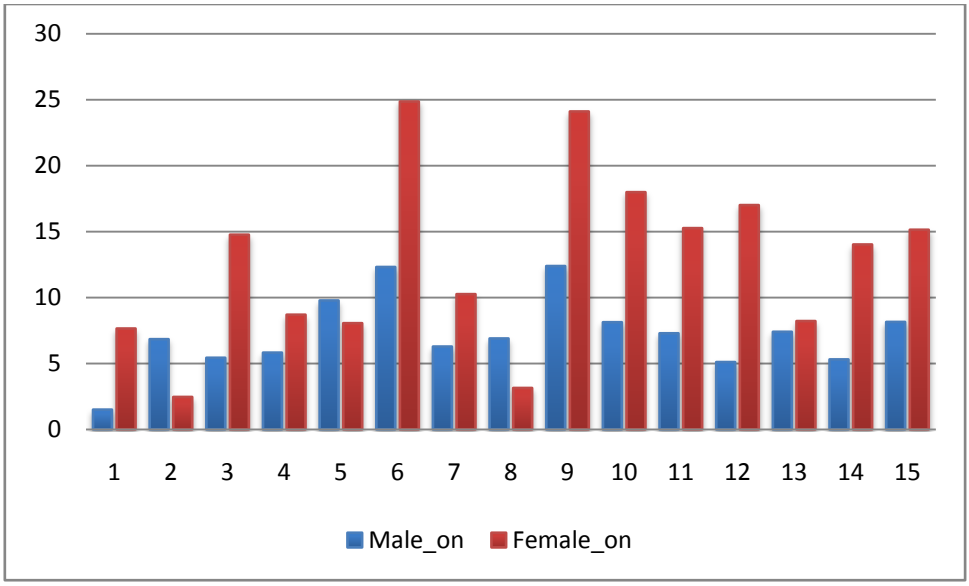


Διάγραμμα 11 -Διάμεσος – female off & on

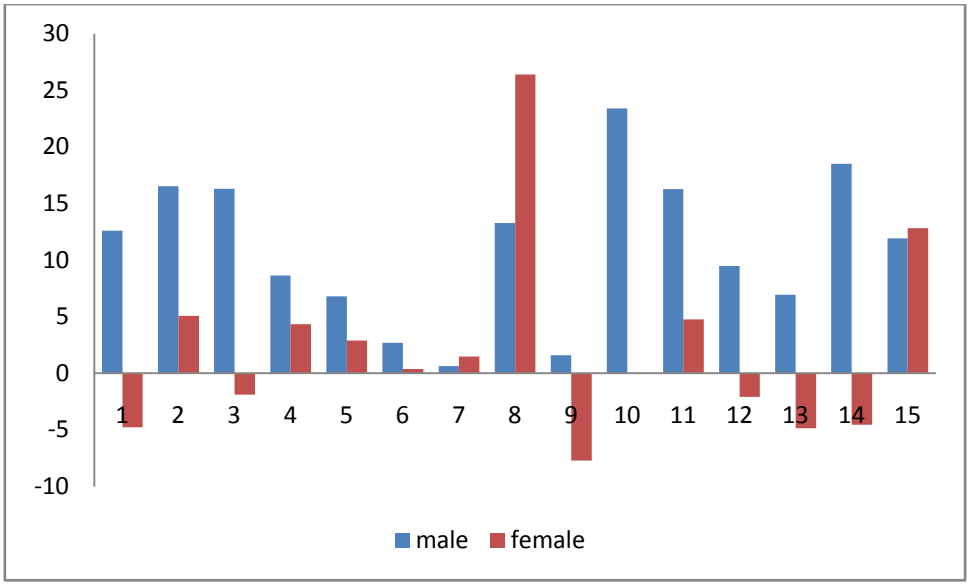
Διακρίνουμε ακόμα μια φορά ότι στα περισσότερα ηλεκτρόδια η παρουσία σήματος μειώνει την ολική ενέργεια.



Διάγραμμα 12 -Διάμεσος –male & female off



Διάγραμμα 13 -Διάμεσος –male & female on

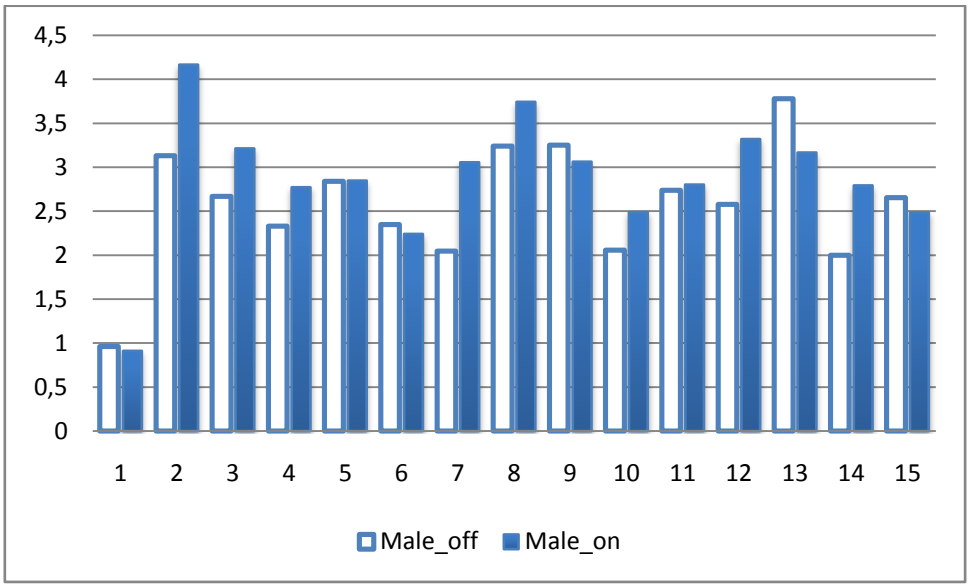


Διάγραμμα 14 -Διάμεσος –Διαφορές off-on κατάστασης

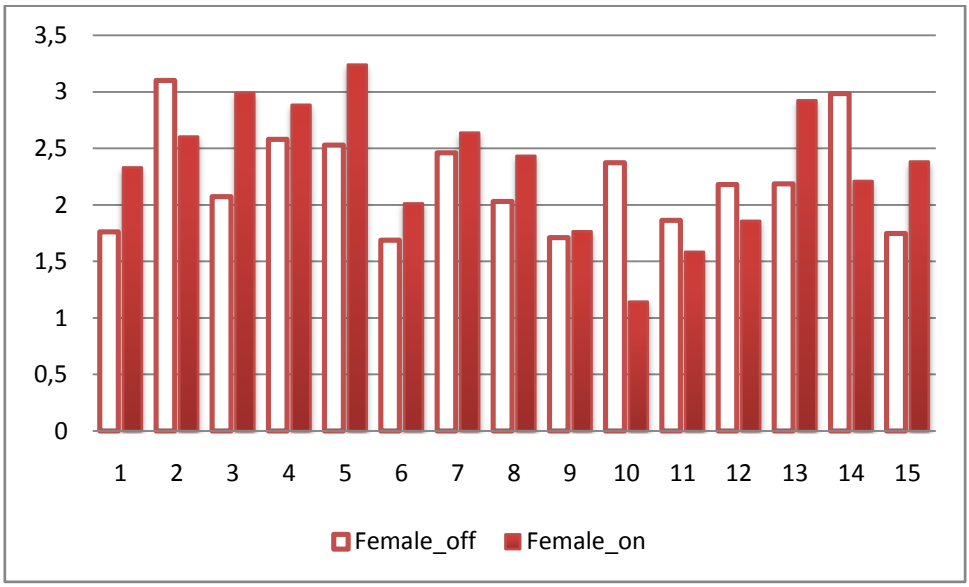
Τα διαγράμματα με τη μέθοδο της διαμέσου, συμφωνούν με αυτά του μέσου όρου. Στο τελευταίο διάγραμμα με τις διαφορές off-on παρατηρείται και πάλι το γεγονός ότι τα αρσενικά άτομα, επηρεάζονται περισσότερο, σχεδόν σε όλα τα ηλεκτρόδια. Φαίνεται επίσης ότι σε κατάσταση on τα αρσενικά άτομα έχουν μικρότερη ενέργεια από τα θηλυκά, κάτι που είχε βρεθεί και σε παλαιότερες έρευνες, καθιστώντας έτσι την μέθοδο αυτή κατάλληλη για την αποθορυβοποίηση του σήματος.

4. Γεωμετρικός Μέσος Όρος

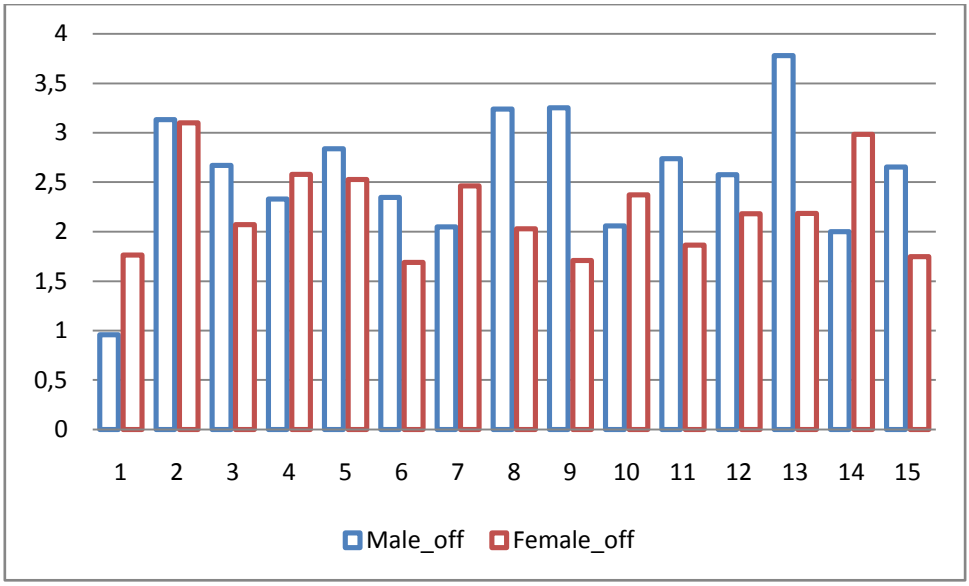
Συνολική Ενέργεια



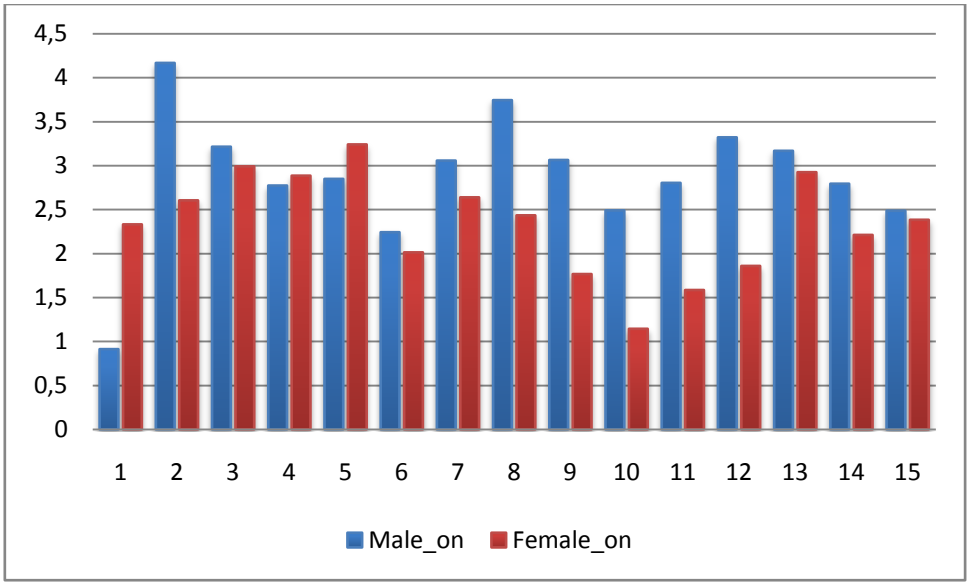
Διάγραμμα 15-Γεωμετρικός Μέσος όρος – male off & on



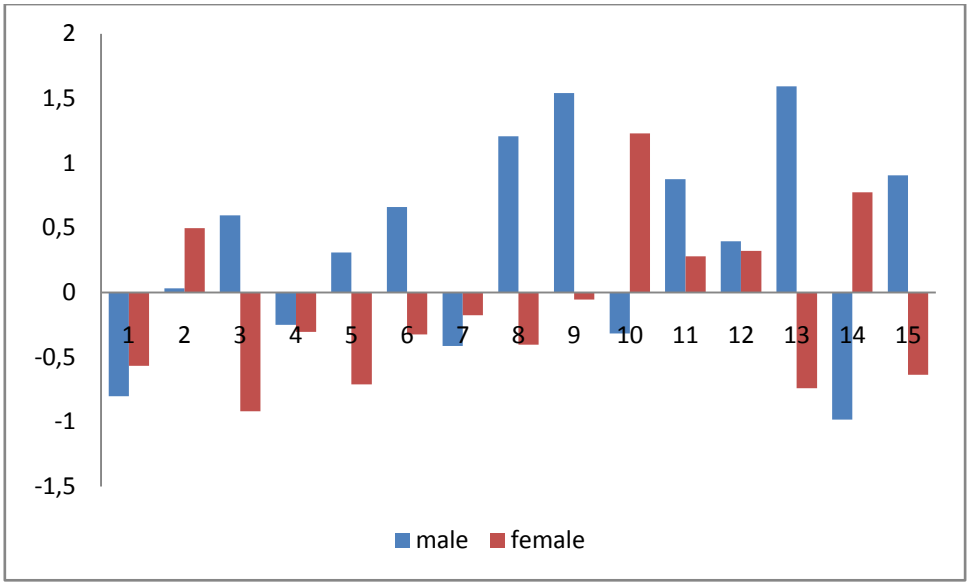
Διάγραμμα 16 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – female off & on



Διάγραμμα 17 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – male & female off



Διάγραμμα 18 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – male & female on



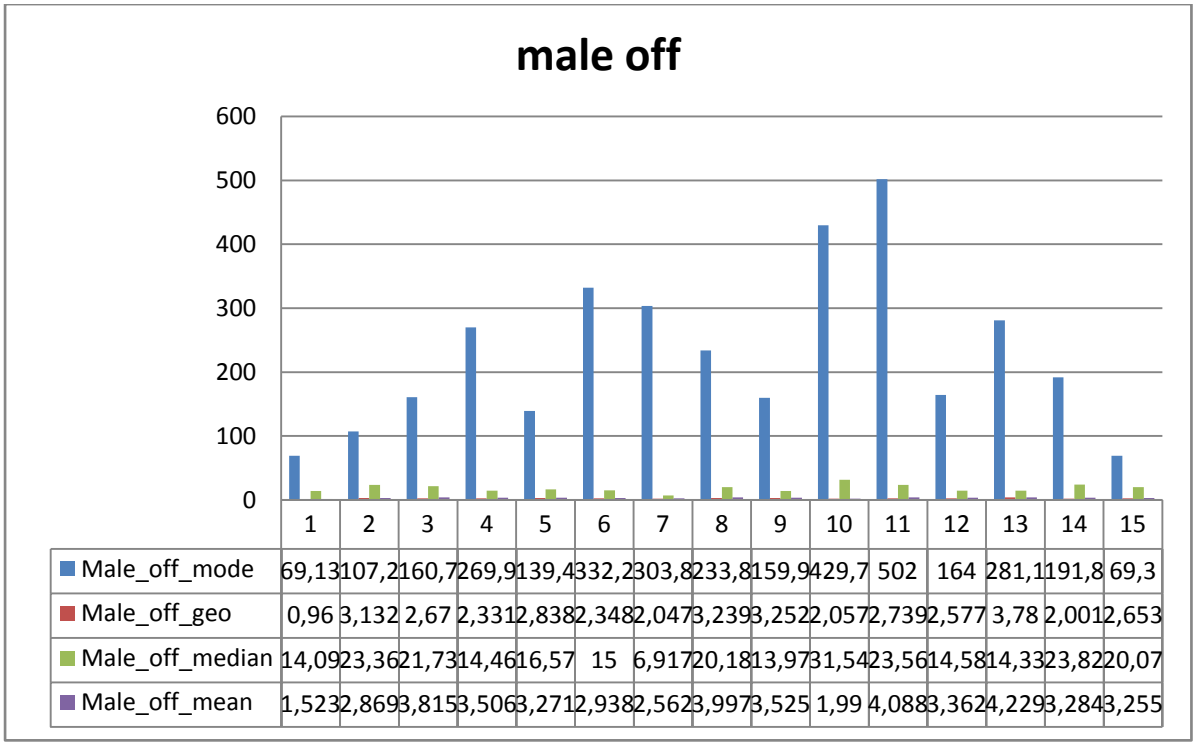
Διάγραμμα 19 -Γεωμετρικός Μέσος όρος – Διαφορές off- on κατάστασης

Με τον τρόπο του γεωμετρικού μέσου όρου , παρατηρείται ότι οι άντρες έχουν σχεδόν την ίδια ενέργεια και στις δύο καταστάσεις ενώ οι γυναίκες έχουνε μεγαλύτερη ενέργεια στην on κατάσταση. Στο τελευταίο διάγραμμα φαίνεται όμως και πάλι ότι οι άντρες επηρεάζονται περισσότερο στην παρουσία του GSM σήματος.

5.7 Σύγκριση μεθόδων

Αξίζει όμως να μελετηθούν και οι τέσσερις μεθόδους μαζί. Επειδή ο μέσος όρος είναι βάση προηγούμενων πειραμάτων κατάλληλος τρόπος για την επεξεργασία σημάτων τέτοιας μορφής, συγκρίνονται οι υπόλοιπες μέθοδοι βάση του μέσου όρου, θεωρώντας δηλαδή αυτόν ως σωστότερο.

