



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

Επεξεργασία σημάτων προκλητών δυναμικών με χρήση γενετικών αλγορίθμων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπυρίδων Σ. Μηλάτος

Χρήστος Β. Μασουρίδης

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011



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

Επεξεργασία σημάτων προκλητών δυναμικών με χρήση γενετικών αλγορίθμων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπυρίδων Σ. Μηλάτος

Χρήστος Β. Μασουρίδης

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Δεκέμβριο 2011.

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Φίλιππος Κωνσταντίνου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011

.....
Σπυρίδων Σ. Μηλάτος

Χρήστος Β. Μασουρίδης

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σπυρίδων Σ. Μηλάτος, 2011

Copyright © Χρήστος Β. Μασουρίδης, 2011

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.

Στις οικογένειές μας...

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την επεξεργασία των σημάτων προκλητών δυναμικών (Π.Δ.) που καταγράφονται κατά τη διάρκεια ενός ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ), ενόσω ο εξεταζόμενος υποβάλλεται σε ειδικά ακουστικά τεστ ερωτήσεων. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να δείξει ότι η αποθορυβοποίηση των μετρήσεων με την εξαγωγή του μέσου όρου των ερωτήσεων που χρησιμοποιείται σήμερα δεν είναι απολύτως ακριβής, προτείνοντας μια εναλλακτική επεξεργασία με χρήση των γενετικών αλγορίθμων.

Αρχικά παρουσιάζεται μια ανάλυση σε θεωρητικό επίπεδο του κεντρικού νευρικού συστήματος, του ΗΕΓ και των Π.Δ. Ακολουθεί περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας καταγραφής του ΗΕΓ, από την οποία προήλθαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή. Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται έλεγχος της κατανομής των ερωτήσεων αρχικά μέσω της γνωστής επεξεργασίας με τη μέθοδο του μέσου όρου. Έπειτα εφαρμόζεται το κριτήριο Kolmogorov-Smirnov ελέγχου της κανονικής κατανομής στις ερωτήσεις. Τα αποτελέσματα και των δύο ελέγχων απέδειξαν ότι οι ερωτήσεις δεν προσεγγίζουν την κανονική κατανομή και ως εκ τούτου προτείνεται η στάθμισή τους με τρόπο κατάλληλο έτσι ώστε τελικά να πληρουν τα κριτήρια κανονικότητας. Για το σκοπό αυτό επιστρατεύονται οι γενετικοί αλγόριθμοι μέσω των οποίων υπολογίζονται τα βάρη για κάθε ερώτηση.

Λέξεις Κλειδιά

ΗΕΓ, Π.Δ., Κανονική Κατανομή, Κ.Ο.Θ., Κριτήριο Kolmogorov-Smirnov, Βάρη, Γενετικοί Αλγόριθμοι.

Abstract

This thesis deals with the processing of the evoked related potentials (ERP) recorded during an electroencephalogram (EEG), while the examinee is submitted to specific acoustic question tests. The purpose of this study is to show that the noise reduction of measurements by extracting the average, which is currently used, is not entirely accurate suggesting an alternative process using genetic algorithms.

Initially a theoretical analysis of the central nervous system, the EEG and the ERP is presented. Following this, comes a description of the experimental procedure used for the recording of the EEG, from which came the data used in this work. In the next chapters the distribution of questions is checked initially by using the known processing method of the average across the multiple questions. After that the criterion Kolmogorov-Smirnov is applied in order to examine the normality of the distribution of the questions. The results of both tests showed that the questions do not approach the normal distribution and therefore the weighting of each question in an appropriate way so as to eventually meet the criteria of the normal distribution is proposed. In this context the genetic algorithms are used for the calculation of the aforementioned weights.

Key Words

EEG, ERP, Normal Distribution, Central Limit Theorem, Criterion Kolmogorov-Smirnov, Weights, Genetic Algorithms.

Ευχαριστίες

Κατ'αρχάς θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μας, κο Χρήστο Καυγάλη, για την ευκαιρία που μας έδωσε μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας να ασχοληθούμε ενεργά και σε βάθος με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο της σύγχρονης Τηλεπικοινωνιακής έρευνας, με προεκτάσεις και στη Βιοϊατρική επιστήμη.

Επίσης τις θερμές μας ευχαριστίες πρέπει φυσικά να αποδώσουμε στην υποψήφια διδάκτορα Αργυρώ Μαγκανιώτη, για την πολύτιμη βοήθεια, την συνεχή της παρουσία, επίβλεψη και καθοδήγηση στην πορεία υλοποίησης αυτής της διπλωματικής εργασίας και φυσικά να της ευχηθούμε κάθε επιτυχία στη συνέχεια της επιστημονικής της καριέρας.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε και τους γονείς μας για την ηθική και παντός είδους υποστήριξή τους καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μας. Στους οποίους άλλωστε αφιερώνεται αυτή η διπλωματική εργασία.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	7
Abstract.....	8
Ευχαριστίες.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	18
1.1 ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	19
1.1.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	19
1.1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	20
1.2 ΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	20
1.2.1 ΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟ ΕΞΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΜΕΣΑ.....	20
1.2.2 Ο ΝΩΤΙΑΙΟΣ ΜΥΕΛΟΣ.....	21
1.2.3 Ο ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ.....	22
1.3 ΝΕΥΡΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ-ΝΕΥΡΙΚΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΓΛΟΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ.....	24
1.3.1 ΝΕΥΡΟΓΛΟΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ.....	25
1.3.1.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΥΕΛΙΝΗΣ.....	26
1.3.1.2 ΕΜΜΥΕΛΕΣ ΚΑΙ ΑΜΥΕΛΕΣ ΙΝΕΣ.....	26
1.3.2 ΤΑ ΝΕΥΡΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ-ΝΕΥΡΩΝΕΣ.....	27
1.3.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ.....	28
1.3.2.2 Η ΣΥΝΑΨΗ.....	29
1.4 ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ.....	29
1.4.1 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ.....	32
1.4.1.1 ΒΑΘΜΩΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ-ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΔΡΑΣΗΣ.....	33
1.4.1.2 ΕΝΕΡΓΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	33
1.4.1.3 ΠΩΣ ΜΕΤΡΟΥΜΕ ΤΟ ΜΕΜΒΡΑΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ.....	37
2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΕΓ).....	38
2.1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	38
2.1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	39
2.1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ.....	42
2.1.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΗΕΓ.....	44
2.1.5 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΕΓ.....	44

2.1.6 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΕΓ.....	45
2.2 ΒΙΩΜΑΤΙΚΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ.....	46
2.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ.....	48
2.2.2 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ.....	53
2.2.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ.....	56
2.2.4 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	59
3.1 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	60
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ.....	62
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ LABVIEW.....	63
3.4 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΘΟΥΒΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ.....	69
4.1 ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	70
4.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΣΩΝ ΟΡΩΝ.....	70
4.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΟΡΥΦΗΣ P50.....	83
5.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ-ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΟΡΙΑΚΟ ΘΕΩΡΗΜΑ.....	84
5.2 TEST-ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΚΟΛΜΟΓΟΡΟV-SMIRNOV.....	87
5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ P50.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	92
6.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	93
6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	95
6.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	96
6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ.....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ.....	100
7.1 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	101
7.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	102
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Το κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα.....	19
Εικόνα 1.2	Εγκάρσια διατομή νωτιαίου μυελού, κοιλιακή πρόσθια όψη.....	21
Εικόνα 1.3	Μορφολογική οργάνωση εγκεφάλου.....	22
Εικόνα 1.4	Οργάνωση των λοβών του εγκεφάλου.....	23
Εικόνα 1.5	Το νευρικό κύτταρο.....	24
Εικόνα 1.6	Ένα νευρικό κύτταρο και πολλά νευρογλοιακά κύτταρα που σχηματίζουν μυελίνη.....	25
Εικόνα 1.7	Οργάνωση νευρογλοιακού κυττάρου.....	26
Εικόνα 1.8	Εικόνα εγκεφαλικού νευρώνα (digital image processing).....	27
Εικόνα 1.9	Σχηματικό διάγραμμα τυπικού νευρώνα.....	28
Εικόνα 1.10	Σύναψη νευρώνων.....	29
Εικόνα 1.11	Σχηματική απεικόνιση κυτταρικής μεμβράνης	30
Εικόνα 1.12	Πόλωση, υπερπόλωση και εκπόλωση νευρικού κυττάρου.....	32
Εικόνα 1.13	Ερέθισμα και δυναμικό μεμβράνης.....	34
Εικόνα 1.14	Μέτρηση του δυναμικού μεμβράνης.....	35
Εικόνα 2.1	Ηλεκτρόδιο με επαφή δακτυλίου.....	38
Εικόνα 2.2	Τυπικές απαγωγές με το σύστημα 10-20.....	39
Εικόνα 2.3	Σύστημα BESA 32-Ch-Arrangement.....	40
Εικόνα 2.4	Σύστημα (WL/WR) 29-Channel Arrangement.....	41
Εικόνα 2.5	Σύστημα Kombi-Montage.....	41
Εικόνα 2.6	Χαρακτηριστικές κυματομορφές βασικών ρυθμών ΗΕΓ.....	43
Εικόνα 2.7	Σχηματική παράσταση προκλητού δυναμικού.....	47
Εικόνα 2.8	Μέτρηση λανθάνοντα χρόνου (L) και ύψους (A).....	49
Εικόνα 2.9	Καταγραφή N100-P200	51

Εικόνα 2.10 Καταγραφή N200-P300	52
Εικόνα 2.11 Καταγραφή N400.....	53
Εικόνα 3.1 Το σκουφάκι του ΗΕΓ.....	61
Εικόνα 3.2 Πειραματική διάταξη.....	62
Εικόνα 3.3 Η πολυθρόνα του πειράματος	64
Εικόνα 3.4 Screenshot 1 από έναν Η/Υ κατά τη διάρκεια του test Hayling ..	65
Εικόνα 3.5 Screenshot 2 από έναν Η/Υ κατά τη διάρκεια του test Hayling ..	66
Εικόνα 4.1 Αρίθμηση χωρητική κατανομή των ηλεκτροδίων	72
Εικόνα 5.1 Συντελεστής κυρτότητας για διάφορες τιμές του α	86
Εικόνα 5.2 Εμπειρική κατανομή και κανονική αθροιστική κατανομή	88
Εικόνα 6.1 Διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου.....	94

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1 Στατιστικά αποτελέσματα κριτηρίου K-S	90
--	----

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 17.....	73
Διάγραμμα 4.2 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 24.....	73
Διάγραμμα 4.3 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1.....	74
Διάγραμμα 4.4 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 8.....	74
Διάγραμμα 4.5 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25.....	75

Διάγραμμα 4.6 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32.....	75
Διάγραμμα 4.7 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 19.....	76
Διάγραμμα 4.8 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 17.....	76
Διάγραμμα 4.9 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32.....	77
Διάγραμμα 4.10 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31.....	77
Διάγραμμα 4.11 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22.....	78
Διάγραμμα 4.12 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 28.....	78
Διάγραμμα 4.13 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22.....	79
Διάγραμμα 4.14 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 28.....	79
Διάγραμμα 4.15 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3.....	80
Διάγραμμα 4.16 Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 9.....	80
Διάγραμμα 7.1 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25.....	103
Διάγραμμα 7.2 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3.....	103
Διάγραμμα 7.3 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 9.....	104
Διάγραμμα 7.4 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 15.....	104
Διάγραμμα 7.5 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1.....	105

Διάγραμμα 7.6 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 10.....	105
Διάγραμμα 7.7 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 4.....	106
Διάγραμμα 7.8 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 14.....	106
Διάγραμμα 7.9 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31.....	107
Διάγραμμα 7.10 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32.....	107
Διάγραμμα 7.11 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 18.....	108
Διάγραμμα 7.12 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 27.....	108
Διάγραμμα 7.13 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 11.....	109
Διάγραμμα 7.14 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22.....	109
Διάγραμμα 7.15 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 6.....	110
Διάγραμμα 7.16 Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 16.....	110
Διάγραμμα 7.17 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25.....	111
Διάγραμμα 7.18 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3.....	111
Διάγραμμα 7.19 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 8.....	112
Διάγραμμα 7.20 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32.....	112
Διάγραμμα 7.21 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1.....	113

Διάγραμμα 7.22 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 10.....	113
Διάγραμμα 7.23 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 4.....	114
Διάγραμμα 7.24 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 14.....	114
Διάγραμμα 7.25 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31.....	115
Διάγραμμα 7.26 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32.....	115
Διάγραμμα 7.27 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 18.....	116
Διάγραμμα 7.28 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 27.....	116
Διάγραμμα 7.29 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 11.....	117
Διάγραμμα 7.30 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22.....	117
Διάγραμμα 7.31 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 6.....	118
Διάγραμμα 7.32 Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8 ^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 16.....	118

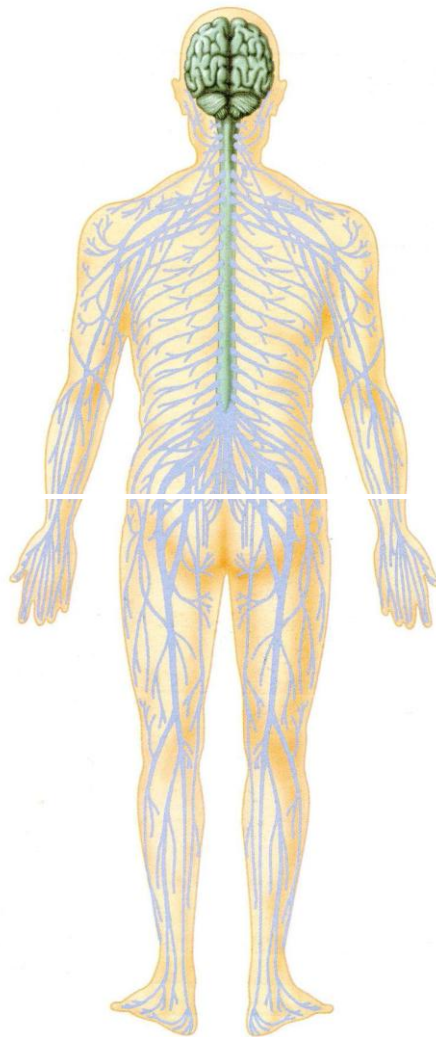
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

1.1. Νευρικό Σύστημα

1.1.1. Ανατομία του Νευρικού Συστήματος:

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από ένα κεντρικό και ένα περιφερικό τμήμα. Το κεντρικό τμήμα του νευρικού συστήματος ονομάζεται Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) και αποτελείται από τον Νωτιαίο Μυελό και τον Εγκέφαλο. Το περιφερικό τμήμα του νευρικού συστήματος ονομάζεται Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) και αποτελείται από τα νεύρα. Σε αντίθεση με το ΚΝΣ που περιβάλλεται από οστεϊνες δομές (κρανίο και σπονδυλική στήλη) το ΠΝΣ δεν προστατεύεται από οστά.



Εικόνα 1.1: Το κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα

1.1.2 Λειτουργίες του Νευρικού Συστήματος

Το νευρικό σύστημα δέχεται και μεταφέρει αισθητικές πληροφορίες τόσο από το εξωτερικό περιβάλλον όσο και από το υπόλοιπο σώμα μέσω της κεντρομόλου μοίρας του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα. Επίσης επεξεργάζεται τις πληροφορίες που προσλαμβάνει στο ΚΝΣ (νωτιαίος μυελός για τα αντανεκλαστικά, εγκέφαλος για τις ανώτερες και πιο σύνθετες συμπεριφορές μας) ενώ τέλος απαντά στα ερεθίσματα που δέχεται. Δηλαδή ρυθμίζει και ελέγχει μια απόκριση/ απάντηση στα ερεθίσματα που δέχεται μέσω της φυγόκεντρου μοίρας του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος. Η απάντηση αυτή μπορεί να είναι είτε εκούσια όπως πχ το να απομακρυνθούμε από έναν κίνδυνο, είτε ακούσια πχ το να ιδρώνουμε όταν ζεσταινόμεστε υπερβολικά.

1.2. Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

1.2.1. Το κεντρικό νευρικό σύστημα από έξω προς τα μέσα

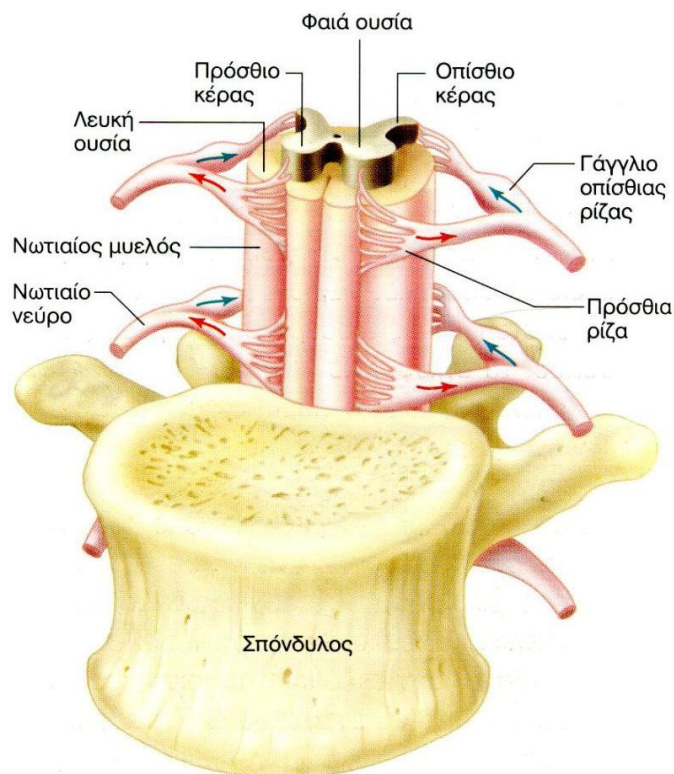
Το ΚΝΣ αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό. Συντονίζει τη κίνηση και είναι το κέντρο της μνήμης, της συνειδητής σκέψης και των άλλων αυτόματων σωματικών λειτουργιών.

Εξωτερικά τόσο ο εγκέφαλος όσο και ο νωτιαίος μυελός περιβάλλονται από οστά, το κρανίο και την σπονδυλική στήλη, αντίστοιχα. Η σπονδυλική στήλη σχηματίζει τον σπονδυλικό σωλήνα, μέσα στον οποίο βρίσκεται ο νωτιαίος μυελός. Εσωτερικά των οστών αυτών, δηλαδή προχωρώντας εσωτερικά του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης συναντούμε τρεις μεμβράνες, τις μήνιγγες, οι οποίες περιβάλλουν τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Οι μήνιγγες είναι οι εξής τρεις: σκληρή, αραχνοειδή, χοριοειδή οι οποίες όταν μολυνθούν προκαλείται μια φλεγμονή που ονομάζεται μηνιγγίτιδα. Ανάμεσα στις μήνιγγες παράγεται το εγκεφαλονωτιαίο υγρό το οποίο γεμίζει το χώρο ανάμεσα στον νευρικό ιστό (εγκέφαλο, νωτιαίο μυελό) και τις μήνιγγες/οστά. Το εγκεφαλονωτιαίο υγρό περιέχει όλα τα συστατικά του πλάσματος εκτός από λευκώματα και προστατεύει τον νευρικό ιστό από κακώσεις αποσβένοντας τους κραδασμούς. Ακολουθεί ο νευρικός ιστός. Στον νευρικό ιστό τόσο του εγκεφάλου, όσο και του νωτιαίου μυελού συναντούμε δύο περιοχές με διαφορετικά χρώματα: γκρίζο ή άσπρο. Μάλιστα, η περιοχή με γκρίζο χρώμα ονομάζεται φαιά ουσία και η περιοχή με άσπρο χρώμα ονομάζεται λευκή ουσία. Η φαιά ουσία σχηματίζεται από τα κυτταρικά σώματα πολλών νευρικών κυττάρων μαζεμένων, ενώ η λευκή ουσία σχηματίζεται από τις εμμύελες νευρικές ίνες των ίδιων αυτών νευρικών κυττάρων. Πολλοί νευράξονες μαζί έχουν χρώμα λευκό αφού οι νευράξονες έχουν την μυελίνη (που είναι λευκή), ενώ πολλά σώματα νευρικών κυττάρων δίνουν ένα χρώμα γκρίζο (φαιό) αφού το κυτταρικό σώμα σε αντίθεση με τον νευράξονα δεν έχει μυελίνη. Στον εγκέφαλο τα σώματα των νευρικών

κυττάρων είναι διαταγμένα στην περιφέρεια/φλοιό/επιφάνεια του εγκεφάλου, ενώ οι νευράξονες είναι στραμμένοι προς το εσωτερικό του εγκεφάλου. Το αποτέλεσμα είναι στον εγκέφαλο η φαιά ουσία να είναι εξωτερικά, ενώ η λευκή ουσία εσωτερικά. Αντιθέτως, στο νωτιαίο μυελό τα κυτταρικά σώματα είναι κεντρικά, στο εσωτερικό του νωτιαίου μυελού, ενώ οι νευρικές τους ίνες κατευθύνονται στην περιφέρεια του νωτιαίου μυελού: οι μακριές εμμύελες ίνες είναι τοποθετημένες σε δέσμες και μεταφέρουν πληροφορίες από τον εγκέφαλο προς το νωτιαίο μυελό και αντίστροφα, καθώς και μεταξύ των διαφόρων επιπέδων του νωτιαίου μυελού. Το αποτέλεσμα είναι στον νωτιαίο μυελό η φαιά ουσία να βρίσκεται εσωτερικά, ενώ η λευκή εξωτερικά.

1.2.2. Ο νωτιαίος μυελός

Ο νωτιαίος μυελός δέχεται και στέλνει πληροφορίες από και προς το ΠΝΣ. Από τον νωτιαίο μυελό εκφύονται 31 ζεύγη νωτιαίων νεύρων. Οι άξονες των απαγωγών νεύρων φεύγουν μέσω των πρόσθιων ριζών. Σε μικρή απόσταση από τον νωτιαίο μυελό οι πρόσθιες και οι οπίσθιες ρίζες σχηματίζουν μαζί ένα νωτιαίο νεύρο σε κάθε πλευρά του νωτιαίου μυελού. Ομάδες προσαγωγών ινών από τα περιφερικά νεύρα εισέρχονται μέσω των οπισθίων ριζών. Μικρές διογκώσεις, τα γάγγλια των οπισθίων ριζών, περιέχουν τα κυτταρικά σώματα των προσαγωγών νευρώνων. Υπάρχουν 31 ζεύγη νωτιαίων νεύρων που εξέρχονται από τα μεσοσπονδύλια τρήματα.

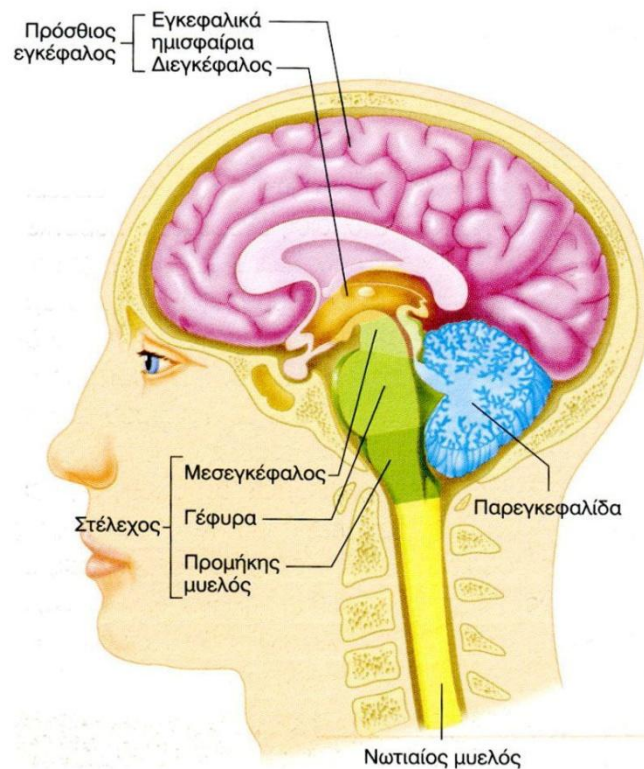


Εικόνα 1.2: Εγκάρσια διατομή νωτιαίου μυελού, κοιλιακή πρόσθια όψη

1.2.3. Ο εγκέφαλος

Ο Εγκέφαλος είναι το όργανο το οποίο ρυθμίζει τη λειτουργία του οργανισμού και συντονίζει την επιμέρους λειτουργία των υπόλοιπων οργάνων του σώματος. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από έναν στηρικτικό σκελετό, τη νευρογλοία και τα νευρικά κύτταρα, τους νευρώνες, οι οποίοι εκτιμώνται σε 100 δισεκατομμύρια περίπου. Οι νευρώνες αυτοί συνδέονται και επικοινωνούν μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα είδος κυκλώματος ή και λειτουργικού πολύπλοκου πλέγματος με πολλές και πολλαπλές διακλαδώσεις και αλληλοεπιδράσεις. Η επικοινωνία των κυττάρων επιτελείται μέσω συνάψεων, οι οποίες είναι συνδέσεις λειτουργικές με μεσολαβητές χημικές ουσίες (νευροδιαβιβαστές και ηλεκτρολύτες). Η στοιχειώδης δε επικοινωνία είναι ηλεκτροχημική, δηλαδή διαμέσου των νευρώνων μεταδίδεται κάτι σαν ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μεταφέρεται από το κέντρο στην περιφέρεια και αντίστροφα αλλά και μεταξύ νευρώνων υπό μορφή κλειστών κυκλωμάτων. Αυτά όσον αφορά τη στοιχειώδη μικροσκοπική και ηλεκτροχημική δομή του εγκεφάλου.

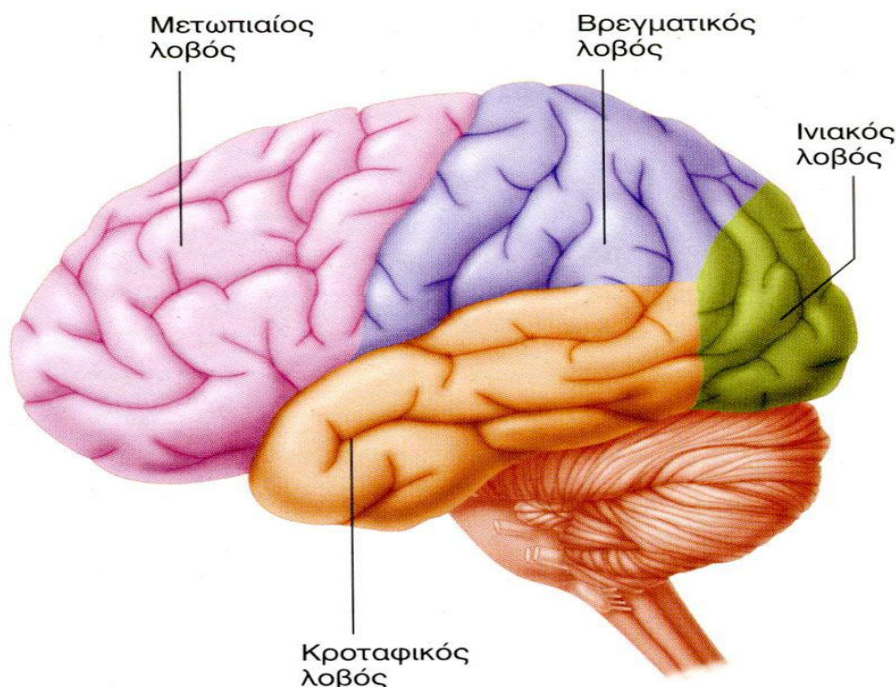
Μακροσκοπικά, παρατηρώντας με γυμνό μάτι τον εγκέφαλο, θα δούμε ότι αποτελείται από συμμετρικά μέρη, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, αλλά και διακριτές ανατομικές περιοχές, όπως τα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, την παρεγκεφαλίδα και το στέλεχος, στο οποίο «ακουμπάνε» τα προαναφερθέντα.



Εικόνα 1.3: Μορφολογική οργάνωση εγκεφάλου

Η διαφοροποίηση των περιοχών του εγκεφάλου οφείλεται στη διαφορετική ανάπτυξη τμημάτων αυτού κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του ανθρώπινου είδους, με σκοπό τη διεκπεραίωση των λειτουργιών του. Για παράδειγμα, η οσφρητική περιοχή στα ζώα είναι πολύ πιο μεγάλη από την ανθρώπινη. Ο ανθρώπινος εγκεφαλικός φλοιός, όμως, είναι πολύ πιο εκτεταμένος από αυτόν των ζώων, πράγμα το οποίο μας καθιστά πιο έξυπνους. Επιπλέον, ο εγκεφαλικός φλοιός είναι η έδρα της σκέψης και όχι μόνον και οφείλει σε σκεπτόμενα όντα σαν τον άνθρωπο να είναι ογκώδης συγκριτικά.

Η επιμέρους οργάνωση του εγκεφάλου για την επιτέλεση απλών ή και πολύπλοκων λειτουργιών μάς οδήγησε στην περιγραφή διάφορων περιοχών που ευθύνονται για την επιτέλεση αυτών των λειτουργιών, είτε από μόνες τους είτε σε συνεργασία μεταξύ τους. Γνωρίζουμε και έχει επιβεβαιωθεί με πολλές μεθόδους πλέον ότι, σε ό, τι αφορά τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, διακρίνουμε τους ινιακούς λοβούς πίσω, οι οποίοι είναι τα κέντρα της όρασης, τους βρεγματικούς λοβούς, οι οποίοι αποτελούν έδρα των λεγόμενων πρωτογενών αισθητικοκινητικών περιοχών αλλά και κέντρα συνειρμικής-λογικής σκέψης και κινητικά κέντρα του λόγου, τους μετωπιαίους λοβούς μπροστά, οι οποίοι έχουν να κάνουν με ανώτερες λειτουργίες και αισθήματα και καθορίζουν τη συμπεριφορά (το χαρακτήρα μας), και κάτω μπροστά οι κροταφικοί λοβοί, οι οποίοι είναι τα κέντρα της μνήμης αλλά και κατανόησης του λόγου, καθώς και των ενστίκτων.



Εικόνα 1.4: Οργάνωση των λοβών του εγκεφάλου

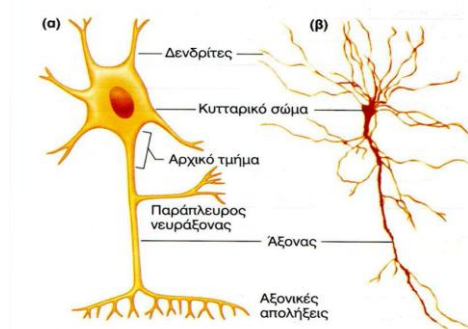
Υπάρχουν επίσης συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες διαφοροποιούνται είτε λειτουργικά είτε ανατομικά, αλλά ανήκουν σε πολλούς λοβούς και συμμετέχουν σε πολλές λειτουργίες, π.χ., βασικά γάγγλια, μεταχιακό σύστημα κλπ. Λόγω της σπουδαιότητας του εγκεφάλου ως ρυθμιστικού οργάνου υπεύθυνου για την επιβίωση του οργανισμού, έχει εξασφαλιστεί η τροφοδοσία του με αίμα από πολλά μεγάλα αγγεία, τα οποία αναστομώνονται, δηλαδή επικοινωνούν μεταξύ τους. Έτσι, αν ένα από αυτά κλείσει, τότε τα άλλα σε μεγάλο βαθμό τις περισσότερες φορές καλύπτουν τη βλάβη αυτή. Άλλωστε, ο εγκέφαλος αναλογικά με τον όγκο αυτού δέχεται σημαντική ποσότητα αίματος.

Όταν μια περιοχή του εγκεφάλου δραστηριοποιείται για να επιτελέσει μια συγκεκριμένη απλή ή πολύπλοκη ενέργεια, τότε συμβαίνουν σε τοπικό επίπεδο φυσικοχημικές και ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές, οι οποίες αντικατοπτρίζουν τον αυξημένο μεταβολισμό τοπικά και χρονικά.

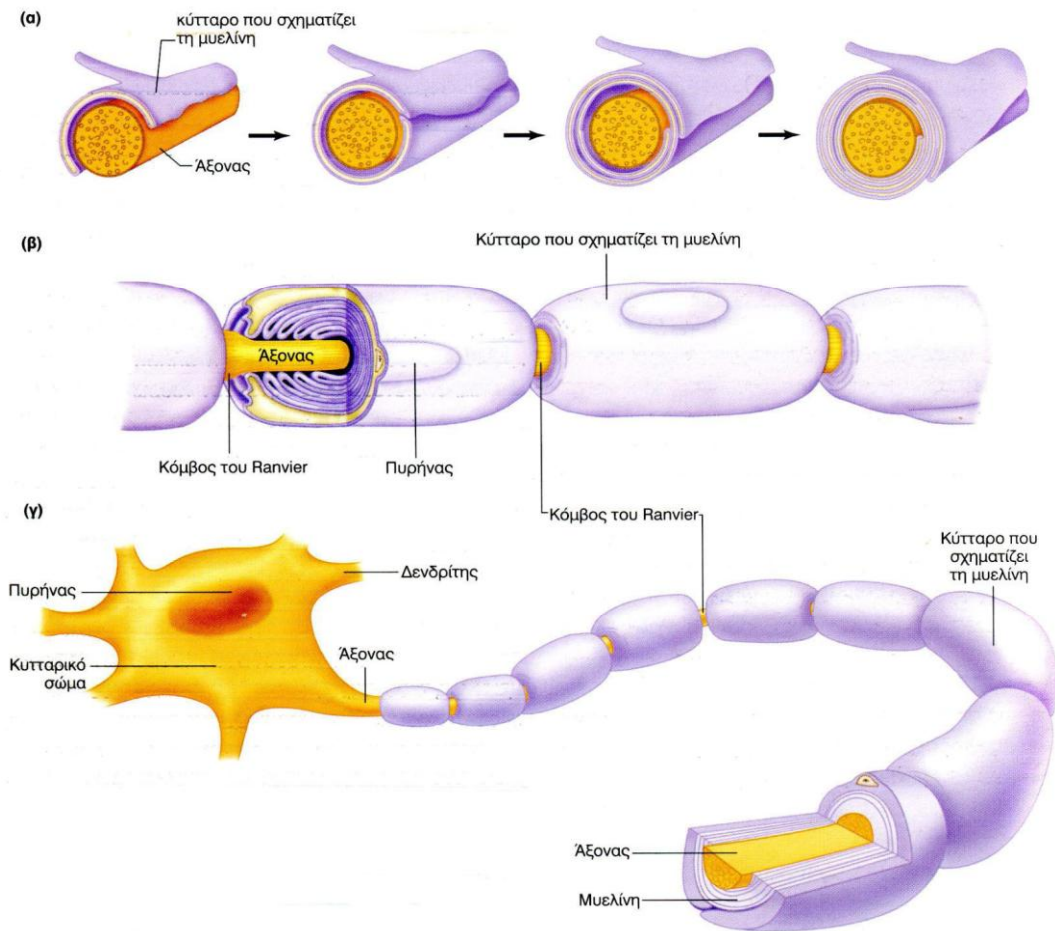
Με διάφορες μεθόδους μπορούμε να μελετήσουμε αυτές τις λειτουργίες. Για παράδειγμα, με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) καταγράφουμε ειδικά ρεύματα (δυναμικά), με το Μαγνητοεγκεφαλογράφημα (ΜΕΓ) μαγνητικά πεδία, με την Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (ΡΕΤ) τον ειδικό μεταβολισμό κ.ο.κ.