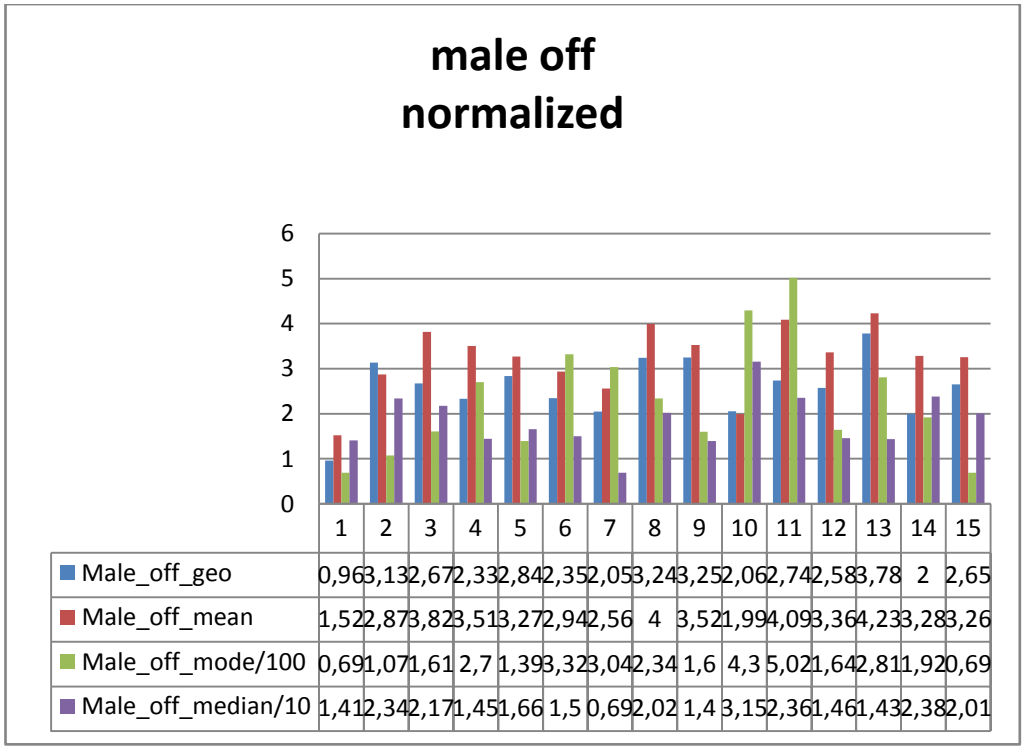
Έχουμε έτσι στο παρακάτω διάγραμμα την ολική ενέργεια για τα αρσενικά άτομα στα 15 ηλεκτρόδια, απουσία σήματος. Φαίνεται ότι η ενέργεια για την μέθοδο των επικρατουσών τιμών ,και έπειτα για τη διάμεσο, είναι αρκετά πιο μεγάλη από αυτή στις άλλες δύο μεθόδους κι έτσι δεν μπορεί εύκολα να εξαχθεί κάποιο συμπεράσμα.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Male_off_mode	69,13	107,2	160,7	269,9	139,4	332,2	303,8	233,8	159,9	429,7	502	164	281,1	191,8	69,3
Male_off_geo	0,96	3,132	2,67	2,331	2,838	2,348	2,047	3,239	3,252	2,057	2,739	2,577	3,78	2,001	2,653
Male_off_median	14,09	23,36	21,73	14,46	16,57	15	6,917	20,18	13,97	31,54	23,56	14,58	14,33	23,82	20,07
Male_off_mean	1,523	2,869	3,815	3,506	3,271	2,938	2,562	3,997	3,525	1,99	4,088	3,362	4,229	3,284	3,255

Διάγραμμα 20-male off αρχικό , όλες οι μέθοδοι

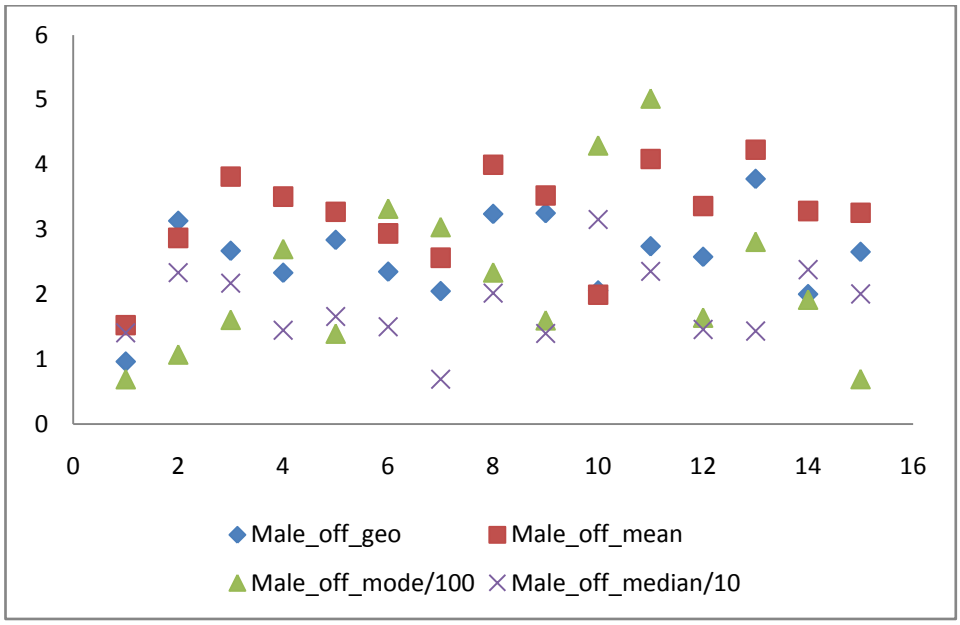
Για να μπορέσει λοιπόν να γίνει πιο εύκολα η σύγκριση , διαιρούνται με 100 οι ενέργειες στις επικρατούσες τιμές και με 10 αυτές στην διάμεσο , οπότε έχουμε τα ακόλουθα «κανονικοποιημένα » διαγράμματα :



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Male_off_geo	0,96	3,13	2,67	2,33	2,84	2,35	2,05	3,24	3,25	2,06	2,74	2,58	3,78	2	2,65
Male_off_mean	1,52	2,87	3,82	3,51	3,27	2,94	2,56	4	3,52	1,99	4,09	3,36	4,23	3,28	3,26
Male_off_mode/100	0,69	1,07	1,61	2,7	1,39	3,32	3,04	2,34	1,6	4,3	5,02	1,64	2,81	1,92	0,69
Male_off_median/10	1,41	2,34	2,17	1,45	1,66	1,5	0,69	2,02	1,4	3,15	2,36	1,46	1,43	2,38	2,01

Διάγραμμα 21 -male off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι

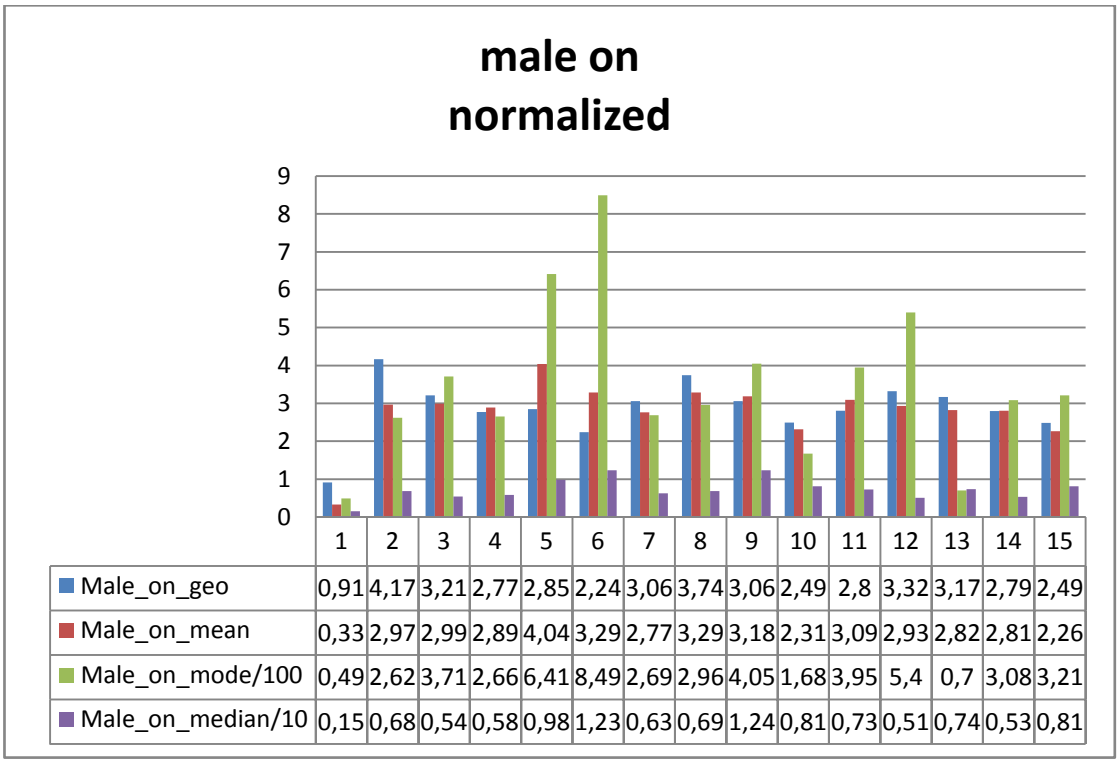
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται καλύτερα ο τρόπος που «κινείται» κάθε μέθοδος :



Διάγραμμα 22 -male off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2

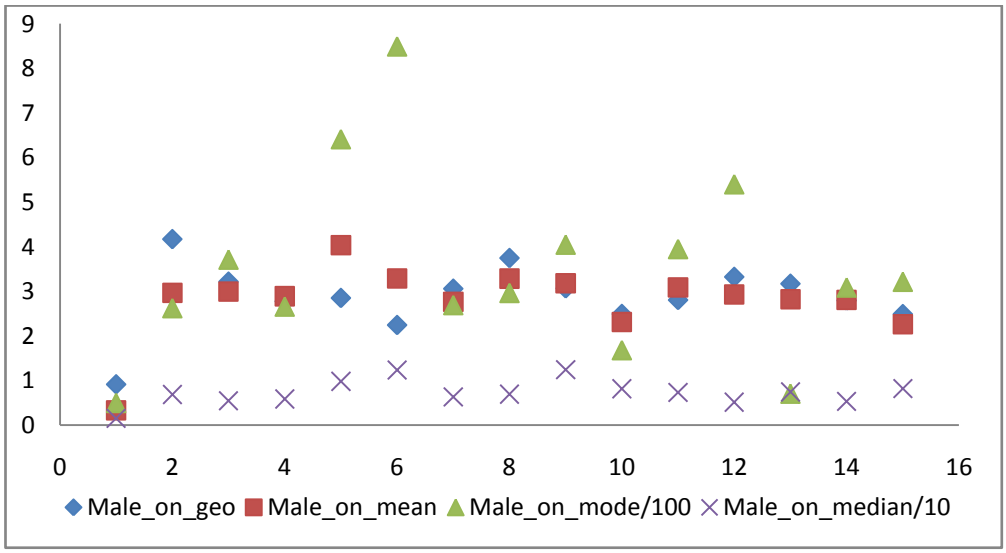
Παρατηρείται ότι ο τρόπος με τον γεωμετρικό μέσο όρο ακολουθεί πολύ πιστά τον μέσο όρο, ενώ η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή μόνο σε κάποια διαστήματα.

Έπειτα έχουμε την περίπτωση όπου υπάρχει σήμα των 900 MHz.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Male_on_geo	0,91	4,17	3,21	2,77	2,85	2,24	3,06	3,74	3,06	2,49	2,8	3,32	3,17	2,79	2,49
Male_on_mean	0,33	2,97	2,99	2,89	4,04	3,29	2,77	3,29	3,18	2,31	3,09	2,93	2,82	2,81	2,26
Male_on_mode/100	0,49	2,62	3,71	2,66	6,41	8,49	2,69	2,96	4,05	1,68	3,95	5,4	0,7	3,08	3,21
Male_on_median/10	0,15	0,68	0,54	0,58	0,98	1,23	0,63	0,69	1,24	0,81	0,73	0,51	0,74	0,53	0,81

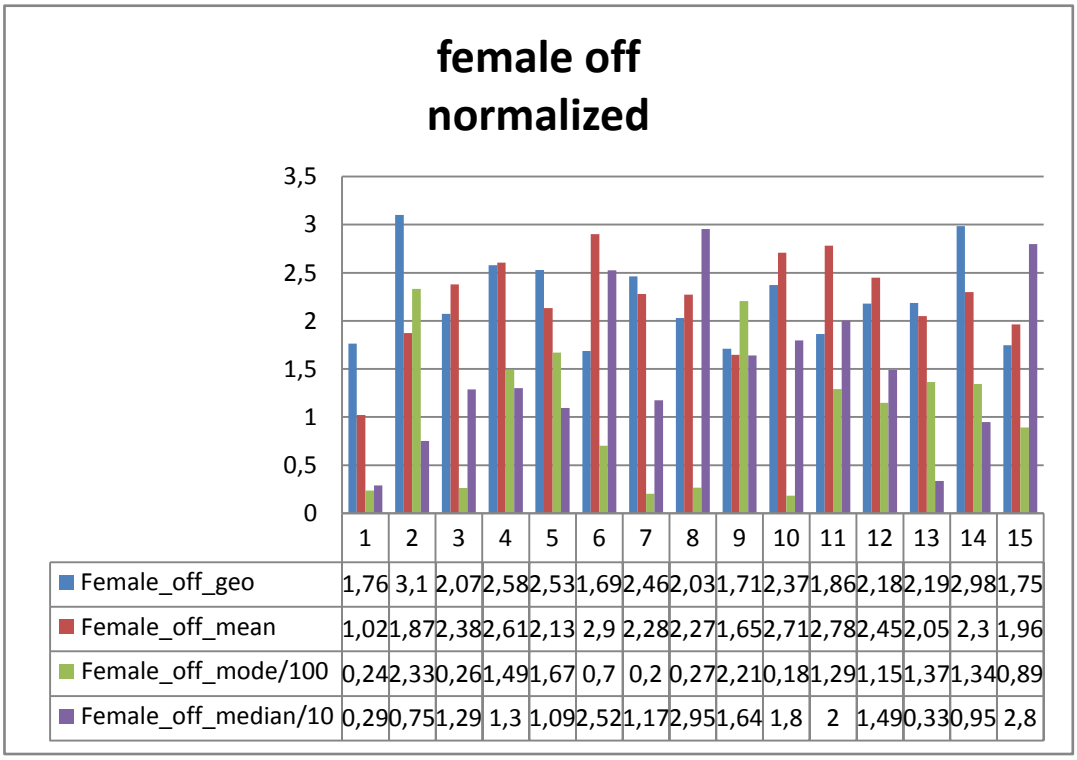
Διάγραμμα 23 -male on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι



Διάγραμμα 24 -male on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2

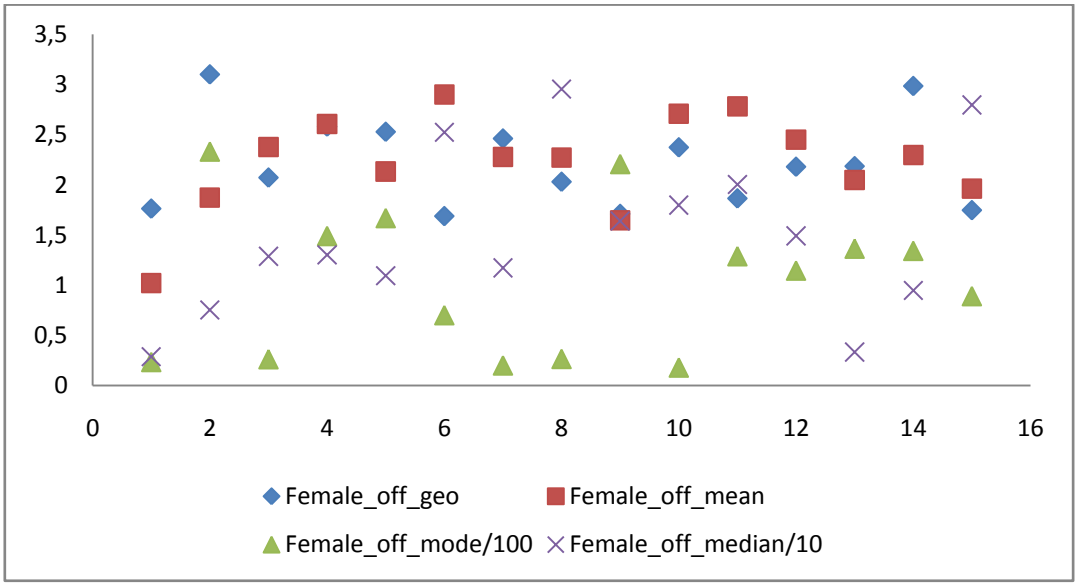
Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται ε ότι και οι τέσσερις μέθοδοι συγκλίνουν στα ίδια αποτελέσματα και ακολουθούν αρκετά η μία την άλλη.

Για τις γυναίκες τώρα ,χωρίς παρουσία σήματος , θα έχουμε :



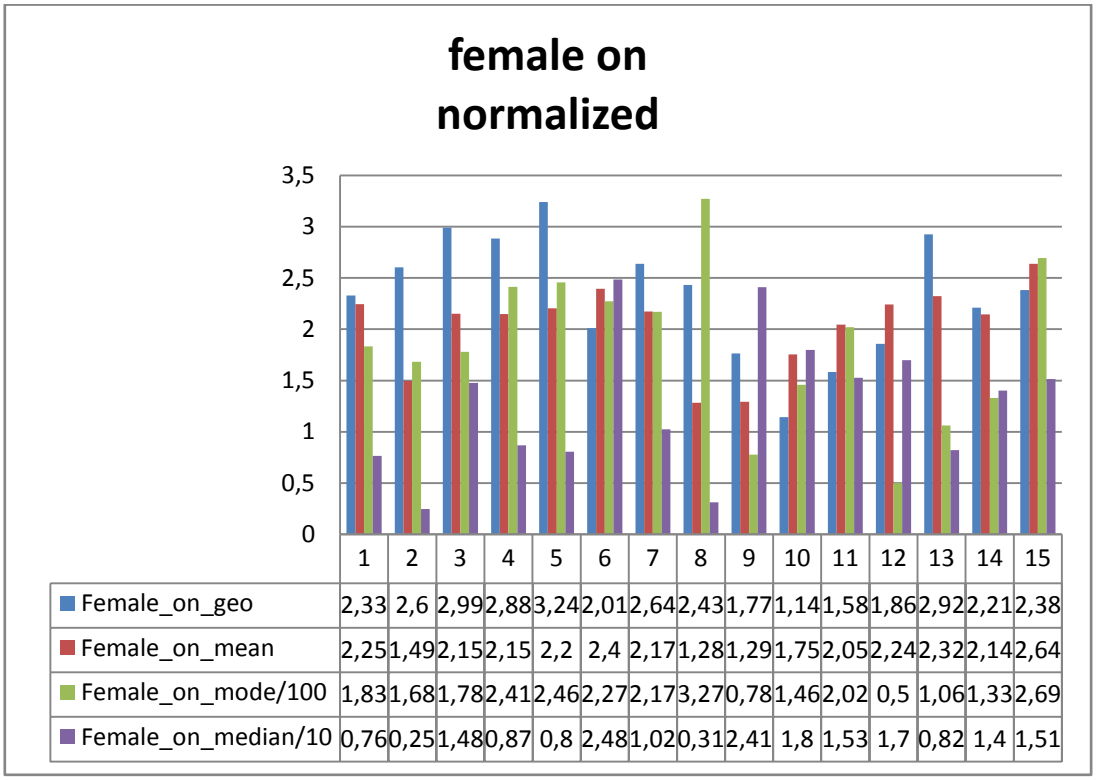
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Female_off_geo	1,76	3,1	2,07	2,58	2,53	1,69	2,46	2,03	1,71	2,37	1,86	2,18	2,19	2,98	1,75
Female_off_mean	1,02	1,87	2,38	2,61	2,13	2,9	2,28	2,27	1,65	2,71	2,78	2,45	2,05	2,3	1,96
Female_off_mode/100	0,24	2,33	0,26	1,49	1,67	0,7	0,2	0,27	2,21	0,18	1,29	1,15	1,37	1,34	0,89
Female_off_median/10	0,29	0,75	1,29	1,3	1,09	2,52	1,17	2,95	1,64	1,8	2	1,49	0,33	0,95	2,8

Διάγραμμα 25 -female off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι



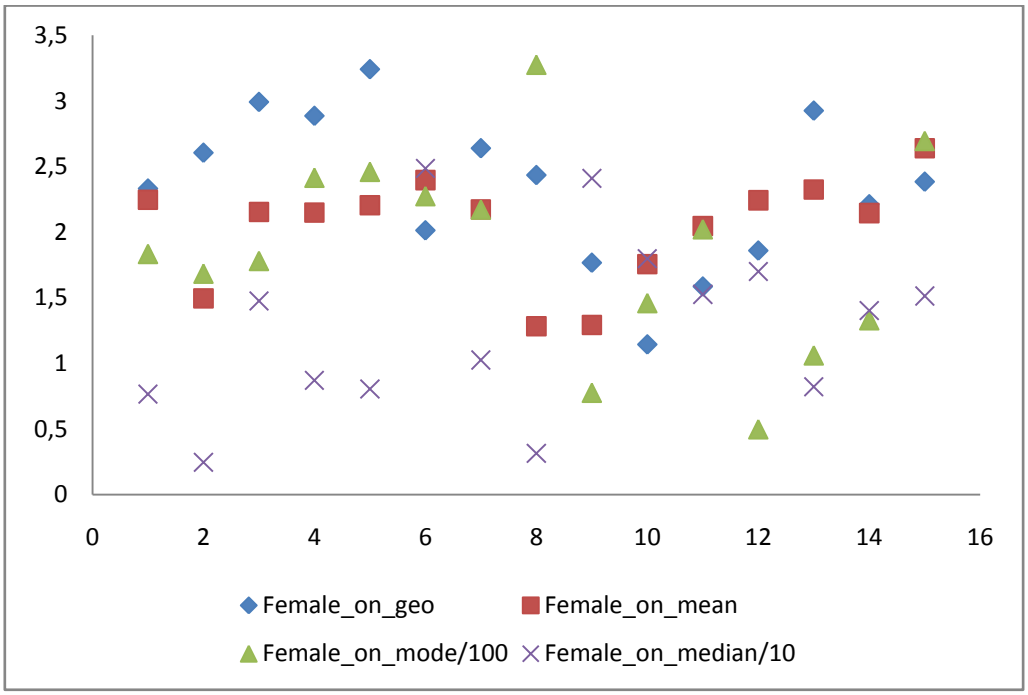
Διάγραμμα 26 -female off « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2

Εδώ παρατηρείται ότι η διάμεσος και κάπως ο γεωμετρικός μέσος όρος ακολουθούν τον μέσο όρο .



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Female_on_geo	2,33	2,6	2,99	2,88	3,24	2,01	2,64	2,43	1,77	1,14	1,58	1,86	2,92	2,21	2,38
Female_on_mean	2,25	1,49	2,15	2,15	2,2	2,4	2,17	1,28	1,29	1,75	2,05	2,24	2,32	2,14	2,64
Female_on_mode/100	1,83	1,68	1,78	2,41	2,46	2,27	2,17	3,27	0,78	1,46	2,02	0,5	1,06	1,33	2,69
Female_on_median/10	0,76	0,25	1,48	0,87	0,8	2,48	1,02	0,31	2,41	1,8	1,53	1,7	0,82	1,4	1,51

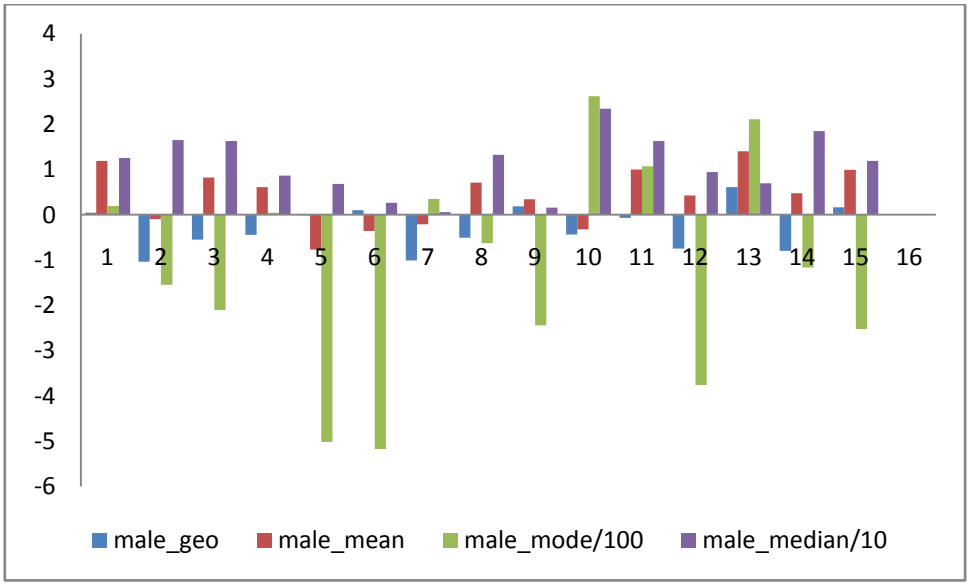
Διάγραμμα 27 -female on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι



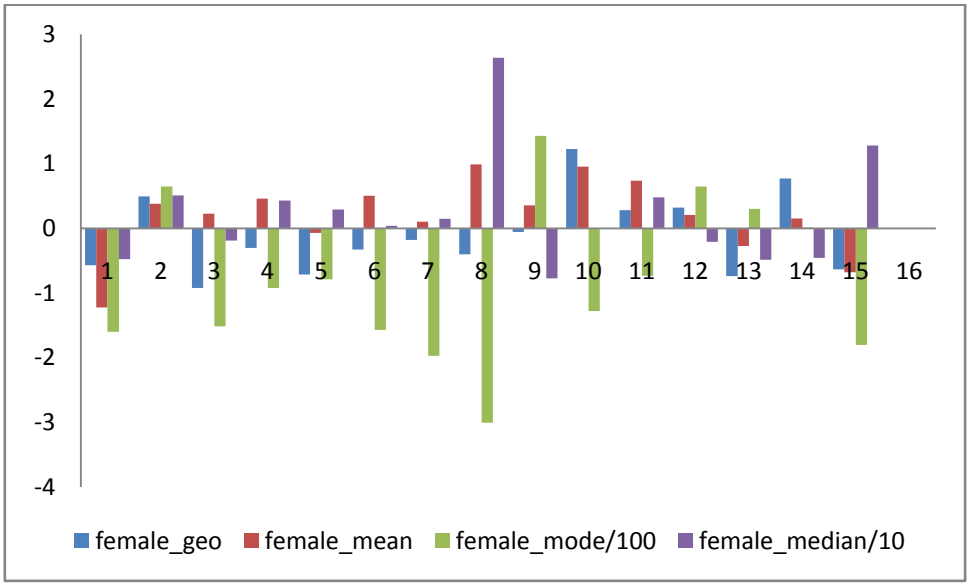
Διάγραμμα 28 -female on « κανονικοποιημένο », όλες οι μέθοδοι 2

Στην on κατάσταση των γυναικών φαίνεται ότι και οι τέσσερις μέθοδοι δίνουν σχεδόν τις ίδιες ενέργειες , ειδικά ο γεωμετρικός μέσος όρος και οι επικρατούσες τιμές.

Ας ελεγθούν , τέλος, οι διαφορές που παρουσιάζονται με κάθε τρόπο σε κάθε ηλεκτρόδιο , ανάμεσα στις καταστάσεις off-on.



Διάγραμμα 29-Διαφορές male off-on όλες οι μέθοδοι



Διάγραμμα 30 -Διαφορές female off-on όλες οι μέθοδοι

Προκύπτει ότι οι τρόποι της διαμέσου και του γεωμετρικού μέσου όρου μοιάζουν πιο πολύ με αυτόν του μέσου όρου, ενώ οι επικρατούσες τιμές σε μερικά ηλεκτρόδια δίνουν αρκετά διαφοροποιημένα αποτελέσματα.

6° Κεφάλαιο

Σε αυτό το κεφάλαιο, περιγράφονται οι προηγούμενοι μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος στο τμήμα του τώρα που αφορά στα προκλητά δυναμικά, δηλαδή αυτό που καταγράφεται μετά από την επίδραση ενός εξωτερικού ερεθίσματος, από το 501° ως το 1500° ms. Συγκρίνουμε τις κυματομορφές για κάθε μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε.

6.1 Μέτρηση Προκλητών Δυναμικών

Η μέτρηση των προκλητών δυναμικών γίνεται με την ίδια διάταξη που χρησιμοποιείται για το EEG. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πλάτος του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (περί τα 50μV) που καταγράφεται όταν ο εξεταζόμενος βρίσκεται σε ηρεμία είναι μεγαλύτερο από το πλάτος των προκλητών δυναμικών (0.1 ως 20μV). Επίσης κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης εγκεφαλικού σήματος λειτουργούν εκτός των εγκεφαλικών περιοχών που δέχονται και επεξεργάζονται το ερέθισμα, και άλλες εγκεφαλικές περιοχές οι οποίες σχετίζονται με τη γενικότερη λειτουργία του οργανισμού. Κατά συνέπεια το σήμα που σχετίζεται με την αντίδραση του εγκεφάλου στο ερέθισμα είναι κρυμμένο μέσα στο συνολικό σήμα που καταγράφεται. Το κομμάτι του σήματος που δεν αφορά στην εγκεφαλική επεξεργασία του ερεθίσματος θεωρείται θόρυβος, ο οποίος μάλιστα είναι πιο ισχυρός από το σήμα που επιθυμούμε να μελετήσουμε. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας τις εξής μεθόδους:

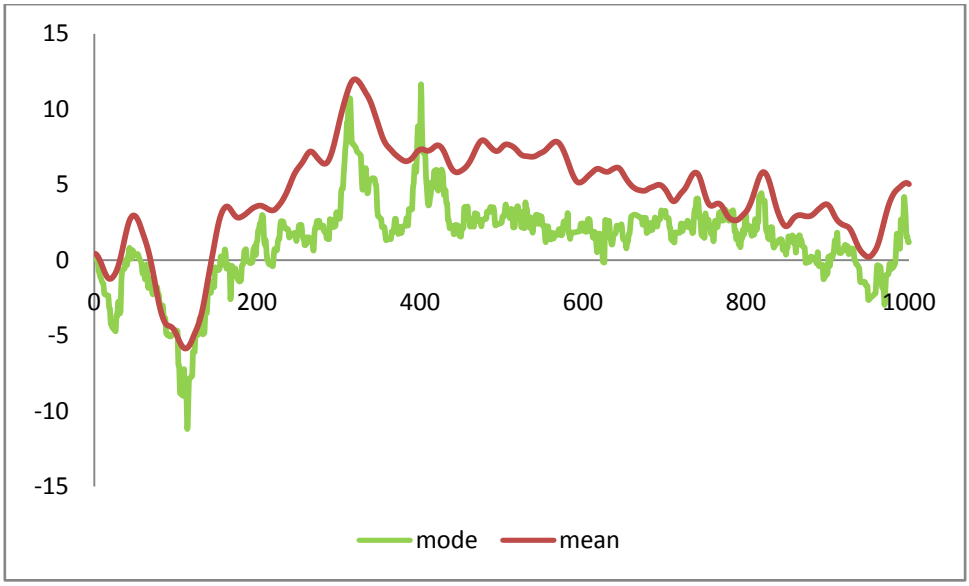
* Χρησιμοποιούνται ενισχυτές μεγάλης ευαισθησίας
* Οι χώροι μέτρησης των σημάτων είναι απομονωμένοι από εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία, όπως αυτά που δημιουργούν ενσύρματες ή ασύρματες ηλεκτρικές συσκευές, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.ά.. Η προτιμώμενη λύση είναι η μέτρηση να γίνεται σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένο δωμάτιο (κλωβό Faraday) ή σε ανηχοϊκό θάλαμο.
* Στατιστική επεξεργασία , με τους τρόπους που προαναφέραμε.

Το συνολικό σήμα (SIGNAL(t)) μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα, το σήμα ERP(t) και τον θόρυβο NOISE (t). Επομένως SIGNALi(t) = ERPi (t) + NOISE i(t) όπου i=1 ως N (N ο αριθμός των επαναλήψεων). Θεωρώντας ότι ο θόρυβος είναι λευκός η μέση τιμή του, ο γεωμετρικός μέσος όρος του , η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή του , είναι μηδενική ενώ το σήμα ERP κάθε φορά έχει τα ίδια χαρακτηριστικά. Με τον υπολογισμό λοιπόν των παραπάνω τιμών ο θόρυβος ελαχιστοποιείται ενώ το σήμα των προκλητών δυναμικών ενισχύεται και τελικώς αποκαλύπτεται .

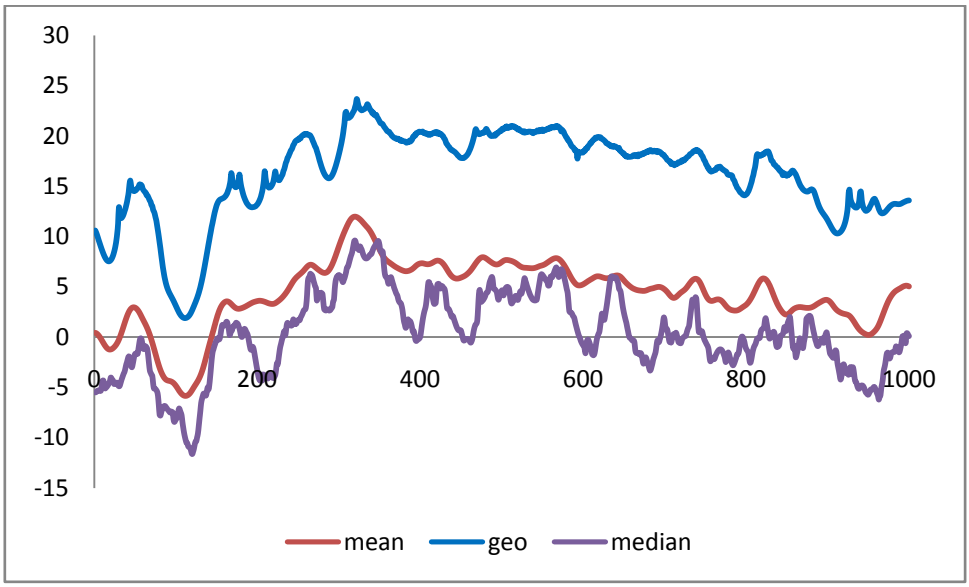
6.2 Διαγράμματα

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα όπου συγκρίνεται η συμπεριφορά κάθε μεθόδου αποθορυβοποίησης, έχοντας πάλι ως σωστότερη αυτή του μέσου όρου. Οι τιμές στον κάθετο άξονα είναι σε μVolts , ενώ στον οριζόντιο έχουμε τα 1000 msec.

* Άντρας, σε κατάσταση χωρίς gsm σήμα , για το 13° ηλεκτρόδιο



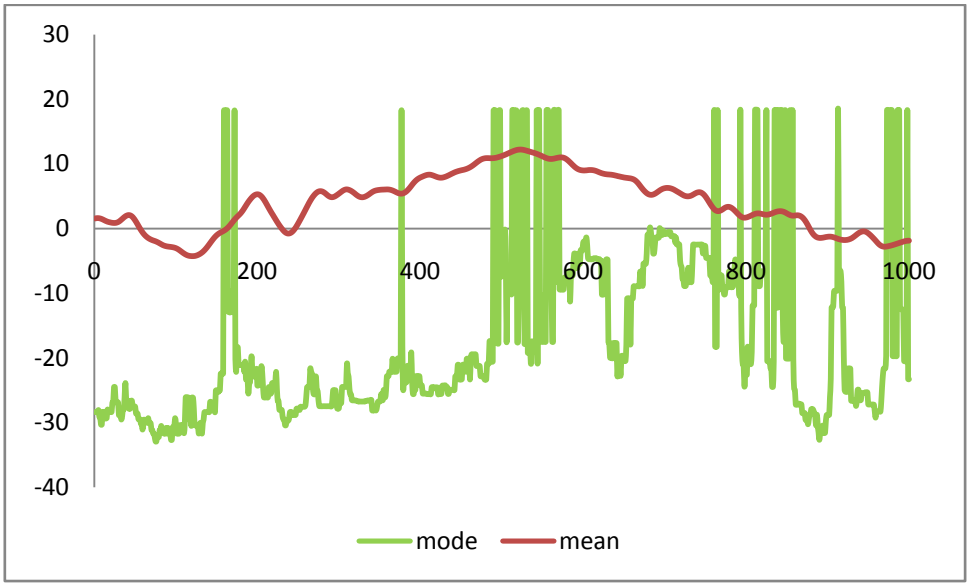
Διάγραμμα 31-ERP's Μέσος όρος και επικρατούσα τιμή-male off, channel 13



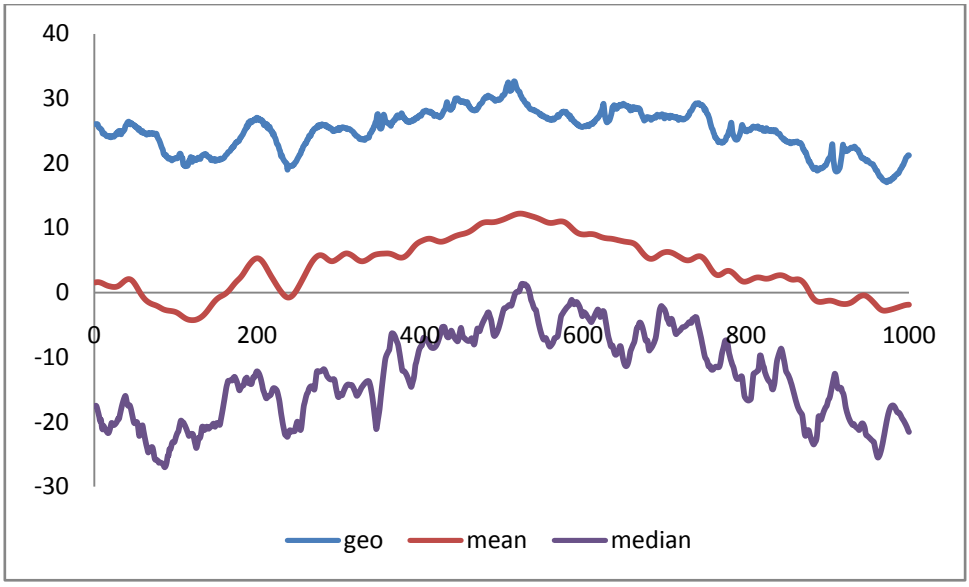
Διάγραμμα 32 -ERP's Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος -male off, channel 13

Προκύπτει ότι και οι τρεις μέθοδοί μας , ακολουθούν αρκετά πιστά αυτή του μέσου όρου ,παρουσιάζοντας μάλιστα αρκετά έντονες κορυφώσεις στα σημεία που θέλουμε.