1.3. Νευρικός Ιστός-Νευρικά και Νευρογλοιακά κύτταρα

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από έναν τύπο ιστού: τον νευρικό ιστό. Με τη σειρά του ο νευρικός ιστός αποτελείται από νευρικά κύτταρα και από νευρογλοιακά κύτταρα (ή νευρογλοία ή, απλά, γλοία κύτταρα). Τα νευρικά κύτταρα μεταδίδουν τις νευρικές ώσεις (τα ενεργά δυναμικά) που είναι ο κύριος ρόλος τους νευρικού ιστού, ενώ τα νευρογλοιακά κύτταρα υποβοηθούν αυτή τη λειτουργία αφενός με το να θρέφουν και να προστατεύουν τα νευρικά κύτταρα και αφετέρου με το να διευκολύνουν τις νευρικές ώσεις.



Εικόνα 1.5: Το νευρικό κύτταρο



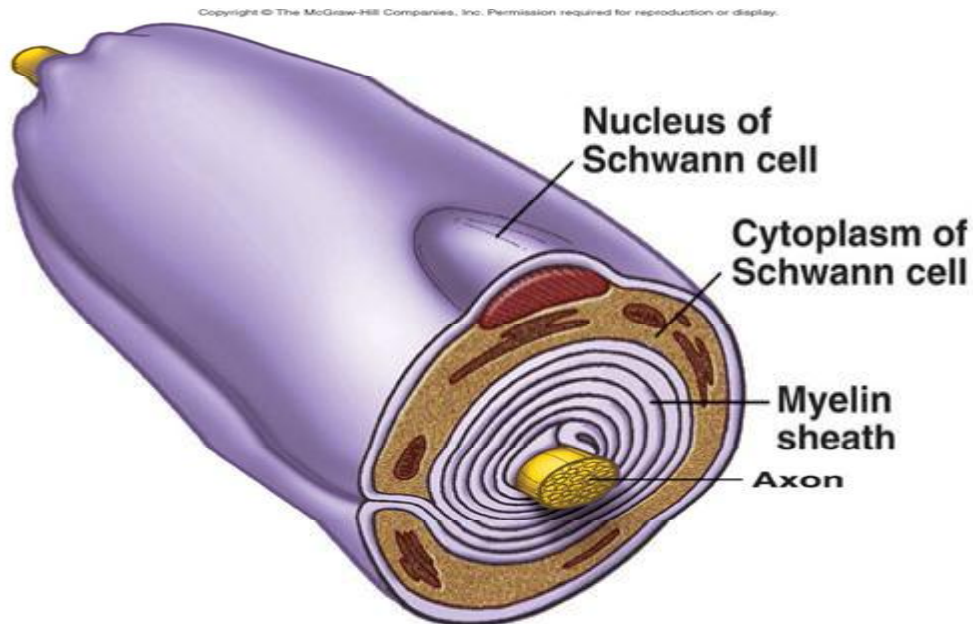
Εικόνα 1.6: Ένα νευρικό κύτταρο και πολλά νευρογλοιακά κύτταρα που σχηματίζουν μυελίνη

1.3.1. Νευρογλοιακά κύτταρα

Τα νευρογλοιακά κύτταρα καταλαμβάνουν το 50% του όγκου του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού. Επιπλέον, τα νευρογλοιακά κύτταρα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο καθώς υποστηρίζουν φυσιολογικά και μεταβολικά τους νευρώνες. Τα γλοία κύτταρα που βρίσκονται στο ΠΝΣ λέγονται κύτταρα Schwann («Ζβάν»), ενώ τα γλοία κύτταρα που βρίσκονται στο ΚΝΣ λέγονται ολιγοδενδροκύτταρα (αυτά παράγουν μυελίνη) και αστροκύτταρα (αυτά δεν παράγουν μυελίνη αλλά θρέφουν τους νευρώνες και τους προστατεύουν απομακρύνοντας τοξικές ουσίες).

1.3.1.1. Ο ρόλος της μυελίνης

Τα γλοία κύτταρα προάγουν τη διάδοση της νευρικής ώσης με το να δημιουργούν γύρω από τον νευράξονα των νευρικών κυττάρων μία επικάλυψη μυελίνης που τον μονώνει ηλεκτρικά. Η μυελίνη είναι μια λιπόφιλη ουσία η οποία ενσωματώνεται στην κυτταρική μεμβράνη των γλοίων κυττάρων. Τα γλοία κύτταρα περιτυλίγουν πολλαπλές φορές την μεμβράνη τους γύρω από τον νευράξονα, δημιουργώντας τα έλυτρα της μυελίνης. Το στρώμα μυελίνης που περιβάλλει τον νευράξονα δεν είναι συνεχές, αλλά διακόπτεται ανά τακτά διαστήματα κατά μήκος του άξονα του νευρικού κυττάρου. Στα σημεία στα οποία δεν υπάρχει η μυελίνη ο νευράξονας είναι γυμνός και τα σημεία αυτά ονομάζονται κόμβοι Ranvier. Τα ενεργά δυναμικά δεν περνούν την μυελίνη (η οποία είναι ένα μονωτικό υλικό) και κάνουν «άλμα» ή «σάλτο» από τον έναν κόμβο Ranvier στον επόμενο γεγονός που αυξάνει την ταχύτητα διάδοσής τους. Επομένως, ο βασικός ρόλος της μυελίνης είναι να αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα διάδοσης των ενεργών δυναμικών κατά μήκος της νευρικής ίνας.



Εικόνα 1.7: Οργάνωση νευρογλοιακού κυττάρου

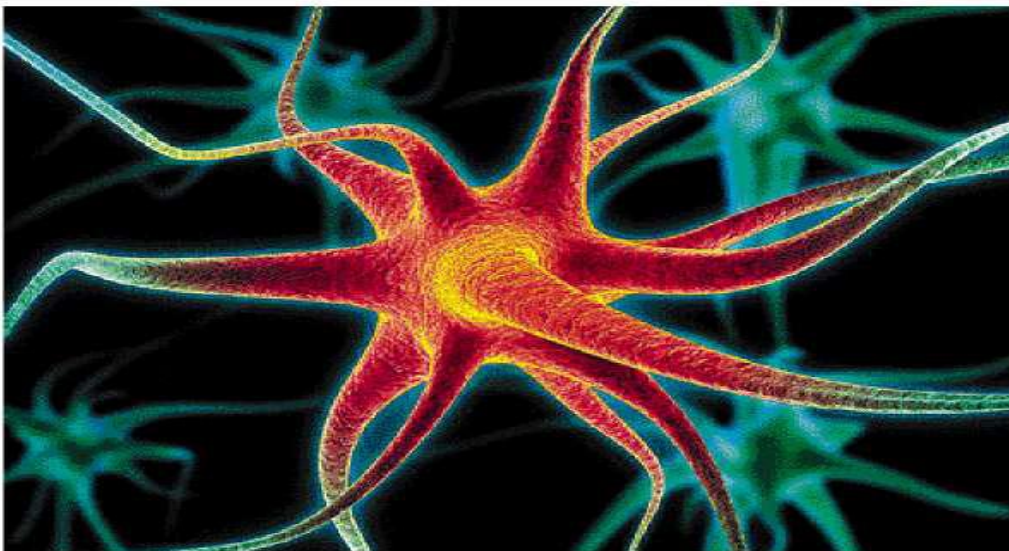
1.3.1.2. Εμμέλες και Αμμέλες ίνες

Υπάρχουν νευρικά κύτταρα των οποίων οι νευρικές ίνες (οι νευράξονες) έχουν επικάλυψη μυελίνης και άλλα που δεν έχουν ή που έχουν πολύ λίγη. Οι νευρικές ίνες των πρώτων ονομάζονται εμμέλες (εν + μυελίνη), ενώ εκείνες των άλλων κυττάρων αμμέλες (α + μυελίνη). Έτσι η ταχύτητα αγωγής διάδοσης των ενεργών δυναμικών θα είναι μεγάλη για τις εμμέλες ίνες και μικρή για τις αμμέλες ίνες καθώς οι παράγοντες που καθορίζουν την ταχύτητα διάδοσης των νευρικών ώσεων είναι η παρουσία μυελίνης και η διάμετρος της

νευρικής ίνας (όσο μεγαλύτερη η διάμετρος τόσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα διάδοσης των νευρικών ώσεων).

1.3.2. Τα νευρικά κύτταρα-Νευρώνες

Με τον όρο νευρώνας ορίζουμε το κύτταρο που αποτελεί δομικό μέρος και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Κάθε νευρώνας αποτελείται από ένα κυτταρικό σώμα, που περιλαμβάνει τον πυρήνα και μεγάλο αριθμό οργανιδίων, από μία ή περισσότερες αποφυάδες. Αυτές ονομάζονται δένδριτες όταν συλλέγουν τα σήματα που στέλνονται στο κύτταρο, και άξονας όταν μεταδίδει ώσεις από το κυτταρικό σώμα. Οι άξονες των κυττάρων του περιφερικού νευρικού συστήματος καλύπτονται από ένα μυελώδες έλυτρο, προστατευτικό περίβλημα, που σχηματίζεται από μια μεγάλη αλυσίδα κυττάρων Σβαν (*Schwann*): το σύστημα αυτό διασφαλίζει την διάδοση των ηλεκτρικών παλμών (*Spike*) κατά μήκος του άξονα, με ταχύτητα περίπου 100 μ./δευτ. Ο αριθμός των spikes ανά δευτερόλεπτο ($F_i = \text{Spike/s}$) ορίζεται ως η "συχνότητα κένωσης" ή συχνότητα νευρώσεως του νευρώνα. Οι ηλεκτρικοί παλμοί (*spikes*) προκαλούνται από έναν μηχανισμό πόλωσης και εκπόλωσης της μεμβράνης του νευρώνα. Η αλλοίωση της μυελίνης, παρούσα στους νευράξονες, εξαιτίας εσφαλμένης λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος, προκαλεί πολλαπλή σκλήρυνση, που οδηγεί στη σταδιακή απώλεια του μυϊκού ελεγχού, της εγκεφαλικής λειτουργίας και της ικανότητας μετάδοσης των μηνυμάτων.



Εικόνα 1.8: Εικόνα εγκεφαλικού νευρώνα (digital image processing)

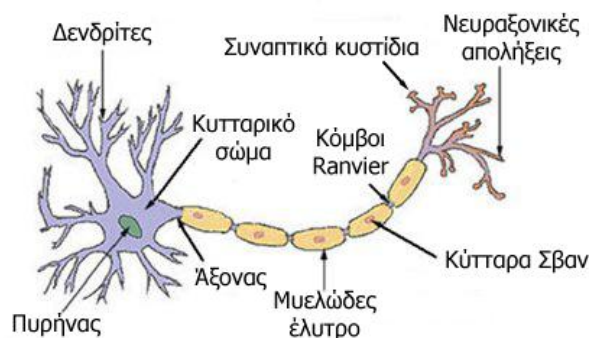
1.3.2.1. Κατηγορίες Νευρώνων

Οι σημαντικότεροι τύποι νευρώνων είναι οι εξής:

1. Οι **αισθητήριοι νευρώνες** (προσαγωγός νευρώνας) που συμμετέχουν στη λήψη ερεθισμάτων από το περιβάλλον, μεταφέροντας τις πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Το κυτταρικό σώμα και η μακριά περιφερειακή αποφυάδα του άξονα βρίσκονται στο περιφερικό νευρικό σύστημα ενώ η μικρή κεντρική αποφυάδα του άξονα εισέρχεται στο ΚΝΣ. Ακόμα οι νευρώνες αυτού του τύπου δεν έχουν δενδρίτες.
2. Οι **ενδιάμεσοι ή συνδετικοί νευρώνες** (διανευρώνες) οι οποίοι στο εσωτερικό του κεντρικού συστήματος, ενσωματώνουν τις πληροφορίες που παρέχουν οι αισθητήριοι νευρώνες και τις μεταδίδουν στους κινητικούς νευρώνες. Λειτουργούν ως ολοκληρωτές και τροποποιητές σημάτων και ενσωματώνουν ομάδες προσαγωγών και απαγωγών νευρώνων σε αντανακλαστικά κυκλώματα. Βρίσκονται εξ'ολοκλήρου μέσα στο ΚΝΣ και αποτελούν το 99% των νευρώνων.
3. Οι **κινητικοί νευρώνες** (απαγωγός νευρώνας) που μεταφέρουν τα μηνύματα στα δραστικά κύτταρα (μυς, αδένες, άλλους νευρώνες). Το κυτταρικό σώμα, οι δενδρίτες και ένα μικρό μέρος του άξονα βρίσκονται μέσα στο ΚΝΣ. Το μεγαλύτερο όμως μέρος του άξονα βρίσκεται στο ΠΝΣ.

Ακόμα οι νευρώνες μπορούν να χωριστούν σύμφωνα με τον αριθμό, το μήκος και τις διακλαδώσεις που έχουν. Έτσι έχουμε τις παρακάτω κατηγορίες:

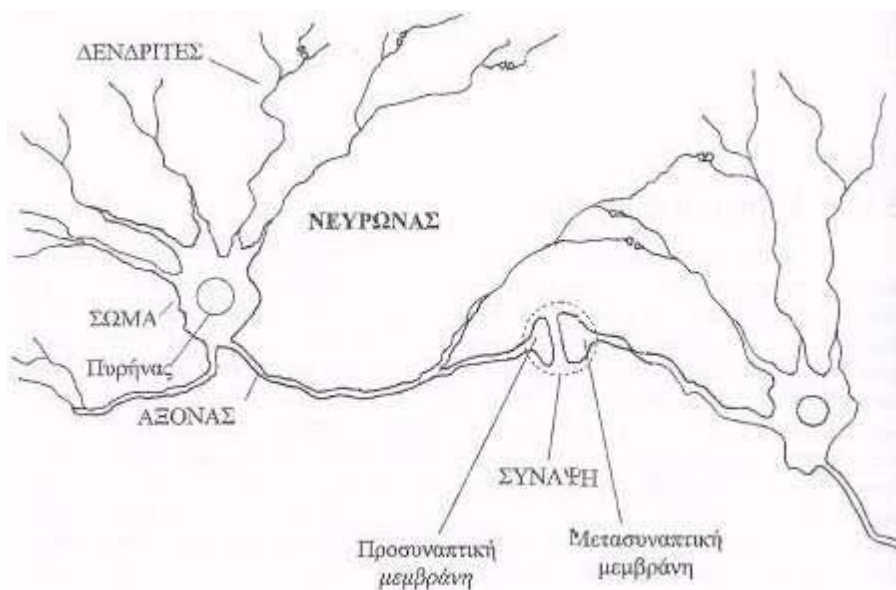
1. **Μονόπολοι** ή καλύτερα **Ψευδομονόπολοι νευρώνες** με μία αποφυάδα που είναι πολύ κοντή και χωρίζεται σε δύο κλάδους από τους οποίους ο ένας από τους δύο θα λειτουργήσει ως δενδρίτης. (τους βρίσκουμε στα Νωτίαια Γάγγλια)
2. **Δίπολοι νευρώνες** με σώμα από το οποίο εκφύονται ένας άξονας και ένας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



Εικόνα 1.9: Σχηματικό διάγραμμα τυπικού νευρώνα

1.3.2.2. Η Σύναψη

Η σύναψη (η εξειδικευμένη σύνδεση δηλαδή μεταξύ δύο νευρώνων, όπου ο ένας μεταβάλλει τη λειτουργία του άλλου), όπου διαρθρώνεται η απόληξη του νευράξονα ενός νευρώνα με ένα δενδρίτη άλλου νευρώνα, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι εκεί πραγματοποιείται η μεταβίβαση της δράσης από την προσυναπτική μεμβράνη στη μετασυναπτική, μέσω της πολύ λεπτής σχισμής που τα χωρίζει, η οποία ονομάζεται συναπτικό φάσμα. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου η σύναψη βρίσκεται πολύ κοντά ή πάνω στο σώμα ενός νευρώνα και περιπτώσεις όπου σε μια σύναψη συμμετέχουν τρεις νευρώνες ταυτόχρονα, οπότε απολήξεις δύο αξόνων οδεύουν στο ίδιο σημείο ενός δενδρίτη.



Εικόνα 1.10: Σύναψη νευρώνων

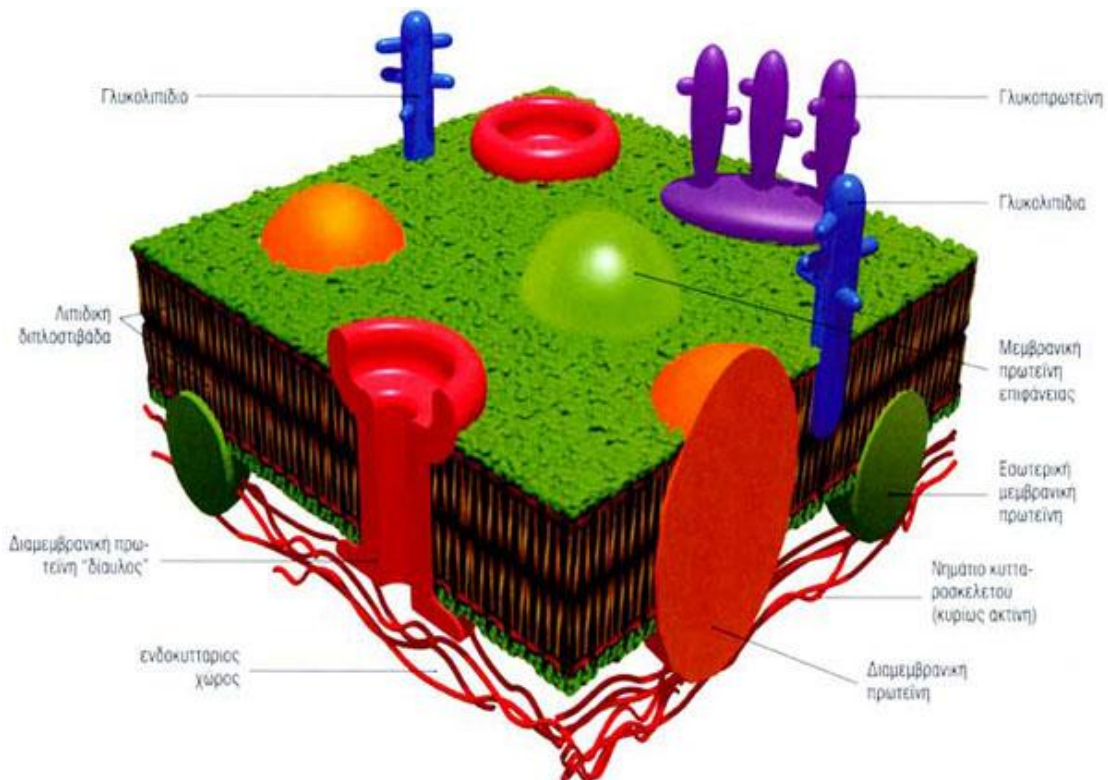
1.4. Κυτταρική Μεμβράνη

Ολόκληρος ο νευρώνας μαζί με τον άξονα και τους δενδρίτες καλύπτεται από την κυτταρική μεμβράνη. Η **κυτταρική μεμβράνη**, ή πλασματική μεμβράνη είναι η εξωτερική μεμβράνη που περιβάλλει το κύτταρο και το ξεχωρίζει από το περιβάλλον του και είναι ένα από τα σημαντικότερα δομικά στοιχεία του κυττάρου. Βέβαια η μεμβράνη δε διαθέτει μόνο το κύτταρο ως σύνολο αλλά και τα επιμέρους οργανίδια του. Αν και κάθε οργανίδιο του κυττάρου έχει εξειδικευμένες λειτουργίες υπάρχουν πέντε βασικές λειτουργίες οι οποίες είναι κοινές για όλες τις δομές. Αυτές είναι οι εξής:

- Η διατήρηση βαθμίδων συγκεντρώσεων κατά μήκος της μεμβράνης

- Η οργάνωση και οριοθέτηση των ενζυμικών συστημάτων
- Ο έλεγχος της ενζυμικής ενεργότητας
- Η συμπεριφορά της μεμβράνης ως υπόστρωμα
- Ο διαχωρισμός του κυττάρου ή του οργανιδίου, το οποίο περιβάλλει από το περιβάλλον του, και κατά συνέπεια την επίτευξη της ακεραιότητάς του

Η δομή των κυτταρικών μεμβρανών βασίζεται σε μια **διπλοστιβάδα λιπιδίων**. Κάθε μόριο της έχει μια υδρόφιλη πολική κεφαλή και μια υδρόφοβη ουρά. Η κεφαλή αποτελείται κυρίως από γλυκερόλη, η οποία είναι συνδεδεμένη πολικά μέσω μιας γέφυρας φωσφορικών (αρνητικά φορτισμένη) με μια αζωτούχο ένωση (πχ χολίνη, αιθανολαμίνη ή σερίνη) (θετικά φορτισμένη). Η μη πολική ουρά των φωσφολιπιδίων σχηματίζεται από δυο μακρές αλυσίδες λιπαρών οξέων, η μια είναι ευθεία αλυσίδα κορεσμένου λιπαρού οξέος και η άλλη αποτελείται από ακόρεστο λιπαρό οξύ και είναι κεκαμμένη στο σημείο του ακόρεστου δεσμού. Τα φωσφολιπίδια όταν βρεθούν σε υδατικό διάλυμα, λόγω της δομής τους, σχηματίζουν αυτόματα μια διπλοστιβάδα με τις υδρόφιλες κεφαλές στραμμένες προς τα έξω και τις υδρόφοβες ουρές προς τα έσω. Οι δεσμοί μεταξύ των μορίων των φωσφολιπιδίων της διπλοστιβάδας είναι ασθενείς προκειμένου κάθε μεμονωμένο μόριο φωσφολιπιδίου να μετακινείται ελεύθερα μέσα στη διπλοστιβάδα και σε ορισμένες περιπτώσεις να μεταπηδά από στιβάδα σε στιβάδα.



Εικόνα 1.11: Σχηματική απεικόνιση κυτταρικής μεμβράνης

Η επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων φαίνεται ότι εξυπηρετείται και από μια ειδική κατηγορία λιπιδίων που αναγνωρίζεται στις κυτταρικές μεμβράνες, **τα γλυκολιπίδια**. Αυτά τα μόρια βρίσκονται μόνο στην εξωτερική επιφάνεια των κυτταρικών μεμβρανών με εκτεθειμένο το συνδεδεμένο σ' αυτά μόριο σακχάρου στον εξωκυττάριο χώρο.

Η πρωτεϊνική συνιστώσα των μεμβρανών αποτελεί το ήμισυ περίπου της μάζας της. Οι μεμβρανικές πρωτεΐνες ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου. Οι **μεμβρανικές πρωτεΐνες** είναι δυνατόν να είναι ενσωματωμένες στη κυτταρική μεμβράνη (**ενσωματωμένες μεμβρανικές πρωτεΐνες**) ή να συγκρατούνται με ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις είτε στην εξωτερική επιφάνεια (**μεμβρανικές πρωτεΐνες επιφάνειας**) είτε στην εσωτερική επιφάνεια (**περιφερικές μεμβρανικές πρωτεΐνες**) είτε να διαπερνούν όλο το πάχος της μεμβράνης (**διαμεμβρανικές πρωτεΐνες**). Οι μεμβρανικές πρωτεΐνες είναι δυνατόν να διαχέονται πλευρικά πάνω στην επιφάνεια του κυττάρου, γεγονός που οδήγησε στη διατύπωση της θεωρίας του υγρού μωσαϊκού για τη δομή της κυτταρικής μεμβράνης.

Αυτή η βασική δομή των κυτταρικών μεμβρανών επιτρέπει την πλευρική διάχυση των μεμβρανικών πρωτεϊνών και διευκολύνει την κινητικότητα του κυττάρου. Η πολική σύνθεση των μορίων των λιπιδίων οδηγεί σε ελεγχόμενη διαπερατότητα ποικίλων χημικών ουσιών. Το νερό, το οξυγόνο και μικρά υδρόφοβα μόρια όπως η αιθανόλη περνούν εύκολα τη μεμβράνη, ενώ κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο για τα φορτισμένα ιόντα νατρίου, καλίου και ασβεστίου, τα οποία μεταφέρονται ενεργητικά διαμέσου της μεμβράνης χρησιμοποιώντας διαύλους που αποτελούνται από ενσωματωμένες πρωτεΐνες της μεμβράνης.

Το κυριότερο, ίσως, χαρακτηριστικό των διπλοστοιβάδων των λιπιδίων είναι συνεργειακές δομές. Οι δομές αυτές διατηρούνται εξαιτίας πολλών αλληλοενισχυόμενων μη ομοιοπολικών αλληλεπιδράσεων. Αυτή η συνάθροιση δηλαδή των υδρόφοβων αλυσίδων των λιπιδίων ευνοείται από την άσκηση ελκτικών δυνάμεων τύπου Van der Waals. Η άσκηση των δυνάμεων αυτών έχει τις εξής βασικές βιολογικές προεκτάσεις :

- οι διπλοστοιβάδες λιπιδίων έχουν την τάση να είναι εκτεταμένες και να ενώνουν τα άκρα τους ώστε καμία υδρόφοβη ομάδα να μη μείνει εκτεθειμένη σε υδατικό περιβάλλον
- οι στοιβάδες αυτές κλείνουν γιατί κάθε οπή ή άνοιγμα δεν είναι ενεργειακά επιτρεπτό.

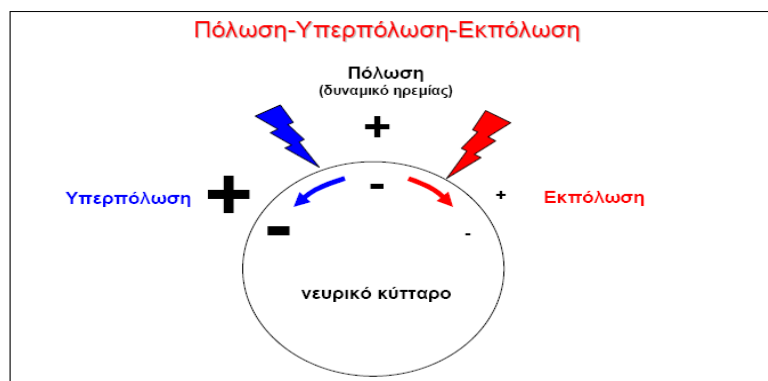
Το γεγονός ότι τα φωσφολιπίδια συνδέονται με δεσμούς Van der Waals, σημαίνει ότι κάθε μόριο είναι ελεύθερο να κινηθεί ανεξάρτητα. Άμεση συνέπεια αυτού είναι η δημιουργία τυχαίων κινήσεων παράλληλων προς την επιφάνεια της μεμβράνης. Οι αλυσίδες μπορούν να κάμπτονται και να επιστέφουν στη θέση ισορροπίας. Για το λόγο αυτό η λιπιδική στοιβάδα έχει τα

χαρακτηριστικά υγρού και μοιάζει με λεπτό στρώμα λαδιού στο νερό. Αυτή η ρευστότητα κάνει τη μεμβράνη εύκαμπτη. Αυτή η ευκαμψία σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα κύτταρα περιέχουν νερό, επιτρέπουν στα κύτταρα να αλλάζουν σχήμα, χωρίς επιπτώσεις στην ακεραιότητά τους.

1.4.1. Δυναμικά μεμβρανών

Τα λιπίδια έχουν λίγες φορτισμένες ομάδες και δεν μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα, επομένως συμπεριφέρονται σαν μονωτές, σε αντίθεση με το ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο υγρό που περιέχουν πολλά ιόντα αλλά και πρωτεΐνες που έχουν μεγάλη πυκνότητα ηλεκτρονίων και επομένως μπορούν να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Επομένως το λιπιδικό στρώμα της κυτταρικής μεμβράνης είναι μια διάταξη υψηλής αντίστασης που χωρίζει δυο διαμερίσματα το ενδοκυττάριο και το εξωκυττάριο υγρό. Σε όλα τα κύτταρα υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης που είναι γνωστή ως *διαφορά δυναμικού* της κυτταρικής μεμβράνης ή πιο απλά ως *μεμβρανικό δυναμικό*. Με άλλα λόγια η μεμβράνη των κυττάρων χαρακτηρίζεται από μια *πόλωση*, μια διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης. Η διαφορά αυτή του δυναμικού είναι χαρακτηριστική για κάθε είδος κυττάρου και έχει μέγεθος λίγα milliVolt (mV). Μολονότι όλα τα κύτταρα του σώματός μας είναι *πολωμένα*, έχουν δηλαδή μια διαφορά δυναμικού στην κυτταρική τους μεμβράνη δεν είναι όλα τους *διεγέρσιμα*.

Διεγέρσιμο κύτταρο είναι το κύτταρο εκείνο το οποίο μπορεί να ανταποκρίνεται σε ένα ερέθισμα που δέχεται με παραγωγή ηλεκτρικού σήματος που μεταφέρεται αμείωτο κατά μήκος της μεμβράνης. Διεγέρσιμα κύτταρα είναι τα νευρικά κύτταρα, τα μυϊκά κύτταρα και πολλά κύτταρα αισθητηρίων υποδοχέων. Τα διεγέρσιμα κύτταρα απαντούν σε ερεθίσματα που δέχονται μεταβάλλοντας το δυναμικό της μεμβράνης τους είτε αυξάνοντάς το (**υπερπόλωση**) είτε μειώνοντάς το (**εκπόλωση**).



Εικόνα 1.12: Πόλωση, υπερπόλωση και εκπόλωση ενός νευρικού κυττάρου.

1.4.1.1. Βαθμωτά Δυναμικά και Δυναμικά Δράσης

Τα ηλεκτρικά σήματα στην κυτταρική μεμβράνη μπορούν να εμφανιστούν με δύο μορφές, τα *βαθμωτά δυναμικά* και τα *δυναμικά δράσης*. Τα βαθμωτά δυναμικά μεταφέρουν ερεθίσματα σε μικρές αποστάσεις. Πρόκειται για μικρές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης οι οποίες περιορίζονται σε μια μικρή περιοχή αυτής και εξασθενίζουν μετά από 1-2 mm από το σημείο διέγερσης. Τα δυναμικά αυτά παράγονται συνήθως από κάποιο ερέθισμα είτε προς την κατεύθυνση της αποπόλωσης είτε προς την κατεύθυνση της υπερπόλωσης. Ονομάζονται βαθμωτά γιατί το εύρος της αλλαγής του δυναμικού μεταβάλλεται και σχετίζεται με το μέγεθος του ερεθίσματος.

Στα **βαθμωτά δυναμικά** έχουμε ροή φορτίου από το σημείο διέγερσης προς γειτονικές περιοχές της μεμβράνης, οι οποίες βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Δημιουργείται ρεύμα στον ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο χώρο, ανάλογο με την τιμή του βαθμωτού δυναμικού. Από παραδοχή, η κατεύθυνση που κινούνται τα θετικά ιόντα ορίζεται ως η φορά του ρεύματος, ενώ τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια κινούνται ταυτόχρονα προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Από την άλλη πλευρά, **τα δυναμικά δράσης** παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τα βαθμωτά δυναμικά. Είναι ταχείες μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης οι οποίες διαρκούν μόλις 1ms, όπου όμως το δυναμικό της μεμβράνης μπορεί να μεταβληθεί μέχρι και κατά 100mV. Επιπλέον, χρησιμοποιείται από το νευρικό σύστημα για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

Το δυναμικό δράσης προκαλείται όταν το διαμεμβρανικό δυναμικό στο σώμα του νευρώνα αλλάξει από την τιμή ηρεμίας και περάσει ένα ορισμένο κατώφλι, συνήθως τα 50mV. Τότε έχουμε ενεργοποίηση του νευρώνα, αποπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης στη 'ρίζα' όπου ο άξονας ξεκινά από το σώμα, και εμφάνιση μιας αιχμής δυναμικού ως τα 30m, με επακόλουθη επιστροφή στην αρχική κατάσταση ηρεμίας αφού συμβεί επαναπόλωση και υπερπόλωση.

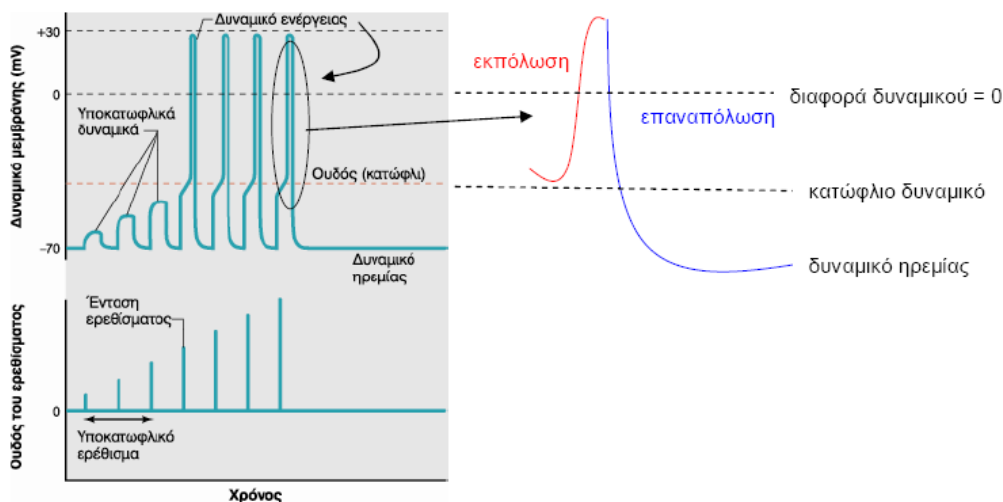
1.4.1.2. Ενεργό Δυναμικό

Ας φανταστούμε ένα κύτταρο σε κατάσταση ηρεμίας και έστω ένα ερέθισμα που δέχεται το κύτταρο αυτό και το οποίο προκαλεί μια μείωση του δυναμικού της μεμβράνης του κυττάρου από την αρχική τιμή (δυναμικό ηρεμίας) σε μια νέα χαμηλότερη τιμή. Το ερέθισμα προκάλεσε, επομένως, μια

εκπόλωση και όσο ισχυρότερο είναι το ερέθισμα, τόσο μεγαλύτερη και η εκπόλωση. Η εκπόλωση όμως δεν κρατάει πολύ και έτσι η μεμβράνη του κυττάρου επανέρχεται σύντομα στο αρχικό της δυναμικό (το δυναμικό ηρεμίας). Όσο η εκπόλωση είναι κάτω από μια ορισμένη τιμή (-55 mV), γνωστή ως **κατώφλιο δυναμικό** (ή επίπεδο πυροδότησης), τότε πάντα η εκπόλωση (μικρή ή μεγάλη) θα ακολουθείται από επαναπόλωση και αυτές οι αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης θα παραμένουν περιορισμένες στο σημείο του κυττάρου που δέχτηκε το σήμα. Αν όμως η διαφορά δυναμικού της μεμβράνης μειωθεί (εκπόλωση) πέρα από την τιμή του κατώφλιου δυναμικού τότε προκαλείται μια παλμική μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης (**παλμική μεταβολή** σημαίνει γρήγορη, μεγάλη και σύντομη εκπόλωση, ακολουθούμενη από ταχεία επαναπόλωση) που ονομάζεται **δυναμικό ενεργείας**.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δυναμικού ενεργείας είναι:

- Μεταφέρεται αμείωτο κατά μήκος της μεμβράνης.
- Διέπεται από τον «νόμο όλο ή ουδέν». Αυτό σημαίνει ότι αν ένα ερέθισμα προκαλεί εκπόλωση μεγαλύτερη από το κατώφλιο δυναμικό τότε όσο κι αν αυξάνεται η ένταση του ερεθίσματος αυτού θα προκαλεί πάντα το ίδιο πάντα δυναμικό ενεργείας.



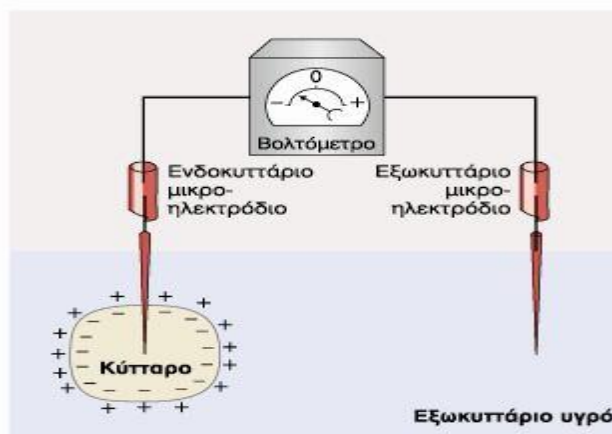
Εικόνα 1.13: Ερέθισμα και δυναμικό μεμβράνης

Σε κάθε **ερέθισμα** (κάτω διάγραμμα) απαντά το κύτταρο με μια μείωση της διαφοράς δυναμικού της μεμβράνης του, δηλαδή με μια **εκπόλωση** (πάνω διάγραμμα). Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις: (1) η προκαλούμενη εκπόλωση να είναι μικρότερη από το κατώφλιο δυναμικό και (2) η εκπόλωση να είναι πάνω από το κατώφλιο δυναμικό. Στην **πρώτη περίπτωση** οι εκπολώσεις του κυττάρου αυξάνονται αναλογικά με την ένταση του ερεθίσματος, δηλαδή όσο αυξάνεται το ερέθισμα τόσο αυξάνεται η εκπόλωση. Στη **δεύτερη**

περίπτωση η ένταση του ερεθίσματος είναι αρκετά μεγάλη ώστε να προκαλέσει μια μεγάλη εκπόλωση, δηλαδή μια μεγάλη μείωση της διαφοράς δυναμικού της μεμβράνης του κυττάρου. Όταν η διαφορά αυτή του δυναμικού μειωθεί από -70 mV σε -55 mV (που είναι το κατώφλιο δυναμικό) τότε, το κύτταρο παράγει από **μόνο του** ένα ηλεκτρικό σήμα, μια μεγάλη και σύντομη μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης, γνωστή ως **δυναμικό ενεργείας**. Στην παλμική αυτή μεταβολή ξεχωρίζουμε μια ανοδική φάση (η εκπόλωση) και μια καθοδική φάση (η επαναπόλωση). Κατά τη διάρκεια του δυναμικού ενεργείας το δυναμικό της μεμβράνης αναστρέφεται (από αρνητικό γίνεται θετικό).

1.4.1.3. Πώς μετρούμε το μεμβρανικό δυναμικό

Στη θεωρία, η μέθοδος μέτρησης του δυναμικού μεμβράνης είναι απλή, αλλά στην πράξη πολλές φορές δύσκολη, λόγω του μεγέθους πολλών ιών. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μικροσωλήνας στον οποίο τοποθετείται πολύ ισχυρό διάλυμα χλωριούχου καλίου που δρα ως ηλεκτρικός αγωγός. Η μεμβράνη της οποίας το δυναμικό πρόκειται να μετρηθεί, τρυπιέται με τον μικροσωλήνα που συνδέεται ηλεκτρικά με κατάλληλο μετρητή, όπως φαίνεται στην εικόνα, οπότε το ηλεκτρολυτικό διάλυμα διαχέεται στο εσωτερικό της ίνας. Μετά, ένα άλλο ηλεκτρόδιο, το λεγόμενο 'αδιάφορο ηλεκτρόδιο', τοποθετείται στο διάμεσο υγρό, και με κατάλληλο βολτόμετρο μετριέται η διαφορά δυναμικού μεταξύ εσωτερικού της ίνας και εξωτερικού υγρού. Πρόκειται για πολύ προηγμένη ηλεκτρονική συσκευή, ικανή για μέτρηση πολύ μικρών δυναμικών, παρά την εξαιρετικά μεγάλη αντίσταση στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το ρύγχος του μικροσιφωνίου, το οποίο έχει διάμετρο συνήθως μικρότερη από 1μ και αντίσταση πολλές φορές ακόμη και ένα δισεκατομμύριο Ohms. Προκειμένου να καταγραφούν γρήγορες μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης στη διάρκεια της μεταβίβασης νευρικών ώσεων, το μικροηλεκτρόδιο συνδέεται με παλμογράφο.



Εικόνα 1.14: Μέτρηση του δυναμικού μεμβράνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

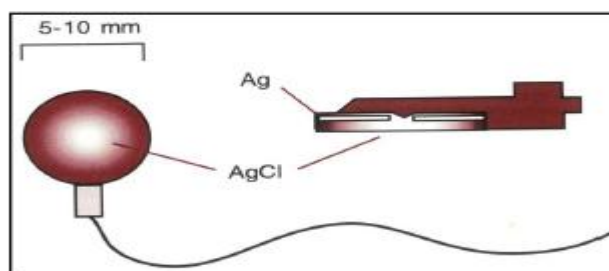
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και Προκλητά Δυναμικά

2.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι η καταγραφή και μέτρηση των διαφόρων δυναμικών που παρουσιάζονται πάνω στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του ανθρώπινου κρανίου. Ο *Richard Caton* από το Λίβερπουλ το 1875, ιατρός και καθηγητής στην ιατρική σχολή, ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε ηλεκτρικά εγκεφαλικά σήματα, εξετάζοντας απευθείας την επιφάνεια των εκτεθειμένων εγκεφάλων των ζώων. Όμως αυτός που πρώτος κατέγραψε το ανθρώπινο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ήταν ο *δρ Hans Berger*, ένας Αυστριακός ψυχίατρος. Αυτό συνέβη στις αρχές της δεκαετίας του '20, όταν ο Berger πέτυχε τα πρώτα αποτελέσματά του σε υποκείμενα που είχαν κρανία με διάκενο κάτω από το δέρμα εξαιτίας της έλλειψης κάποιου οστού. Η μέτρηση των σημάτων αυτών χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και ακρίβεια αφού τα μετρούμενα ηλεκτρικά σήματα είναι ασθενή και κυμαίνονται από περίπου 1μV ως 100μV.

2.1.1 Λειτουργία των ηλεκτροδίων

Το πρώτο στάδιο του συστήματος λήψης και καταγραφής των σημάτων του ΗΕΓ ξεκινάει από τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται πάνω στο κεφάλι. Τα ηλεκτρόδια είναι αισθητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν το ρεύμα ιόντων στο εσωτερικό του κρανίου σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στο καλώδιο, το οποίο οδηγεί το ρεύμα αυτό σε επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η επαφή των ηλεκτροδίων με το δέρμα γίνεται μέσω μιας κολλώδους ουσίας ή μέσω ενός μικρού δακτυλιδιού, που από τη μια μεριά προσκολλάται στο δέρμα και από την άλλη στο κυρίως ηλεκτρόδιο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 2.1: Ηλεκτρόδιο με επαφή δακτυλίου

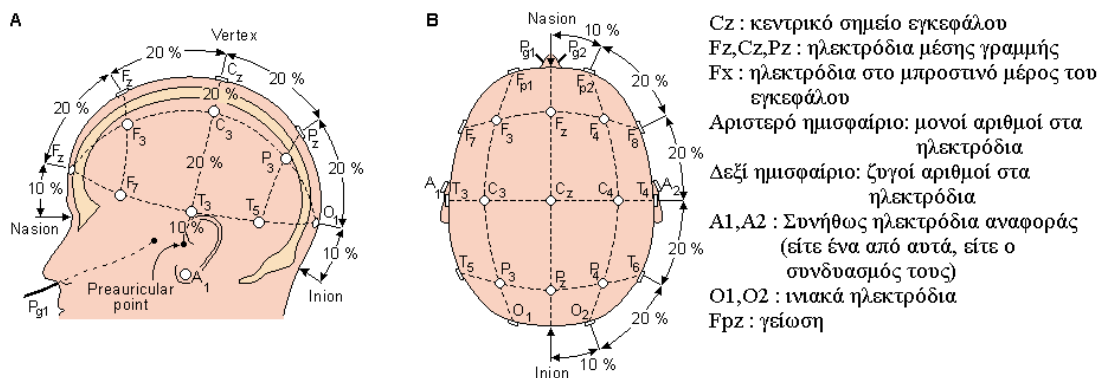
Στα σημεία όπου τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια, το δέρμα καθαρίζεται καλά με οινόπνευμα για να επιτύχουμε χαμηλή αντίσταση επαφής, κάτω από 5KΩ. Στα ίδια σημεία χρησιμοποιείται ειδικό υγρό που έχει ρόλο ηλεκτρολύτη. Έτσι είναι δυνατή η κίνηση ιόντων του "συνόρου" ηλεκτροδίου-ηλεκτρολύτη μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η ισορροπία αυτή είναι συνάρτηση τη ιοντικής

συγκέντρωσης που υπάρχει στις δύο πλευρές του συνόρου. Δημιουργούνται τελικά δύο φορτισμένα στρώματα στις δύο πλευρές του συνόρου, ένα στη μεταλλική επιφάνεια και ένα πάνω στο υγρό υλικό κάτω από το ηλεκτρόδιο, εμφανίζοντας έτσι μια διαφορά δυναμικού η οποία εμποδίζει τη συνέχιση της κίνησης των ιόντων, αλλά είναι ταυτόχρονα ευαίσθητη στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων. Όταν μέσα στον εγκέφαλο υπάρξει σήμα, δηλαδή ροή ιόντων, αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της ιοντικής συγκέντρωσης και αυτόματα μεταβολή της διαφοράς δυναμικού των στρωμάτων άρα και ροή ηλεκτρονίων από την πλευρά του αγωγίμου ηλεκτροδίου. Είναι επιθυμητό η τάση στο "σύνορο" να επηρεάζεται μόνο από τα ιοντικά ρεύματα του ανθρώπινου κεφαλιού και όχι από θερμοκρασιακές μεταβολές ή μηχανικές μετακινήσεις των ηλεκτροδίων. Την απαίτηση αυτή ικανοποιούν ηλεκτρόδια αποτελούμενα από το συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του. Ένα από συνήθως χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια είναι αυτό που κατασκευάζεται από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) και χρησιμοποιείται με ηλεκτρολύτη που περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου.

2.1.2 Τρόποι τοποθέτησης των ηλεκτροδίων

Για την επιλογή των θέσεων του κάθε ηλεκτροδίου πάνω στο κεφάλι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα, το δημοφιλέστερο εκ των οποίων είναι το διεθνές Σύστημα 10-20. Το πρότυπο αυτό οφείλει την ονομασία του στην επιλογή του 20% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια και επίσης στην επιλογή του 10% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιό του.

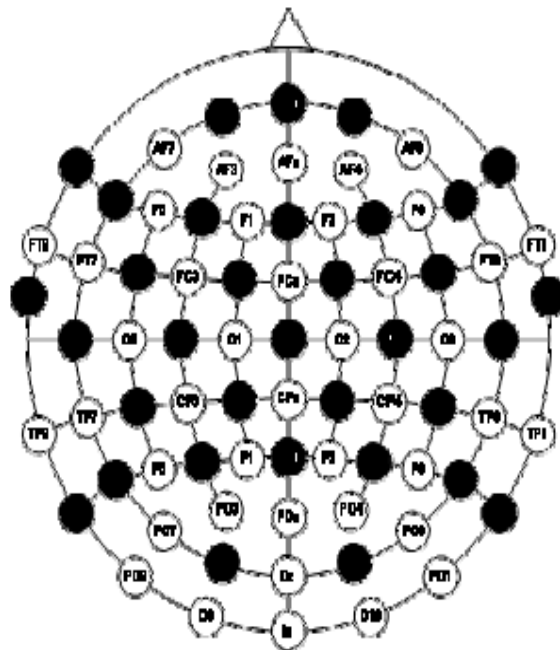
Όπως λοιπόν φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του προς εξέταση κρανίου:



Εικόνα 2.2: Τυπικές απαγωγές με το σύστημα 10-20

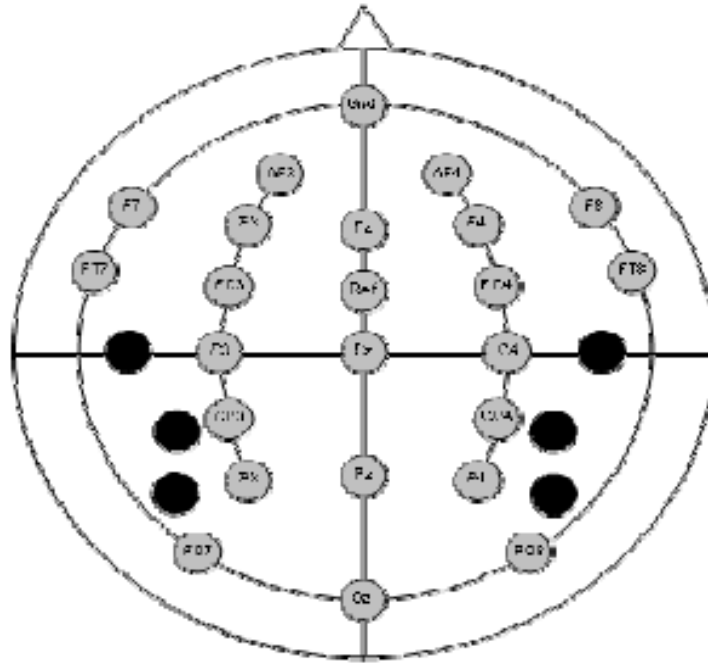
Εκτός όμως από το "διεθνές σύστημα 10-20 υπάρχουν και άλλα συστήματα τοποθέτησης ηλεκτροδίων που προορίζονται κυρίως για εξειδικευμένες εφαρμογές. Χαρακτηριστικά μπορούμε να παραθέσουμε μερικές εναλλακτικές τοποθετήσεις ηλεκτροδίων.

Ένα ακόμη σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται ειδικά για την μελέτη της επιληψίας είναι το BESA 32-Ch-Arrangement το οποίο έχει εισαχθεί από τους καθηγητές Scherg και Heidelberg. Ο τρόπος τοποθέτησης των ηλεκτροδίων σύμφωνα με αυτό το σύστημα φαίνεται παρακάτω:



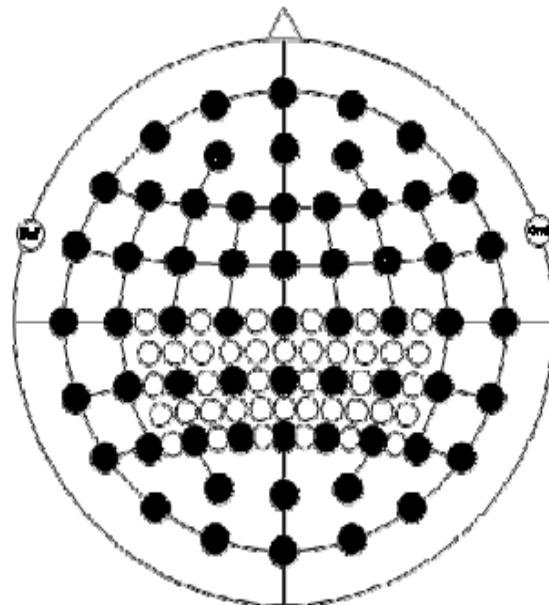
Εικόνα 2.3: Σύστημα BESA 32-Ch-Arrangement

Ένα άλλο σύστημα τοποθέτησης των ηλεκτροδίων είναι το Left-Temporo-Parietal/Right-Temporo-Parietal Electrode Placement (LTP-RTP) (ή αλλιώς Wernicke-Left/Wernicke-Right-Electrode Placement (WL/WR) 29-Channel Arrangement το οποίο χρησιμοποιείται για εφαρμογές που έχουν αν κάνουν με τη μελέτη της γλώσσας.



Εικόνα 2.4: Σύστημα (WL/WR) 29-Channel Arrangement

Τέλος ένα ακόμη σύστημα είναι το Kombi-Montage και παρατίθενται παρακάτω:



Εικόνα 2.5: Σύστημα Kombi-Montage

2.1.3. Χαρακτηριστικά ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Η ερμηνεία ενός ΗΕΓ βασίζεται σε ορισμένους κανόνες και κριτήρια. Το κυριότερο κριτήριο είναι η συχνότητα των δυναμικών που περιέχονται στο διάγραμμα. Όμως αν και υπάρχουν σαφή κριτήρια, ένα διάγραμμα μπορεί να ευρίσκεται στα όρια ανάμεσα στο φυσιολογικό και στο παθολογικό. Ως φυσιολογικό θεωρείται το ΗΕΓ ενήλικα που βρίσκεται σε εγρήγορση και δεν εμφανίζει οργανική ή λειτουργική διαταραχή του εγκεφάλου. Η οποιαδήποτε φύσεως ΗΕΓ δραστηριότητα, η οποία συνίσταται από μια σειρά ημιτονοειδών κυμάτων με περίπου σταθερή συχνότητα μέσα στο φάσμα, ονομάζεται ρυθμική. Όταν η περίοδος δεν είναι σταθερή η ΗΕΓ δραστηριότητα ονομάζεται άρρυθμη. Όταν η ΗΕΓ δραστηριότητα σε δύο ομόλογες περιοχές του εγκεφάλου είναι του ίδιου τύπου, έχει την ίδια συχνότητα και το ίδιο ύψος, λέγεται συμμετρική, διαφορετικά λέγεται ασύμμετρη.

Το εύρος των συχνοτήτων που περιέχεται σε ένα ΗΕΓ εκτείνεται από 0,1Hz μέχρι 70Hz. Οι συχνότητες αυτές οι οποίες χωρίζονται σε ομάδες, ονομάζονται ρυθμοί και είναι οι εξής:

- Συχνότητες <4Hz (ρυθμός δέλτα)
- Συχνότητες από 4 μέχρι 8 Hz (ρυθμός θήτα)
- Συχνότητες από 8 μέχρι 13 Hz (ρυθμός άλφα)
- Συχνότητες από 13 μέχρι 30Hz (ρυθμός βήτα)
- Συχνότητες από 35 μέχρι 70 Hz (ταχείς ρυθμοί)

Βασικός ρυθμός ονομάζεται η συνεχής ΗΕΓ δραστηριότητα, η οποία κυριαρχεί σε ένα διάγραμμα. Στο φυσιολογικό άτομο συμπίπτει με το ρυθμό άλφα. Ακολουθεί η περιγραφή των χαρακτηριστικών κάθε ρυθμού.

Ρυθμός Άλφα

Ρυθμός άλφα λέγεται η ηλεκτρική δραστηριότητα του εν εγρήγορση εγκεφάλου που έχει συχνότητα 8-13Hz και η οποία καταγράφεται καλύτερα με τα μάτια κλειστά. Επιβράδυνση του ρυθμού άλφα μπορεί να οφείλεται σε λήψη φαρμάκων, κατάχρηση ουσιών ή σε ποικίλης αιτιολογίας εγκεφαλοπάθειες [13]. Παρατηρείται ακόμη στα περισσότερα άτομα της τρίτης ηλικίας. Αύξηση του ρυθμού άλφα από την άλλη, παρατηρείται στα άτομα με υπερθυρεοειδισμό. Το ύψος του ρυθμού άλφα μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 150μV. Συνήθως βέβαια κυμαίνεται μεταξύ 20-60μV. Ανάμεσα στα δύο ημισφαίρια η συχνότητα του ρυθμού άλφα είναι επίσης περίπου ίδια. Αν παρατηρηθεί διαφορά μεγαλύτερη από 1Hz μεταξύ τους, τότε είναι παθολογική. Η μορφολογία του ρυθμού άλφα είναι κατά το μάλλον ή ήττον ημιτονοειδής.

Ρυθμός Βήτα

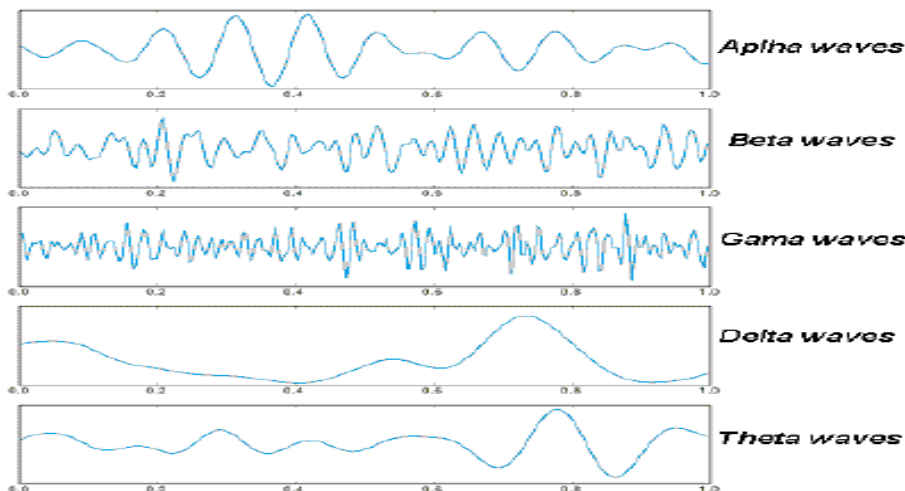
Βήτα ονομάζεται κάθε ρυθμός με συχνότητα από 13 μέχρι 35Hz. Ο ρυθμός βήτα συναντάται λίγο ως πολύ σε όλους τους ενήλικες και περισσότερο στις γυναίκες. Οι βήτα ρυθμοί συμβαίνουν σε άτομα που είναι σε εγρήγορση και έχουν την προσοχή τους στραμμένη σε εξωτερικά ερεθίσματα ή καταβάλλουν συγκεκριμένη πνευματική προσπάθεια. Επίσης συμβαίνουν και κατά τη διάρκεια βαθύ ύπνου και ύπνου REM, όταν δηλαδή τα μάτια παίζουν μπρος πίσω. Η μορφολογία του αν και ποικίλει από άτομο σε άτομο, είναι λίγο έως πολύ ημιτονοειδής. Είναι συνήθως ρυθμικός και στους περισσότερους ανθρώπους το ύψος του είναι της τάξεως των 5-20μV.

Ρυθμός Θήτα

Είναι ο ΗΕΓ ρυθμός που έχει συχνότητα 4-8Hz. Αποτελεί τη συνηθέστερη παθολογική ΗΕΓ δραστηριότητα, ανεξαρτήτου αιτιολογίας. Όμως στα παιδιά ηλικίας 5-6 ετών αποτελεί τη βασική ΗΕΓ δραστηριότητα και θεωρείται φυσιολογικός. Έχει ημιτονοειδή μορφολογία και το ύψος του κυμαίνεται από 50-150μV. Η εστιακή καταγραφή αιχμηρού ρυθμού θήτα σε ενήλικα είναι δυνατόν να αποτελεί εκδήλωση ερεθιστικής βλάβης η οποία μπορεί να οφείλεται σε οργανική βλάβη ή υποφλοιώδη επιληπτική εκφόρτιση.

Ρυθμός δέλτα

Ο ρυθμός δέλτα περιλαμβάνει τις συχνότητες από 0.1-4Hz και έχουν ύψος από 10- 300μV. Η μορφολογία του δεν είναι συγκεκριμένη και ποικίλλει ανάλογα με το ύψος του. Στον ευρισκόμενο σε εγρήγορση ενήλικα υποδηλώνει βαριά εγκεφαλική βλάβη. Φυσιολογικά επίσης θεωρούνται τα κύματα δέλτα που καταγράφονται στα μικρά παιδιά στον ύπνο και κατά την υπέρπνοια.



Εικόνα 2.6: Χαρακτηριστικές κυματομορφές βασικών ρυθμών εγκεφαλογραφήματος

Εκτός από τους 4 βασικούς ρυθμούς που παρατηρούμε σε ένα εγκεφαλογράφημα ένας ακόμη ρυθμός που παρατηρείται είναι ο ρυθμός μ (M_{μ}) ο οποίος είναι ένα φυσιολογικό εύρημα και καταγράφεται από τα ηλεκτρόδια C3,C4 του Συστήματος 10-20 τα οποία βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του κεφαλιού. Ο Ρυθμός αυτός είναι πιο ευδιάκριτος όταν ο ασθενής νυστάζει και όταν έχει ανοιχτά τα μάτια. Τέλος σε εγκεφαλογράφημα έχουν ανιχνευτεί κύματα τα οποία ονομάστηκαν (λ) Λάμδα, τα οποία είναι συνήθως συμμετρικά και καταγράφονται από τα ινιακά ηλεκτρόδια. Εμφανίζονται όταν ο άνθρωπος του οποίου παρακολουθούμε την εγκεφαλική δραστηριότητα στρέφει την προσοχή του σε μια εικόνα με ενδιαφέρον περιεχόμενο ή λεπτομέρειες.

2.1.4 Ενίσχυση σήματος ΗΕΓ

Το κάθε σήμα το οποίο ενισχύεται στο ΗΕΓ είναι η διαφορά μεταξύ των δυναμικών που ανά πάσα στιγμή παρουσιάζουν δύο ηλεκτρόδια μεταξύ τους. Οι διαφορές δυναμικού που ανιχνεύονται, οδηγούνται στο τμήμα της ενισχυτικής διάταξης του ΗΕΓ, η οποία περιέχει και διατάξεις φιλτραρίσματος. Εκεί κάθε ανιχνευόμενο σήμα ενισχύεται ώστε να μπορεί να μετρηθεί. Συντελεστές ενίσχυσης της τάξης του 10^5 είναι συνηθισμένοι. Η πρώτη βαθμίδα ενίσχυσης, η προενίσχυση, πρέπει να αποτελείται από ενισχυτές χαμηλού θορύβου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται κυκλώματα με συνδυασμούς διαφορικών ενισχυτών, ώστε ο λόγος απόρριψης κοινού σήματος (common mode rejection ratio-CMRR) να είναι στο επίπεδο των 120dB. Κατόπιν τα αναλογικά σήματα μέσω συσκευής πολυπλεξίας οδηγούνται στο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) όπου τα ψηφιακά πλέον σήματα καταμετρώνται σε ηλεκτρονικό βολτόμετρα. Στη συνέχεια, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής λαμβάνει τα ψηφιακά δεδομένα των μετρήσεων, οπότε υπάρχει η δυνατότητα για ψηφιακή επεξεργασία και απεικόνιση του σήματος, είτε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (online), είτε σε υστερότερο χρόνο εφόσον αποθηκευτεί το σήμα στο δίσκο του υπολογιστή (offline).

2.1.5 Η Χρησιμότητα του ΗΕΓ

Η χρήση του ΗΕΓ στη Νευρολογία είναι ευρύτατη, καθώς αποτελεί μια μέθοδο φθηνή, ανώδυνη και απλή στην εφαρμογή της. Από αυτή εξάγουμε συμπεράσματα για τη σωστή εξέλιξη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος ενός ανθρώπου από τη γέννησή του έως την ενηλικίωση. Επίσης, το ΗΕΓ μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία στην περίπτωση εγκεφαλοπαθειών (π.χ. νόσο Jacobs-Kreutzfeldt, Alzheimer), τόσο για τη βαρύτητα της νόσου όσο και για την υποβοήθηση της διάγνωσης και της πρόγνωσης.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη του ΗΕΓ στην περίπτωση της **επιληψίας**, όπου εμφανίζονται 'αιχμές' και 'βραχέα κύματα' (spikes and short

waves-SSW) υψηλής συχνότητας, με διάρκεια από 20-70 msec και 70-200 msec αντίστοιχα. Επίσης, το ΗΕΓ βοηθά στην **επιβεβαίωση όγκων**, καθώς η ηλεκτρική δραστηριότητα μειώνεται στην περιοχή του όγκου, στον νόμιμο ορισμό του θανάτου (εγκεφαλικός θάνατος) ώστε να επιτρέπεται η αφαίρεση οργάνων για μεταμόσχευση όταν ο φλοιός του εγκεφάλου δεν έχει ηλεκτρική δραστηριότητα, στη μελέτη κρανιοεγκεφαλικών κακώσεων, κώματος κ.α.

2.1.6 Τεχνικά προβλήματα του ΗΕΓ

Οι διαφορές δυναμικού που καταγράφει το ΗΕΓ μετριοούνται σε μV . Επειδή τα σήματα είναι τόσο ασθενή, είναι πολύ ευάλωτα. Η κυματομορφή του ΗΕΓ παραμορφώνεται εύκολα λόγω παρεμβολής και προσθήκης ξένων (μη εγκεφαλικών) σημάτων που μπορεί να είναι ψηλότερα από εκείνα που θέλουμε να καταγράψουμε. Οι κύριες πηγές των παρασιτικών σημάτων είναι οι εξής:

α) Παράσιτα Ηλεκτροδίων: Αυτά είναι συνήθως τα ενοχλητικότερα από τα ανεπιθύμητα σήματα. Αν ο ασθενής κινηθεί ή αν κινηθούν τα καλώδια που συνδέουν τα ηλεκτρόδιά του με το μηχάνημα διαταράσσεται η ηλεκτροχημική ισορροπία μεταξύ ηλεκτροδίων και δέρματος, εκεί δηλαδή που μετατρέπεται το ρεύμα ιόντων (στον ασθενή) σε ρεύμα ηλεκτρονίων (στα ηλεκτρόδια και τα σύρματα). Έτσι, μπορεί να παραχθούν αλλαγές δυναμικού που αποτελούν σήματα για το μηχάνημα. Αυτά ενισχύονται μαζί με τα ανεπιθύμητα σήματα και αλλάζουν το ΗΕΓ. Επίσης, αν ο ασθενής ιδρώνει, ο ιδρώτας θα επηρεάσει την ισορροπία κάτω από τα ηλεκτρόδια. Κατά συνέπεια θα εμφανιστούν μεγάλες, αλλά βραδείας μεταβολής, αλλαγές δυναμικού. Δηλαδή επηρεάζουν τη γραμμή βάσης του ΗΕΓ.

β) Δυναμικά από την καρδιά και τα μάτια: Η λειτουργία της καρδιάς παράγει δυναμικά στο δέρμα. Αυτό βέβαια ισχύει και για το δέρμα της κεφαλής. Ευτυχώς, η απόσταση μεταξύ καρδιάς και κεφαλής είναι μεγάλη. Έτσι το σήμα που παίρνουν τα ηλεκτρόδια είναι πολύ μικρό. Όταν είναι σημαντικό το καρδιακό σήμα δίνει στο ΗΕΓ οξείες αιχμές με την περιοδικότητα της καρδιάς (ανά 0,8 sec). Η παρεμβολή που προκαλείται στο ΗΕΓ όταν υπάρχει εμφυτευμένος βηματοδότης της καρδιάς είναι ισχυρότερη και δεν εξαλείφεται. Αντίστοιχα, η διαφορά μεταξύ του πρόσθιου και του οπίσθιου τμήματος του ματιού είναι αρκετά mV. Αυτό το δίπολο δίνει ρεύματα δια των ιστών και δυναμικά στο δέρμα της κεφαλής, που αλλάζουν, όταν κινούνται τα μάτια του εξεταζόμενου.

γ) Ηλεκτρική και Μαγνητική Παρεμβολή από γειτονικά ρεύματα:

Έστω ότι ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο (220V, 50Hz) περνά σε μικρή απόσταση από τον ασθενή. Τότε το μονωμένο σώμα του ασθενούς, επειδή βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, θα αποκτήσει ένα δυναμικό το οποίο μπορεί να φτάνει σε υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα δυναμικά του ΗΕΓ και να προκαλέσουν σήματα για το μηχάνημα που υπερτίθεται στο ΗΕΓ. Αν τώρα το παραπάνω καλώδιο διαρρέεται από ρεύμα έντασης, δημιουργεί στον γύρω χώρο του μαγνητικό πεδίο (νόμος Biot- Savart). Σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές, οι μαγνητικές παρεμβολές προκαλούν ασθενή παράσιτα.

δ) Παρεμβολή από πεδία υψηλής (ραδιοφωνικής) συχνότητας:

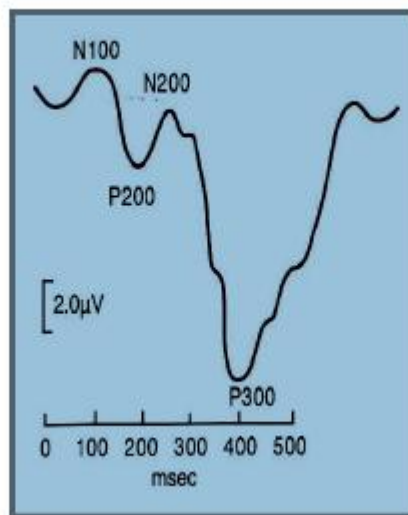
Κάθε σύρμα που διαρρέεται από υψίσυχο ρεύμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Η πηγή αυτών των κυμάτων μπορεί να είναι η κεραία ενός ραδιοφωνικού σταθμού ή ο σπινθήρας που παράγεται κατά τη διακοπή κάποιου ηλεκτρικού ρεύματος. Τα πεδία ραδιοφωνικής συχνότητας που προέρχονται από ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς πομπούς έχουν μικρή ένταση (λίγα mV ανά μέτρο μήκους στον αέρα). Έτσι τα παράσιτά τους εξαλείφονται εύκολα με βαθυπερατό φίλτρο. Αν όμως ο πομπός είναι κοντά ή αν στον ίδιο χώρο (ή σε γειτονικό) λειτουργεί μια φυσιοθεραπευτική ή χειρουργική διαθερμία, το ηλεκτροφυσιολογικό μας όργανο μπορεί να δεχθεί υψηλά υψίσυχα σήματα.

2.2 Βιοματικά Δυναμικά

Η διαδικασία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος είναι μη επεμβατική και εξαιρετικά ανώδυνη. Γι' αυτό τον λόγο, στις μέρες μας χρησιμοποιείται ευρέως για την μελέτη των εγκεφαλικών γνωστικών διαδικασιών όπως η αντίληψη, η μνήμη, η προσοχή, η ομιλία και η συγκίνηση. Η πιο χρήσιμη εφαρμογή της είναι η καταγραφή των **βιοματικών δυναμικών** του εγκεφάλου (**Event Related Potentials** ή **ERPs**), που συνήθως αναφερόμαστε σε αυτά με τον όρο **προκλητά δυναμικά (Π.Δ.)**, αν και αυτό δεν είναι απολύτως ακριβές όπως θα δούμε στην συνέχεια.