* Ίδιος άντρας, με gsm σήμα , για το 13° ηλεκτρόδιο



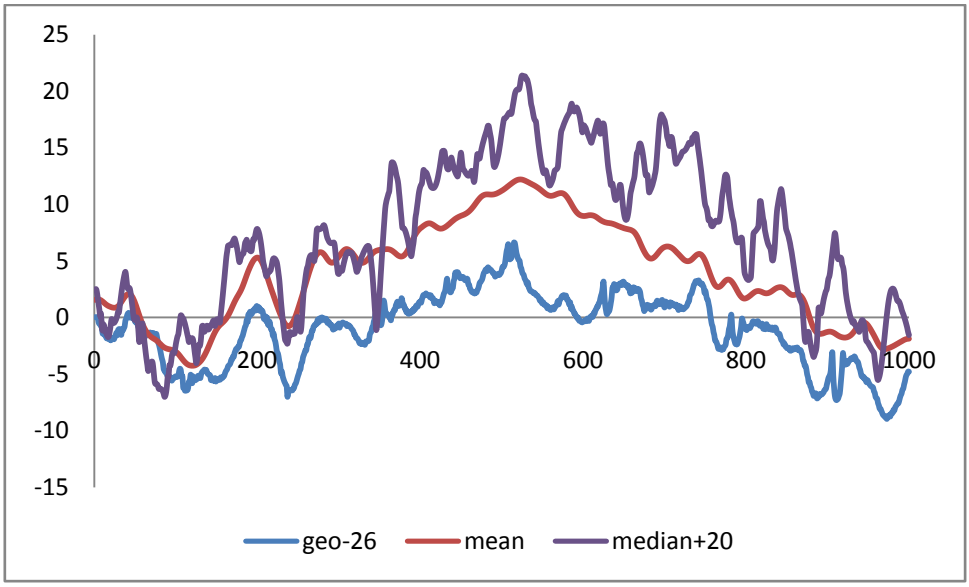
Διάγραμμα -ERP's Μέσος όρος και επικρατούσα τιμή-male on, channel 13



Διάγραμμα 33 -ERP's Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος -male on, channel 13

Σε αυτή την περίπτωση φαίνεται ότι η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές δεν ανταποκρίνεται σε αυτή του μέσου όρου. Αντίθετα η διάμεσος και ο γεωμετρικός

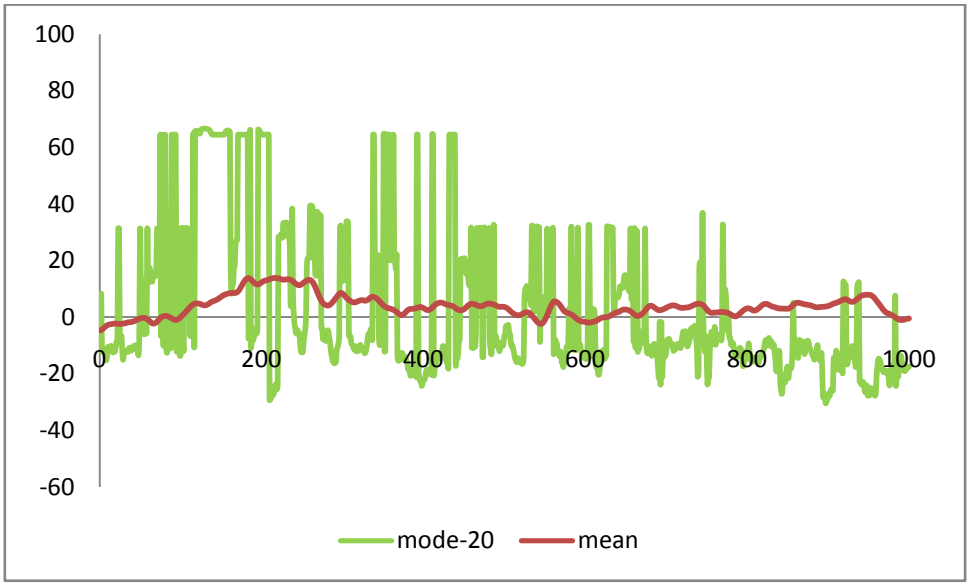
μέσος όρος παρουσιάζουν τις ίδιες κορυφώσεις, και αν τις φέρουμε και αυτές με μέση τον οριζόντιο άξονα (αφαίρεση «dc» συνιστώσας) θα έχουμε την εξής εικόνα , όπου φαίνεται καλύτερα ότι η αποθορυβοποίηση με αυτές τις μεθόδους είναι πλήρως επιτυχημένη:



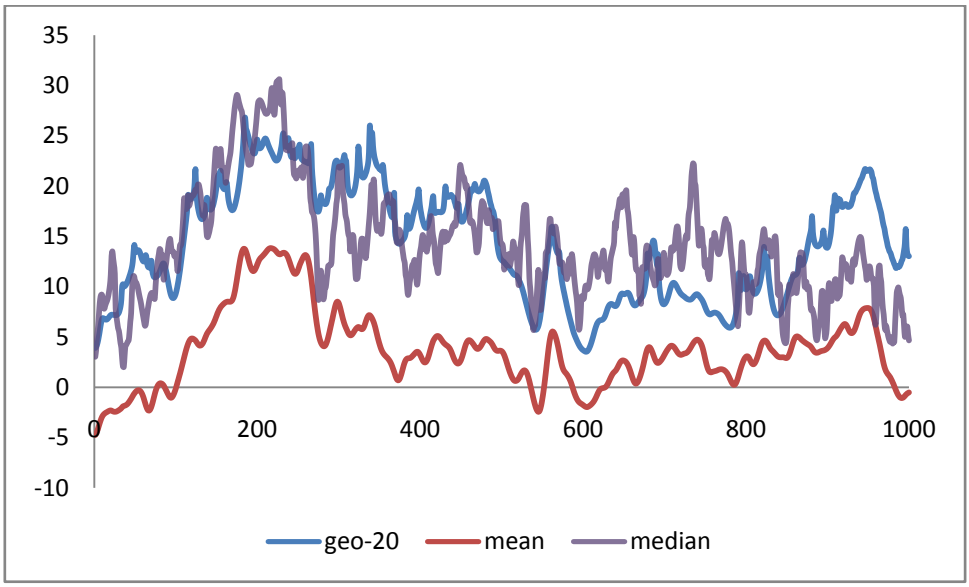
Διάγραμμα 34 -ERP's Μέσος όρος, διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -male on, channel 13

Όσον αφορά στα θηλυκά άτομα :

* Γυναίκα , χωρίς gsm σήμα , για το 1° ηλεκτρόδιο



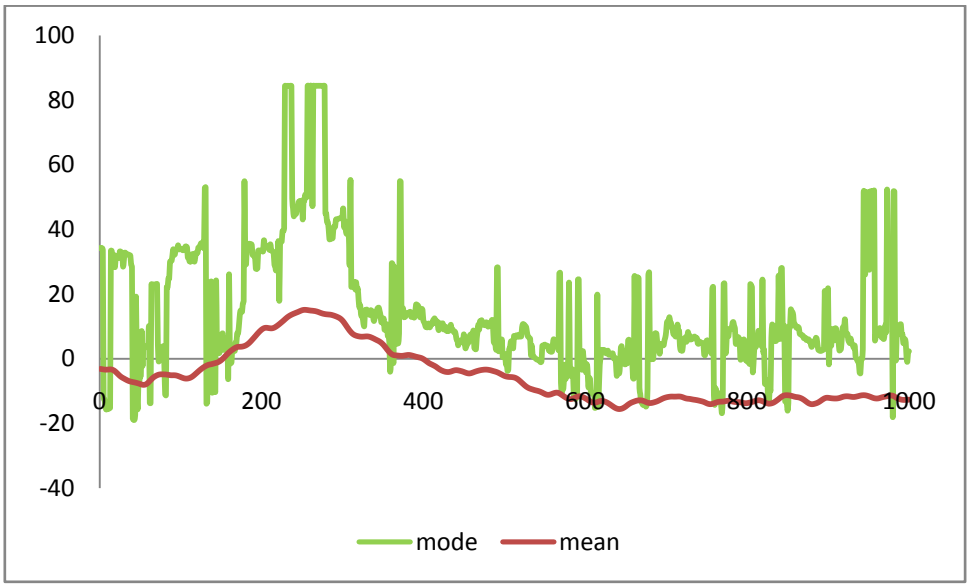
Διάγραμμα 35 -ERP's Μέσος όρος & επικρατούσες τιμές κανονικοποιημένα -female off, channel 1



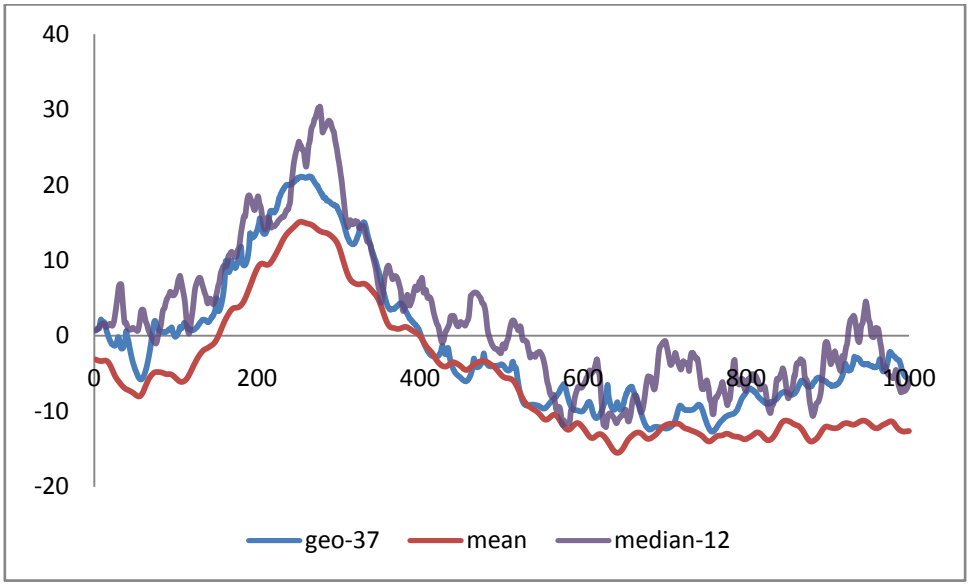
Διάγραμμα 36 -ERP's Μέσος όρος ,διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -female off, channel 1

Παρατηρείται ότι η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές πάλι δεν ακολουθεί καλά τον μέσο όρο, αντίθετα με την διάμεσο και τον γεωμετρικό μέσο όρο που και τώρα αποτελούν κατάλληλη μέθοδο επεξεργασίας.

* Γυναίκα , με gsm σήμα , για το 1° ηλεκτρόδιο



Διάγραμμα 37 -ERP's Μέσος όρος και επικρατούσα τιμή κανονικοποιημένα -female on, channel 1



Διάγραμμα 38 -ERP's Μέσος όρος ,διάμεσος και γεωμετρικός μέσος όρος κανονικοποιημένα -female on, channel 1

Φαίνεται ότι και σε αυτήν την περίπτωση η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές δεν ακολουθεί πολύ καλά τον μέσο όρο, αντίθετα με την διάμεσο και τον γεωμετρικό μέσο όρο που είναι σχεδόν ταυτόσημες με τον μέσο όρο.

7ο Κεφάλαιο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την επεξεργασία στην οποία υποβλήθηκαν τα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα καθώς και τις περεταίρω έρευνες που είναι δυνατόν τα γίνουν.

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων που λήφθηκαν από πειράματα που έγιναν στο Αιγινήτειο Νοσοκομείο με την βοήθεια 19 ατόμων στα οποία καταγράφηκε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημά τους με την παρουσία και χωρίς ηλεκτρομαγνητικού σήματος .

Τα συμπεράσματα για την επίδραση τοη ηλεκτρικού σήματος στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ήταν ήδη γνωστά και από παλαιότερες έρευνες όπου είχε φανεί η μεγαλύτερη επίδραση της ακτινοβολίας στα αρσενικά άτομα. Στην παρούσα εργασία όμως, αναζητήθηκαν και άλλοι τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων μας. Χρησιμοποιώντας έτσι την διάμεσο, τις επικρατούσες τιμές και τον γεωμετρικό μέσο όρο, στην ουσία επαληθεύονται τα προηγούμενα συμπεράσματα. Από τις μεθόδους αυτές παρατηρήσείται ότι:

1.Η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές , σε μερικές μόνο περιπτώσεις ταίριαζε με τις υπόλοιπες μεθόδους , τόσο στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα όσο και στα προκλητά δυναμικά.

2.Η μέθοδος με τη διάμεσο είναι πολύ αξιόπιστη όσον αφορά στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και δίνει ίδια αποτελέσματα με τον μέσο όρο κυρίως στην κατάσταση χωρίς την παρουσία σήματος και για τα δύο φύλα.

3.Η μέθοδος με τον γεωμετρικό μέσο όρο είναι πολύ καλή για τα αρσενικά κυρίως άτομα , και στις δύο καταστάσεις.

4.Οι μέθοδοι με την διάμεσο και τον γεωμετρικό μέσο όρο ήταν σχεδόν ταυτόσημες με τον μέσο όρο για τα προκλητά δυναμικά , δίνοντας μάλιστα σε μερικά σημεία και πιο έντονες κορυφώσεις, κάνοντας έτσι πιο ευανάγνωστα από τους ψυχολόγους τα μέγιστα και τα ελάχιστα.

Περαιτέρω Έρευνα

Τα συμπεράσματα στο οποία κατέληξε η επεξεργασία των σημάτων, προσφέρονται πλέον σε άλλους κλάδους, της ιατρικής και της ψυχολογίας κυρίως ,για να μελετηθούν και να συνδεθούν με την εγκεφαλική λειτουργία και να βρεθεί αν η λειτουργία του εγκέφαλου , που αποτελεί ακόμα για όλους τους επιστήμονες «άγνωστη και απάτητη» περιοχή, επηρεάζεται από την παρουσία του Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και να διερευνηθούν οι ιατρικοί λόγοι στους οποίους οφείλονται οι διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα.

Να σημειωθεί ότι στα πειράματα μας, επειδή υπεισέρχονται ασταθείς παράγοντες, όπως ο ανθρώπινος οργανισμός στην περίπτωσή μας, δεν μπορεί κανείς να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα. Θα είχε λοιπόν ιδιαίτερη αξία μελλοντικά ο εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων μέσω της συνέχισης των πειραμάτων με περισσότερους εξεταζόμενους. Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων με νέο δείγμα θα εδραιώσει τις υπάρχουσες θέσεις και θα κατευθύνει τις υποθέσεις των ερευνητών. Περεταίρω μέθοδοι επεξεργασίας, διαφορετικό ηλεκτρομαγνητικό σήμα ή και διαφορετικά τεστ στους εξεταζόμενους θα μπορούσαν να δώσουν νέα συμπεράσματα ή αν επιβεβαιώσουν τα υπάρχοντα.

Βιβλιογραφία

Βιβλία-Papers

[1]Αναγνωστοπούλου, Κ. Α., & Θεοδωροπούλου, (2003) Διπλωματική Εργασία: Επίδραση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας στα Προκλητά Εγκεφαλικά Δυναμικά , Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[2] Βενετία Ν. Βαλιανάτου και Αντιγόνη Μ. Κλώνου , Διπλωματική Εργασία: Καταγραφή και Επεξεργασία Εγκεφαλικών Σημάτων υπό την Επίδραση Ακτινοβολίας WiFi , Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[3] Νάνου, Δ. Ε. (2007) Διδακτορική Διατριβή: Ανάπτυξη μεθοδολογίας μελέτης και αξιολόγησης της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

[4]Ηλιάκης, Β. Γ. & Κυριακάκης, Ι. Ν. (2004) Διπλωματική Εργασία: Διεξαγωγή Πειράματος & Επεξεργασία Μετρήσεων υπό την Επίδραση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας σε Εγκεφαλικά Σήματα , Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[5] Ξανθόπουλοςς Πέτρος ,Διπλωματική Εργασία: Αντίστροφος καθορισμός πηγής από ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα για εντοπισμό δίπολων σε μοντέλα ανθρώπινου εγκεφάλου, Κρήτη: Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης

[6] Γιόβα Δ, Θεοδοσίου Θ, Αλεξανδράτου Ε, Ατλαμαζόγλου Β, Πολτόπουλος Κ. (2000) Εισαγωγή στην κυτταρική μηχανική και εφαρμοσμένη βιοφυσική ,Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[7] Κουτσούρης Δ. Παυλόπουλος Σ. Πρέντζα Α. (2004) : Εισαγωγή στην βιοιατρική τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων, Εκδόσεις Τζιόλα

[8] Κωνσταντίνου, Φ., Καψάλης, Χ., & Κωττής, Π.(1995) Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου

[9] Νικήτα, Σ.Κ. (2005). Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[10] Νικητοπούλου-Μαράτου ,Γ.Φυσιολογία του Ανθρώπου Εισαγωγή και Νευρικό Σύστημα, Εκδόσεις Γρηγόριος Κ.Παρισιανός

[11] Βαλλιανάτου ΝΓ (2002) : Ηλεκτροφυσιολογικές προσεγγίσεις στην κλινική νευροψυχολογία: Τα προκλητά δυναμικά, Το Περιοδικό της Ελληνικής Ψυχολογικής Εταιρείας

[12] Netter, Frank H.(2004) : Άτλας βασικών ιατρικών επιστημών - Ανατομία του ανθρώπου, Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης

[13] Ricardo Vigário, Jaakko Särelä, Veikko Jousmäki, Matti Hämäläinen, and Erkki Oja, Independent Component Approach to the Analysis of EEG and MEG Recordings, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 47, NO. 5, MAY 2000

[14] Peter Dayan & Peter Dayan (2005): Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems, The MIT Press.