Το ΗΕΓ αναφέρεται στην αυθόρμητη ηλεκτρική ρυθμική ταλάντωση του εγκεφάλου όταν βρίσκεται σε ηρεμία και δεν δέχεται εξωτερικά ερεθίσματα. **Τα Π.Δ. είναι μικρές διακυμάνσεις τάσης**, αποτέλεσμα της προκαλούμενης νευρικής δραστηριότητας από ερεθισμούς στους οποίους εκτίθεται ο οργανισμός. Κατά συνέπεια, πρόκειται για τις διαφορές δυναμικού 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. Λόγω της ιδιότητας που έχουν να παρατηρούνται στο επιφανειακό μέρος του κεφαλιού έχουν το πλεονέκτημα ότι αποτελούν ένα μη επεμβατικό τρόπο εκτίμησης της εγκεφαλικής λειτουργίας και δραστηριότητας. Η φύση τους είναι τέτοια ώστε να παρατηρούνται σε συγκεκριμένα και διακριτά χρονικά διαστήματα τα οποία είναι πολύ μικρής διάρκειας, της τάξης των χιλιοστοδευτερολέπτων (ms). Αυτή η ειδική ‘απάντηση’ του εγκεφάλου, το προκλητό δυναμικό, μπορεί να παραχθεί από δομές τόσο του κεντρικού όσο και του περιφερικού νευρικού συστήματος και σχετίζεται χρονικά με το ερέθισμα. Γενικώς έχει επικρατήσει όταν κανείς αναφέρεται σε προκλητά δυναμικά να εννοεί εκείνα που παράγονται από νευρωνικούς σχηματισμούς του **ΚΝΣ**.



Εικόνα 2.7: Σχηματική παράσταση προκλητού δυναμικού

Οι ηλεκτρικές αλλαγές από τα προκλητά δυναμικά, εξάγονται από τις καταγραφές εγκεφαλικών λειτουργιών, από εξεταζόμενα άτομα, μέσω υπολογιστή. Η διαδικασία ονομάζεται **EEG Time-locked Activity Extraction by Averaging** (Ηλεκτροεγκεφαλογραφική Εξαγωγή Δραστηριότητας Κλειδωμένου Χρόνου με Μεσοποίηση). Η έννοια του *Activity* περιλαμβάνει και καταγραφόμενο σήμα (καταγραφή δραστηριότητας σχετικής με κάποιο ερέθισμα) αλλά και καταγραφόμενο θόρυβο (καταγραφή δραστηριότητας που προέρχεται από το τονικό υπόβαθρο του εγκεφάλου, όπως ο βαθμός διέγερσης την στιγμή μέτρησης κ.α.). Η σηματοληψία σχετιζόμενη με το ερέθισμα μπορεί να εξαχθεί ακριβώς γιατί ‘κλειδώνεται’ χρονικά με τα επαναλαμβανόμενα ερεθίσματα και τις διάφορες λειτουργίες (γνωστικές ή μηχανικές) λειτουργίες του εγκεφάλου. Το *Averaging*, δηλαδή η μεσοποίηση αναφέρεται στην μέθοδο συσχέτισης της δραστηριότητας του εγκεφάλου με ένα επαναλαμβανόμενο

εξωτερικό γεγονός. Συνήθως δείγματα EEG περίπου ενός δευτερολέπτου μετά από κάθε ερέθισμα συλλέγονται και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους. Έτσι προκύπτει το Time-locked σήμα με σχεδόν μηδενισμένο το σήμα θορύβου, αφού ο θόρυβος θεωρείται λευκός.

Οι αυθόρμητες διακυμάνσεις του υποβάθρου του ΗΕΓ είναι τυχαίες σχετικά με το πότε εμφανίστηκαν τα ερεθίσματα και υπολογίζονται κατά μέσο όρο, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι event-related δυνατότητες εγκεφάλου. Αυτά τα ηλεκτρικά σήματα απεικονίζουν μόνο εκείνη την δραστηριότητα που συνδέεται με την επεξεργασία ερεθισμάτων μέσα σε ένα χρονικά περιορισμένο διάστημα. **Το Π.Δ. απεικονίζει έτσι, με υψηλή χρονική ανάλυση, τα σχέδια της νευρωνικής δραστηριότητας που προκαλούνται από ένα ερέθισμα.**

Το μέγεθος των προκλητών δυναμικών συνήθως είναι μικρότερο του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος μέχρι και 100 φορές. Δηλαδή, τα Π.Δ. τείνουν να κυμαίνονται από 1 μ V έως λίγα μ V. Επομένως για την καταγραφή τους είναι απαραίτητο να εφαρμοσθούν μέθοδοι ενίσχυσης και καταγραφής, ώστε να μην επικαλύπτονται από το ΗΕΓ. Αυτό θα μπορούσε να γίνει, είτε με υπέρθεση των κυματομορφών τους, είτε με εφαρμογή της μεθόδου της μεσοποίησης, η οποία πραγματοποιεί αλγεβρική άθροιση για τον υπολογισμό του μέσου όρου.

Τα προκλητά δυναμικά αποτελούν την βάση της ηλεκτροφυσιολογικής μεθόδου απεικόνισης του ΚΝΣ, γιατί πρόκειται ουσιαστικά για καταγραφή της επεξεργασίας ενός ερεθίσματος σε χρόνο της τάξης των ms ή έστω μερικών δευτερολέπτων. Αυτό είναι σημαντικότερο ιατρικά, απ' ότι πιθανότατα ακούγεται, καθώς λαμβάνουμε γνώση για την νευρωνική δραστηριότητα του εγκεφάλου σε πραγματικό χρόνο (real-time clinical evaluation). Στη πράξη, η μέτρηση των Π.Δ., κυρίως χαμηλού εύρους και βραχείας διάρκειας, **κλινικά βοηθούν** την διάγνωση νευρολογικών παθήσεων και την αξιολόγηση διαταραχών, όπως δυσλεξία ή ψυχιατρικές διαταραχές. Τα Π.Δ. χρησιμοποιούνται επίσης για να ελέγξουν τους κωματώδεις ασθενείς και για να αξιολογήσουν τη λειτουργία των ζωτικής σημασίας κέντρων στον ισθμό εγκεφάλου.

2.2.1 Κατηγορίες Προκλητών Δυναμικών

Τα Βιοματικά Δυναμικά χωρίζονται σε

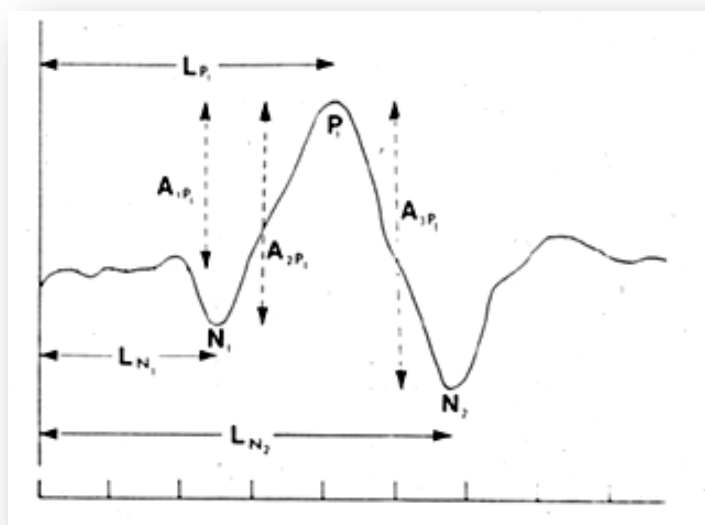
- **Προκλητά Δυναμικά** (Evoked Potentials), όταν το ερέθισμα είναι εξωτερικό δηλαδή προέρχεται από το περιβάλλον του εξεταζόμενου.

- **Εκπεμπόμενα Δυναμικά (Emitted Potentials)**, όταν σχετίζονται με κάποια ψυχολογική διαδικασία του εξεταζόμενου.

Τα Π.Δ., ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που τα προκαλεί διακρίνονται σε:

- **Οπτικά Π.Δ. (Visual Evoked Potentials, VEP)**: Όταν τα ερεθίσματα σχετίζονται με την όραση όπως η εμφάνιση εικόνων, λάμπεις, αλλαγές χρωμάτων κλπ
- **Ακουστικά Π.Δ. (Auditory Evoked Potentials, AEP)**: Όταν τα ερεθίσματα σχετίζονται με την ακοή όπως εκφώνηση λέξεων, κρότοι, εναλλαγή ήχων διαφορετικών συχνοτήτων, έντασης και διάρκειας.
- **Σωματοαισθητικά Π.Δ. (Somatosensory Evoked Potentials, SEP)**: Τα εξωτερικά ερεθίσματα είναι μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικά ρεύματα που ερεθίζουν κάποια συγκεκριμένα νεύρα.

Μία σημαντική παράμετρος που διαχωρίζει τα Π.Δ. σχετίζεται με τον χρόνο εμφάνισής τους σε σχέση με το εξωτερικό ερέθισμα (λανθάνων χρόνος). Για παράδειγμα, τα ακουστικά Π.Δ. διακρίνονται σε πρώιμα (early) (2-12 msec από τη στιγμή του ερεθίσματος), μέσα (middle) (12-50 msec) και αργά ή ύστερα (late) (50-800 msec). Εύκολα μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως το εύρος ζώνης των κυματομορφών μειώνεται ενώ το πλάτος αυξάνεται καθώς αυξάνει ο λανθάνων χρόνος. Οι διαφοροποιήσεις αυτές στο εύρος ζώνης και το πλάτος οφείλονται στο σημείο έκλυσης των δυναμικών μέσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο.



Εικόνα 2.8: Μέτρηση Λανθάνοντα χρόνου (L) και ύψους (A)

Τα Π.Δ. διαχωρίζονται, επίσης, σε εξωγενή και ενδογενή ανάλογα με το πώς σχετίζονται με το εξωτερικό ερέθισμα. Τα εξωγενή έχουν να κάνουν με την φύση του εξωτερικού ερεθίσματος (ένταση, συχνότητα κλπ.) και σχετίζονται με την ακεραιότητα των αισθητηριακών οδών. Παρατηρούνται σε χρόνο μικρότερο των 100msec από την παραγωγή του ερεθίσματος. Αντίθετα τα ενδογενή έχουν την βάση τους στην ψυχολογική επίδραση του εξωτερικού ερεθίσματος στον άνθρωπο καθώς σχετίζονται με διάφορα στάδια νοητικής επεξεργασίας των εξωτερικών ερεθισμάτων στο ΚΝΣ. Παρατηρούνται σε χρόνο μεγαλύτερο των 70msec. Αλλάζουν ανάλογα με το αν το ερέθισμα είναι γνωστό ή άγνωστο, αν είναι δυσάρεστο ή ευχάριστο, αν θυμίζει στον εξεταζόμενο μία προγενέστερη προσωπική του εμπειρία κλπ.

Η μελέτη των Π.Δ. γίνεται πιο συστηματοποιημένη αν στηριχθεί κανείς στα επιμέρους συστατικά (components) που έχουν τα σήματα αυτά. Τα συστατικά αυτά είναι μερικές κυματομορφές του συνολικού σήματος, οι οποίες καθορίζονται βάσει:

- κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του πλάτους δυναμικού
- της χρονικής στιγμής στην οποία κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση
- του χρονικού εύρους το οποίο καταλαμβάνει η μερική κυματομορφή που περιέχει τη συγκεκριμένη κορύφωση

Για τα ακουστικά Π.Δ. που θα αποτελέσουν και αντικείμενο της εργασίας αυτής ο χαρακτηρισμός και ο διαχωρισμός των κυματομορφών έχει ως εξής

α) Κορυφώσεις αριθμούμενες από I ως VII στα πρώιμα δυναμικά (2-12msec από τη στιγμή που παράγεται το ακουστικό ερέθισμα).

β) Συστατικά No, Po, Na, Pa, και Nb στα μέσου χρόνου δυναμικά (12-50msec)

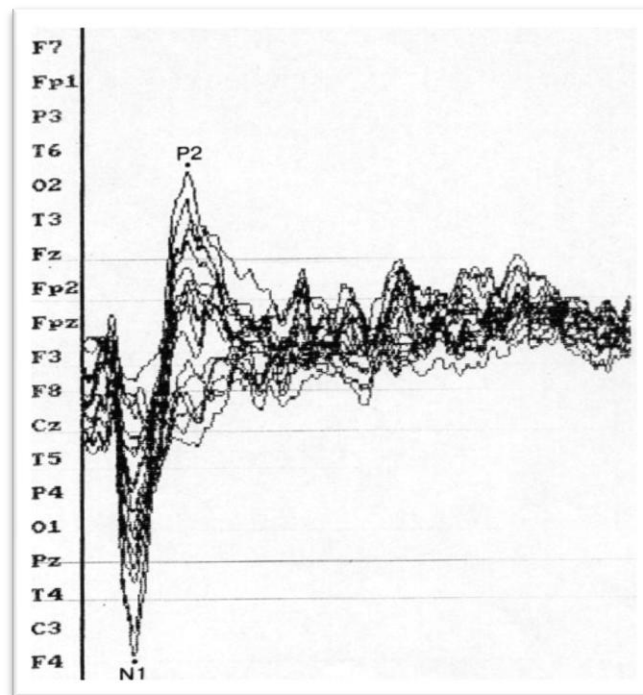
γ) P50, N100, P200, N200, P300, N400, P600 στα ύστερα δυναμικά (50msec και πέρα)

Κορύφωση P50: θεωρείται ο δείκτης των προσυνειδητών πτυχών προσοχής και αντικατοπτρίζει την μετάβαση των πληροφοριών από το θάλαμο στα φλοιώδη προβλητικά πεδία. Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 ως 80 msec μετά το ερέθισμα.

Κορύφωση N100: θεωρείται ο δείκτης επιλεκτικής προσοχής. Αντικατοπτρίζει την κατανομή των πληροφοριών στα κατάλληλα συνειρμικά πεδία. Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού

που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 90 ως 150 msec μετά την παρουσίαση του ερεθίσματος. Ο λανθάνων χρόνος αντικατοπτρίζει την ταχύτητα κινητοποίησης της προσοχής, ενώ το μέγιστο πλάτος αντικατοπτρίζει την ικανότητα ή χωρητικότητα της προσοχής. Γενικά το κύμα N100 έχει μικρό ύψος ή και παρατεταμένο λανθάνοντα χρόνο σε περίπτωση διάσπασης της προσοχής. Μεταβολές του κύματος N100 έχουν παρατηρηθεί σε άτομα που πάσχουν από κατάθλιψη, μεταβολές οι οποίες προφανώς σχετίζονται με κάποιο βαθμό διάσπασης της προσοχής την οποία εμφανίζουν οι καταθλιπτικοί ασθενείς. Μικρό ύψος του κύματος του N100 έχει παρατηρηθεί και σε άτομα τα οποία πάσχουν από το σύνδρομο Gilles de la Tourette.

Κορύφωση P200: θεωρείται ο δείκτης επικέντρωσης της προσοχής αναφορικά με τις επεξεργαζόμενες πληροφορίες. Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 140 ως 250 msec μετά το ερέθισμα.

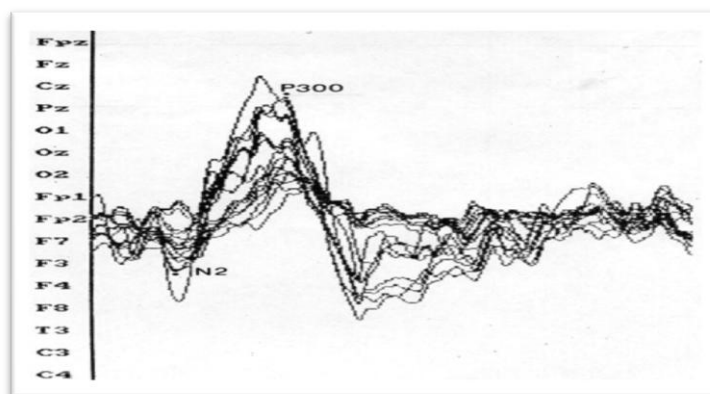


Εικόνα 2.9: Καταγραφή N100-P200

Κορύφωση N200 : Περιγράφει την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 180 ως 300 msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τις νευρωνικές επιδόσεις που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο ΚΝΣ. Καταγράφεται μετά από μεσοποίηση των ήχων στις ίδιες με το P300 περιοχές και από ορισμένους μελετάται σαν **σύμπλεγμα N200-P300**. Το N200 μερικές φορές παρουσιάζει δικορυφία. Η πρώτη κορυφή, η **N200a**, της οποίας το

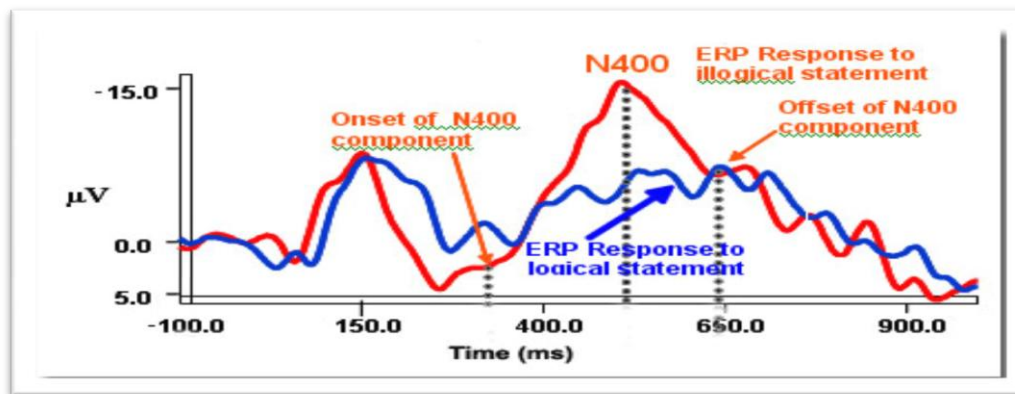
μέγιστο ύψος καταγράφεται από τις βρεγματοϊνιακές περιοχές, θεωρείται εξωγενής. Αντίθετα η δεύτερη, η **N200b**, καταγράφεται χρονικά αργότερα με το ηλεκτρόδιο Cz και σχετίζεται με το βαθμό προσοχής και τη δυσκολία κατηγοριοποίησης του ερεθίσματος. Ένας παράγοντας που επιδρά στη δημιουργία του N200 είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών ερεθισμάτων. Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικά ερεθίσματα, τόσο μικρότερο είναι το ύψος του N200 και πιο παρατεταμένος ο λανθάνων χρόνος του.

Κορύφωση P300: θεωρείται ο δείκτης κινητοποίησης προγραμμάτων δράσης σε επίπεδο κεντρικού νευρικού συστήματος. Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 220 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής του φαίνεται να αντανακλά το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να πάρει ο εξεταζόμενος μια απόφαση για το ερέθισμα. Ορισμένες φορές το P300 είναι δικόρυφο, γι' αυτό και διατυπώνεται η άποψη ότι δεν είναι απλά μια κυματομορφή, αλλά ένα **σύμπλεγμα** περισσοτέρων επιμέρους κυματομορφών. Το P300 θεωρείται ότι συνίσταται από τρεις επιμέρους κυματομορφές, το κύμα **P3a**, το κύμα **P3b** και το **βραδύ κύμα (slow wave)**. Από τις κυματομορφές που αναφέρθηκαν το κύμα P3b είναι αυτό που ταυτίζεται συνήθως με το P300 γιατί σχετίζεται με τη συνειδητή επεξεργασία της πληροφορίας και απαιτεί την προσοχή του εξεταζόμενου. Γενικά το P300 είναι ένα από τα δημοφιλέστερα δυναμικά και χρησιμοποιείται ως νευροφυσιολογικός δείκτης των γνωσιακών διαδικασιών ενός εξεταζόμενου. Κλινικά, δηλαδή, μπορεί να αποτελέσει μια προσπάθεια εκτίμησης της ετοιμότητας των πνευματικών εγκεφαλικών λειτουργιών ενός ατόμου γιατί αποτελεί τον πλέον ευαίσθητο δείκτη διαταραχής των γνωσιακών διαδικασιών. Όμως πρέπει να γίνει κατανοητό το **P300 δεν είναι σε καμία περίπτωση δείκτης εγκεφαλικής πάθησης** διότι έχει παρατηρηθεί να διατηρεί μια ομοιομορφία, κατά την καταγραφή του από άτομα υγιά και άτομα με κάποια πάθηση.



Εικόνα 2.10: Καταγραφή N200-P300

Κορύφωση N400: Αναγνωρίζεται ως ο δείκτης σημαντικότητας των πληροφοριών. Απεικονίζει την κινητοποίηση προγραμμάτων σχετιζόμενων με την σημαντικότητα επεξεργαζόμενων πληροφοριών. Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού η οποία λαμβάνει χώρα από 280 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Συμβάλλει στην εξέταση μηχανισμών που σχετίζονται με τη γλώσσα, το εννοιολογικό και συντακτικό της περιεχόμενο. Αναγνωρίζεται δηλαδή ως ο δείκτης σημαντικότητας των πληροφοριών. Στον τυπικό πειραματικό σχεδιασμό το N400 παράγεται μετά την εμφάνιση σε οθόνη μιας πρότασης η οποία καταλήγει σε λέξη νοηματικά ασύμβατη με το συνολικό πληροφοριακό υλικό.



Εικόνα 2.11: Καταγραφή N400

Κορύφωση P400: θεωρείται ο δείκτης που αντικατοπτρίζει τα συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών που σχετίζονται με την συντακτικότητα των πληροφοριών.

Κορύφωση P600: Αντιστοιχεί στη χρονική περίοδο τελικής οργάνωσης, ελέγχου και εκτέλεσης της απόφασης που επιλέγεται όταν ο οργανισμός εκτίθεται σε εκλυτικό ερέθισμα ή σύμπλοκο ερεθισμάτων που έχουν ψυχολογική σπουδαιότητα.

2.2.2 Καταγραφή Προκλητών Δυναμικών

Η καταγραφή των Π.Δ. γίνεται τόσο επεμβατικά, δηλαδή με τοποθέτηση μέσα στον εγκέφαλο απαγωγών υπό μορφή πολύ λεπτών βελόνων, όσο και μη-επεμβατικά, με τοποθέτηση απαγωγών στην εξωτερική επιφάνεια του κεφαλιού. Αυτό είναι σημαντικό γιατί έτσι μελετούνται βρέφη, που έχουν υψηλή ευαισθησία, μη επεμβατικά. Δεύτερον, με την χρήση πολλών ηλεκτροδίων επί του κρανίου έχουμε πολύ καθαρή κατανομή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, με αποτέλεσμα να μπορούμε να εντοπίσουμε ποιο μέρος του

εγκεφάλου είναι υπεύθυνο κάθε φορά για κάποια διαδικασία. Στη συγκεκριμένη εργασία, με τον όρο Π.Δ. εννοούμε μόνο τα δυναμικά που καταγράφονται στη δερματική επιφάνεια του κρανίου. Η καταγραφή των Π.Δ. γίνεται χρησιμοποιώντας ακριβώς τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την καταγραφή του ΗΕΓ. Για καλύτερη εποπτεία της εγκεφαλικής δραστηριότητας αλλά και για συγκριτική μελέτη της λειτουργίας διαφόρων περιοχών του εγκεφάλου είναι απαραίτητη η λήψη πολλών ταυτόχρονων σημάτων από διαφορετικά σημεία του ανθρώπινου κρανίου.

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα κατά την διαδικασία καταγραφής Π.Δ. είναι ότι τα σήματα του ΗΕΓ είναι ιδιαίτερα ασθενή οπότε καθίσταται προβληματική η καταγραφή τους παρουσία θορύβου. Ο θόρυβος προκύπτει από δύο κυρίως πηγές.

A) Από το ίδιο το ΗΕΓ που καταγράφει τα σήματα του εγκεφάλου τα οποία είναι απαραίτητα για την λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Τα σήματα αυτά (θόρυβος) παρεμβάλλουν στο επιθυμητό σήμα (ηλεκτρικό σήμα που παράγεται ως απόκριση σε συγκεκριμένο ερέθισμα). Τις περισσότερες φορές ο θόρυβος είναι ισχυρότερος του επιθυμητού σήματος οπότε γίνεται προβληματική η μέτρηση των Π.Δ.

B) Από τον θόρυβο που δημιουργείται από συσκευές ή μηχανήματα του περιβάλλοντος χώρου (τεχνητός θόρυβος).

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές:

Εξαγωγή του μέσου όρου: Το πείραμα επαναλαμβάνεται πολλές φορές και το σήμα που λαμβάνεται είναι ο μέσος όρος των σημάτων των επιμέρους μετρήσεων. Έστω ότι $r_i(t)$ είναι το μετρούμενο σήμα κατά την διάρκεια της επανάληψης i . Το σήμα αυτό θεωρείται ότι αποτελείται από το επιθυμητό σήμα $s_i(t)$ και τον θόρυβο $n_i(t)$ που αντιπροσωπεύει τα σήματα του εξελισσόμενου ΗΕΓ τα οποία είναι άσχετα με το εκλυτικό ερέθισμα της διαδικασίας

$$r_i(t) = s_i(t) + n_i(t), \quad i = 1, \dots, M$$

όπου M είναι ο αριθμός των επαναλήψεων.

Αν λάβουμε τον μέσο όρο $E\{r_i(t)\}$ από τα λαμβανόμενα σήματα θα είναι

$$E\{r_i(t)\} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M r_i(t) = \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M s_i(t) + \sum_{i=1}^M n_i(t) \right)$$

Το επιθυμητό σήμα $s_i(t)$ το οποίο προέρχεται από το εκλυτικό ερέθισμα είναι περίπου το ίδιο σε κάθε επανάληψη. Δηλαδή

$$s_i(t) = s_j(t) = s(t)$$

Αντίθετα, ο θόρυβος $n_i(t)$ είναι τυχαία διαδικασία με μηδενικό μέσο όρο. Έτσι προκύπτει

$$\begin{aligned} E\{r_i(t)\} &= \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M s_i(t) + \sum_{i=1}^M n_i(t) \right) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) + 0 = \frac{1}{M} M s_i(t) \rightarrow \\ &\rightarrow E\{r_i(t)\} = s_i(t) \end{aligned}$$

Με αυτό τον τρόπο «αποθορυβοποιείται» το σήμα και λαμβάνεται μόνο το επιθυμητό σήμα, δηλαδή το σήμα που σχετίζεται αποκλειστικά με τα Π.Δ..

Μετρήσεις εντός ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένου δωματίου (κλωβός Faraday): Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζεται καθώς εξουδετερώνονται τα εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία δηλαδή τα πεδία δημιουργούμενα από ηλεκτροκινητήρες, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κινητά τηλέφωνα, κ.α.

Η καταγραφή των δυναμικών παρουσιάζει κάποιους ακόμα περιορισμούς οι οποίοι οφείλονται κυρίως στην κατάσταση του εξεταζόμενου. Πιο συγκεκριμένα, ο εξεταζόμενος προσαρμόζεται ή εξοικειώνεται με τα ερεθίσματα όποτε η καταγραφή τους χάνει σε ακρίβεια. Επίσης μετά από κάποιο χρόνο ο εξεταζόμενος κουράζεται ή στρέφει αλλού την προσοχή του επηρεάζοντας τις καταγραφές στην ένταση και στο χρόνο. Η μόνη λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι **οι επαναλήψεις**. Χρειάζεται, δηλαδή, να υπάρχει κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πέραν των οποίων γίνεται η παραδοχή ότι οι μετρήσεις είναι αξιόπιστες. **Ο τακτικός έλεγχος** της κατάστασης του εξεταζόμενου κατά την διάρκεια της διαδικασίας καταγραφής είναι απαραίτητος γι' αυτό τον λόγο. Τέλος, για την αποφυγή της εξοικείωσης του εξεταζόμενου με τα ερεθίσματα-στόχους απαιτείται **απεριοδικός χρονισμός** αλληπάλληλων πειραμάτων.

Κατά τη μελέτη των δυναμικών χωρίζουμε τις καταγραφές στα λεγόμενα **συστατικά (components)**. Η μελέτη αυτή βάση των συστατικών, δηλαδή μερικών κυματομορφών του συνολικού σήματος, γίνεται πιο συστηματοποιημένη αν αξιολογηθούν σωστά πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν επιμεριστικά. Τα συστατικά του δυναμικού καθορίζονται βάσει:

- κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του πλάτους δυναμικού

- της χρονικής στιγμής στην οποία κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση
- 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, δηλαδή εκεί που τα Volts μηδενίζονται. Διαφορετικά χρησιμοποιείται το επίπεδο δυναμικού στην έναρξη της διαδικασίας μέτρησης ή κάποια άλλη προγενέστερη κορύφωση. Οι χρόνοι, ως συνήθως, εκφράζονται με απαρχή τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα το εκλυτικό ερέθισμα. Ενδιαφέρον ακόμα παρουσιάζει το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή αναφοράς του δυναμικού και τη μερική κυματομορφή δυναμικού του συστατικού.

2.2.3 Περιορισμοί κατά την διάρκεια καταγραφής Π.Δ.

Η καταγραφή των Π.Δ. παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς οι οποίοι οφείλονται κυρίως στην κατάσταση του εξεταζόμενου. Πιο συγκεκριμένα, ο εξεταζόμενος ενδεχομένως προσαρμόζεται ή εξοικειώνεται με τα ερεθίσματα όποτε τότε η καταγραφή τους δεν είναι ακριβής. Επίσης μετά από κάποιο χρόνο ο εξεταζόμενος κουράζεται ή στρέφει αλλού την προσοχή του επηρεάζοντας τα ΠΔ στην ένταση και στο χρόνο. Για αυτό τον λόγο χρειάζεται να υπάρχει κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πέραν των οποίων γίνεται η παραδοχή ότι οι μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες. Επίσης πρέπει να γίνεται τακτικά έλεγχος της κατάστασης του εξεταζόμενου κατά την διάρκεια της διαδικασίας καταγραφής. Επίσης αρκετές φορές απαιτείται απεριοδικός χρονισμός αλληλάλληλων πειραμάτων ώστε να αποφεύγεται η εξοικείωση με τα ερεθίσματα.

2.2.4 Χρησιμότητα Προκλητών Δυναμικών

Η κυριότερη χρησιμότητα των Π.Δ. έγκειται στην διάγνωση ασθενειών. Έτσι Π.Δ. έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στον τομέα της επιληψίας. Ο συσχετισμός των μεταβολών μεταξύ Π.Δ. και κλινικών συμπερασμάτων μπορεί να βοηθήσει στη μελέτη της φυσιοπαθολογίας της επιληψίας. Χρήση των Π.Δ. γίνεται επίσης για τη διάγνωση της νόσου Alzheimer και τη διάκρισή της από άλλες ασθένειες. Επίσης χρησιμοποιούνται για την μελέτη της επίδρασης φαρμάκων που χορηγούνται για την νόσο αυτή.

Τα Π.Δ. εφαρμόζονται κυρίως για τον εντοπισμό ψυχιατρικών ασθενειών όπως η σχιζοφρένεια και η παράνοια. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι συνήθως η στατιστική μελέτη των κορυφώσεων των κυματομορφών (P300, P600 κ.λ.π.). Τη στατιστική μελέτη των κορυφώσεων των Π.Δ. συνοδεύει συνήθως γραφική αναπαράσταση των κυματομορφών που αποτελούν το συνολικό μέσο όρο (grand average) κάθε απαγωγής για όλους τους εξεταζόμενους κάθε κατηγορίας ασθενών ή υγιών μαρτύρων. Οι συνολικοί μέσοι όροι δεν αποτελούν αξιόπιστο μέσο γιατί αποκόπτουν και εξομαλύνουν πολλές πληροφορίες των Π.Δ., παρουσιάζοντας ενίοτε εντελώς διαφορετική εικόνα από αυτή που πραγματικά έχει μία κατηγορία ασθενών.

Τα Π.Δ. όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ερευνητικούς σκοπούς στην κλινική νευροφυσιολογία. Λόγω του υψηλού χρονισμού τους, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την εγκεφαλική λειτουργία. Διάφορες νοητικές διεργασίες, όπως η αντίληψη, η προσοχή, η γλωσσική επεξεργασία και η μνήμη, λαμβάνουν χώρα σε χρονικές περιόδους της τάξεως δεκάδων χιλιοστών του δευτερολέπτου. Οι περισσότερες τυπικές τεχνικές απεικόνισης απαιτούν την διατήρηση της δραστηριότητας του εγκεφάλου για κάποια δευτερόλεπτα και έτσι αδυνατούν να συλλάβουν τις διαδικασίες αυτές. Οι καταγραφές με Π.Δ., όμως, παρέχουν απεικονίσεις με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου οπότε αποτελούν ιδανική μεθοδολογία για τη μελέτη των πτυχών συγχρονισμού τόσο των φυσιολογικών όσο και των παθολογικών γνωστικών διεργασιών.

Σημαντικό τμήμα της έρευνας στην περιοχή του ΗΕΓ και των Π.Δ. αποτελεί η επίλυση του αντίστροφου προβλήματος στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία, που ορίζεται ως η διαδικασία εύρεσης των ενδοκρανιακών πηγών ρεύματος, βάσει των τιμών επιφανειακών δυναμικών. Τα Προκλητά Δυναμικά αξιοποιούνται επίσης σε πειραματικό στάδιο σε διάφορες εφαρμογές όπως η εξέταση του βαθμού αναισθησίας που επιτυγχάνεται η οποία μέχρι στιγμής εφαρμόζεται σε ζώα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα από το οποίο προήλθαν τα αποτελέσματα της εργασίας πραγματοποιήθηκε σε εργαστήριο που στεγάστηκε στο Αιγινήτειο Νοσοκομείο. Το όλο εγχείρημα, που βρίσκεται υπό την αιγίδα του Αιγινήτειου Νοσοκομείου και του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), άρχισε το 1988 στο κτίριο του Αιγινήτειου Νοσοκομείου στο κέντρο της Αθήνας. Το αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθεί το Εργαστήριο Ψυχοφυσιολογίας. Στόχος αυτής της προσπάθειας ήταν η μελέτη ψυχοφυσιολογικών φαινομένων και η υποστήριξη της με τεχνογνωσία προερχόμενη από τον ελληνικό χώρο σε ένα περιβάλλον φιλικό και για τον εξεταζόμενο αλλά και για το επιστημονικό προσωπικό.

Το εργαστήριο μπορούμε να πούμε συνοπτικά ότι αποτελείται από έναν ανηχοϊκό θάλαμο, από μία διάταξη δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών συνδεδεμένων με μια πλατφόρμα λήψης και επεξεργασίας σημάτων και από ιατρικό υλικό για την διαδικασία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG).

3.1 Εργαστήριο-Πειραματική διάταξη

Ένα βασικό μέρος του εργαστηρίου, που συντελεί στην διεξαγωγή επιστημονικά ορθών μετρήσεων είναι ο κλωβός Faraday, δηλαδή ο θάλαμος. Η χρήση του κατά την διάρκεια του πειράματος προσφέρει την πλήρη απομόνωση του εξεταζόμενου ατόμου. Οι κλωβοί Faraday, γενικά, προστατεύουν το εσωτερικό από την εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εάν η περιφέρεια τους είναι αρκετά πυκνή και εάν οποιεσδήποτε τρύπες στο υλικό κατασκευής της είναι σημαντικά μικρότερες από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που προσπαθεί να απομονώσει. Η λειτουργία ενός κλωβού μπορεί να προσεγγιστεί με την έννοια του ιδανικού κενού αγωγού, ο οποίος υπό την επίδραση εξωτερικού πεδίου αναδιοργανώνει τα φορτία στην επιφάνειά του, ακυρώνοντας το πεδίο στο εσωτερικό του. Η μόνωση από αλουμίνιο που διαθέτει ο κλωβός Faraday του εργαστηρίου μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ότι εξασφαλίζεται η αντικειμενικότητα των μετρήσεων των Π.Δ. από παρεμβολές εξωτερικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Οι παρεμβολές αυτές ποικίλλουν ως προς την προέλευσή τους, δηλαδή μπορεί να προέρχονται από την τροφοδοσία της διάταξης του πειράματος, ή ακόμα και από συσκευές του επιστημονικού προσωπικού (π.χ. κινητά τηλέφωνα). Το άτομο στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις βρίσκεται στον θάλαμο και συνδέεται με τριάντα δύο (32) ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται στην περιοχή του κρανίου και του προσώπου.

Το 'σκουφάκι' του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, που έχει ενσωματωμένα τα τριάντα δύο (32) ηλεκτρόδια είναι επίσης πολύ σημαντικό. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων είναι φανερές στην εξωτερική επιφάνεια του 'σκουφιού' σαν άσπρες υποδοχές και πρόκειται για τυποποιημένη κατανομή

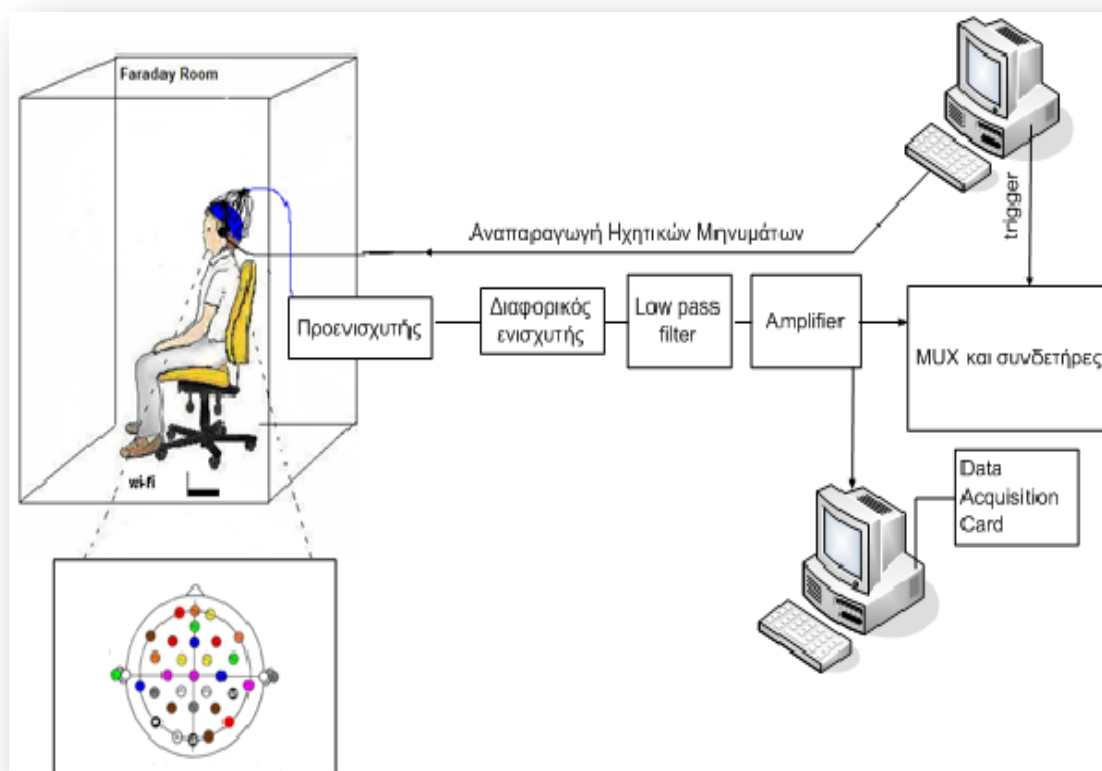
απαγωγών στην επιφάνεια του εγκεφάλου βάσει του Διεθνούς Συστήματος Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, η οποία κωδικοποιημένα χαρακτηρίζεται στο σύστημα 10-20 όπως αυτό παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2. Για την σωστή διεπαφή των ηλεκτροδίων αυτών χρησιμοποιούμε ειδικά διηλεκτρικά υλικά, ουδέτερα όσον αφορά στην επαφή τους με το κρανίο, τα μαλλιά και το δέρμα του εξεταζόμενου. Το ένα έχει μορφή gel, και το άλλο είναι σε μορφή πάστας και χρησιμοποιείται για εξωτερικά ηλεκτρόδια που δεν απάγονται επί του κρανίου. Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια για την καταγραφή των αντιδράσεων των μυών γύρω από τα μάτια και τέσσερα που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία του προσώπου και καταγράφουν τις εκφράσεις και συσπάσεις των μυών. Τέλος υπάρχουν δύο βραχυκυκλωμένα καλώδια που λειτουργούν ως γείωση.



Εικόνα 3.1: Το σκουφάκι του ΗΕΓ

Τα ηλεκτρόδια αρχικά παίρνουν από έναν προενισχυτή, ο οποίος βρίσκεται εντός του κλωβού. Στη συνέχεια και εκτός του κλωβού πλέον, τα σήματα οδηγούνται σε ένα δεύτερο διαφορετικό ενισχυτή όπου ενισχύονται. Μετά την ενίσχυση το σήμα εισέρχεται σε ένα βαθυπερατό (low pass) φίλτρο, το οποίο κόβει τις συχνότητες άνω των 35 Hz κι έτσι αποκλείεται η παρεμβολή από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (50 Hz). Η έξοδος του ενισχυτή οδηγεί σε ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) ο οποίος με τη σειρά του καταλήγει σε έναν πολυπλέκτη 32 διπολικών σημάτων, της εταιρείας BRAINTRONICS. Τέλος τα σήματα εισέρχονται στην κάρτα ανάκτησης δεδομένων DAQ 6035I της NI, με την οποία είναι εφοδιασμένος ο

ένας από τους δύο ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Μέσω της κάρτας λαμβάνονται τα 32 σήματα τα οποία αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή και οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη του.



Εικόνα 3.2: Πειραματική διάταξη

Ο δεύτερος υπολογιστής παράγει το σήμα σκανδαλισμού (trigger) του πρώτου υπολογιστή και παράλληλα δίνει το ηχητικό σήμα και άρα το ακουστικό ερέθισμα στον εξεταζόμενο μέσω των ακουστικών, τα οποία φοράει. Έχει την δυνατότητα να παρέχει πλήθος ηχητικών σημάτων που προσφέρονται για ψυχιατρική ανάλυση.

3.2 Πειραματικό δείγμα

Οι συμμετέχοντες στο πείραμα από το οποίο προήλθαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ήταν συνολικά 63. Από αυτούς οι 30 ήταν γυναίκες (16 αριστερόχειρες και 14 δεξιόχειρες) και οι 33 άντρες (17 αριστερόχειρες και 16 δεξιόχειρες). Οι μετρήσεις έγιναν χωρίς την επίδραση κάποιου είδους ακτινοβολίας.

3.3 Ανάλυση σημάτων στο LABVIEW

Η αναπαράσταση και η αποθήκευση των σημάτων γίνεται σε περιβάλλον σχεδιασμένο με το λογισμικό LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) έκδοσης 7.1. Το LabVIEW είναι ένα περιβάλλον γραφικού προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για λήψη δεδομένων και έλεγχο οργάνων. Ο ένας υπολογιστής είναι εξοπλισμένος με ειδική κάρτα (PCI 6251) η οποία ελέγχεται μέσω interface προγραμματισμένο σε LabVIEW. Έτσι όταν τα ηχητικά μηνύματα αναπαράγονται από την κάρτα ήχου, τότε στέλνει σήμα σκανδαλισμού στον άλλο υπολογιστή, ώστε να λάβει τα 32 σήματα των ηλεκτροδίων τα οποία αποθηκεύονται και αναπαριστώνται στην οθόνη. Η κάρτα αυτή διαβάζει και δίνει ως είσοδο αρχεία ήχου τύπου wav στην κάρτα ήχου ενώ ταυτόχρονα με την έναρξη αναπαραγωγής τους συγχρονίζει το σκανδαλισμό του άλλου υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Όταν η κάρτα διαβάσει ένα συγκεκριμένο αρχείο ήχου που περιέχει έναν παλμό πλάτους 5V στέλνει ένα ψηφιακό trigger σε ένα συνδετήρα (CB68LP- πλακέτα για σύνδεση σημάτων με κάρτες DAQ). Το trigger αυτό, μεταφέρεται αναλογικά σε άλλο συνδετήρα απ' όπου το λαμβάνει ο πολυπλέκτης και τελικά η κάρτα λήψης δεδομένων του άλλου υπολογιστή καταγράφει τα δεδομένα. Το σήμα σκανδαλισμού αποτελεί ένας παλμός πλάτους 5V.

3.4 Διεξαγωγή Πειράματος

Η διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος ξεκινά με την είσοδο του εξεταζόμενου στον ανηχοϊκό θάλαμο, όπου κάθεται σε ειδική αναπαυτική πολυθρόνα. Εκεί θα παραμείνει καθισμένος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος με όλα τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.1. Ο εξεταζόμενος φοράει τα ειδικά ακουστικά που είναι συνδεδεμένα με τον υπολογιστή και μέσω αυτών λαμβάνει τα ηχητικά μηνύματα. Ταυτόχρονα, στον άλλο υπολογιστή δημιουργείται ένας φάκελος με τα προσωπικά στοιχεία του εκάστοτε ατόμου. Στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία το πρόγραμμα LABVIEW ενώ ρυθμίζονται κατάλληλα οι παράμετροί του ανάλογα με το είδος της μέτρησης.

Αφού ολοκληρωθεί η προετοιμασία, ο γιατρός αναλαμβάνει να δώσει τις απαραίτητες οδηγίες στον εξεταζόμενο. Δηλαδή τον προτρέπει να είναι χαλαρός, χωρίς ένταση, να μην αγχώνεται μήπως κάνει κάτι λάθος, να παραμένει όσο το δυνατόν ακίνητος και να διατηρεί κλειστά τα μάτια κατά την διάρκεια του πειράματος.

Εικόνα 3.3:

Η Πολυθρόνα του

Πειράματος



Ο καθένας από τους 63 συμμετέχοντες στο πείραμα υποβλήθηκε στα τρία μέρη του test Hayling. Πρόκειται για ένα test συμπλήρωσης προτάσεων το οποίο αρχικά είχε δύο μέρη, αλλά τελικά για τις ανάγκες των πειραμάτων στο εργαστήριο Ψυχοφυσιολογίας προστέθηκε και ένα τρίτο. Κάθε μέρος του test Hayling αποτελείται στο συγκεκριμένο πείραμα από 30 ερωτήσεις:

Hayling A

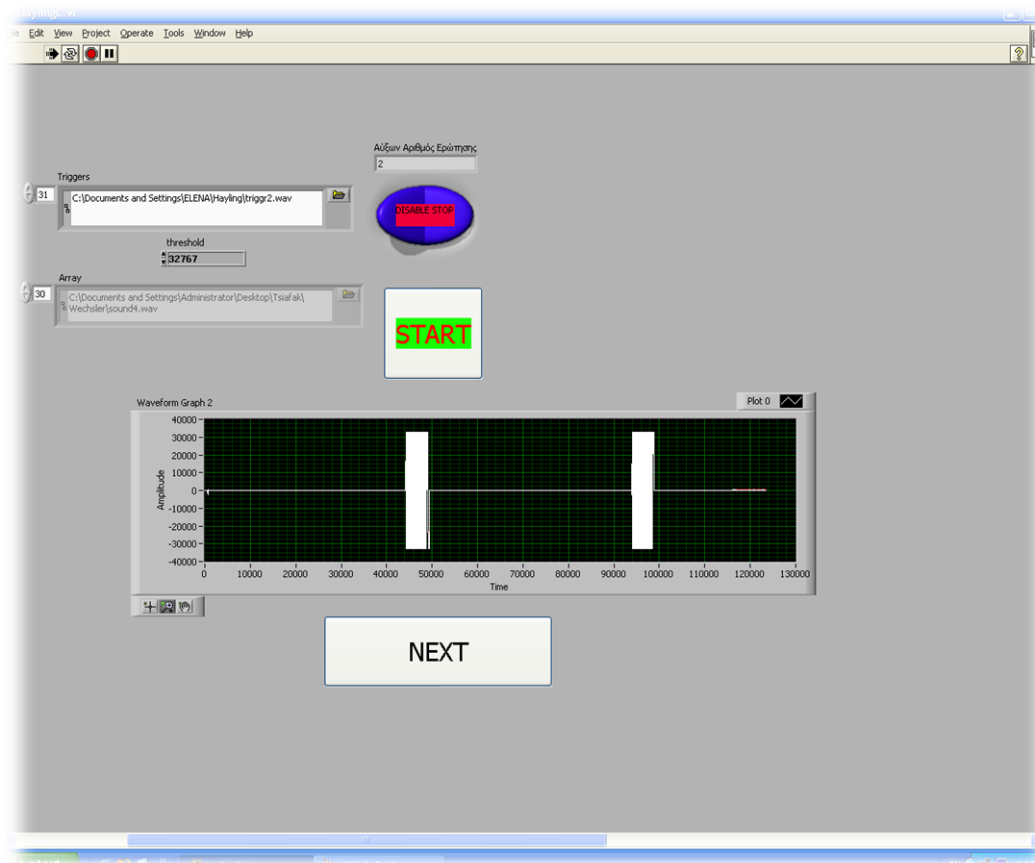
Ο εξεταζόμενος ακούει μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και προσπαθεί να την συμπληρώσει με κάτι που να βγάζει λογικό νόημα. Η πρόταση είναι απλή, ευκολονόητη και η λέξη που λείπει συνδέεται άμεσα με το νόημα της. Π.χ. Το <<πλοίο μπαίνει στο...>> με δυνατότητα απάντησης στο λιμάνι

Hayling B

Ο εξεταζόμενος ακούει πάλι μια σειρά προτάσεων όμοια με πριν και προσπαθεί να την συμπληρώσει με κάτι που να μην βγάζει λογικό νόημα. Π.χ. <<Το πλοίο μπαίνει στο...>> με δυνατότητα απάντησης στο σπίτι ή στο νοσοκομείο κτλ

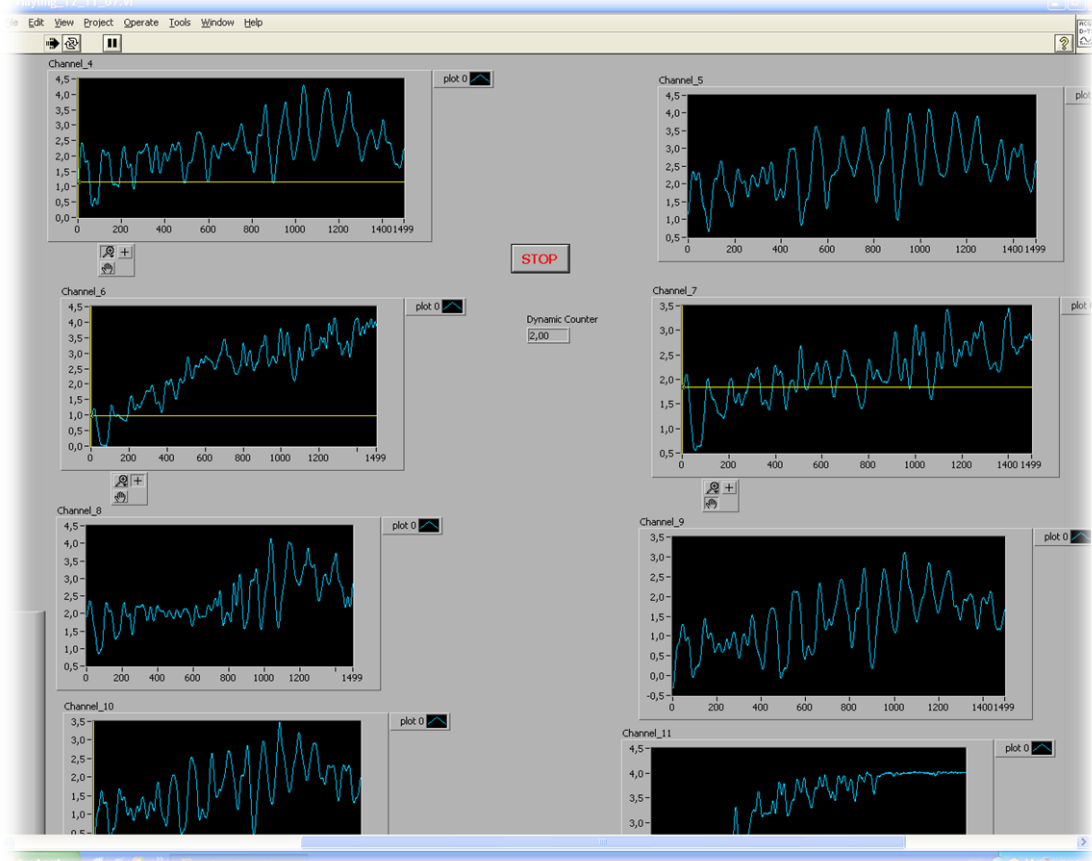
Hayling C

Ο εξεταζόμενος ακούει μια σειρά προτάσεων και καλείται να επαναλάβει την τελευταία λέξη. Π.χ. <<Το αμάξι έχει τέσσερεις ρόδες>> με απάντηση ρόδες.



Εικόνα 3.4: Screenshot(1) από τον έναν Η/Υ κατά την διάρκεια του test Hayling. Ο χειριστής πατώντας NEXT μεταφέρει στα ακουστικά του εξεταζόμενου που βρίσκεται μέσα στον κλωβό την επόμενη ηχητική ακολουθία προτάσεων

Κάθε μέρος αποτελείται από τριάντα (30) προτάσεις και πραγματοποιείται αυτούσιο το καθένα, με διαλείμματα ενδιάμεσα τους. Κάθε κυματομορφή έχει διάρκεια 1500 msec. Στα πρώτα 500 msec ο εξεταζόμενος δεν έχει δεχτεί ακόμα κάποιο ηχητικό ερέθισμα και η αντίστοιχη κυματομορφή αντιστοιχεί στα ΗΕΓ. Τη χρονική στιγμή των 500 msec ακούει τον πρώτο τόνο και την ερώτηση οπότε τα επόμενα 1000ms που καταγράφονται αντιστοιχούν στα Π.Δ.



Εικόνα 3.5: Screenshot(2) από τον έναν Η/Υ κατά την διάρκεια του test Hayling. Ο χειριστής πατώντας NEXT μεταφέρει στα ακουστικά του εξεταζόμενου που βρίσκεται μέσα στον κλωβό την επόμενη ηχητική ακολουθία προτάσεων.

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, ενώ δεν ενδιαφέρει καθόλου το ‘σκορ’ που θα πετύχει ο κάθε εξεταζόμενος. Δηλαδή, σκοπός μας δεν είναι η αξιολόγηση της μνήμης κάθε ατόμου και ο έλεγχος του αν απάντησε σωστά στις ερωτήσεις των τριών τμημάτων του πειράματος Hayling. Οι κυματομορφές που λαμβάνουμε και στις οποίες βασίζεται η έρευνα αυτή, άλλωστε, δεν αναφέρονται στη στιγμή της απάντησης, αλλά στη στιγμή που το άτομο δέχεται το ερέθισμα. Συγκεκριμένα, καταγράφουμε ένα διάστημα 500 ms πριν από την έναρξη του ηχητικού τόνου, ο οποίος σημαίνει την αρχή της ερώτησης και άλλα 1000ms μετά το ηχητικό σήμα και πριν την έναρξη της ερώτησης. Ήδη ο εγκέφαλος αναγνωρίζει ότι πρέπει να δώσει μία απάντηση ανάλογα με το αντίστοιχο πείραμα και αυτό είναι αρκετό για την καταγραφή των Π.Δ.

Με τη λήξη της διαδικασίας του πειράματος ο εξεταζόμενος με τη βοήθεια της επιστημονικής ομάδας αποσυνδέεται και αποχωρεί από τον ανηχοϊκό θάλαμο. Η διάρκεια του όλου πειράματος αγγίζει περίπου τα 45 λεπτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αποθρορυβοποίηση μετρήσεων με τη μέθοδο του Μέσου Όρου

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2 ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα καταγραφής των προκλητών δυναμικών είναι ότι τα σήματα του ΗΕΓ είναι ιδιαίτερα ασθενή οπότε καθίσταται προβληματική η καταγραφή τους παρουσία θορύβου. Ο πιο βασικός και πλέον σιγήνης τρόπος αποθορυβοποίησης των σημάτων αυτών γίνεται με την εξαγωγή του μέσου όρου. Το πείραμα δηλαδή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές για κάθε άτομο και από τα αποτελέσματα προκύπτουν οι ζητούμενοι μέσοι όροι. Στο πείραμα από το οποίο προήλθαν οι μετρήσεις για τη συγκεκριμένη εργασία ο κάθε συμμετέχων απάντησε σε 30 ερωτήσεις για κάθε τμήμα του τεστ Hayling.

4.1 Αρχική επεξεργασία δεδομένων

Οι μετρήσεις που προέκυψαν από το πείραμα στο Αιγινήτειο νοσοκομείο παραδόθηκαν σε μορφή ενός txt αρχείου για κάθε άτομο (3 συνολικά για κάθε άτομο, ένα για κάθε ένα από τα τρία τμήματα του Hayling). Το κάθε αρχείο txt αποτελείται από 32 στήλες (μία για κάθε ηλεκτρόδιο) και 45000 γραμμές (μία για κάθε msec από τα 1500 msec της κάθε μίας από τις 30 ερωτήσεις). Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στις τιμές της διαφοράς δυναμικού του κάθε ηλεκτροδίου από τη γείωση.

Για την καλύτερη παρουσίαση και πιο εύκολη χρήση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε κώδικας σε γλώσσα Matlab . Από τον κώδικα αυτόν προέκυψαν 3 excel αρχεία για κάθε άτομο (ένα για κάθε Hayling test) με 32 sheets (ένα για κάθε ηλεκτρόδιο). Το κάθε sheet αποτελείται από 30 στήλες, όσες και οι ερωτήσεις, και 1500 γραμμές, όσα και τα msec καταγραφής της κάθε ερώτησης.

4.2 Εξαγωγή μέσων όρων

Σκοπός της αρχικής μας επεξεργασίας δεν είναι η εξαγωγή του μέσου όρου και από τις 30 ερωτήσεις, ως είθισται, αλλά η εξαγωγή των αντίστοιχων μέσων όρων από τις 15 πρώτες και 15 τελευταίες ερωτήσεις. Με αυτό θέλουμε να παρατηρήσουμε αν οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των δύο αυτών μέσων όρων θα έχουν σημαντικές αποκλίσεις η μία από την άλλη, γεγονός το οποίο θα είναι μία πρώτη ένδειξη ότι η αποθορυβοποίηση των μετρήσεων με την εξαγωγή του μέσου όρου των 30 ερωτήσεων δε μας δίνει πολύ ασφαλή συμπεράσματα.

Συγκεκριμένα, αρχικά χωρίσαμε το σήμα σε ΗΕΓ (500 πρώτα msec) και Π.Δ. (1000 επόμενα msec). Για το ΗΕΓ, υπολογίσαμε το μέσο όρο των 15 πρώτων και των 15 επόμενων ερωτήσεων ξεχωριστά, για κάθε ηλεκτρόδιο. Στη

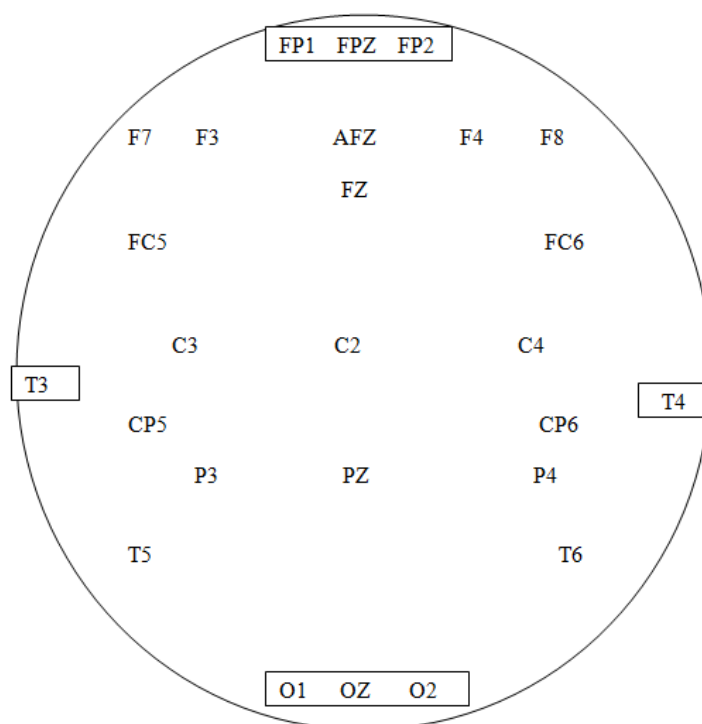
συνέχεια, υπολογίσαμε το μέσο όρο των 100 τελευταίων msec (από 400 – 500 msec) του μέσου όρου του ΗΕΓ, για κάθε ηλεκτρόδιο.

Για τα Π.Δ. επίσης υπολογίσαμε το μέσο όρο των 15 πρώτων και των 15 επόμενων ερωτήσεων ξεχωριστά, για κάθε ηλεκτρόδιο. Έπειτα αφαιρέσαμε από το μέσο όρο που προέκυψε, τον αντίστοιχο μέσο όρο των 100 τελευταίων msec του ΗΕΓ, που υπολογίσαμε προηγουμένως. Αυτό το κάναμε σε μία προσπάθεια να υπάρξει μία εξομάλυνση στη μετάβαση από το ΗΕΓ στα Π.Δ.

Για όλα τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν κώδικες σε περιβάλλον MATLAB. Τελικά, από κάθε αρχικό excel αρχείο προέκυψαν 4 excel αρχεία, δύο με το μέσο όρο των ερωτήσεων ανά 15 για τα ΗΕΓ και δύο με το μέσο όρο των ερωτήσεων ανά 15 για τα Π.Δ.. Καθένα από τα αρχεία αυτά που αντιστοιχούν στα Π.Δ. έχει 32 στήλες όσες και τα ηλεκτρόδια και 1000 γραμμές όσα και τα ms καταγραφής των ERP. Στη συνέχεια τα τελευταία excel αρχεία κανονικοποιήθηκαν ως προς την τιμή καταγραφής του πρώτου ms των Π.Δ. για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων/διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα, με χρήση κώδικα σε MATLAB, αφαιρέθηκε η τιμή του 1ου msec του Π.Δ. από όλες τις τιμές του, ώστε να ξεκινά από την τιμή μηδέν.

4.3 Διαγράμματα – Συμπεράσματα

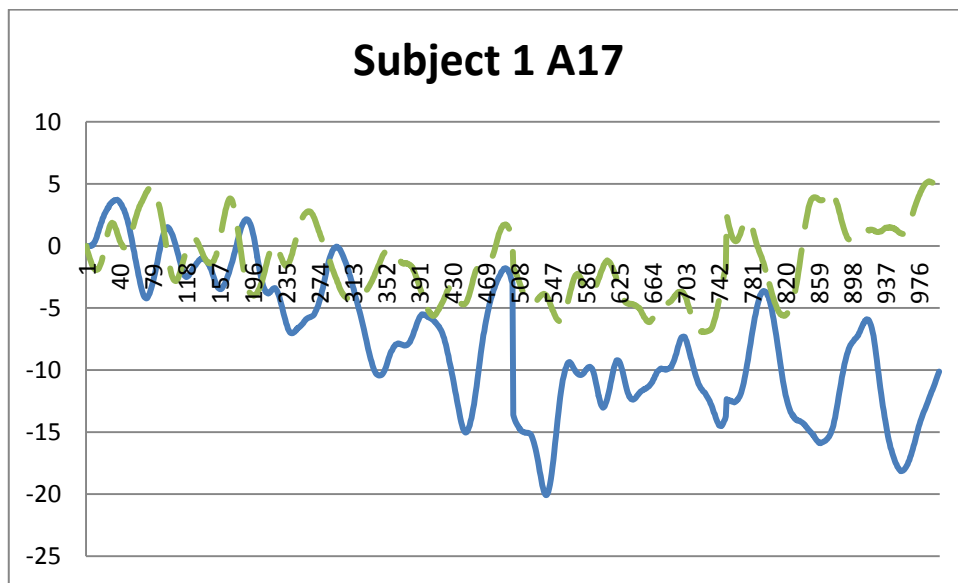
Από τα τελικά αυτά excel προέκυψαν τα συγκριτικά διαγράμματα των μέσων όρων των 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων. Από τα 32 ηλεκτρόδια δεν μελετήθηκαν τα ηλεκτρόδια 2, 12, 13, 20, 21, 30 που αντιστοιχούν στα μάτια και στους μυς του προσώπου. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά και η αρίθμηση των ηλεκτροδίων όπως τοποθετούνται με το σκουφάκι του ΗΕΓ.



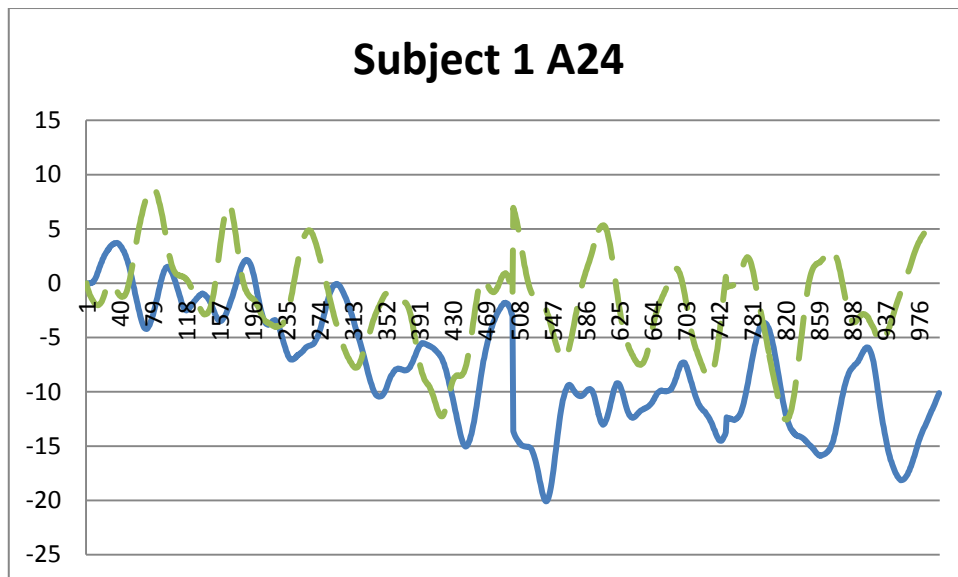
FP1=9	<u>FPZ=8</u>	FP2=7	F7=16	<u>AFZ=6</u>	F8=3
F3=15	<u>FZ=5</u>	F4=4	FC5=14	FC6=1	C3=32
<u>CZ=28</u>	C4=23	T3=11	CP5=31	CP6=19	T4=22
T5=29	P3=10	<u>PZ=27</u>	P4=18	T6=17	O1=26
Oz=25	O2=24		(12,21: ΜΑΤΙΑ)	(2,13,20,30: ΕΜΓ)	

Εικόνα 4.1: Αρίθμηση και χωρητική κατανομή των ηλεκτροδίων

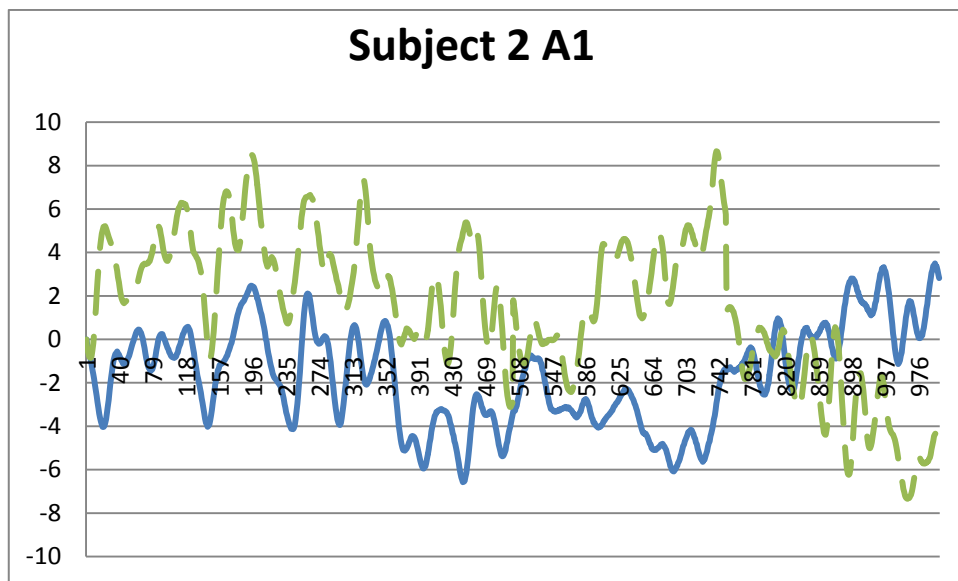
Στη συνέχεια παρατίθενται επιλεκτικά διαγράμματα από τους εξεταζόμενους και μόνο από τη συνθήκη Hayling A. Υπενθυμίζουμε ότι αφορούν τους μέσους όρους των Π.Δ. από τις 30 ερωτήσεις. Τα πρώτα τέσσερα διαγράμματα αντιστοιχούν σε αριστερόχειρες γυναίκες, ενώ τα επόμενα τέσσερα σε δεξιόχειρες. Αντίστοιχα τα τέσσερα επόμενα αντιστοιχούν σε αριστερόχειρες άντρες και τα τέσσερα τελευταία σε δεξιόχειρες. Η διακεκομμένη κυματομορφή αντιστοιχεί στον μέσο όρο των 15 πρώτων ερωτήσεων, ενώ η συνεχής κυματομορφή σε αυτόν των τελευταίων 15 ερωτήσεων.