[15] V.Krishnaveni, S.Jayaraman , S.Aravind, V.Hariharasudhan, K.Ramadoss, Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from EEG using Wavelet Transform, MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Volume 6, Section 2, No. 4, 2006

[16] Watunyou Thesasiri, Warakorn Charoensuk and Wichian Sittiprapaporn, DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR ERP SIGNAL DETECTION, The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME 2008)

Ιστοσελίδες και οι πηγές τους

[17] The ten-twenty electrode system, http://en.wikipedia.org/wiki/10-20_system_(EEG) , Ernst Niedermeyer, Fernando Lopes da Silva, Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields - Page 140, Lippincott Williams & Wilkins, 2004 ISBN 0781751268, 9780781751261.

[18] Electroencephalography, http://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography , References from:

1) E. Niedermeyer, Lopes da Silva, F., Electroencephalography, 4th Ed., 1999, Williams & Wilkins, Baltimore, MD, 1258 pp

2) Atlas of EEG & Seizure Semiology. B. Abou-Khalil; Musilus, K.E.; Elsevier, 2006.

3) Creutzfeldt OD, Watanabe S, Lux HD (1966). "Relations between EEG phenomena and potentials of single cortical cells. I. Evoked responses after thalamic and epicortical stimulation". *Electroencephalogram Clin Neurophysiol* **20**: 1-18.

4) Nunez PL, Srinivasan R (1981). *Electric fields of the brain: The neurophysics of EEG*. Oxford University Press.

5) Hamalainen M, Hari R, Ilmoniemi RJ, Knuutila J, Lounasmaa OV (1993). "Magnetoencphalography - Theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain". *Reviews of Modern Physics* **65**: 413-497.

6) Buzsaki G (2006). *Rhythms of the brain*. Oxford University Press.

7) Klein, S., & Thorne, B. M. (2007). *Biological psychology*. New York, N.Y.: Worth.

8) H. Aurlien, I.O. Gjerde, J. H. Aarseth, B. Karlsen, H. Skeidsvoll, N. E. Gilhus (March 2004). "**EEG background activity described by a large computerized database.**". *Clinical Neurophysiology* **115** (3): 665–673

9) Cahn BR, & Polich J. (2006). Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. Psychological Bulletin. 132 (2), 180-211.

10) Epstein, Charles M. (1983). Introduction to EEG and evoked potentials. J. B. Lippincot Co.. ISBN 0-397-50598-1.

11) Montez T, Poil S-S, Jones BF, Manshanden I, Verbunt JPA, van Dijk BW, Brussaard AB, van Ooyen A, Stam CJ, Scheltens P, Linkenkaer-Hansen K (2009). "Altered temporal correlations in parietal alpha and prefrontal theta oscillations in early-stage Alzheimer disease". PNAS 106 (5): 1614-1619.

12) Swartz, B.E (1998). "Timeline of the history of EEG and associated fields" (PDF). Electroencephalography and clinical Neurophysiology 106: 173–176. doi:10.1016/S0013-4694(97)00113-2.

13) Pravdich-Neminsky VV. Ein Versuch der Registrierung der elektrischen Gehirnerscheinungen (In German). Zbl Physiol 27: 951–960, 1913.

[19] Mode (statistics), http://en.wikipedia.org/wiki/Mode_(statistics) , Maximum distance between the mode and the mean of a unimodal distribution ,Paul T. von Hippel. Mean, Median, and Skew: Correcting a Textbook Rule. J. of Statistics Education 13:2 (2005)

[20] Mean, http://en.wikipedia.org/wiki/Mean , Hardy, G.H.; Littlewood, J.E.; Pólya, G. (1988), Inequalities (2nd ed.), Cambridge University Press, ISBN 978-0521358804

[21] Median , http://en.wikipedia.org/wiki/Median , Brown, George W. references from :
1)"On Small-Sample Estimation." The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 18, No. 4 (Dec., 1947), pp. 582–585.
2)Lehmann, E. L. "A General Concept of Unbiasedness" The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 22, No. 4 (Dec., 1951), pp. 587–592.
3)Allan Birnbaum. 1961. "A Unified Theory of Estimation, I", The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 32, No. 1 (Mar., 1961), pp. 112–135
4) van der Vaart, H. R. 1961. "Some Extensions of the Idea of Bias" The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 32, No. 2 (Jun., 1961), pp. 436–447.
5)Pfanzagl, Johann. 1994. Parametric Statistical Theory. Walter de Gruyter.

[22] Geometric mean , http://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_mean , PAC, 1994, 66, 595 (Nomenclature for the presentation of results of chemical analysis (IUPAC Recommendations 1994)) on page 602

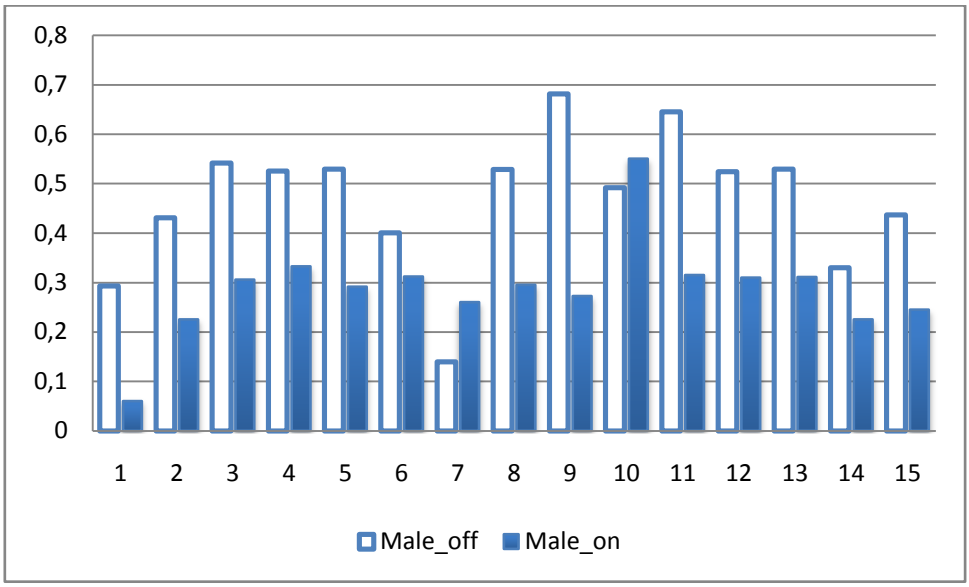
[23] Neuron, http://en.wikipedia.org/wiki/Neuron , sources from:
1)Kandel E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M. 2000. Principles of Neural Science, 4th ed., McGraw-Hill, New York.
2)Bullock, T.H., Bennett, M.V.L., Johnston, D., Josephson, R., Marder, E., Fields R.D. 2005. The Neuron Doctrine, Redux, Science, V.310, p. 791-793.
3)Ramón y Cajal, S. 1933 Histology, 10th ed., Wood, Baltimore.
4)Roberts A., Bush B.M.H. 1981. Neurones Without Impulses. Cambridge University Press, Cambridge.
5)Peters, A., Palay, S.L., Webster, H, D., 1991 The Fine Structure of the Nervous System, 3rd ed., Oxford, New York

Παράρτημα

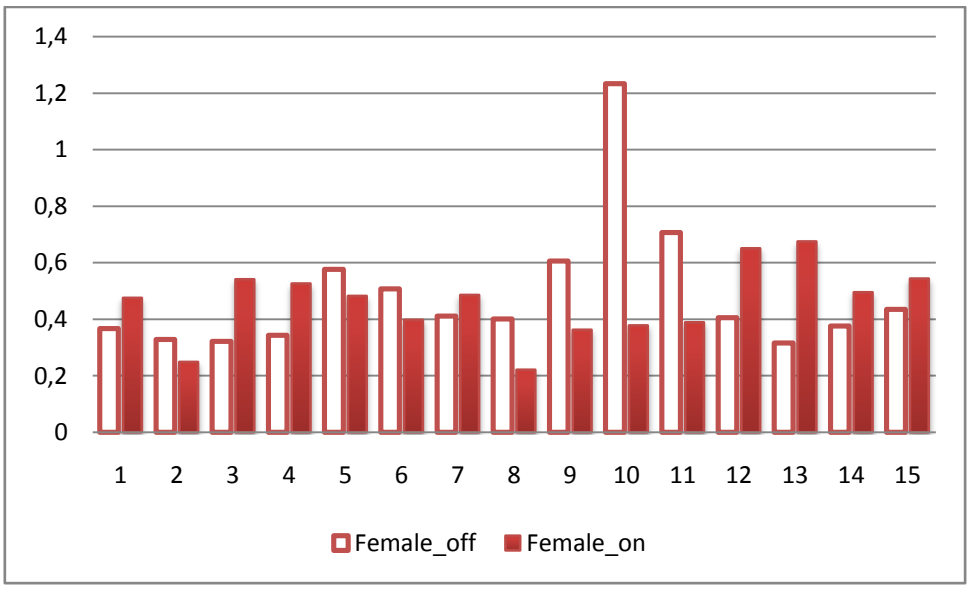
Στο παράρτημα αυτό φαίνονται τα διαγράμματα για την κάθε μέθοδό μας , για κάθε ρυθμό ξεχωριστά. (Στον οριζόντιο άξονα είναι τα 15 ηλεκτρόδια , ενώ στον κατακόρυφο η ενέργεια σε μJoules=10^{-6} Joules .)

1.Μέσος όρος

Ρυθμός Άλφα

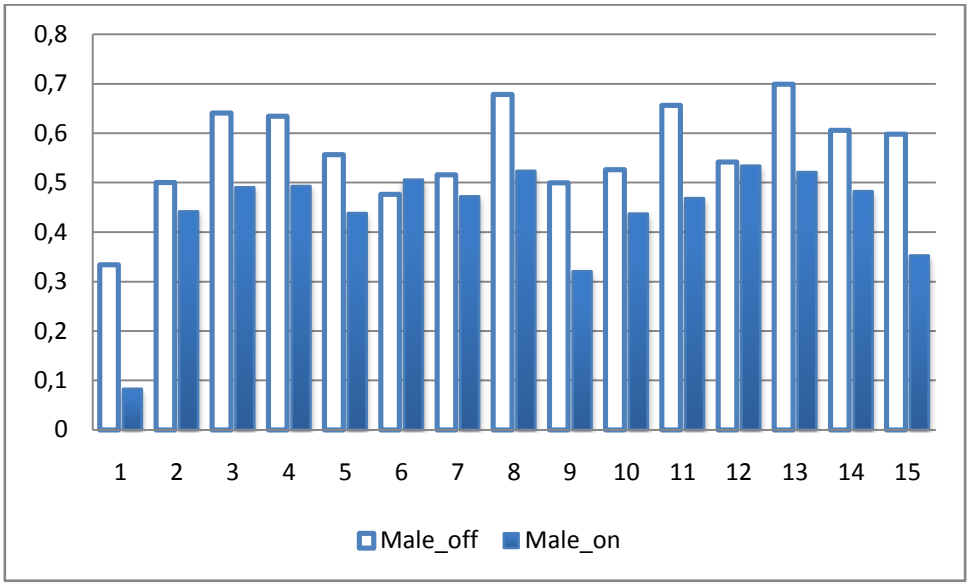


Διάγραμμα 39-Ρυθμός α, μέσος όρος , male off & on

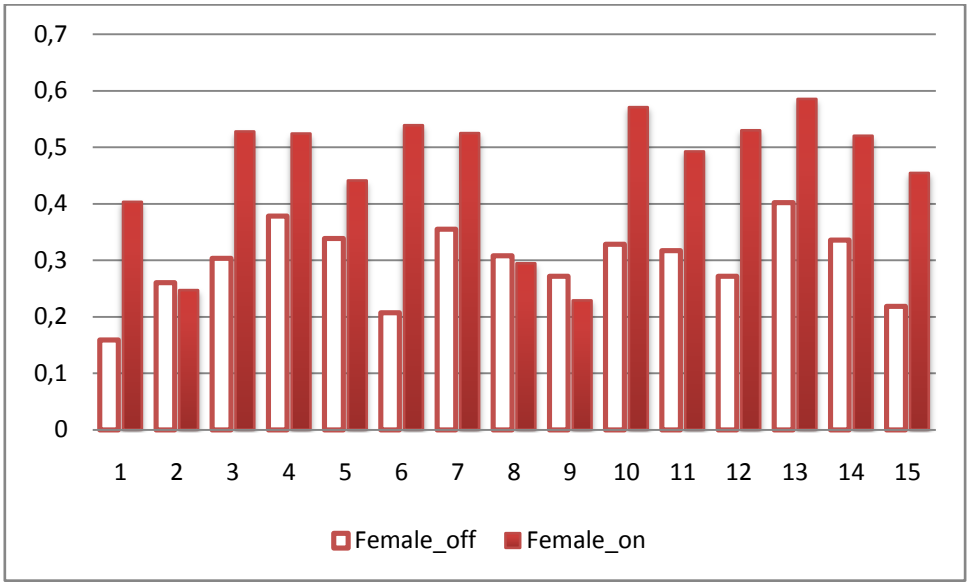


Διάγραμμα 40 -Ρυθμός α, μέσος όρος , female off & on

Ρυθμός Βήτα

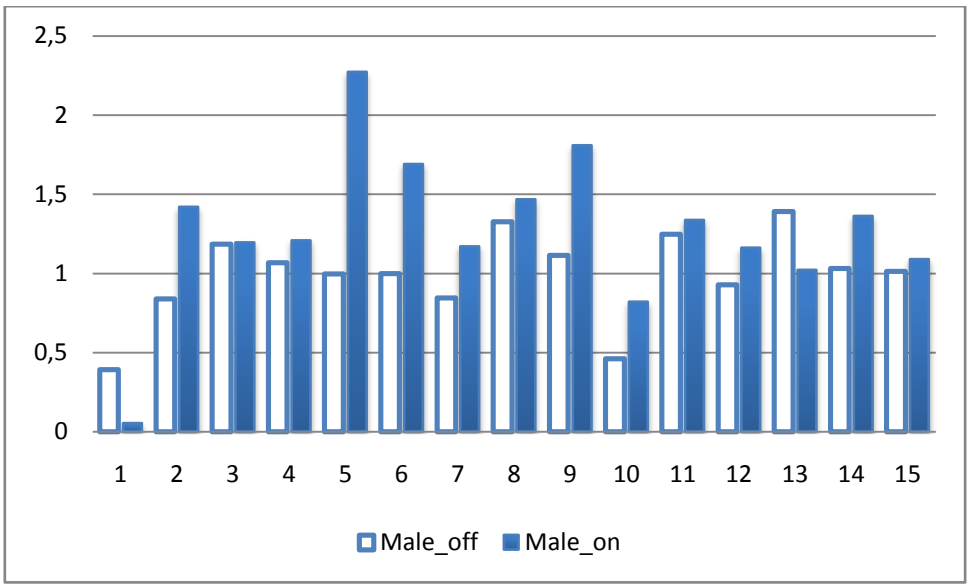


Διάγραμμα 41 -Ρυθμός β, μέσος όρος , male off&on

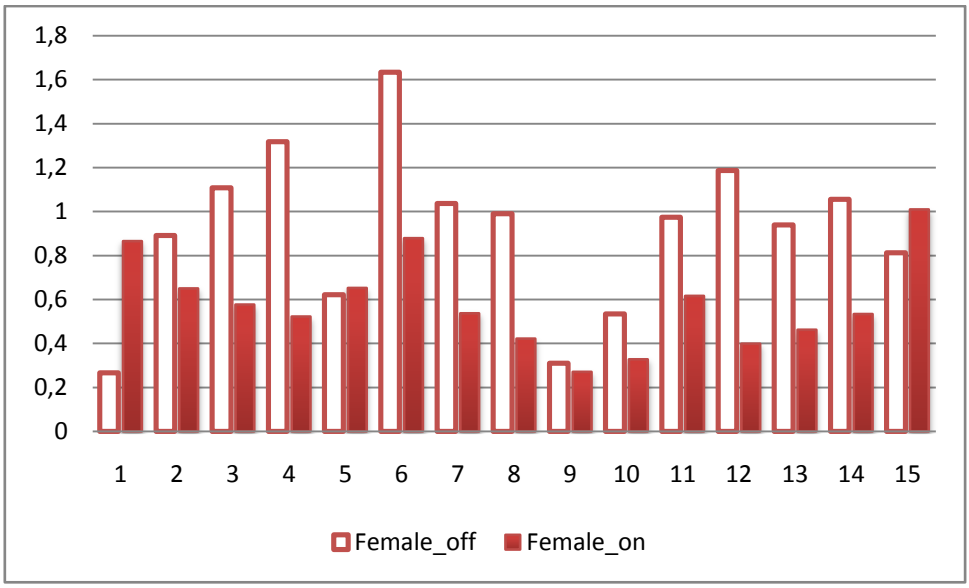


Διάγραμμα 42 -Ρυθμός β, μέσος όρος , female off&on

Ρυθμός Δέλτα

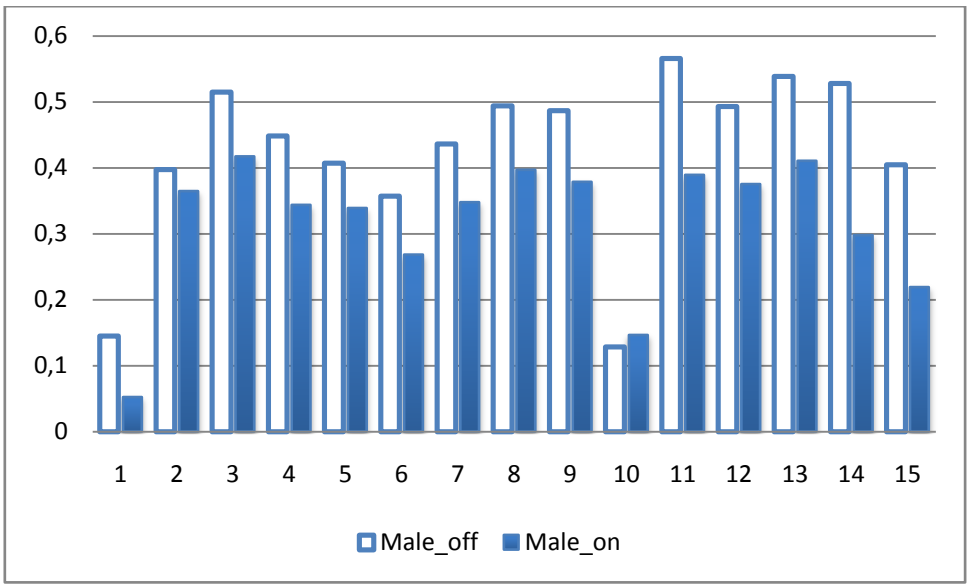


Διάγραμμα 43 Διάγραμμα 44-Ρυθμός δ, μέσος όρος , male off&on

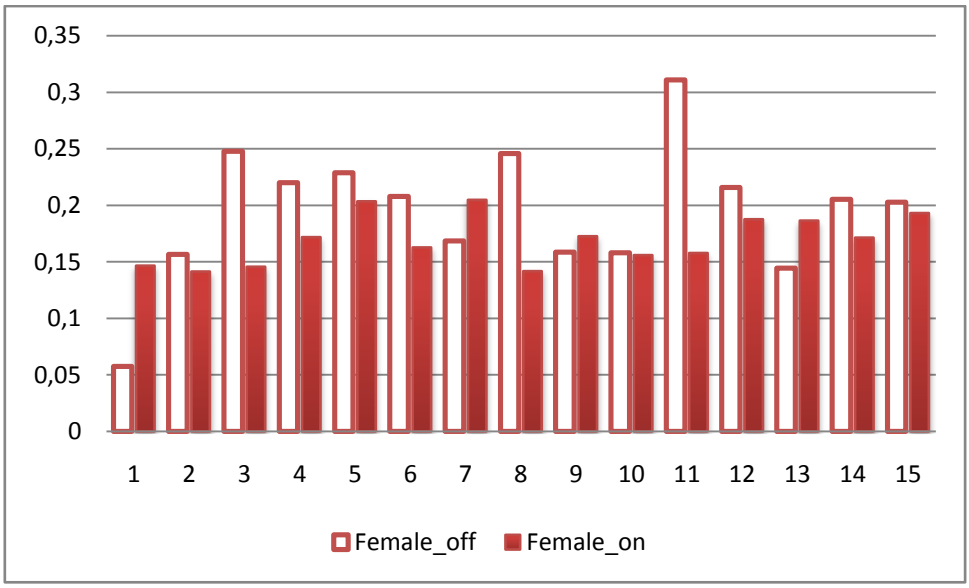


Διάγραμμα 45 -Ρυθμός δ, μέσος όρος , female off&on

Ρυθμός Θήτα



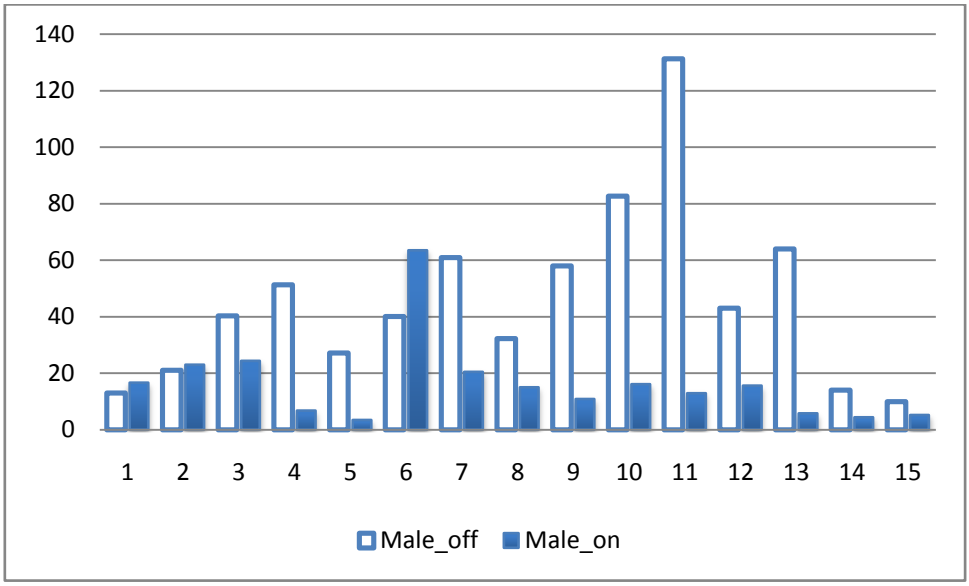
Διάγραμμα 46 -Ρυθμός θ, μέσος όρος , male off&on



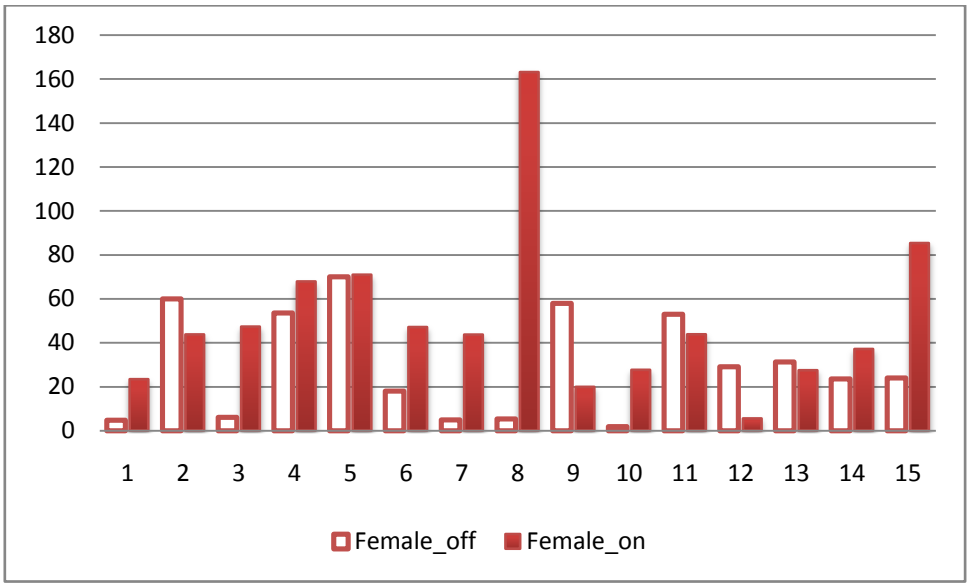
Διάγραμμα 47 -Ρυθμός θ, μέσος όρος , female off&on