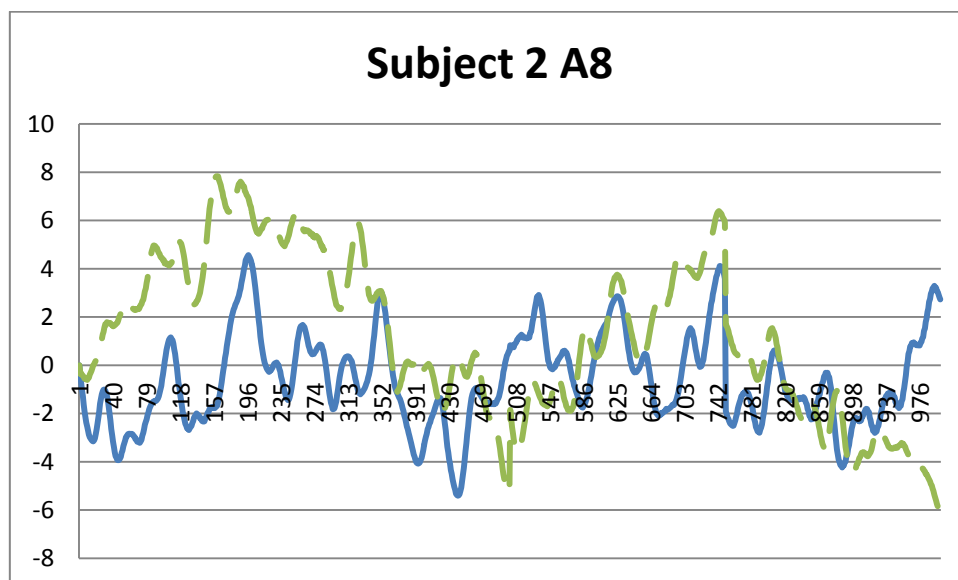
Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 1^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 17



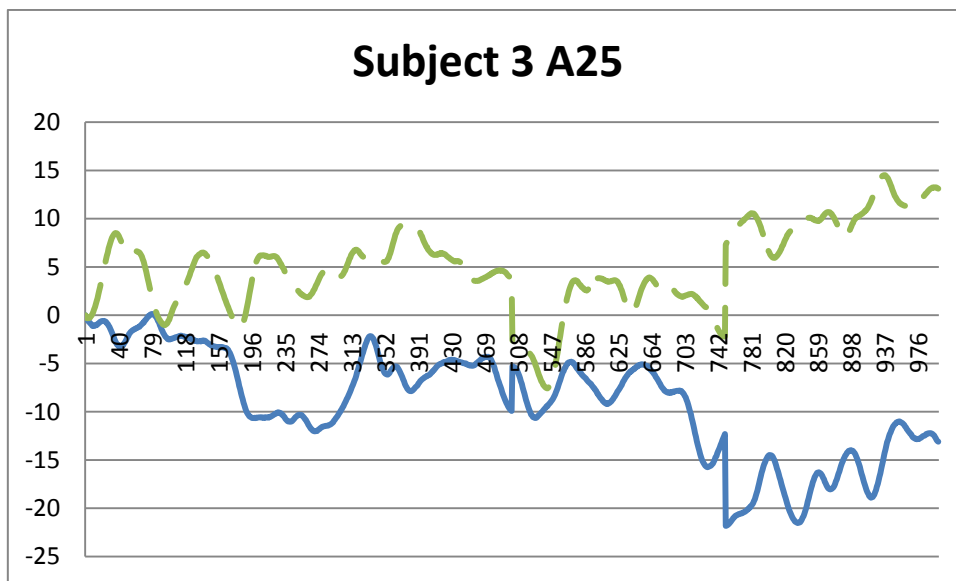
Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 1^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 24



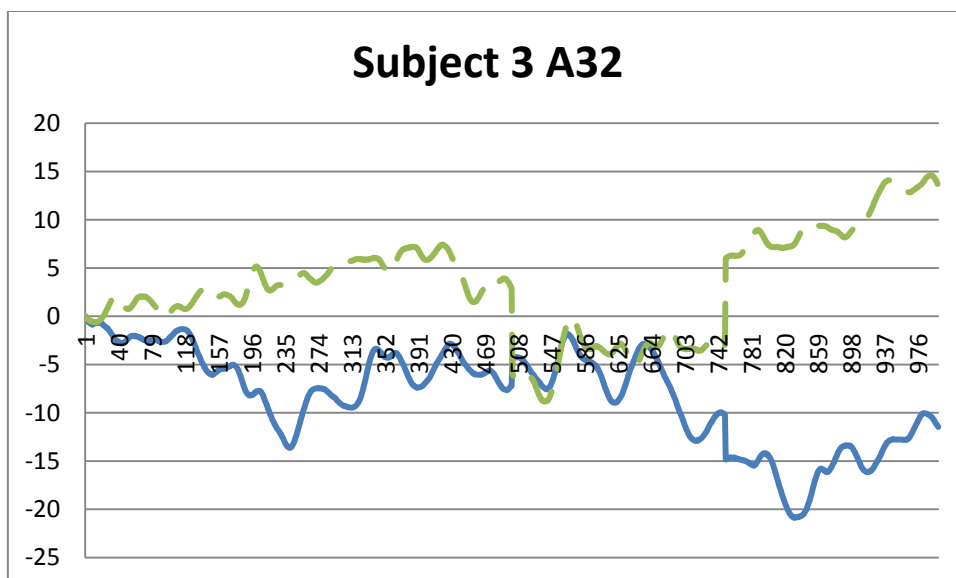
Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 2^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1



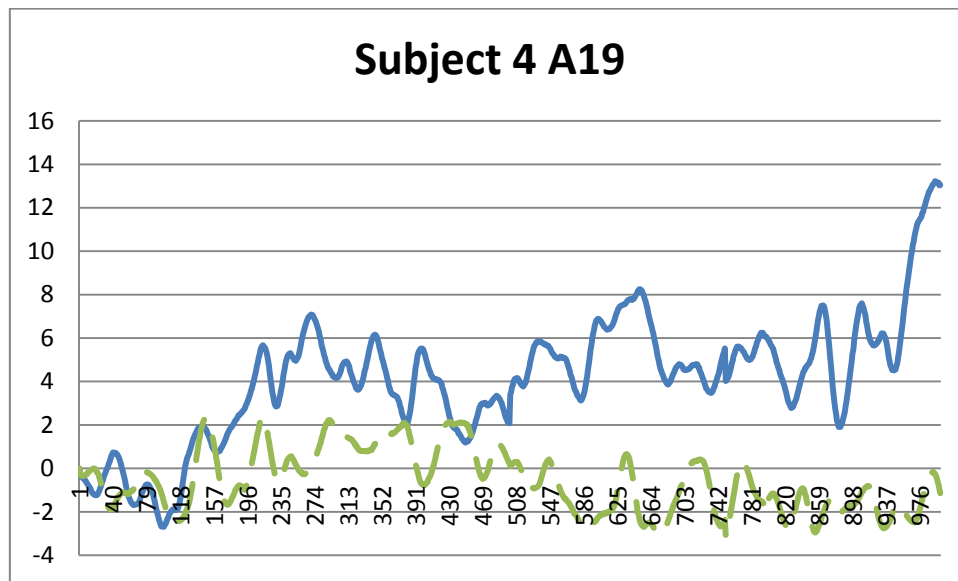
Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 2^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 8



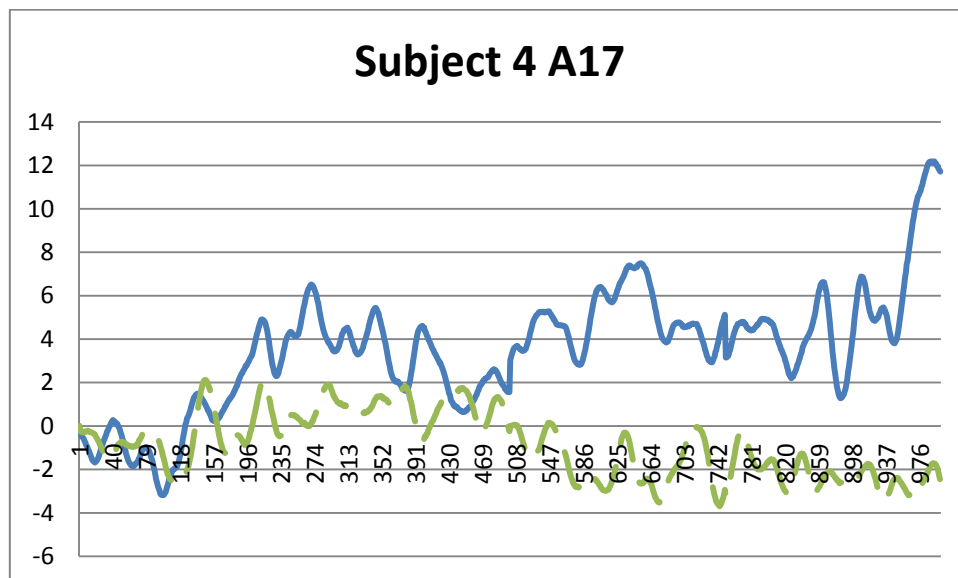
Διάγραμμα 4.5: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 3^{00} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25



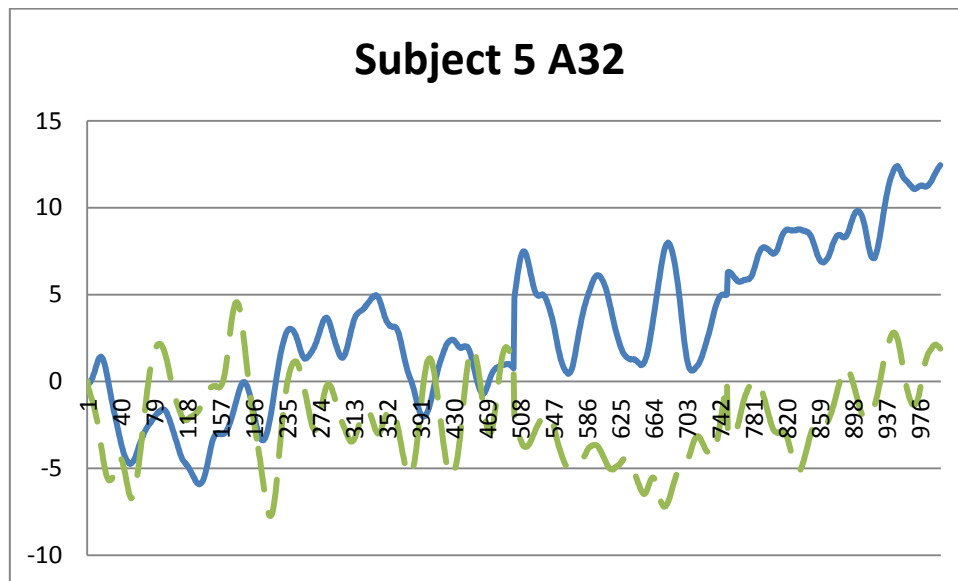
Διάγραμμα 4.6: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 3^{00} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32



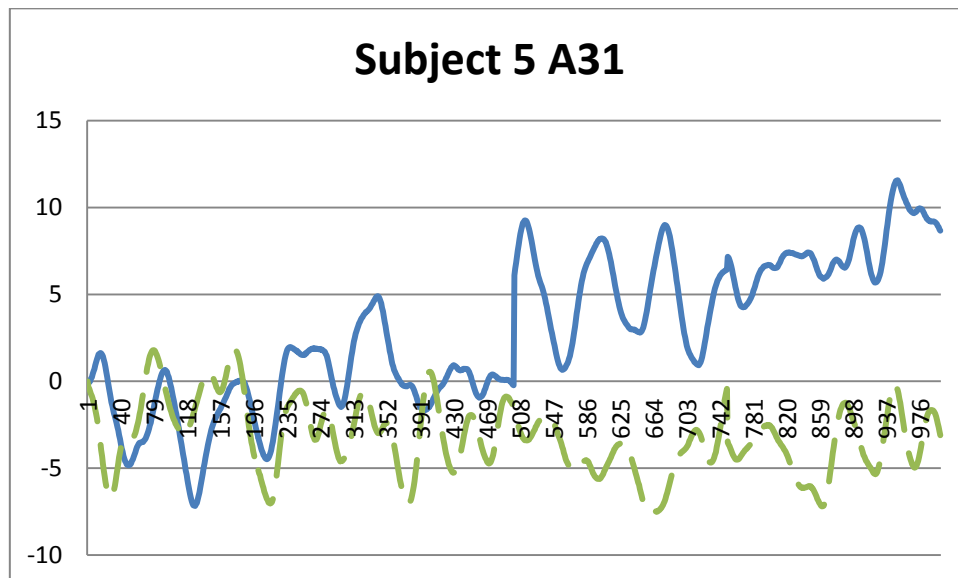
Διάγραμμα 4.7: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 4^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 19



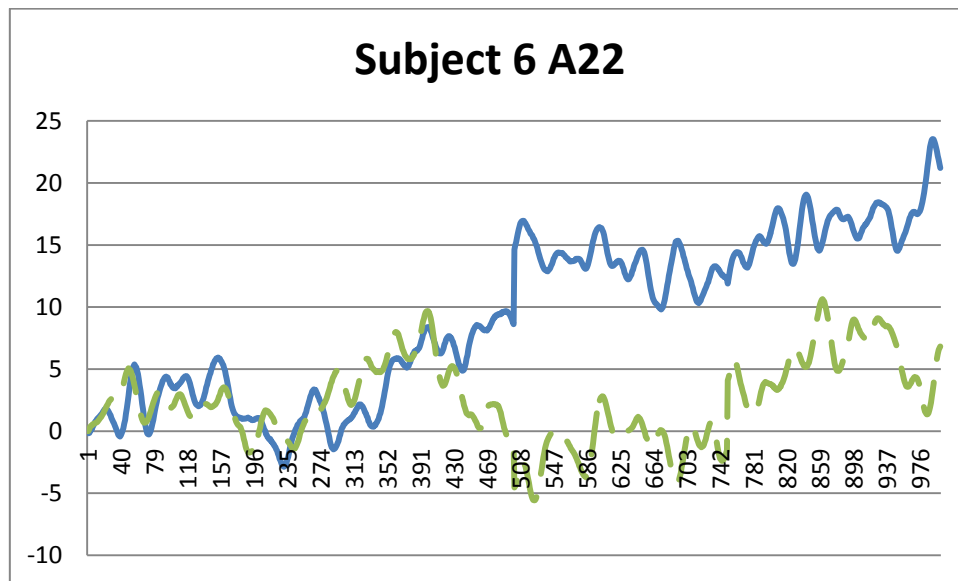
Διάγραμμα 4.8: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 4^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 17



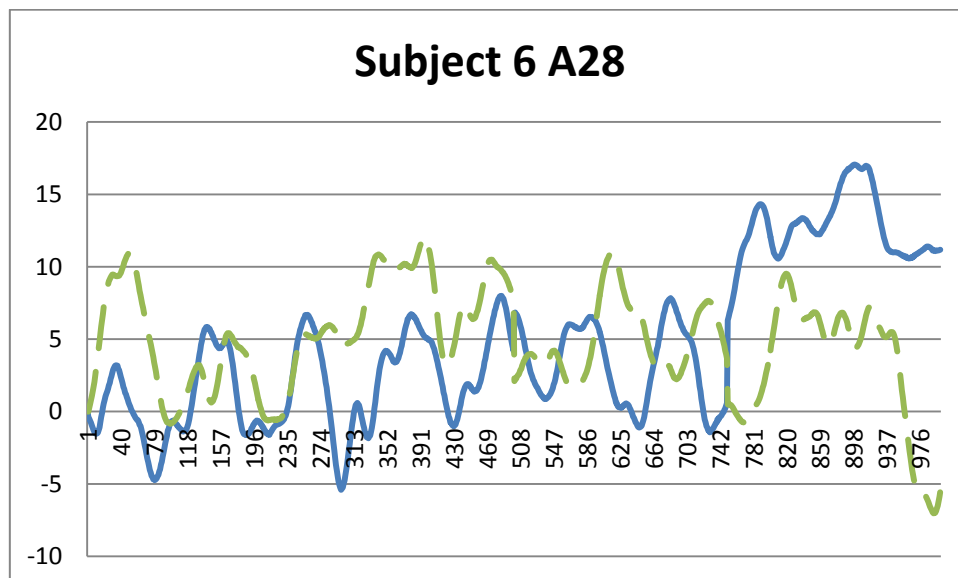
Διάγραμμα 4.9: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32



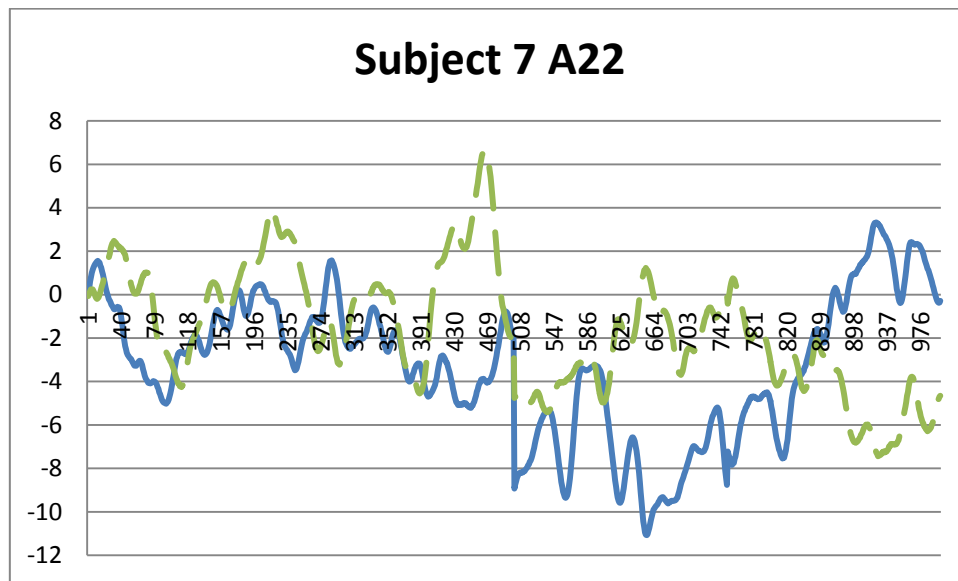
Διάγραμμα 4.10: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31



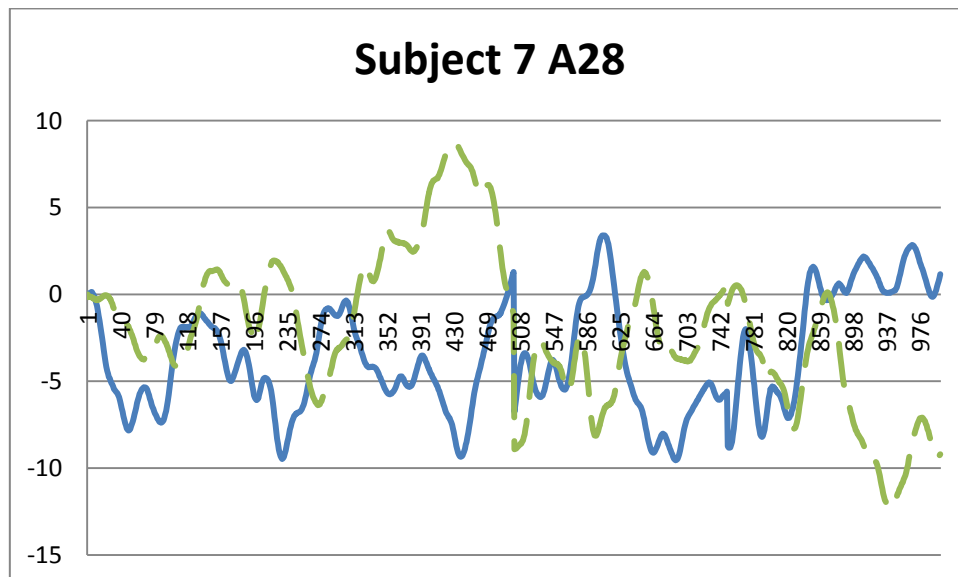
Διάγραμμα 4.11: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22



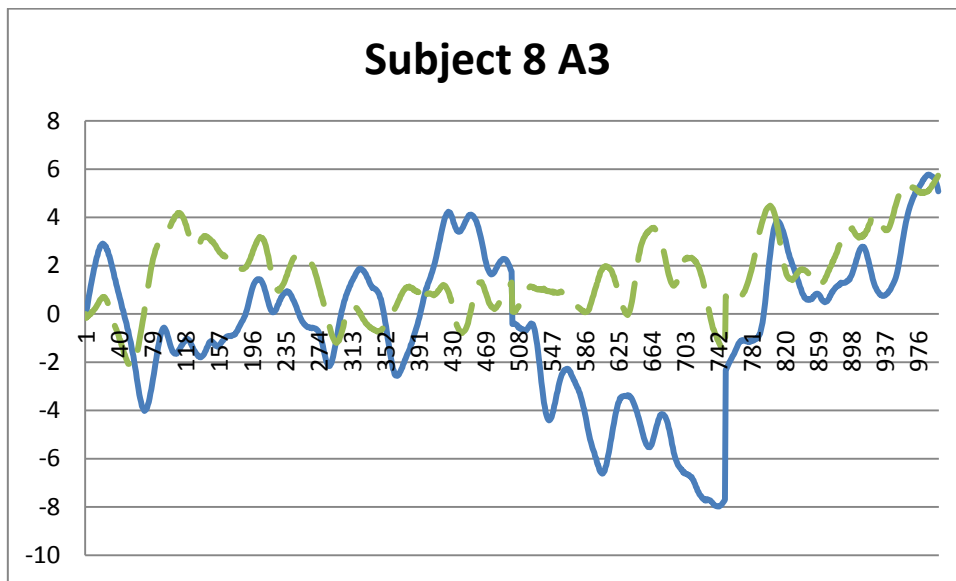
Διάγραμμα 4.12: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 28



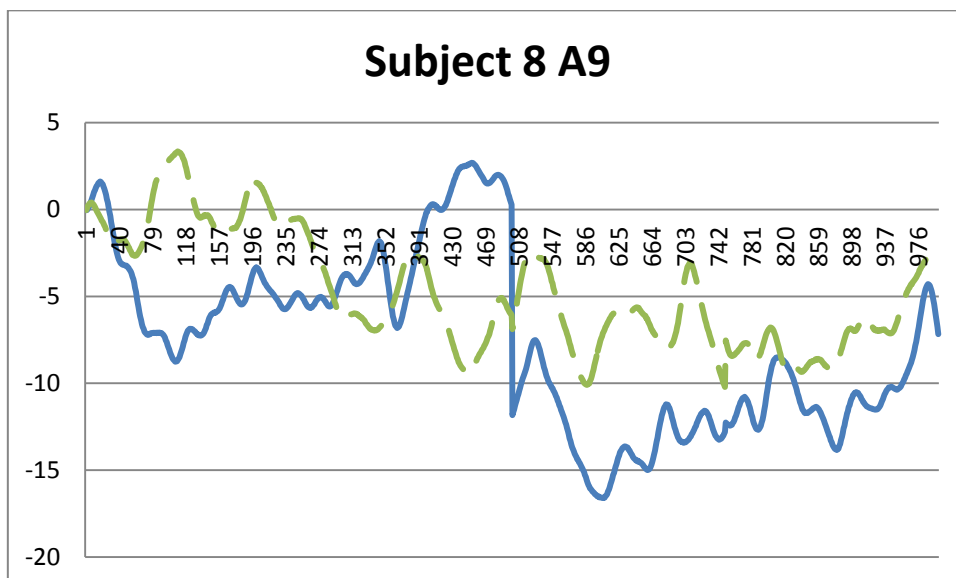
Διάγραμμα 4.13: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 7^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22



Διάγραμμα 4.14: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων 7^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 28



Διάγραμμα 4.15: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων $8^{ου}$ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3



Διάγραμμα 4.16: Σύγκριση μέσου όρου 15 πρώτων και 15 τελευταίων ερωτήσεων $8^{ου}$ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 9

Αν υπήρχε και μία τρίτη κυματομορφή για τον μέσο όρο και των 30 ερωτήσεων αυτή θα βρισκόταν κάθε χρονική στιγμή ακριβώς στη μέση των άλλων δύο (ημιάθροισμα αυτών). Παρατηρώντας τις δύο κυματομορφές βλέπουμε ότι υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ τους που τις περισσότερες χρονικές στιγμές είναι και αρκετά σημαντική. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε αρκετούς λόγους όπως κούραση ή συνήθεια του εξεταζόμενου στο πείραμα, ή η όχι πλήρης ηρεμία-αφοσίωσή του σε αυτό (π.χ. οποιεσδήποτε σκέψεις που ενδεχομένως να κάνει, ανοιγόκλειμα ματιών κ.ο.κ.). Για τους λόγους αυτούς καταλαβαίνουμε ότι η αποθρομβοποίηση με τη χρήση του μέσου όρου δεν είναι και η πλέον αντιπροσωπευτική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Έλεγχος Κανονικής Κατανομής της Ενέργειας Κορυφής P50

Στη συνέχεια της εργασίας μας θα επικεντρωθούμε στην επεξεργασία των μετρήσεων που βρίσκονται στο τμήμα των χρονικών στιγμών που αφορά το P50. Υπενθυμίζουμε ότι η κορύφωση P50 περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 ως 80 msec μετά το ερέθισμα, δηλαδή για τις μετρήσεις μας αντιστοιχεί στο χρονικό πλαίσιο 520ms-580ms.

Πολλοί επιστήμονες ισχυρίζονται ότι η θεμελιώδης αδυναμία σε συγκεκριμένες γλωσσικές διεργασίες που συσχετίζονται με τη δυσλεξία είναι ο περιορισμός στην ικανότητα του εγκεφάλου να επεξεργάζεται γρήγορα πληροφορίες της γλωσσικής λειτουργικής (βραχυπρόθεσμης) μνήμης. Οι σύγχρονες νευροψυχολογικές τάσεις ορίζουν τη λειτουργική μνήμη ως την ικανότητα να κρατούνται πληροφορίες σε ανάκληση, ανάλογα με τις ανάγκες, για έναν επικείμενο τρέχοντα στόχο. Ψυχοφυσιολογικές έρευνες αναφέρουν ότι η κορύφωση P50 των προκλητών ακουστικών δυναμικών αντανακλά τη συγχρονισμένη απόκριση του φλοιώδους θαλάμου. Επίσης, η κορύφωση P50 έχει πολλά κοινά με τη λειτουργική μνήμη επειδή θεωρείται το αποτύπωμα των συγχρονισμένων φλοιωδών νευρωνικών δικτύων που σχετίζονται με τη λειτουργική μνήμη.

5.1 Κανονική Κατανομή-Κεντρικό Οριακό Θεώρημα

Η κανονική κατανομή (γνωστή και ως Γκαουσιανή κατανομή) αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μία συνεχή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Χρησιμοποιείται ως μία πρώτη προσέγγιση για να περιγραφούν τυχαίες μεταβλητές πραγματικών τιμών, οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η κανονική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας για τους εξής βασικούς λόγους:

- Την κανονική κατανομή ακολουθούν είτε με ακρίβεια είτε με μεγάλη προσέγγιση τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα.
- Πολλές ασυνεχείς κατανομές πιθανοτήτων μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα πολλά πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος, το βάρος η βαθμολογία σε διαγώνισμα, κ.λπ.
- Τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις έχουν κανονική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο η Κανονική κατανομή αναφέρεται πολλές φορές και ως κατανομή σφαλμάτων.

- Η κανονική κατανομή αποτελεί σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα τη βάση της στατιστικής συμπεραματολογίας ή επαγωγικής στατιστικής.

Σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα το άθροισμα ενός ικανοποιητικά μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή. Έτσι, αν από έναν πληθυσμό που ακολουθεί οποιαδήποτε κατανομή με μέση τιμή μ και διασπορά σ^2 , επιλέξουμε τυχαία δείγματα μεγέθους n (θεωρητικά $n \rightarrow \infty$) η κατανομή αυτών των μέσων (των δειγματικών) είναι κατά προσέγγιση κανονική κατανομή με μέση τιμή επίσης μ και διασπορά σ^2/n .

Δύο βασικά μεγέθη της κατανομής ενός πληθυσμού είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας και ο συντελεστής κυρτότητας:

A) Συντελεστής Ασυμμετρίας

Η κατανομή ενός πληθυσμού μπορεί να είναι είτε συμμετρική είτε μη συμμετρική. Στην πρώτη περίπτωση η κορυφή, η διάμεσος και η μέση τιμή συμπίπτουν. Στις άλλες περιπτώσεις ένα από τα τμήματα στα οποία χωρίζει την κατανομή η κορυφή περιέχει περισσότερες παρατηρήσεις από το άλλο. Υπάρχουν δύο ειδών ασυμμετρίες, η θετική ασυμμετρία στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις, καθώς επίσης και η διάμεσος και η μέση τιμή, βρίσκονται δεξιά της κορυφής και στη περίπτωση αυτή μάλιστα ισχύει $M_o < X_{\delta} < X_{\mu}$, και η αρνητική ασυμμετρία στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις, όπως η διάμεσος και η μέση τιμή, βρίσκονται αριστερά της κορυφής και στη περίπτωση αυτή μάλιστα ισχύει $X_{\mu} < X_{\delta} < M_o$.

Σαν αριθμητικό μέτρο καθορισμού της ασυμμετρίας το συνηθέστερο είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας με βάση τις ροπές ο οποίος ορίζεται ως:

$$\gamma = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^3}$$

Όταν $\gamma > 0$ έχουμε θετική ασυμμετρία, όταν $\gamma < 0$ έχουμε αρνητική ασυμμετρία, ενώ όταν $\gamma = 0$ έχουμε συμμετρία.

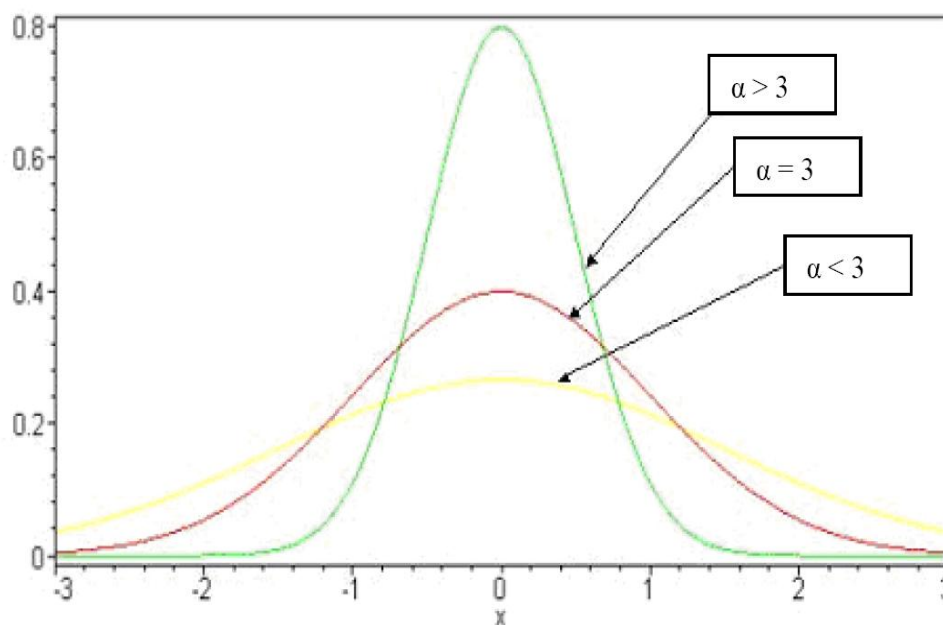
B) Συντελεστής Κυρτότητας

Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και επομένως μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο λέγεται λεπτόκυρτη, ενώ αν η μέγιστη συχνότητά της είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη. Κατανομές που προσεγγίζονται από την κανονική κατανομή λέγονται μεσόκυρτες.

Ένα μέτρο που εκφράζει το βαθμό κυρτότητας μιας κατανομής είναι ο συντελεστής κυρτότητας του Pearson ο οποίος ορίζεται από τον τύπο:

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^4}$$

Για λεπτόκυρτες κατανομές πρέπει $\alpha > 3$ (θετική κύρτωση), για πλατύκυρτες κατανομές πρέπει $\alpha < 3$ (αρνητική κύρτωση) ενώ τέλος για κανονικές κατανομές θα πρέπει $\alpha = 3$ και $\gamma = 0$.



Εικόνα 5.1: Συντελεστής κυρτότητας για διάφορες τιμές του α .

5.2 Test-Κριτήριο Kolmogorov-Smirnov

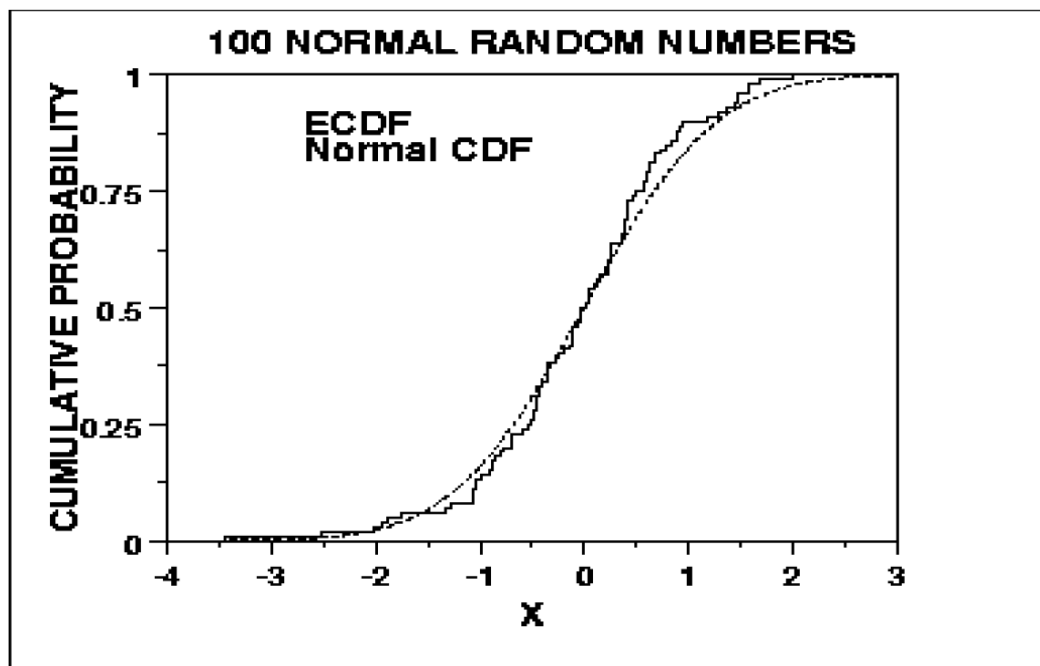
Στη στατιστική, το τεστ Kolmogorov-Smirnov (K-S) είναι ένα μη παραμετρικό τεστ για την ισότητα της συνεχούς, μονοδιάστατης κατανομής πιθανότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει ένα δείγμα με μια κατανομή πιθανότητας αναφοράς (one sample K-S test) ή να συγκριθούν δύο δείγματα (two sample K-S test). Η K-S στατιστική ποσοτικοποιεί μία απόσταση μεταξύ της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής του δείγματος και της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής της κατανομής αναφοράς ή μεταξύ των εμπειρικών συναρτήσεων κατανομής των δύο δειγμάτων. Η μηδενική κατανομή της στατιστικής αυτής υπολογίζεται υπό την μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα ελήφθησαν από την ίδια κατανομή (στην περίπτωση των δύο δειγμάτων) ή ότι το δείγμα προέρχεται από την κατανομή αναφοράς (στην περίπτωση ενός δείγματος). Σε κάθε περίπτωση οι κατανομές θεωρούνται υπό την μηδενική υπόθεση ότι είναι συνεχείς κατανομές αλλά κατά τ'άλλα ελεύθερες.