2.Επικρατούσες τιμές

Ρυθμός Άλφα

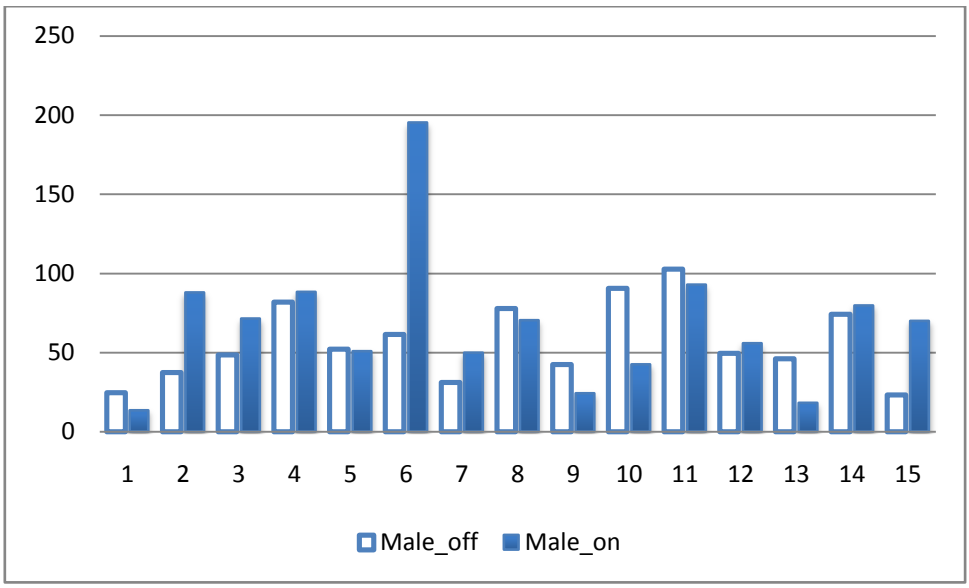


Διάγραμμα 48 -Ρυθμός α, επικρατούσες τιμές , male off&on

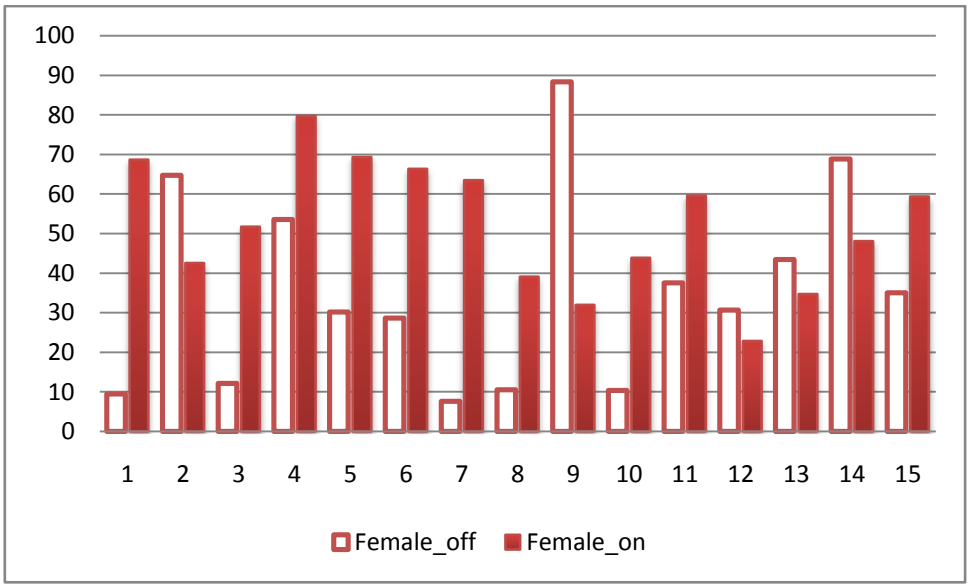


Διάγραμμα 49 -Ρυθμός α, επικρατούσες τιμές , female off&on

Ρυθμός Βήτα

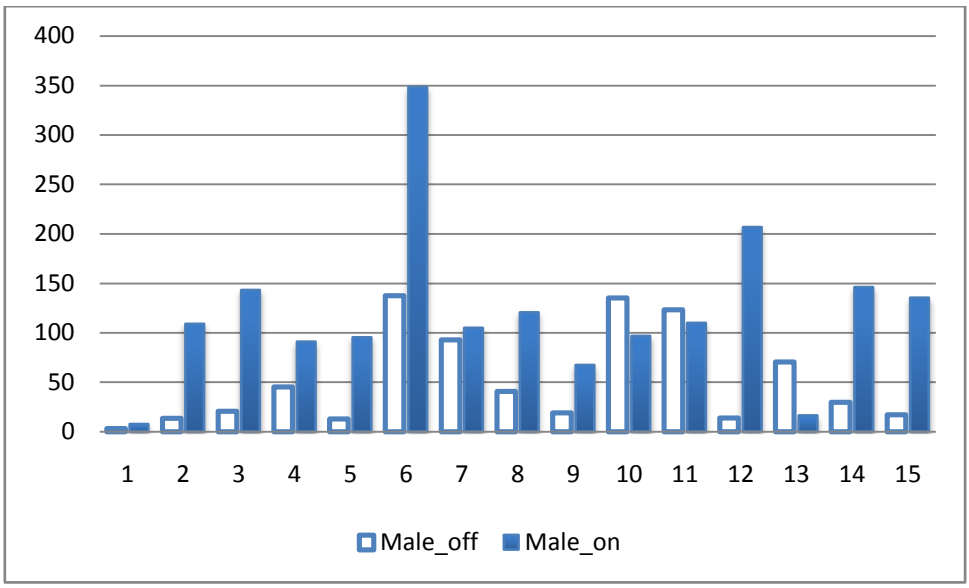


Διάγραμμα 50 -Ρυθμός β, επικρατούσες τιμές , male off&on

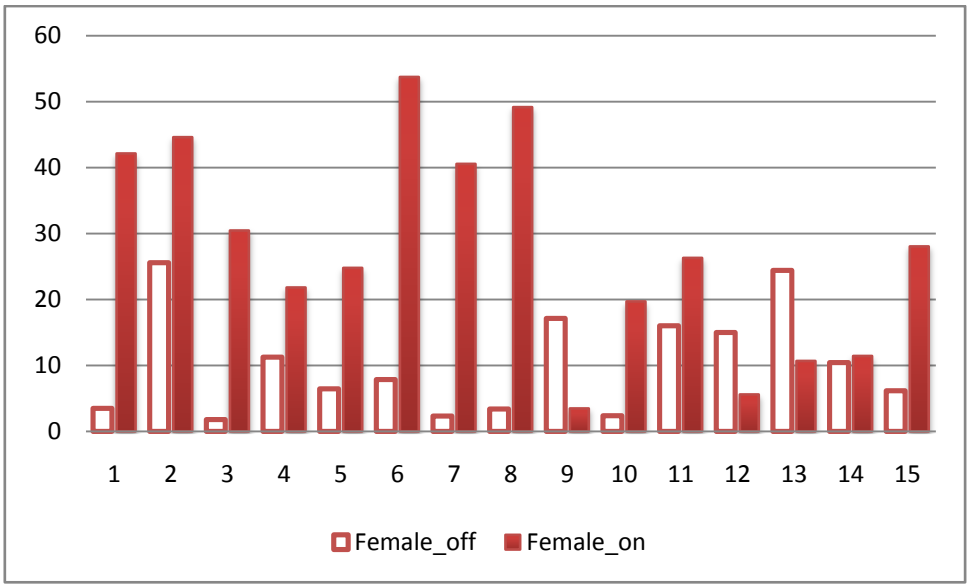


Διάγραμμα 51 -Ρυθμός β, επικρατούσες τιμές , female off&on

Ρυθμός Δέλτα

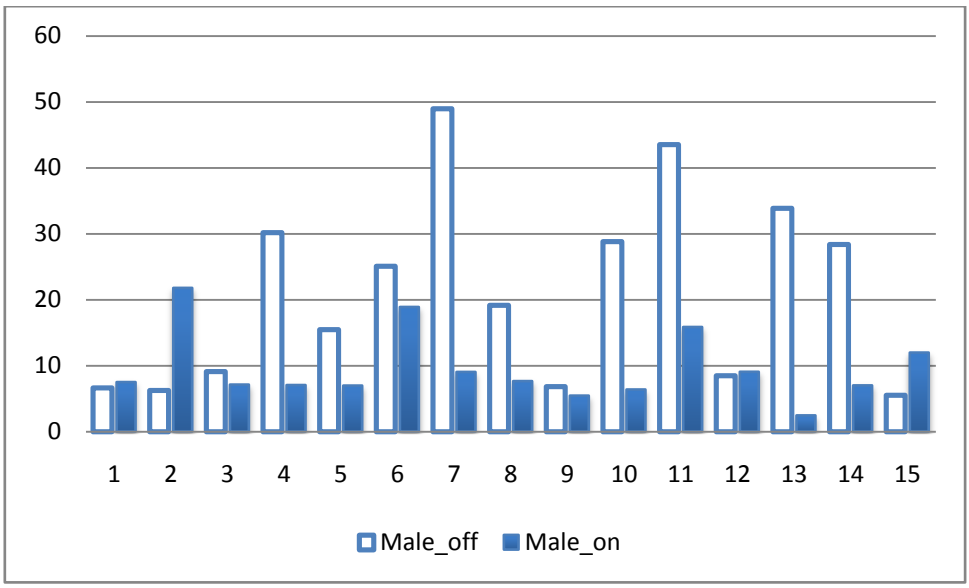


Διάγραμμα -Ρυθμός δ, επικρατούσες τιμές , male off&on

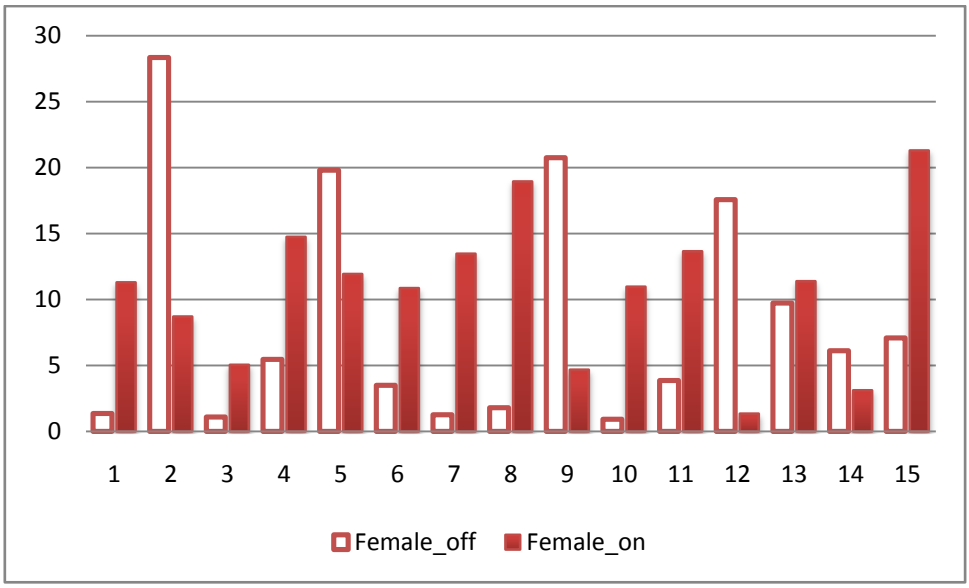


Διάγραμμα 52 -Ρυθμός δ, επικρατούσες τιμές , female off&on

Ρυθμός Θήτα

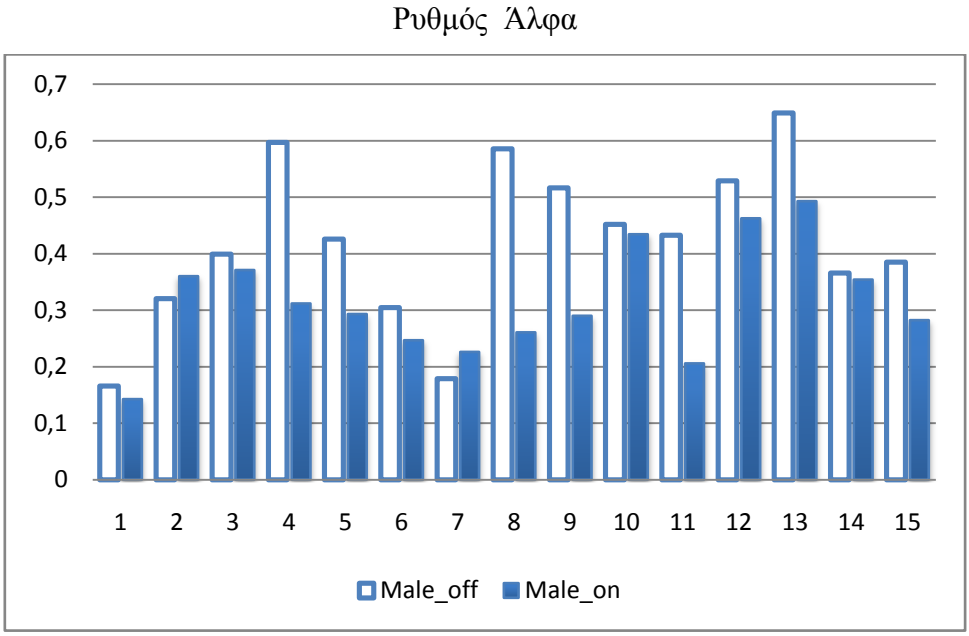


Διάγραμμα 53 -Ρυθμός θ, επικρατούσες τιμές , male off&on

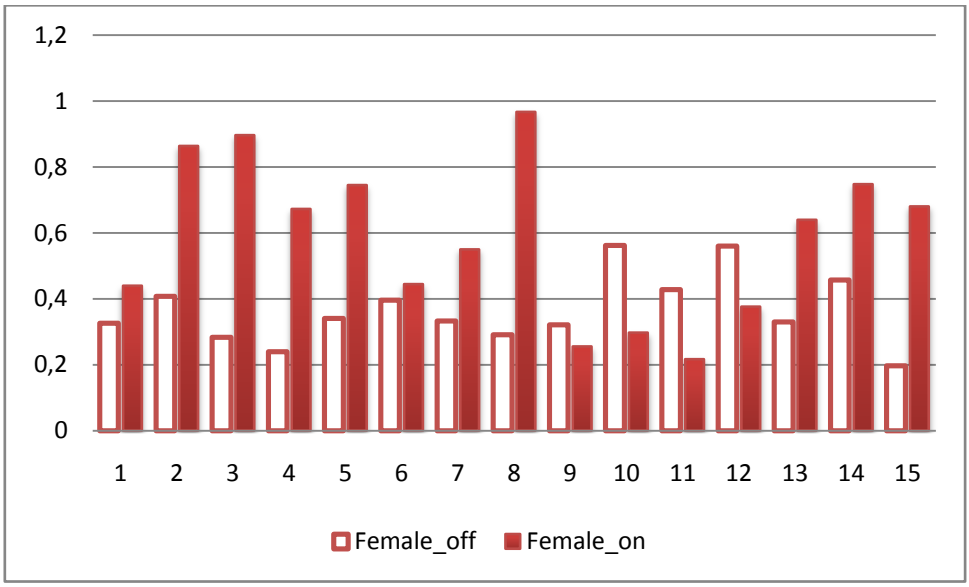


Διάγραμμα 54 -Ρυθμός θ, επικρατούσες τιμές , female off&on

3.Γεωμετρικός Μέσος Όρος

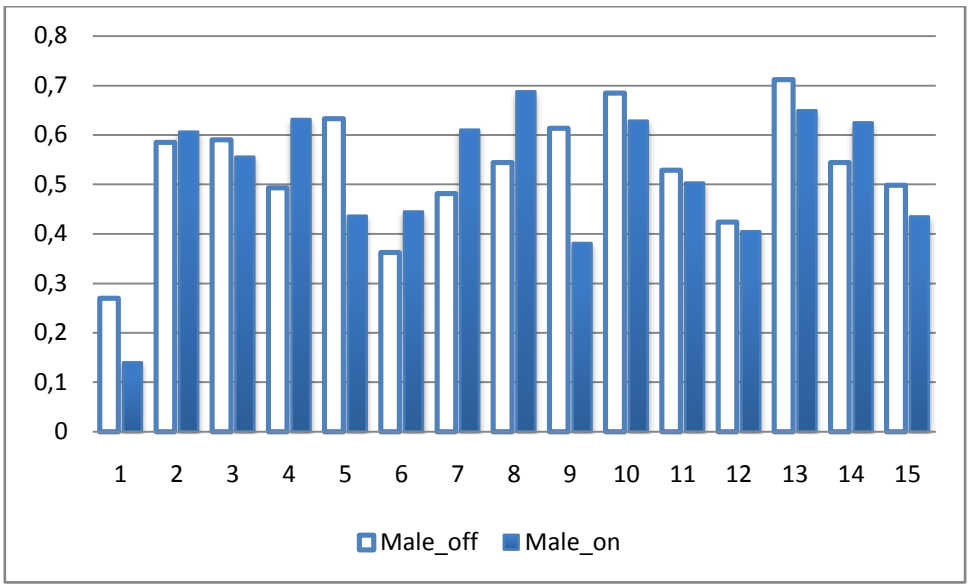


Διάγραμμα 55 -Ρυθμός α, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on

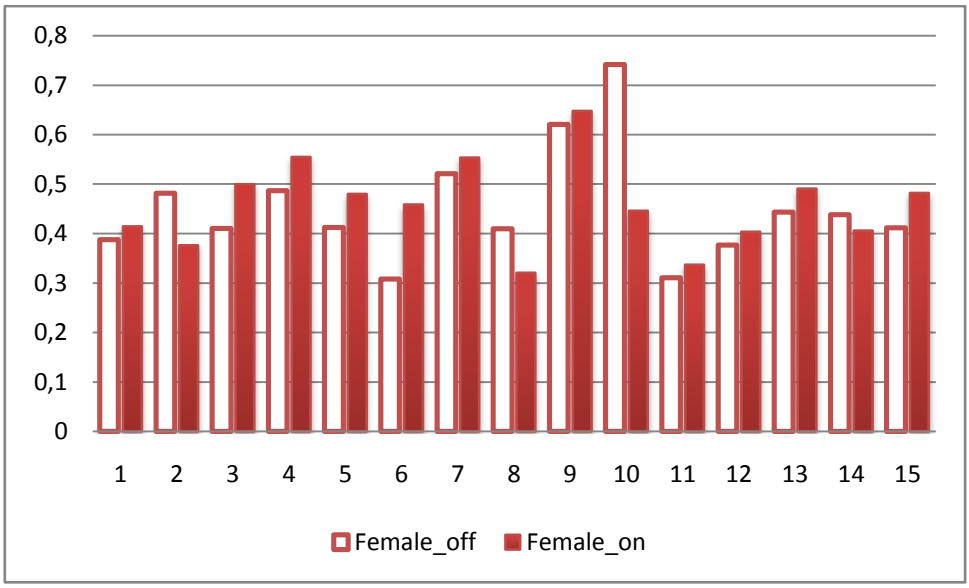


Διάγραμμα 56 -Ρυθμός α, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on

Ρυθμός Βήτα

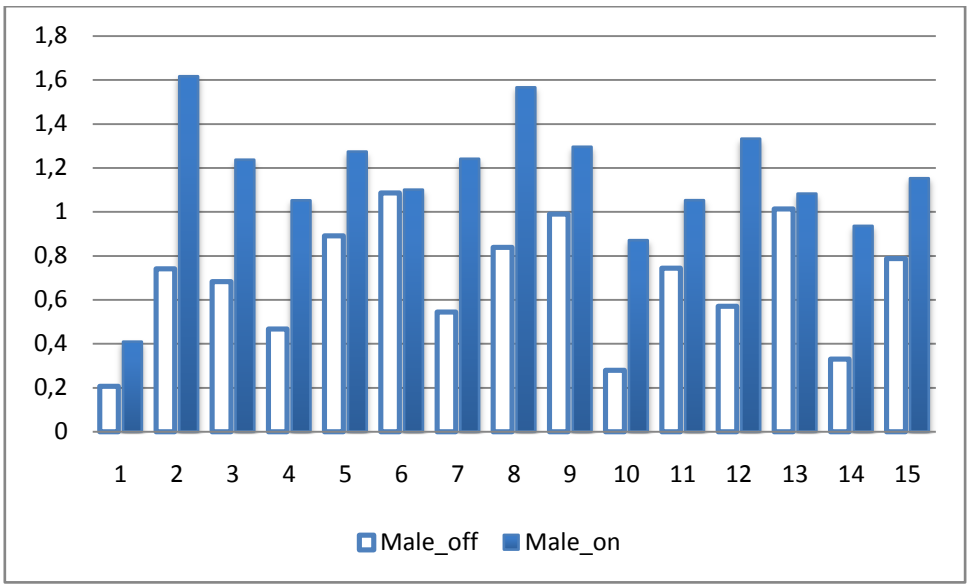


Διάγραμμα 57 -Ρυθμός β, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on

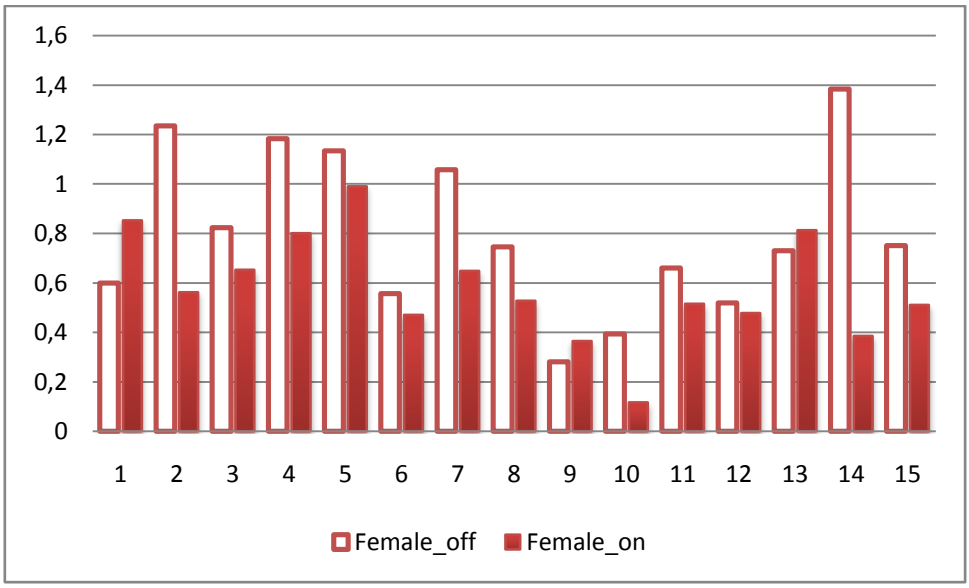


Διάγραμμα 58 -Ρυθμός β, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on

Ρυθμός Δέλτα

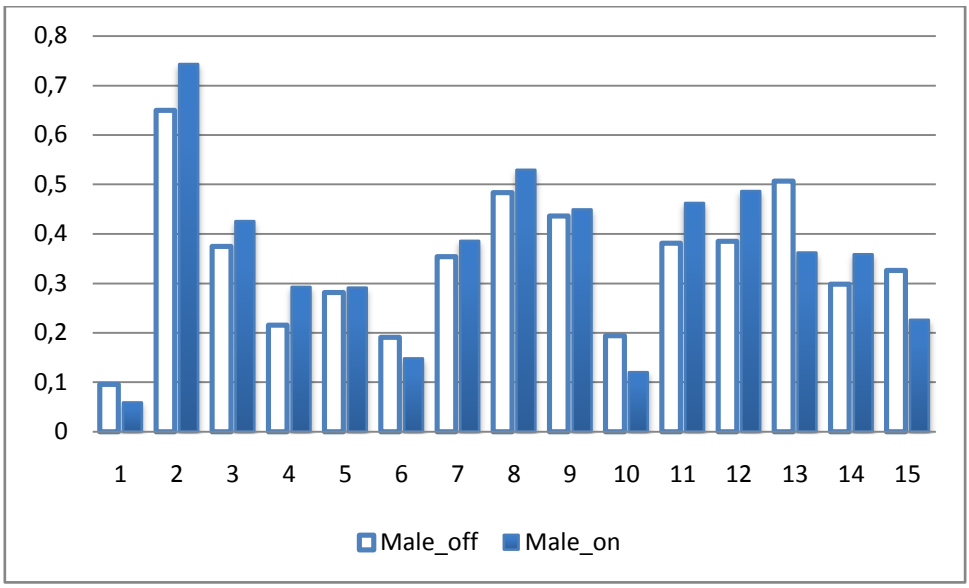


Διάγραμμα 59 -Ρυθμός δ, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on

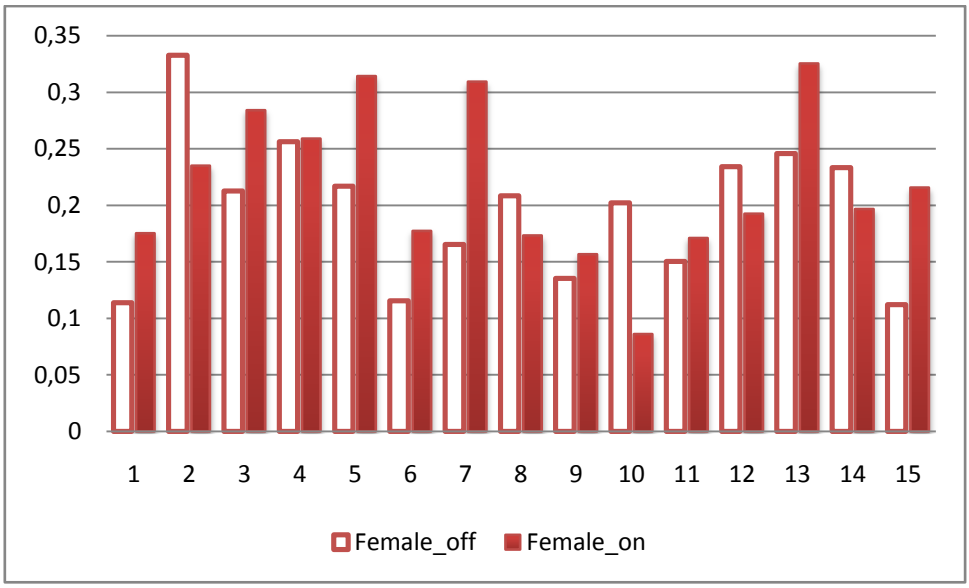


Διάγραμμα 60 -Ρυθμός δ, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on

Ρυθμός Θήτα

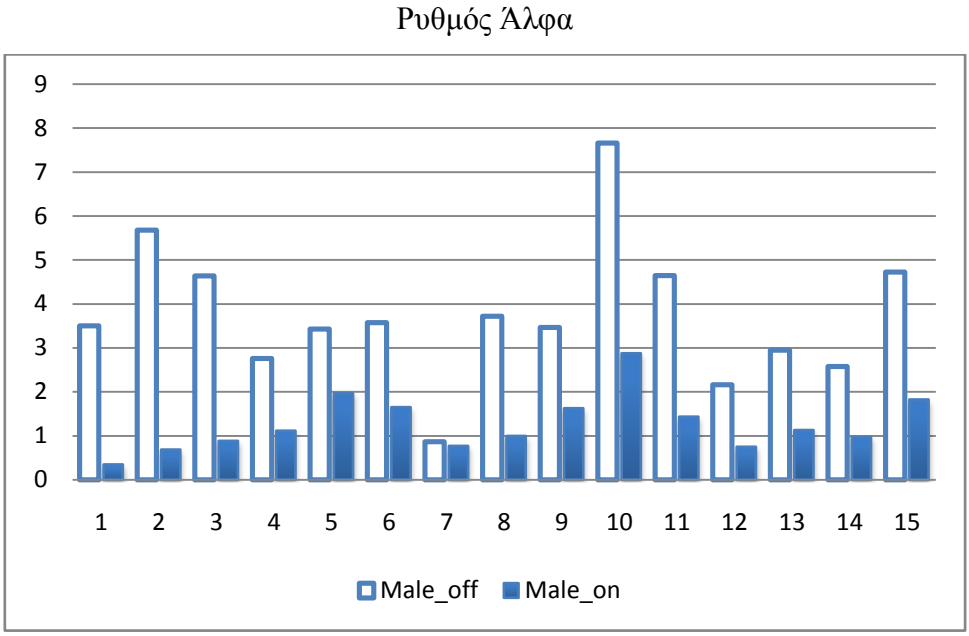


Διάγραμμα 61 -Ρυθμός θ, γεωμετρικός μέσος όρος , male off&on

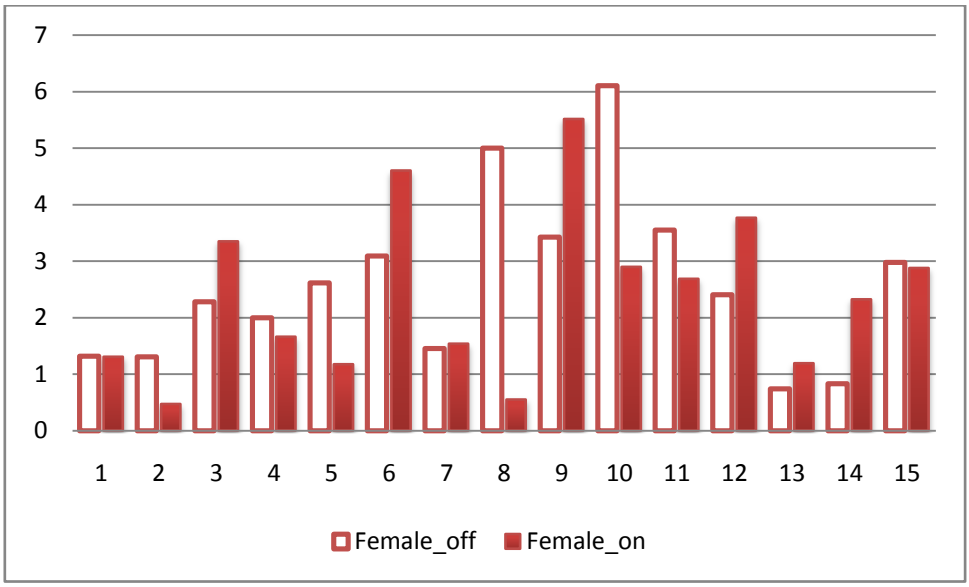


Διάγραμμα 62 -Ρυθμός θ, γεωμετρικός μέσος όρος , female off&on

4.Διάμεσος

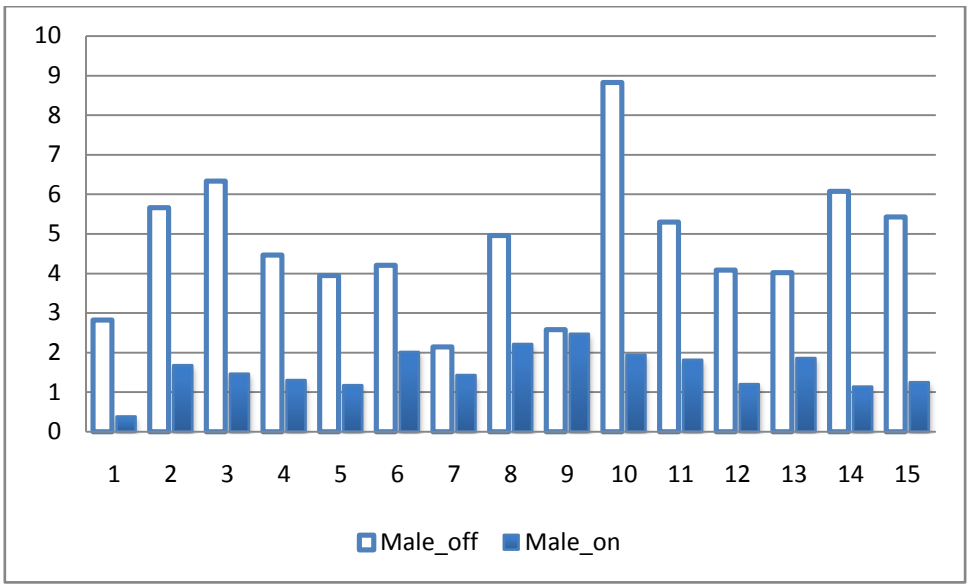


Διάγραμμα 63 -Ρυθμός α, διάμεσος , male off&on

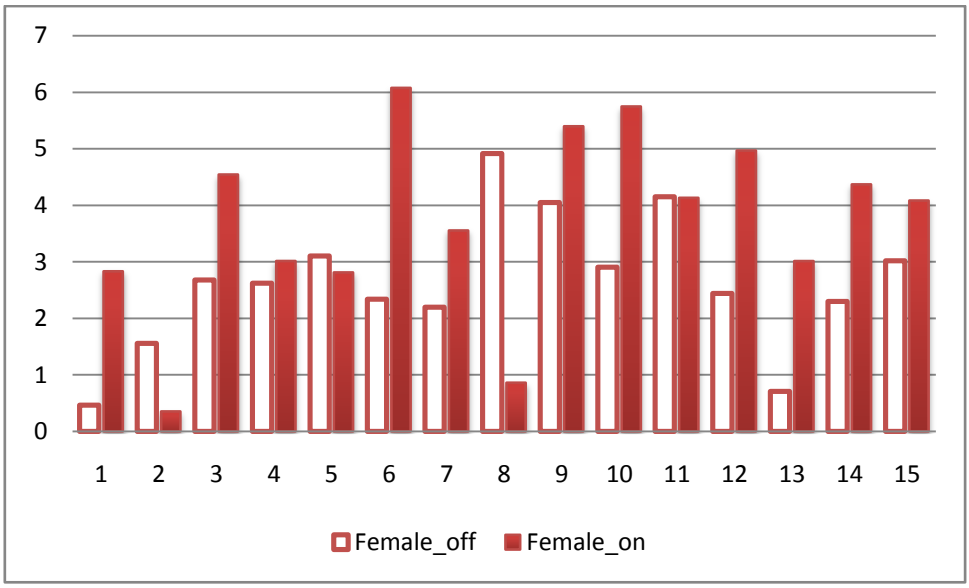