Το K-S test μπορεί να τροποποιηθεί για να χρησιμεύσει ως τεστ καλής προσαρμογής. Στην ειδική περίπτωση των δοκιμών για την κανονικότητα της κατανομής, τα δείγματα είναι τυποποιημένα και σε σύγκριση με μία τυπική κανονική κατανομή.

Το κριτήριο Kolmogorov-Smirnov στηρίζεται στην εμπειρική συνάρτηση πιθανότητας E_N που ορίζεται ως εξής:

$$E_N = \sum N_i / N$$

Όπου N ο αριθμός των παρατηρήσεων X_1, X_2, \dots, X_N και N_i είναι ο αριθμός παρατηρήσεων μικρότερος του X_i όταν τα X_i είναι διατεταγμένα κατά αύξουσα σειρά.



Εικόνα 5.2: Εμπειρική κατανομή και κανονική αθροιστική κατανομή

Το κριτήριο αυτό μαθηματικά εκφράζεται ως εξής :

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} \left| F(x_i) - \sum N_i/N \right|$$

Όπου η $F(x_i)$ η θεωρητική αθροιστική κατανομή της κατανομής που ελέγχεται (η κατανομή πρέπει να είναι συνεχής). Η προσαρμογή της κατανομής στα δεδομένα θεωρείται ικανοποιητική όταν :

$$D < D_{cr}$$

Η κρίσιμη ποσότητα D_{cr} είναι συνάρτηση του βαθμού εμπιστοσύνης και βρίσκεται σε πίνακες.

5.3 Επεξεργασία μετρήσεων P50

Ο έλεγχος της κατανομής των ερωτήσεων έγινε και μέσω του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov. Για συντομία και λόγω του μεγάλου όγκου των αρχικών δεδομένων, ο έλεγχος αυτός επικεντρώθηκε στην ενέργεια της κορυφής P50, όλων των Hayling test και όλων των ατόμων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε κώδικας MATLAB ο οποίος από κάθε αρχικό excel απομόνωνε τα 60 ms που αντιστοιχούν στο P50, τα ύψωνε στο τετράγωνο και έβρισκε το άθροισμα των τετραγωνισμένων τιμών, για κάθε ηλεκτρόδιο και κάθε ερώτηση. Υπενθυμίζεται ότι η ενέργεια ενός σήματος στο πεδίο του χρόνου υπολογίζεται από το ακόλουθο ολοκλήρωμα:

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt$$

Από τον κώδικα αυτόν προέκυψε για κάθε εξεταζόμενο ένας πίνακας μετρήσεων που αντιστοιχούν στις τιμές της ενέργειας του P50 του εξεταζόμενου για κάθε ηλεκτρόδιο.

Στη συνέχεια ελέγχθηκε η κατανομή των ενεργειών στις 30 ερωτήσεις μέσω του κριτηρίου Kolmogorov-Smirnov ως προς την κανονικότητά της.

Παρακάτω παρατείνεται ένας πίνακας που δείχνει τον αριθμό των εξεταζομένων για τους οποίους το κριτήριο K-S έδωσε τιμή D μεγαλύτερη της κρίσιμης D_{cr} , επομένως δεν ακολουθούν κανονική κατανομή. Η επεξεργασία αυτή έγινε για το σύνολο των 63 εξεταζομένων και για κάθε Hayling test .

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε ότι για όλα τα ηλεκτρόδια, σε κάθε συνθήκη Hayling υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός εξεταζομένων που δεν ακολουθεί κανονική κατανομή όσον αφορά την ενέργεια του P50. Στις περισσότερες περιπτώσεις μάλιστα αυτό παρατηρείται για περισσότερους από τους μισούς εξεταζόμενους. Αυτό αποτελεί ακόμα μία ένδειξη ότι οι βασιζόμενες στον υπολογισμό του μέσου όρου από πολλές επαναλήψεις μέθοδοι επεξεργασίας που εφαρμόζονται στα Π.Δ. και προϋποθέτουν ότι οι τιμές των επαναλήψεων ακολουθούν κανονική κατανομή, πιθανόν να καταλήγουν σε λανθασμένα συμπεράσματα ή ακόμη και να «χάνουν» κάποιες πληροφορίες.

electrodes	Hayling A	Hayling B	Hayling C
1	39/63	45/63	46/63
2	46/63	51/63	43/63
3	40/63	46/63	41/63
4	33/63	35/63	42/63
5	34/63	35/63	35/63
6	38/63	38/63	37/63
7	42/63	46/63	43/63
8	39/63	45/63	43/63
9	43/63	46/63	45/63
10	25/63	33/63	32/63
11	40/63	36/63	38/63
12	51/63	50/63	53/63
13	54/63	58/63	57/63
14	37/63	40/63	37/63
15	35/63	39/63	36/63
16	44/63	46/63	42/63
17	34/63	32/63	25/63
18	25/63	26/63	30/63
19	27/63	36/63	32/63
20	47/63	49/63	48/63
21	52/63	53/63	52/63
22	31/63	43/63	28/63
23	29/63	35/63	29/63
24	29/63	38/63	21/63
25	31/63	34/63	24/63
26	29/63	37/63	26/63
27	27/63	29/63	26/63
28	25/63	33/63	27/63
29	35/63	33/63	33/63
30	54/63	57/63	51/63
31	29/63	34/63	31/63
32	26/63	38/63	32/63

Πίνακας 5.1: Στατιστικά αποτελέσματα κριτηρίου K-S

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Γενετικοί Αλγόριθμοι

Τα τελευταία τριάντα χρόνια, παρατηρείται ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη συστημάτων επίλυσης προβλημάτων βασισμένων στις αρχές της φυσικής εξέλιξης. Τα συστήματα αυτού του είδους λειτουργούν διατηρώντας ένα πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων του προβλήματος που προσπαθούμε να επιλύσουμε, και εφαρμόζοντας πάνω σε αυτόν διάφορες διαδικασίες εμπνευσμένες από τη βιολογική εξέλιξη. Έτσι, περνώντας από γενιά σε γενιά, τα συστήματα αυτά δημιουργούν συνεχώς νέους πληθυσμούς πιθανών λύσεων εξελίσσοντάς τους προηγούμενους πληθυσμούς.

Οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι** είναι ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος που μαζί με τον εξελικτικό προγραμματισμό, τις στρατηγικές εξέλιξης, τα συστήματα ταξινόμησης και το γενετικό προγραμματισμό αποτελούν μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων που είναι ευρύτερα γνωστή με τον όρο εξελικτικοί αλγόριθμοι.

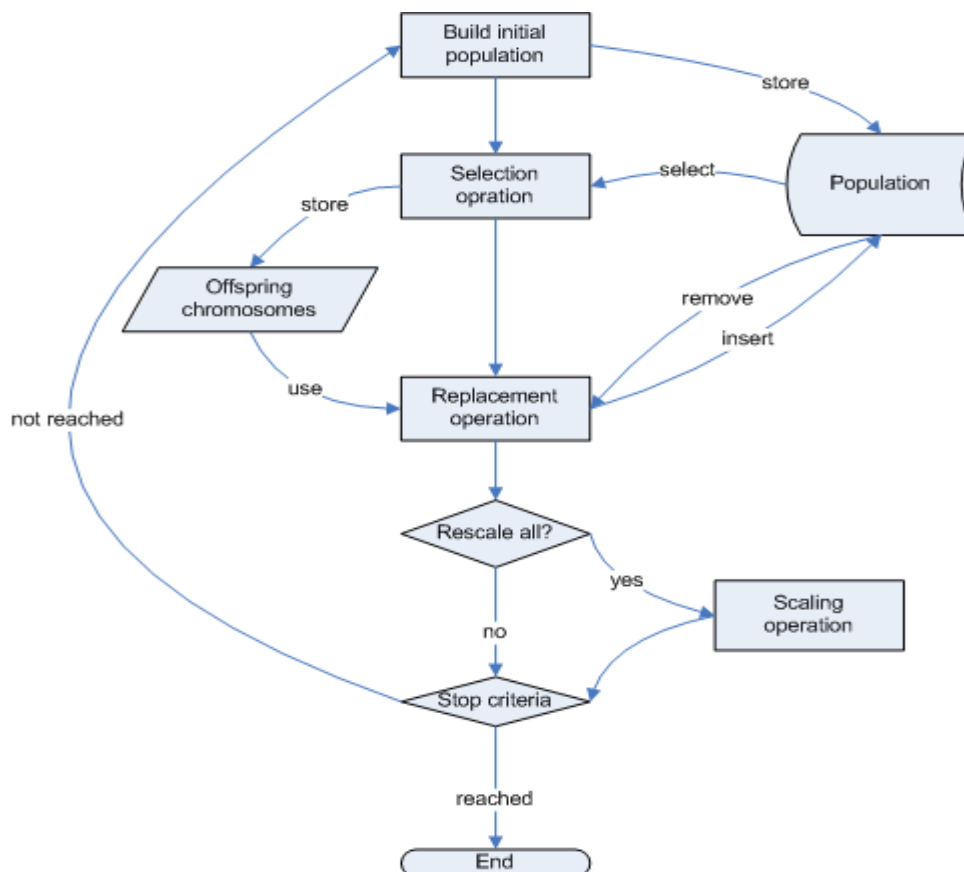
Η πρώτη εμφάνιση των γενετικών αλγορίθμων χρονολογείται στις αρχές του 1950, όταν διάφοροι επιστήμονες από το χώρο της βιολογίας αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές στην προσπάθειά τους να προσομοιώσουν πολύπλοκα βιολογικά συστήματα. Η συστηματική τους ανάπτυξη όμως, που οδήγησε στη μορφή με την οποία είναι γνωστοί σήμερα, πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 1970 από τον John Holland και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan.

Οι Γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στο κλάδο της επιστήμης υπολογιστών και αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που να μπορεί να βρει το βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με το όσο πιο δυνατόν επιθυμητό τρόπο.

6.1 Λειτουργία γενετικών αλγορίθμων

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων (0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται το γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς

οργανισμούς. Στην πράξη ο αλγόριθμος ξεκινά μ' ένα σύνολο λύσεων, που ονομάζονται γονιδιώματα, δανειζόμενες το όνομά τους από τη βιολογία- οι οποίες συνιστούν τον "πληθυσμό". Κατόπιν, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής/γεννητικού κώδικα, συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας ένα πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση (τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος) δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας (Σ.Ι). Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η Σ.Ι, αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη.



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου

Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την Σ.Ι. Συνήθως, όσο περισσότερες γενιές περνούν τόσο καλύτερες λύσεις βρίσκονται, μπορεί όμως ο αλγόριθμος να βρεθεί σε σημείο του πεδίου των λύσεων από όπου και δεν μπορεί να προχωρήσει λόγω του ότι βρίσκεται σε τοπικό μέγιστο. Για το λόγο αυτό υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές του αλγόριθμου ανάλογα με τη μορφή του προβλήματος.

6.2 Χαρακτηριστικά Γενετικών Αλγορίθμων

Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της παραπάνω διαδικασίας για τους Γ.Α από τις οποίες κάποιες περιλαμβάνουν και τη διασταύρωση (ζευγάρωμα) γονιδίων/λύσεων ώστε ο αλγόριθμος να φτάσει στο αποτέλεσμα πιο γρήγορα. Καθώς υπάρχει το στοχαστικό (τυχαίο) συστατικό της μετάλλαξης και ζευγαρώματος, κάθε εκτέλεση του Γ.Α μπορεί να συγκλίνει σε διαφορετική λύση και σε διαφορετικό χρόνο. Η απόδοση του Γ.Α εξαρτάται επί το πλείστον από την συνάρτηση ικανότητας και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν επιλύουν το πρόβλημα με αναλυτικό/μαθηματικό τρόπο αλλά με βιολογικό. Συνεπώς έχουν μεγαλύτερη ενδογενή ευελιξία και ελευθερία να επιλέγουν μια επιθυμητή βέλτιστη λύση σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προβλήματος. Ουσιαστικά οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι αλγόριθμοι αναζήτησης (heuristics) που προσπαθούν να αναζητήσουν την λύση του προβλήματος που τους αναθέτουμε.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ένας γενετικός αλγόριθμος για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω πέντε χαρακτηριστικά:

- i) Μια γενετική αναπαράσταση των πιθανών λύσεων του προβλήματος.
- ii) Έναν τρόπο δημιουργίας ενός αρχικού πληθυσμού από πιθανές λύσεις (αρχικοποίηση).
- iii) Μια αντικειμενική συνάρτηση (συνάρτηση ικανότητας) αξιολόγησης των μελών του πληθυσμού, που παίζει τον ρόλο του περιβάλλοντος.
- iv) Γενετικούς τελεστές για τη δημιουργία νέων μελών (λύσεων).

- v) Τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο γενετικός αλγόριθμος (μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητες εφαρμογής των γενετικών τελεστών, κτλ).

6.3 Πλεονεκτήματα Γενετικών Αλγορίθμων

Η χρήση των ΓΑ σε διάφορες εφαρμογές είναι ελκυστική για αρκετούς λόγους. Οι κυριότεροι, ίσως, είναι οι εξής :

1. Μπορούν να λύσουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα. Ένας από τους σημαντικούς λόγους χρήσης των ΓΑ είναι η μεγάλη τους αποδοτικότητα. Τόσο η θεωρία, όσο και η πράξη έχουν δείξει ότι προβλήματα που έχουν πολλές, δύσκολα προσδιορισμένες, λύσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα από ΓΑ. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι συναρτήσεις που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και καθιστούν ανεπαρκείς άλλες μεθόδους στην εύρεση των ακροτάτων τους, για τους ΓΑ αυτές οι διακυμάνσεις δεν αποτελούν σημεία δυσχέρειας.
2. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα. Οι ΓΑ προσφέρουν το σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους με προσθετικό τρόπο στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα, μη απαιτώντας την επανασχεδιάσή τους. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τον υπάρχοντα κώδικα, χωρίς μεγάλο κόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες της διαδικασίας ή συνάρτησης που πρόκειται να βελτιστοποιήσουν, δίχως να ενδιαφέρει άμεσα ο ρόλος της μέσα στο σύστημα ή η όλη δομή του συστήματος.
3. Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι. Οι ΓΑ δεν αντιστέκονται σε αλλαγές, επεκτάσεις και μετεξελίξεις, ανάλογα με την κρίση του σχεδιαστή. Σε πολλές εφαρμογές, έχουν αναφερθεί λειτουργίες των ΓΑ, που δεν είναι αντιγραμμένες από τη φύση ή που έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, πάντα προς όφελος της απόδοσης. Παραλλαγές στο βασικό σχήμα δεν είναι απλά ανεκτές, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις επιβάλλονται.
4. Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους. Αν και η ισχύς των ΓΑ είναι μεγάλη, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις προβλημάτων, όπου άλλες μέθοδοι συμβαίνει να έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα, λόγω εξειδίκευσης, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός υβριδικού σχήματος ΓΑ με άλλη μέθοδο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ευελιξίας των ΓΑ.
5. Εφαρμόζονται σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο. Το χαρακτηριστικό, που τους εξασφαλίζει αυτό το πλεονέκτημα, είναι η

ελευθερία επιλογής των κριτηρίων που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον. Έτσι, ΓΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικονομία, στο σχεδιασμό μηχανών, στην επίλυση μαθηματικών εξισώσεων, στην εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων και σε πολλούς άλλους τομείς.

6. Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Ο κύριος λόγος που καθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους δύσκαμπτες και ακατάλληλες για πολλά προβλήματα είναι η απαίτησή τους για ύπαρξη περιορισμών, όπως ύπαρξη παραγώγων, συνέχεια, όχι «θορυβώδεις» συναρτήσεις κτλ. Τέτοιου είδους ιδιότητες είναι αδιάφορες για τους ΓΑ πράγμα που τους κάνει κατάλληλους για μεγάλο φάσμα προβλημάτων.
7. Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας. Η μόνη επικοινωνία του ΓΑ με το περιβάλλον του είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται την επιτυχία του ανεξάρτητα από τη σημασία του προβλήματος. Βέβαια αυτό δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλυτα προβλήματα για τους ΓΑ Όπου όμως, δεν τα καταφέρνουν, η αιτία είναι η φύση του χώρου που ερευνούν και όχι το πληροφοριακό περιεχόμενο του προβλήματος.
8. Έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού. Οι ΓΑ σε κάθε τους βήμα επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας, αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Έχει υπολογιστεί ότι η αναλογία αυτή είναι της τάξεως $O(n^3)$, δηλαδή 10 άτομα αντιπροσωπεύουν περίπου 1000. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι μπορούν να καλύψουν με αποδοτικό ψάξιμο μεγάλους χώρους σε μικρούς χρόνους.
9. Είναι η μόνη μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Ο συνδυασμός αυτός σπάνια συναντάται σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Με το τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου, αλλά δεν γίνεται εκμετάλλευση της πληροφορίας. Αντίθετα, με την αναζήτηση με μικρά άλματα στη συνάρτηση (hillclimbing) γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας, αλλά όχι καλή εξερεύνηση. Συνήθως τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά και το επιθυμητό είναι να συνυπάρχουν και τα δύο προς όφελος της όλης διαδικασίας. Οι ΓΑ επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, πράγμα που τους κάνει ιδιαίτερα αποδοτικούς και ελκυστικούς.
10. Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση. Οι ΓΑ μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών, αφού λόγω της φύσης τους, εύκολα μπορούν να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση. Το χαρακτηριστικό αυτό αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους, ενώ σπάνια συναντάται σε ανταγωνιστικές μεθόδους.

6.4 Εφαρμογές Γενετικών Αλγορίθμων

Στα πρώτα τους βήματα οι Γ.Α. αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης και ανάπτυξης σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. Τα τελευταία χρόνια όμως, οι μεγάλες ανάγκες για δημιουργία αποδοτικών εφαρμογών στο χώρο της βελτιστοποίησης, σε συνδυασμό με την πολλά υποσχόμενη τεχνολογία των Γ.Α. ώθησαν στη χρήση του Γενετικού Προγραμματισμού (Genetic Programming) σε πολλές εφαρμογές ενός ευρύτατου φάσματος πεδίων με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Σήμερα υπάρχουν και λειτουργούν με επιτυχία πολλά συστήματα βασισμένα σε Γ.Α. σε τομείς όπως η Επεξεργασία Εικόνας (Image Processing), ο Computer Aided Design (CAD), η Οικονομία, οι Τηλεπικοινωνίες, η Τεχνολογία Λογισμικού (Software Engineering), ο Χρονοπρογραμματισμός (Scheduling), τα Γραφικά Υπολογιστών (Computer Graphics) και πολλοί άλλοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Επεξεργασία με Γενετικούς Αλγόριθμους

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων στα αρχικά δεδομένα. Σκοπός είναι η στάθμιση των αρχικών τιμών με τρόπο τέτοιο ώστε τα νέα δεδομένα που θα προκύψουν από την επεξεργασία αυτή να «υπακούουν» στο κεντρικό οριακό θεώρημα και να προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, θα παρατηρήσουμε τη «διόρθωση» του συντελεστή κύρτωσης στη τιμή $\alpha=3$ και του συντελεστή ασυμμετρίας στη τιμή $\gamma=0$.

7.1 Αναλυτική επεξεργασία των μετρήσεων

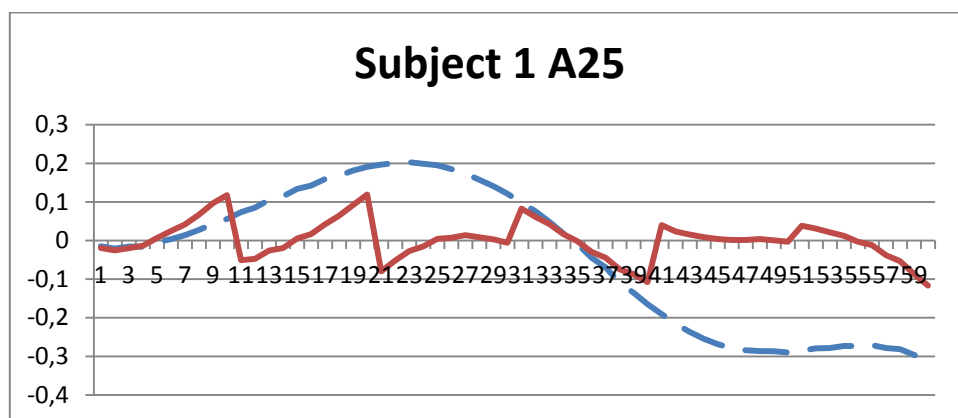
Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για τις μετρήσεις που προέκυψαν από το πείραμα του test Hayling A και για το χρονικό διάστημα της κορύφωσης P50, με χρήση δύο κώδικων MATLAB. Σκοπός του πρώτου κώδικα ήταν η εξαγωγή κατάλληλων βαρών έτσι ώστε οι αρχικές μετρήσεις, αφού πολλαπλασιαστούν με αυτά να προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Πιο συγκεκριμένα, τον κώδικα αυτόν τον τρέξαμε για κάθε ένα άτομο και για κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια που μας ενδιαφέρουν ξεχωριστά για κάθε μία από τις χρονικές στιγμές 525ms, 535ms, 545ms, 555ms, 565ms και 575ms μέσα από το περιβάλλον `optimool` ga της MATLAB για τους γενετικούς αλγόριθμους. Η αντικειμενική συνάρτηση την οποία ο γενετικός καλούνταν να ελαχιστοποιήσει, δημιουργήθηκε έτσι ώστε η ασυμμετρία και η κύρτωση των τελικών αποτελεσμάτων να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις τιμές 0 και 3 αντίστοιχα. Αποδεκτά ήταν τα βάρη για τα οποία η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ήταν της τάξης του 10^{-3} ή μικρότερη. Έτσι προέκυψαν τα βάρη των 30 ερωτήσεων κάθε ατόμου για κάθε μία από τις προαναφερθείσες χρονικές στιγμές. Αυτό σημαίνει ότι ο γενετικός αλγόριθμος μας έδωσε όσες γενιές λύσεων χρειάστηκαν μέχρι να έχουμε αποδεκτή τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Με τη χρήση του δεύτερου κώδικα υπολογίστηκε η ασυμμετρία και η κύρτωση των αρχικών μετρήσεων, ενώ στη συνέχεια και αφού έγινε ο πολλαπλασιασμός των μετρήσεων αυτών με τα παραπάνω βάρη έγινε εκ νέου υπολογισμός της ασυμμετρίας και της κύρτωσης. Έτσι για κάθε άτομο προέκυψαν δύο excel των 26 sheets (όσα και τα ηλεκτρόδια που αντιστοιχούν στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα) με 60 γραμμές (όσα και τα ms του P50) και 2 στήλες, μία για την ασυμμετρία και μία για τη κύρτωση. Απο τα excel αυτά προέκυψαν και τα αντίστοιχα διαγράμματα κύρτωσης και ασυμμετρίας τα οποία παρατίθενται εν συνεχεία σε αντιπαράθεση.

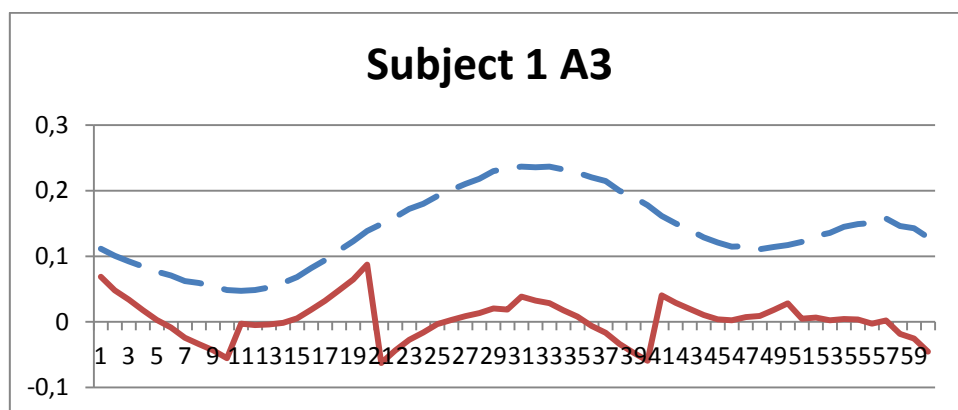
7.2 Διαγράμματα-Συμπεράσματα

Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα από τα προαναφερθέντα διαγράμματα, ενδεικτικά από τα άτομα των οποίων τα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκαν και στην αποθρομβοποίηση με τη χρήση του μέσου όρου στο Κεφάλαιο 4 για τη διεξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων. Σημειώνεται ότι η συνεχής κυματομορφή αναφέρεται στα σταθμισμένα αποτελέσματα ενώ η διακεκομμένη στα αρχικά:

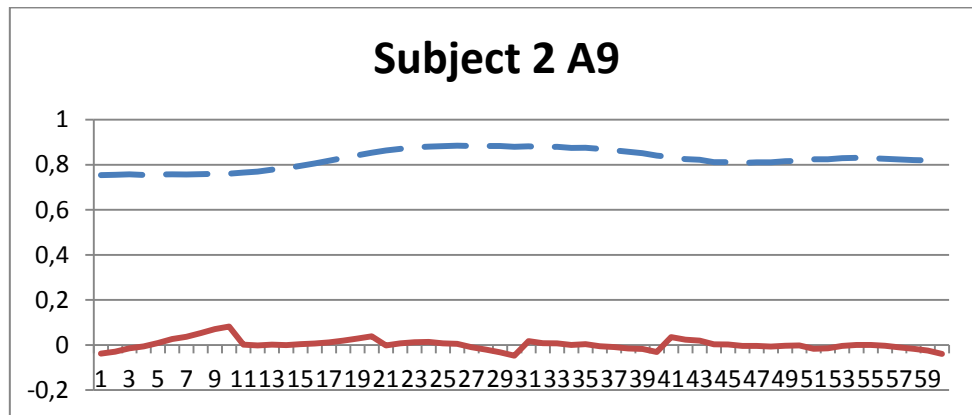
ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ



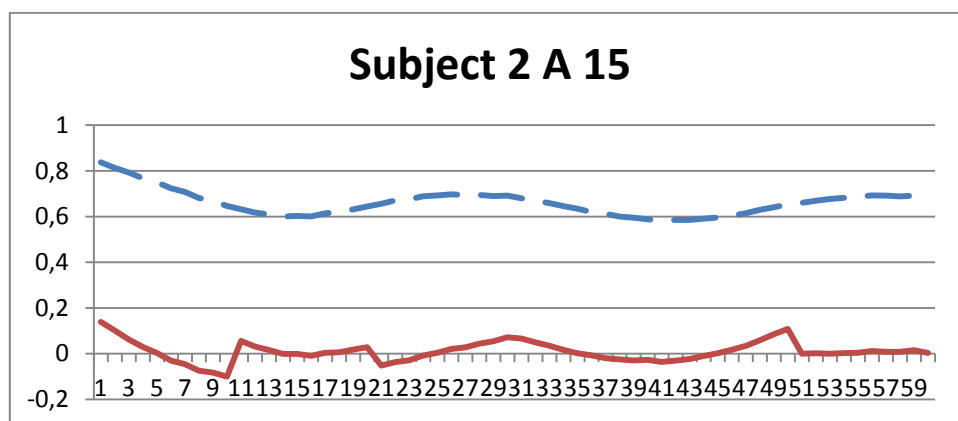
Διάγραμμα 7.1: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25



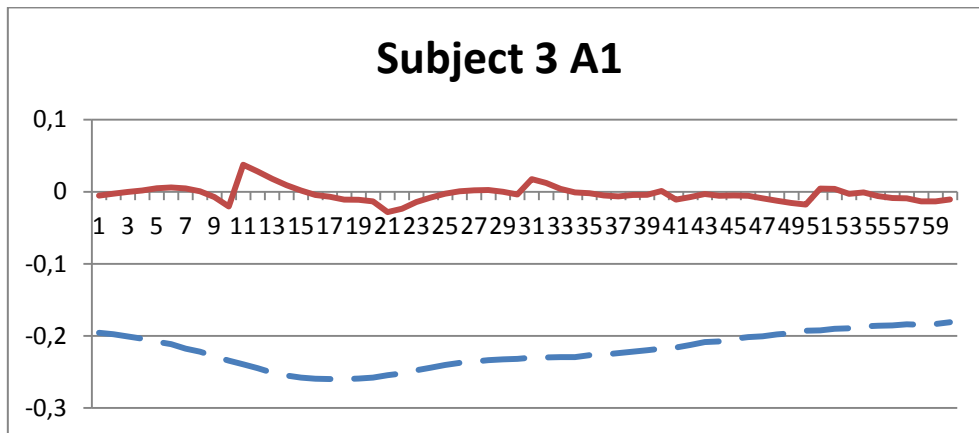
Διάγραμμα 7.2: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3



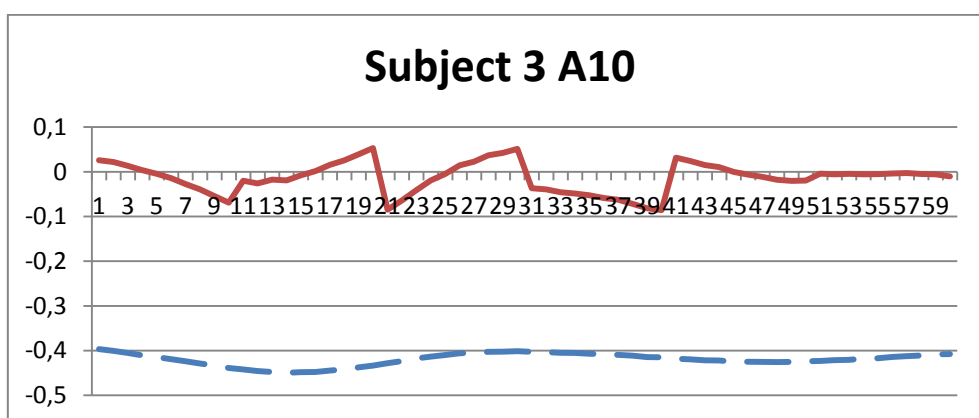
Διάγραμμα 7.3: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2⁰⁰ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 9



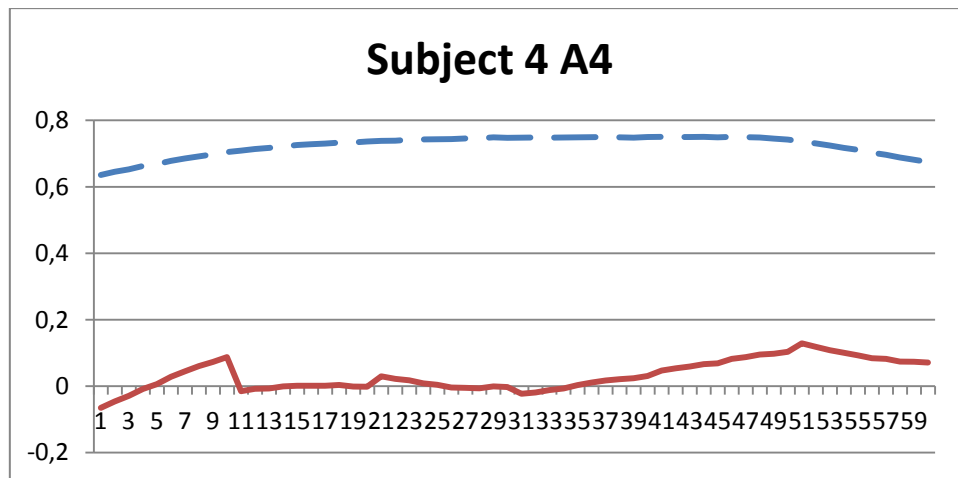
Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2⁰⁰ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 15



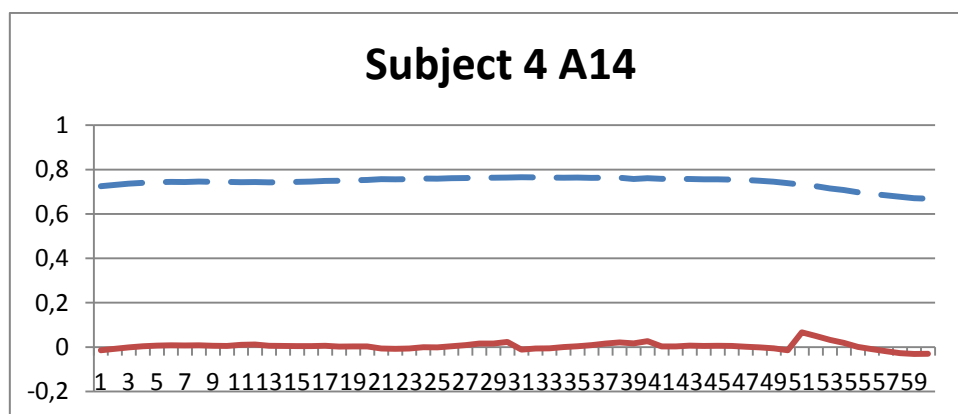
Διάγραμμα 7.5: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1



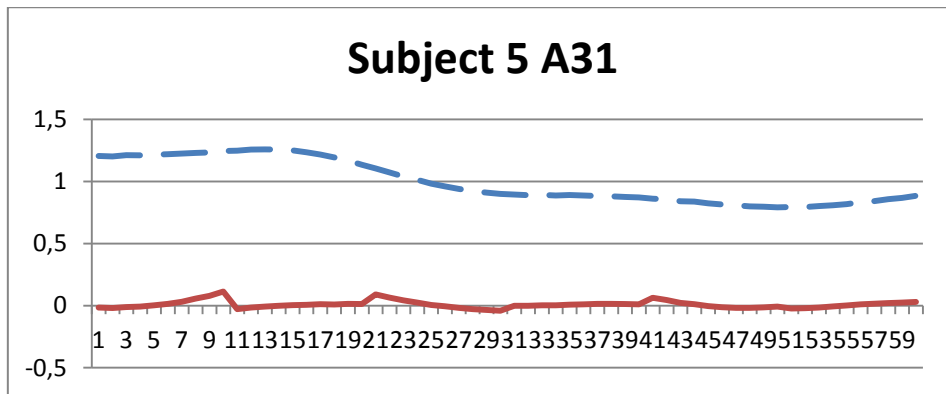
Διάγραμμα 7.6: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 10



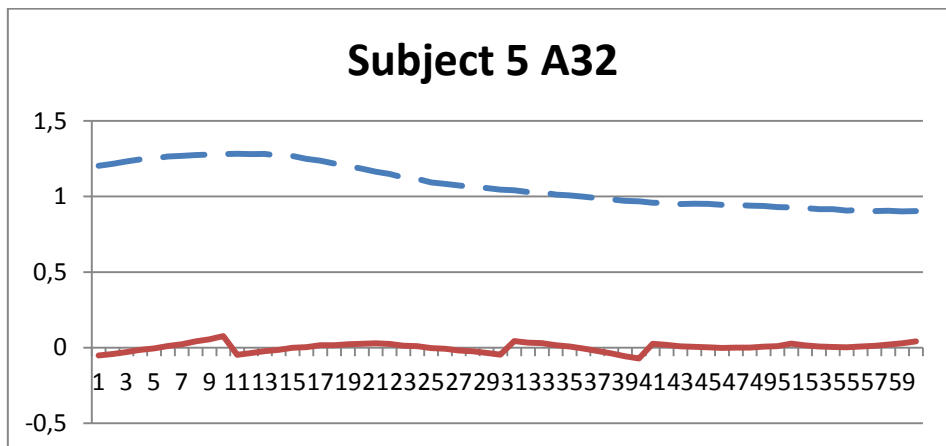
Διάγραμμα 7.7: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 4