Διάγραμμα 64 -Ρυθμός α, διάμεσος , female off&on

Ρυθμός Βήτα

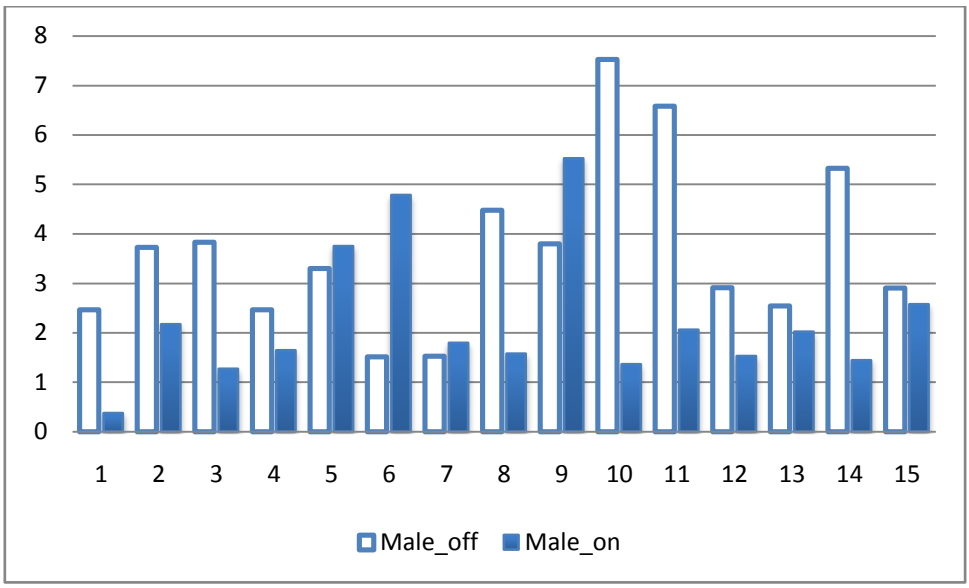


Διάγραμμα 65 -Ρυθμός β, διάμεσος , male off&on

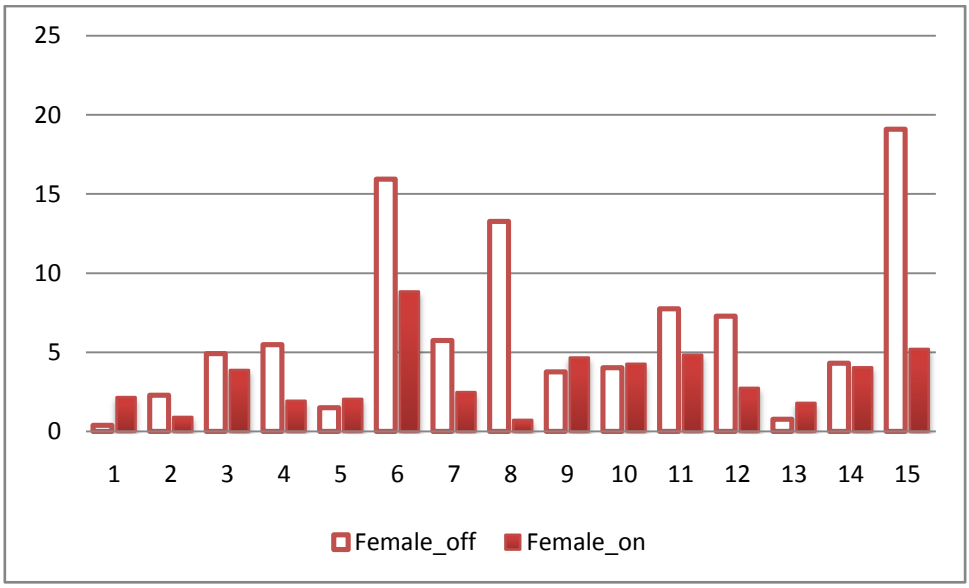


Διάγραμμα 66 -Ρυθμός β, διάμεσος , female off&on

Ρυθμός Δέλτα

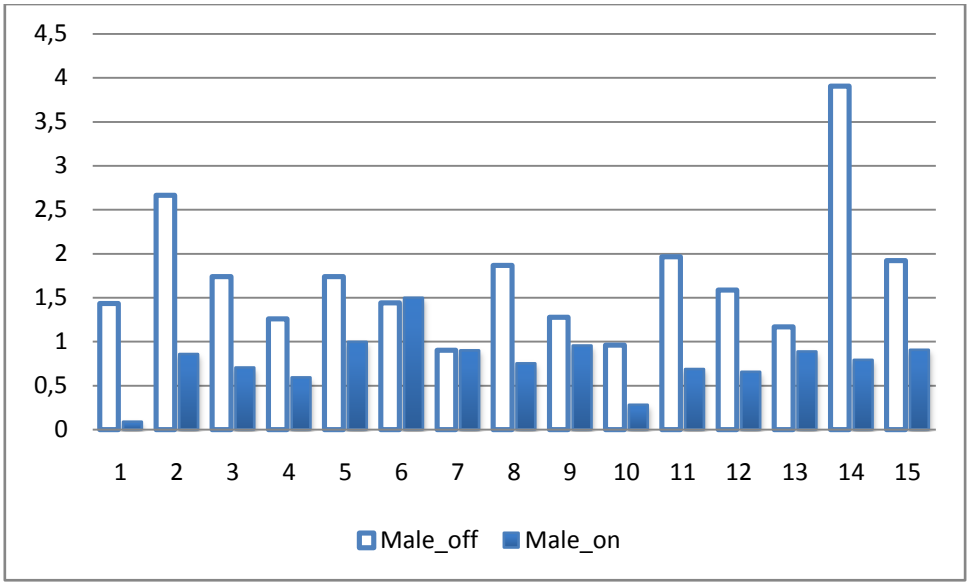


Διάγραμμα 67 -Ρυθμός δ, διάμεσος , male off&on

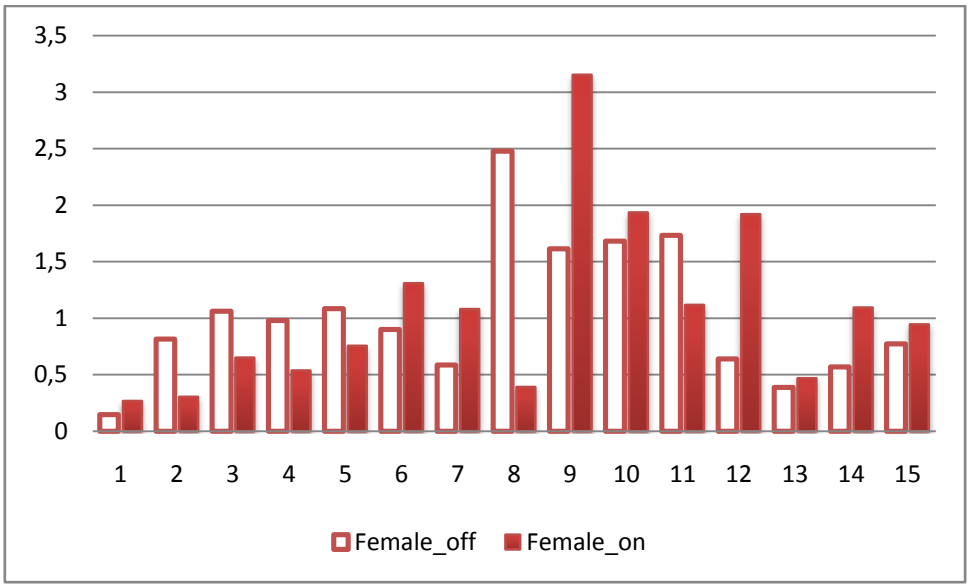


Διάγραμμα 68 -Ρυθμός δ, διάμεσος , female off&on

Ρυθμός Θήτα



Διάγραμμα 69 -Ρυθμός θ, διάμεσος , male off &on



Διάγραμμα 70 -Ρυθμός θ, διάμεσος , female off & on

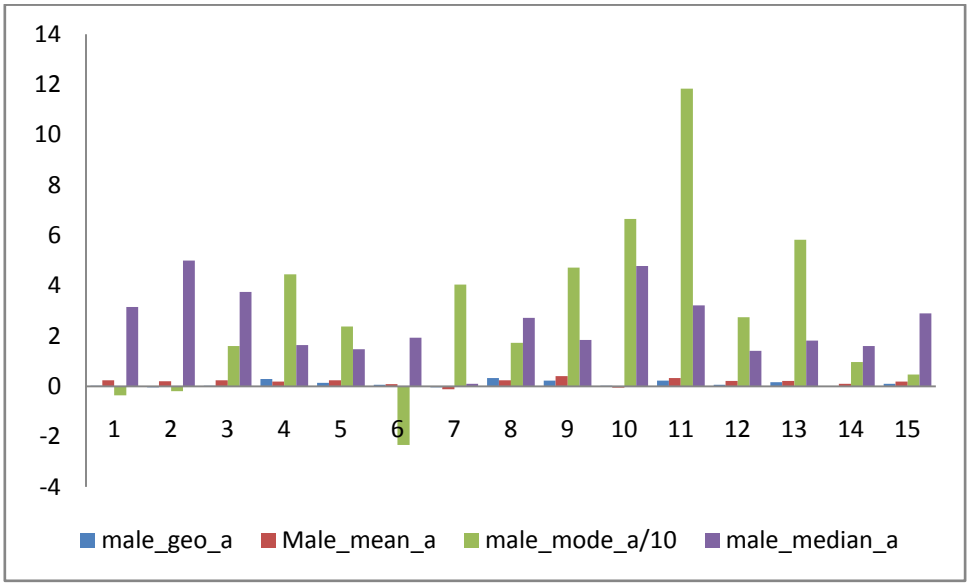
Παρατηρήσεις

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η μέθοδος με τις επικρατούσες τιμές μόνο στον ρυθμό α συμπίπτει με την μέθοδο του μέσου όρου.

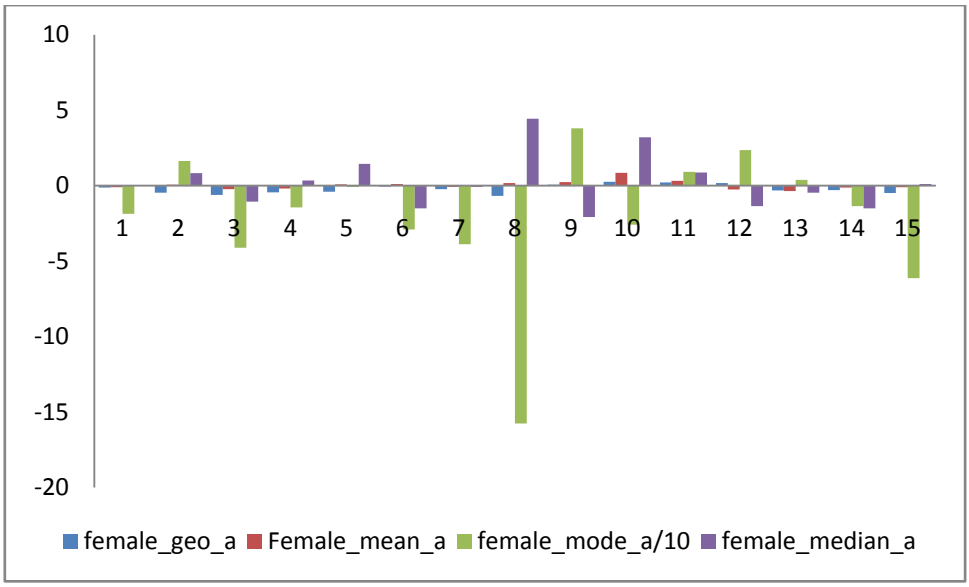
Η μέθοδος με την διάμεσο συμπίπτει πλήρως στον α και β ρυθμό και σε μερικά ηλεκτρόδια στον δ και θ ρυθμό.

Η μέθοδος με τον γεωμετρικό μέσο όρο συμπίπτει με τον ρυθμό α και δ κυρίως.

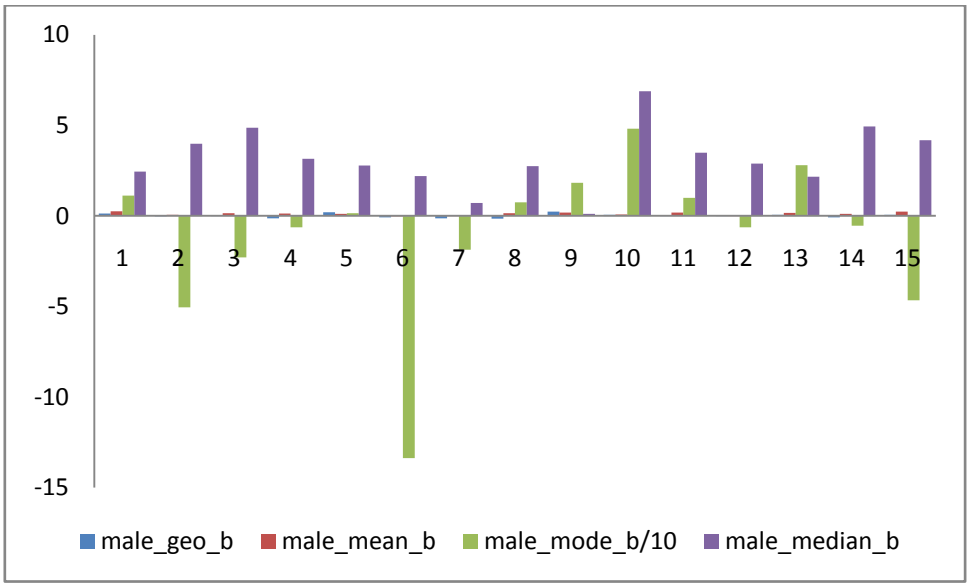
Ας δούμε για το ρυθμό α και β τις διαφορές από κατάσταση off σε on :



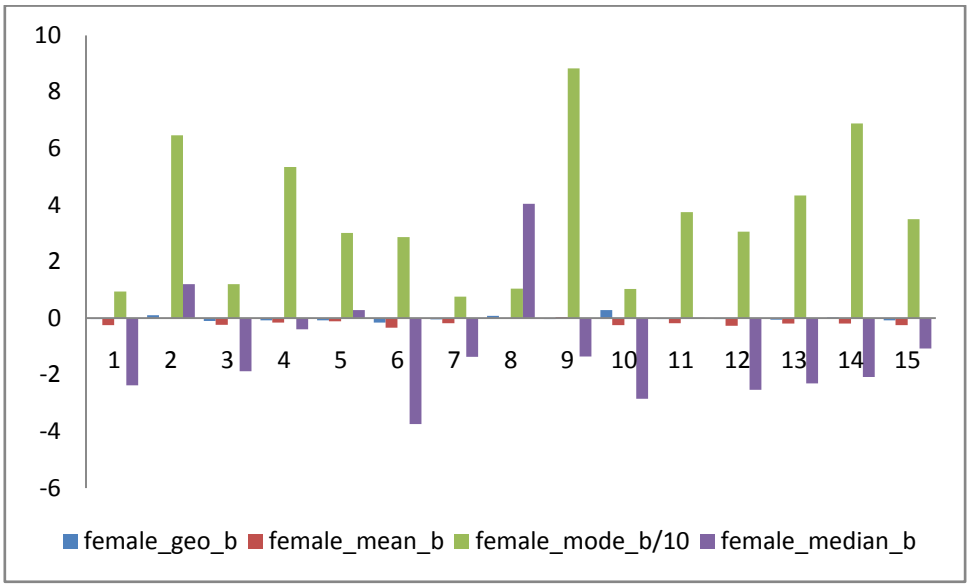
Διάγραμμα 71-Διαφορές male off-on ,ρυθμός α



Διάγραμμα 72 -Διαφορές female off-on ,ρυθμός α



Διάγραμμα 73 -Διαφορές male off-on ,ρυθμός β



Διάγραμμα 74 -Διαφορές female off-on ,ρυθμός β

Οι μεγαλύτερες στατιστικά διαφορές σημειώνονται στον ρυθμό α, γεγονός που φαίνεται και αν παρατηρηθούν τα αρχικά μας διαγράμματα , ανάμεσα στις off και on καταστάσεις. Προκύπτει επίσης, ότι για τα αρσενικά άτομα σχεδόν σε όλα τα ηλεκτρόδια η ενέργεια στην off κατάσταση είναι μεγαλύτερη. Αντίθετα στα θηλυκά άτομα η κατάσταση on έχει μεγαλύτερη ενέργεια από ότι η off.

Το γεγονός ότι οι στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν στον α ρυθμό μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψιν ότι κατά τη λήψη ενός ερεθίσματος από έναν εξεταζόμενο, η ροή της πληροφορίας συνοδεύεται από ενίσχυση του συγκεκριμένου ρυθμού και συνδέεται με τις δομές των ακουστικών οδών .