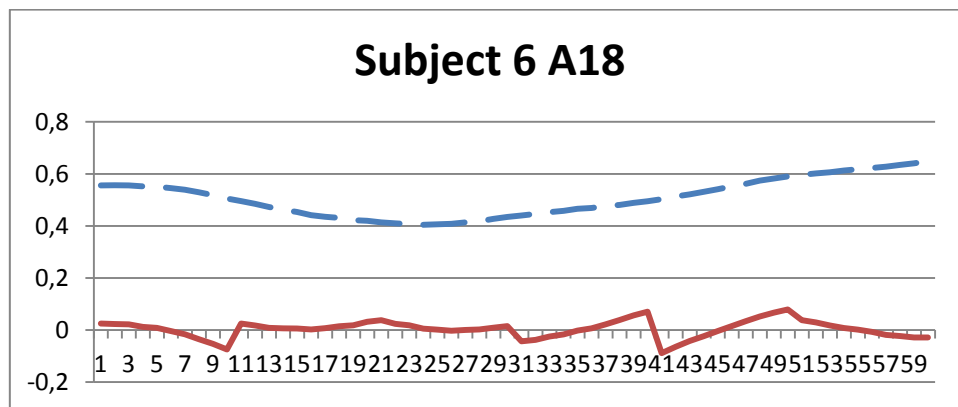
Διάγραμμα 7.8: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 14



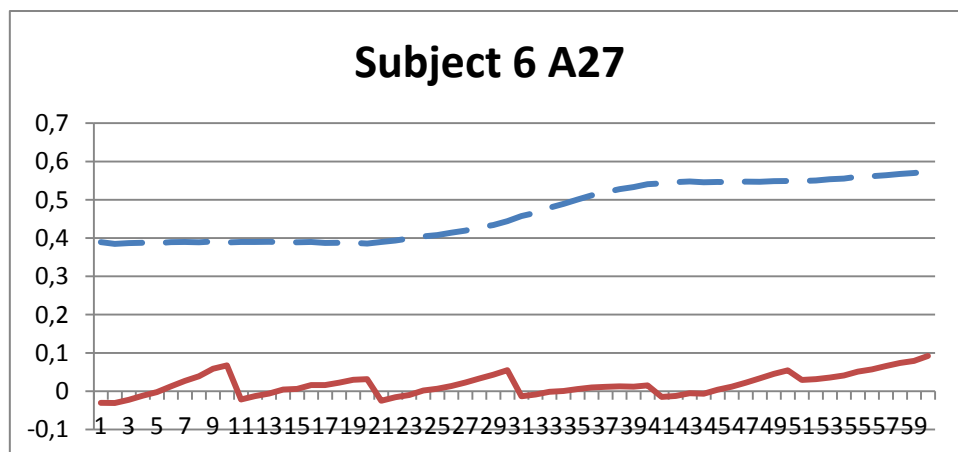
Διάγραμμα 7.9: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31



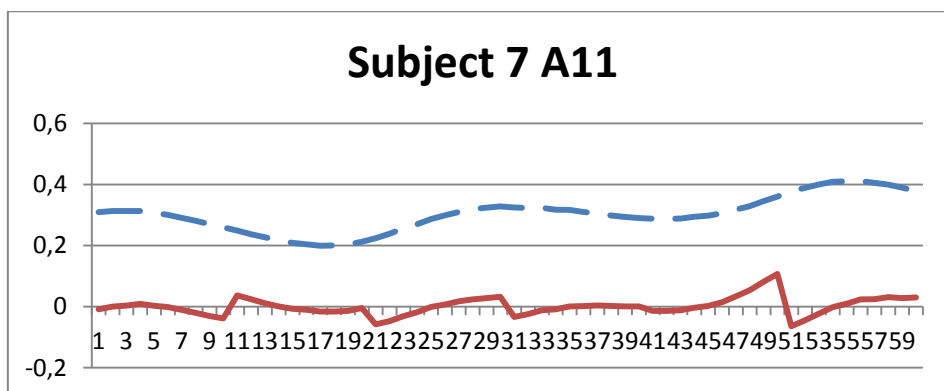
Διάγραμμα 7.10: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32



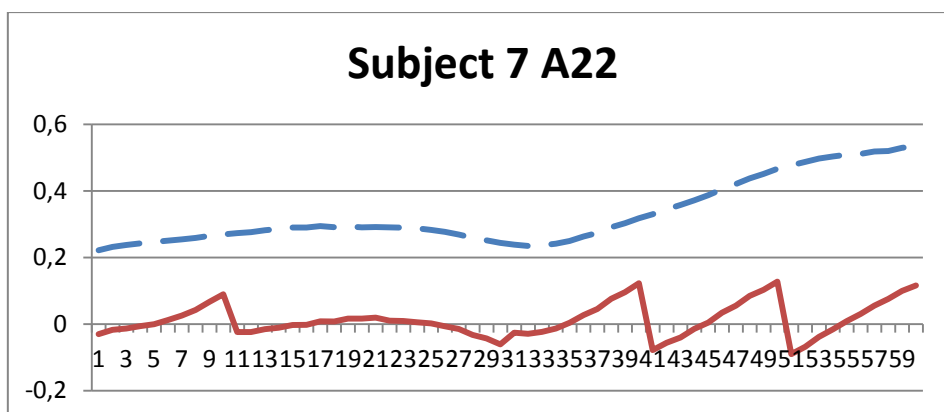
Διάγραμμα 7.11: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 18



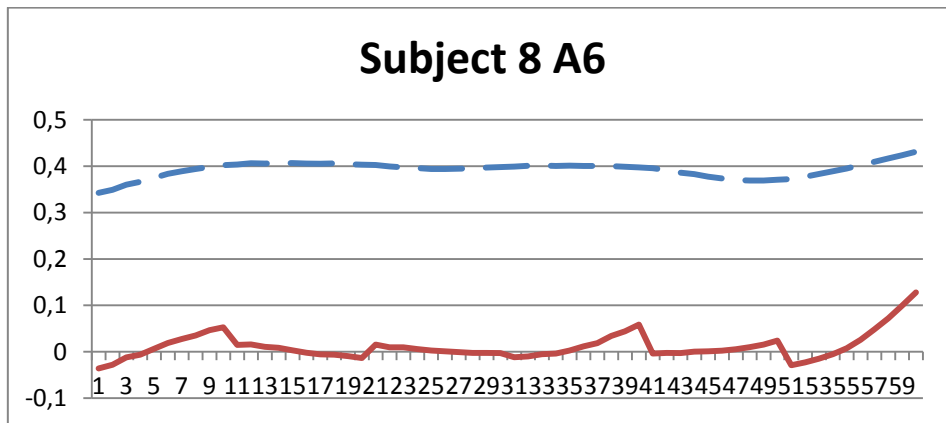
Διάγραμμα 7.12: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 27



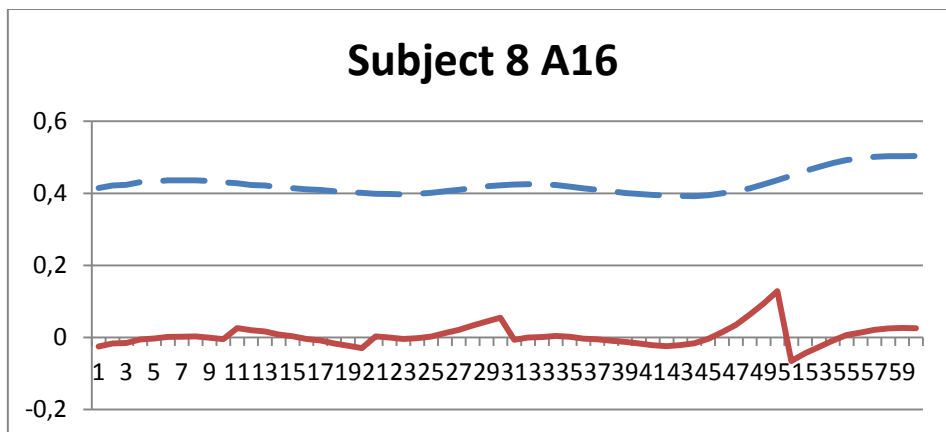
Διάγραμμα 7.13: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7⁰⁰ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 11



Διάγραμμα 7.14: Σύγκριση ασυμμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7⁰⁰ εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22

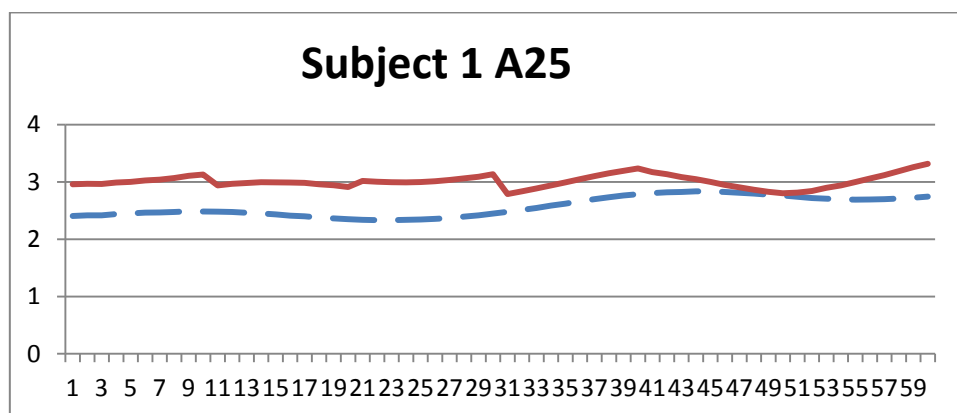


Διάγραμμα 7.15: Σύγκριση ασυμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 6

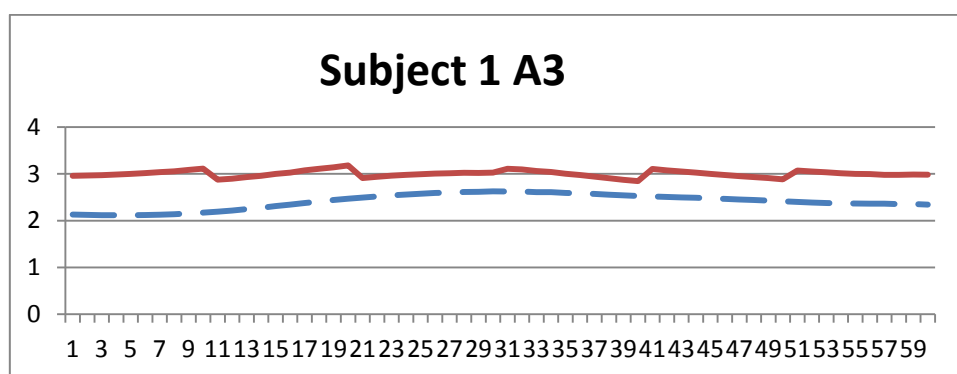


Διάγραμμα 7.16: Σύγκριση ασυμετρίας πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 16

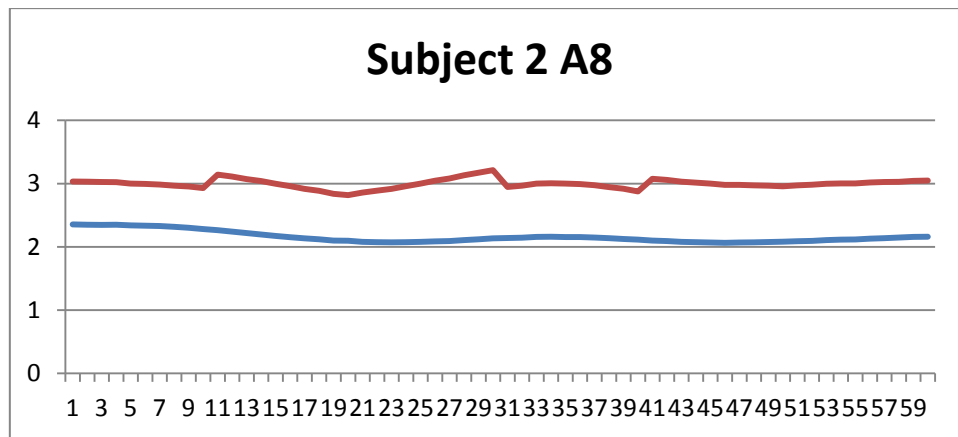
ΚΥΡΤΩΣΗ



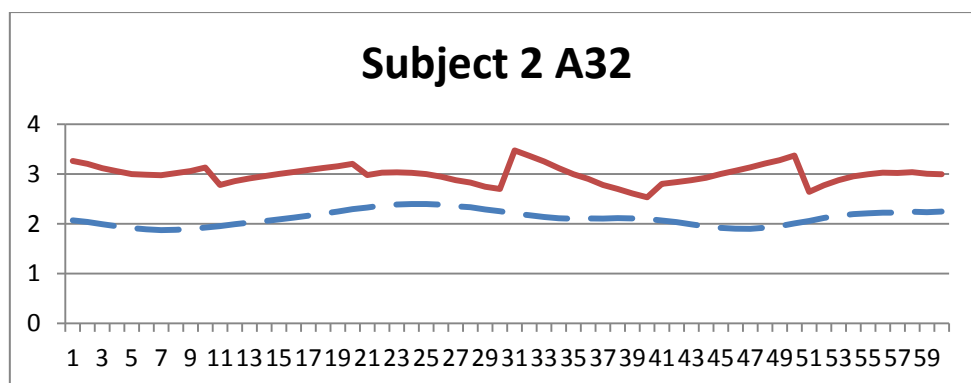
Διάγραμμα 7.17: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 25



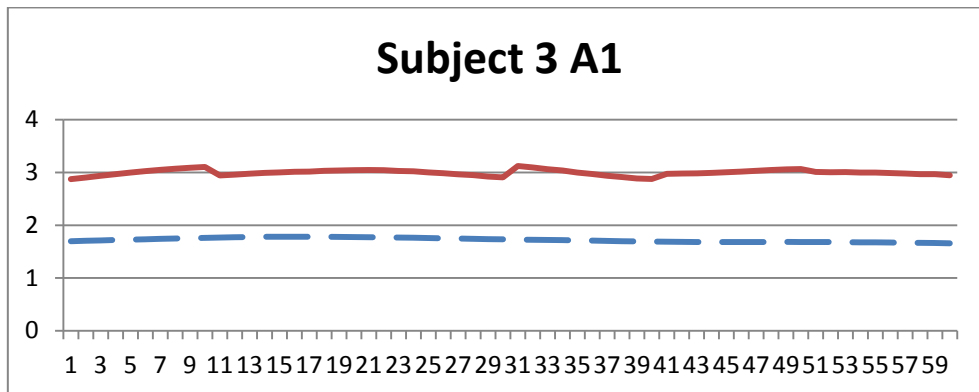
Διάγραμμα 7.18: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 1^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 3



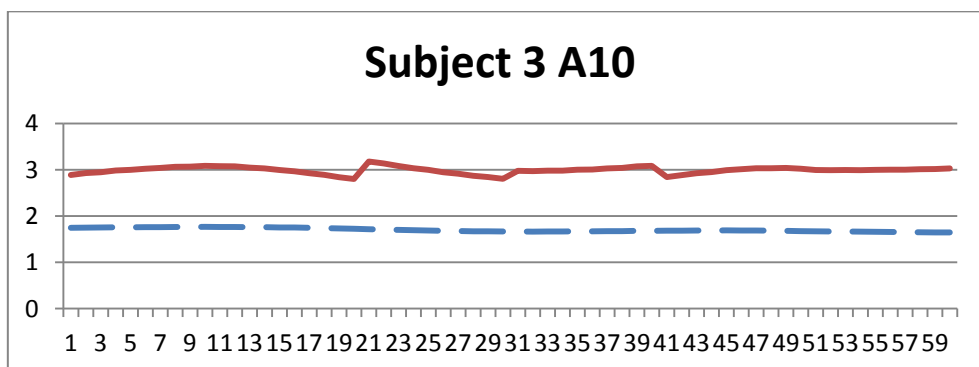
Διάγραμμα 7.19: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 8



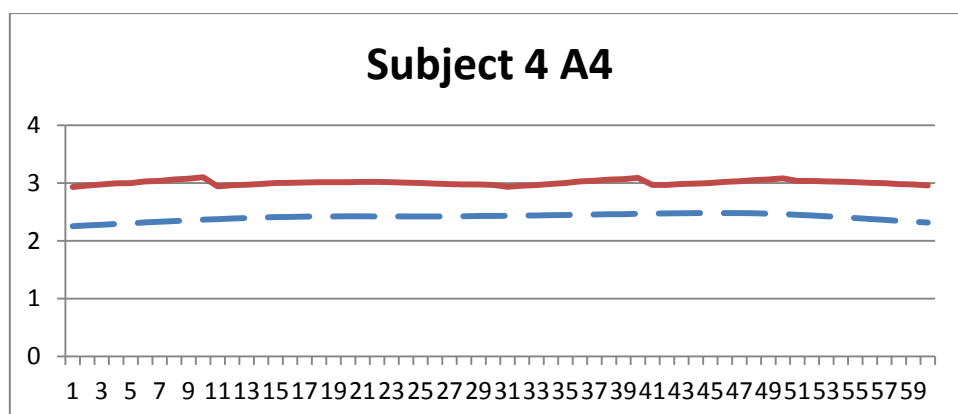
Διάγραμμα 7.20: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 2^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32



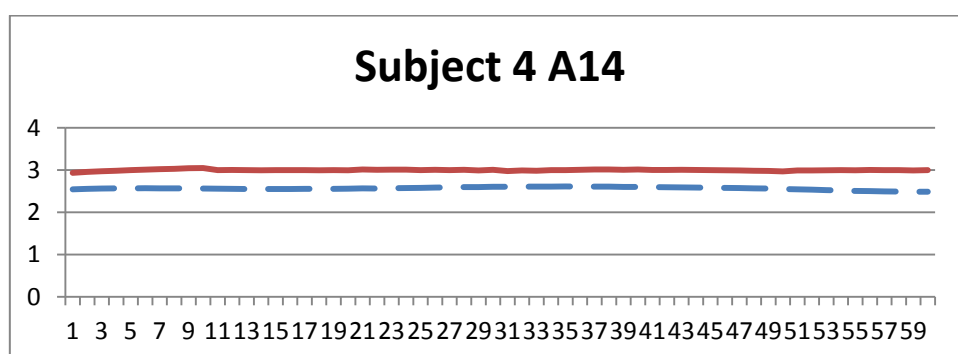
Διάγραμμα 7.21: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 1



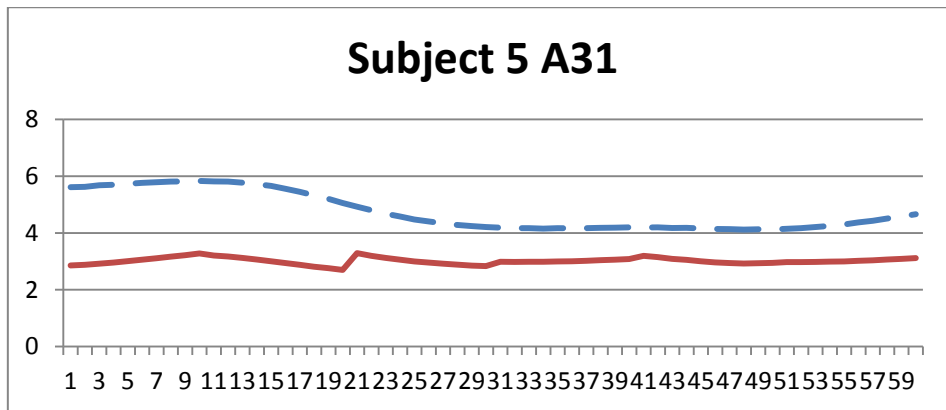
Διάγραμμα 7.22: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 3^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 10



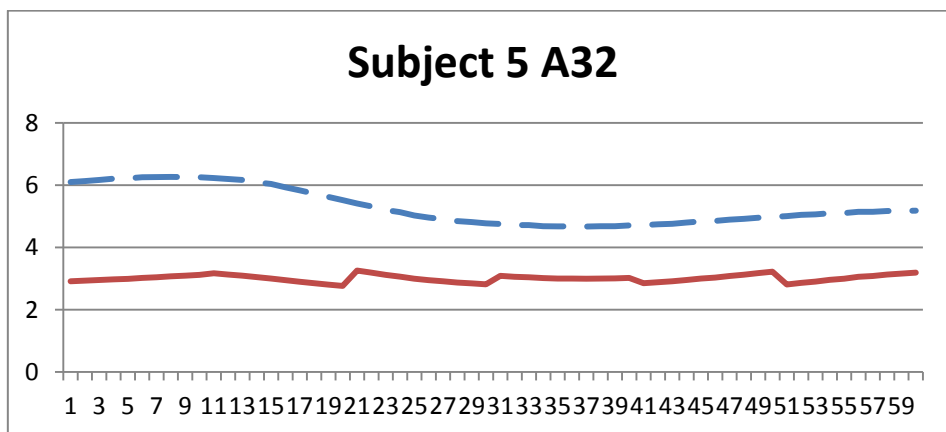
Διάγραμμα 7.23: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 4



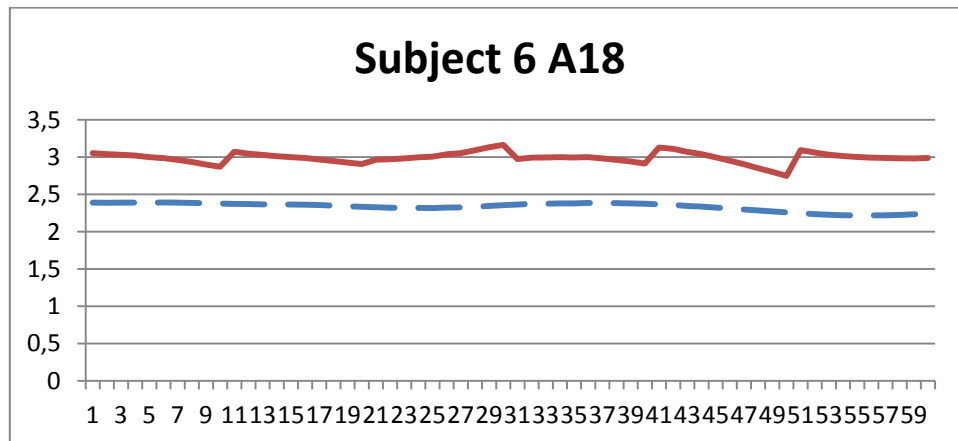
Διάγραμμα 7.24: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 4^ο εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 14



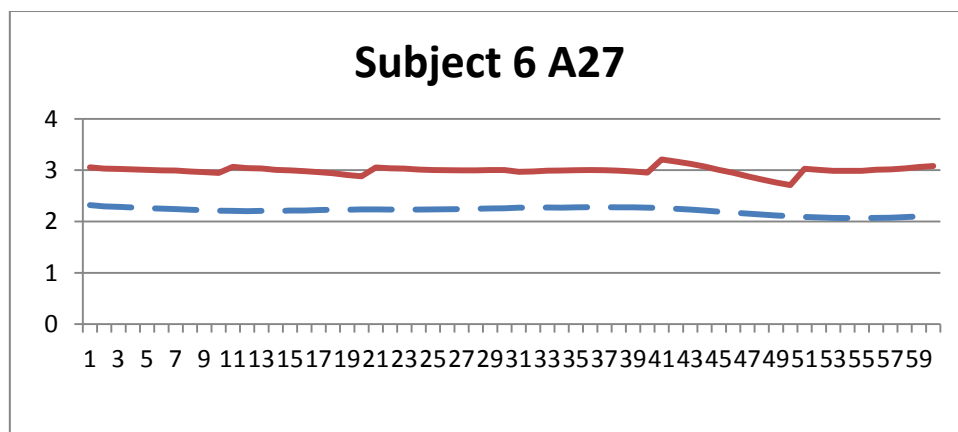
Διάγραμμα 7.25: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 31



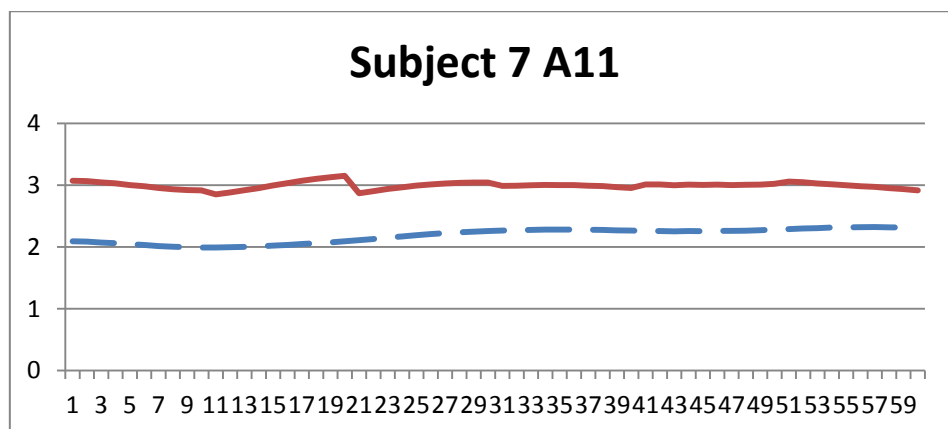
Διάγραμμα 7.26: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 5^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 32



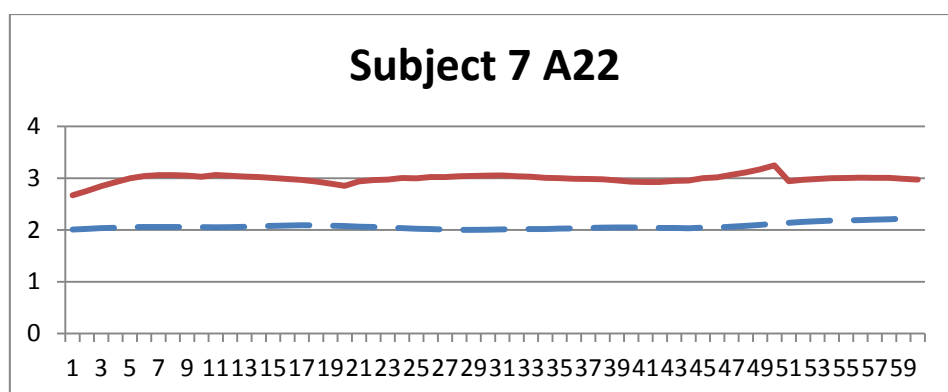
Διάγραμμα 7.27: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 18



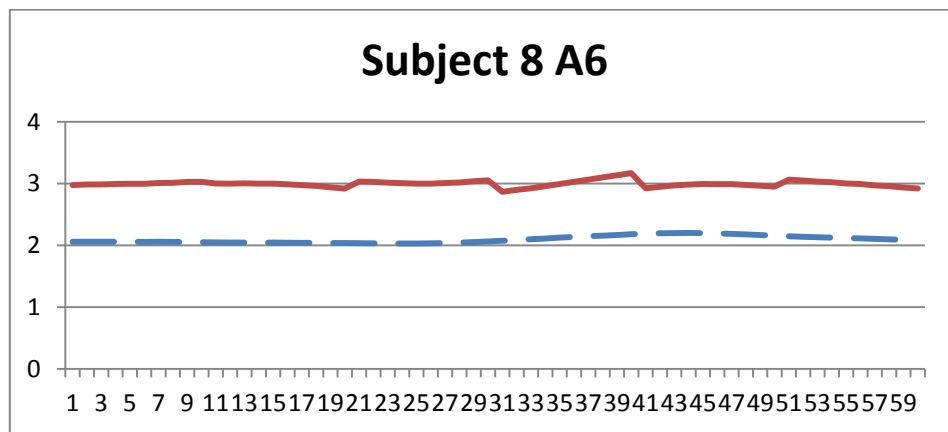
Διάγραμμα 7.28: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 6^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 27



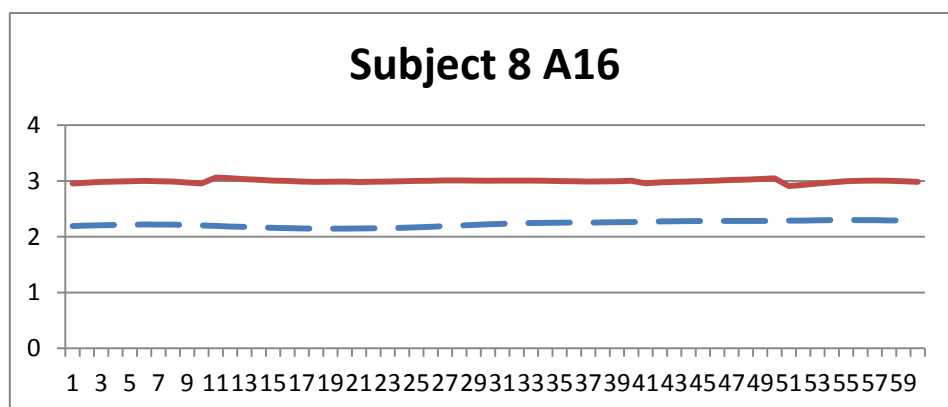
Διάγραμμα 7.29: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 11



Διάγραμμα 7.30: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 7^{ου} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 22



Διάγραμμα 7.31: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 6



Διάγραμμα 7.32: Σύγκριση κύρτωσης πριν και μετά την επεξεργασία με γενετικούς αλγόριθμους 8^{ov} εξεταζόμενου για το ηλεκτρόδιο 16

Παρατηρώντας λοιπόν τα διαγράμματα είναι αρχικά φανερό ότι η κατανομή των μετρήσεων πριν την επεξεργασία μέσω των γενετικών αλγορίθμων αποκλίνει από την κανονική καθώς ο συντελεστής κυρτότητας αποκλίνει από την τιμή 3 και ο συντελεστής ασυμμετρίας από τη τιμή 0. Οι αποκλίσεις αυτές μάλιστα φαίνεται να είναι τυχαίες καθώς για κάποιους εξεταζόμενους οι κατανομές των μετρήσεων όσον αφορά την κύρτωση είναι λεπτόκυρτες ($\alpha > 3$) ενώ για άλλους πλατύκυρτες, ενώ όσον αφορά την ασυμμετρία των μετρήσεων μερικοί εξεταζόμενοι παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία ($\gamma > 0$) και άλλοι αρνητική ($\gamma < 0$). Οπότε αντιλαμβανόμαστε ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αποθορυβοποίηση με τη χρήση του μέσου όρου των 30 ερωτήσεων δεν είναι και τα πιο ασφαλή-αξιόπιστα και ότι η επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων ενδείκνυται για αυτόν ακριβώς τον λόγο καθώς πετυχαίνουμε τη διόρθωση των συντελεστών ασυμμετρίας και κυρτότητας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε μία εναλλακτική μέθοδος για την επίλυση ενός προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, επεξεργαστήκαμε μετρήσεις οι οποίες προέρχονταν από πειράματα ΗΕΓ με την καθιερωμένη διαδικασία της αποθορυβοποίησης με τη χρήση του μέσου όρου και αφού αποδείξαμε (με δύο τρόπους) ότι αυτή η μέθοδος δεν είναι τελικά τόσο αξιόπιστη χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των ίδιων μετρήσεων μια πιο δυναμική μέθοδος, αυτή των γενετικών αλγορίθμων, η οποία εν τέλει μας οδήγησε σε πιο επιθυμητά αποτελέσματα τα οποία προσέγγιζαν πολύ καλύτερα τις τιμές των μαθηματικών-στατιστικών μεγεθών που αναμέναμε.

Οι ΓΑ γενικά επάγουν κανόνες υψηλής ακρίβειας πρόβλεψης από δοσμένα σύνολα δεδομένων. Η διαδικασία αναζήτησης κανόνων βασίζεται σε τεχνικές ομαδοποίησης που επιτρέπουν τον παράλληλο εντοπισμό των επικρατέστερων λύσεων-κανόνων ενός δεδομένου χώρου αναζήτησης και την αποφυγή της σύγκλισης των ΓΑ σε μια μοναδική λύση.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των ΓΑ στην εργασία μας είναι άκρως ενθαρρυντικά καθώς είχαμε στατιστικά εμφανώς καλύτερες επιδόσεις. Επομένως οι ΓΑ μπορούν να αποτελέσουν βάση για μελλοντικές ενέργειες στην επεξεργασία των σημάτων του ΗΕΓ. Έτσι, η χρήση τους μπορεί να συστηματοποιηθεί για την επεξεργασία σημάτων ΗΕΓ. Η συμβολή τους θα είναι χρήσιμη για την ιατρική αλλά και την τεχνολογική επιστημονική κοινότητα εξαιτίας της ιδιότητας που έχουν στο να επιτρέπουν την επίλυση συνδυαστικών και αλληλοεξαρτώμενων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Έτσι, είναι δυνατή η εύρεση της βέλτιστης λύσης για ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διδώ, Γ. (2004) **Εισαγωγή στη Βιοϊατρική και Κυτταρική Μηχανική**
Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου
- [2] Νικήτα, Σ. Κ. (2005) **Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων** Αθήνα:
Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου
- [3] Γ. Καραγιάννης, Κ. Τζιτζιράχου (2003) **Εισαγωγή στα Σήματα &**
Συστήματα Αθήνα Εκδόσεις: Παπασωτηρίου
- [4] Δ.Φουσκάκης, **Πειραματική Στατιστική**
- [5] Γ.Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης (1999) **Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και**
Στατιστική, Αθήνα, Εκδόσεις: Συμεών
- [6] Ρήγας, Π. (2010) **Εργαστήριο Φυσιολογίας**
Σημειώσεις διδασκαλίας Τ.Ε.Ι. Αθηνών
- [7] Τούλας, Π. (2008) **Ο Ανθρώπινος Εγκέφαλος**
- [8] Σπυρίδων Λυκοθανάσης, (2001), **Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές**,
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- [9] Melanie Mitchel, (1998), **An introduction to genetic algorithms**, The MIT
press
- [10] Ε. Γεωργόπουλος, Σ. Λυκοθανάσης, (1999) **Εισαγωγή στους γενετικούς**
Αλγόριθμους
- [11] **Pre-attentive operation and psychoticism: A P50 event related**
potential study (2010) NTUA
- [12] Ε. Τσιανάκα Εκδόσεις **Καταγραφή και Επεξεργασία Εγκεφαλικών**
Προκλητών Δυναμικών σε πειραματικές συνθήκες με υποσεινήδητα
ερεθίσματα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. και Πανεπιστήμιο
Πατρών (2009)
- [13] el.wikipedia.org/wiki/Γενετικοί_Αλγόριθμοι
- [14] en.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov_Smirnov_test
- [15] en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalogram

[16] el.wikipedia.org/wiki/Κανονική_κατανομή

[17] Boutsikas M.V. (2004), Σημειώσεις μαθήματος «Στατιστικά Προγράμματα» Τμήμα Στατ. & Ασφ. Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

[18] **Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα** Εργαστήριο Μαθηματικών & Στατιστικής/ Γ. Παπαδόπουλος

