



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία»

Εγχειρίδιο χρήσης του συστήματος Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας EnoBio.

Οικονόμου Ευάγγελος
Αριθμός Μητρώου: 2011

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Αικατερίνη Σκουρολιάκου, Καθηγήτρια

Αθήνα Νοέμβριος 2023

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Α. Σκουρολιάκου
Καθηγήτρια

Ε. Βεντούρας
Καθηγητής

Ι. Καλατζής
Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Οικονόμου Ευάγγελος του Οικονόμου Πέτρου, με αριθμό μητρώου 2011 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

30/11/23

Ο Δηλών



Περίληψη

Η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ) είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που μας βοηθά να μελετήσουμε τον εγκέφαλο. Καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου και μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες για το πώς λειτουργεί το νευρικό σύστημα. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός εγχειριδίου χρήσης για το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας EnoBio της Neuroelectrics(NE).

Αρχικά, παρουσιάζεται μια ανάλυση της λειτουργίας και της δομής των νευρώνων και του εγκεφάλου, με εστίαση στο πλαίσιο της ΗΕΓ. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των βασικών αρχών της ΗΕΓ και των βιοηλεκτρικών σημάτων που καταγράφονται. Εξετάζονται οι βασικές έννοιες, οι τεχνικές καταγραφής, ανάλυσης και επεξεργασίας των σημάτων καθώς και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής.

Στο κυρίως μέρος της εργασίας παρουσιάζεται το εγχειρίδιο χρήσης για το σύστημα EnoBio. Καλύπτονται θέματα όπως η σύνδεση του εξοπλισμού, η εγκατάσταση του λογισμικού, η δημιουργία πρωτοκόλλων και η έναρξη συνεδρίας. Επιπλέον, περιλαμβάνονται πληροφορίες για τον εξοπλισμό και τα βήματα για την αξιοποίηση και την εξαγωγή των δεδομένων ΗΕΓ.

Το εγχειρίδιο αυτό αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για τους ερευνητές, τους επαγγελματίες υγείας αλλά και κάθε επίδοξο χρήστη που θα χρησιμοποιήσει το εν λόγω σύστημα ΗΕΓ, επιτρέποντας τους να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά την τεχνολογία αυτή για τη μελέτη και την αξιολόγηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ), Ανάλυση σήματος ΗΕΓ, EnoBio, Εγχειρίδιο χρήσης

Abstract

Electroencephalography (EEG) is a very useful tool to help us study the brain. It records the electrical activity of the brain and gives us valuable information about how the nervous system works. In this context, this paper focuses on the development of a user manual for the Enobio electroencephalography system from Neuroelectrics(NE).

Initially, an analysis of the function and structure of neurons and the brain is presented, focusing on the EEG context. This is followed by an analysis of the basic principles of EEG and the bioelectrical signals recorded. The basic concepts, techniques for recording, analyzing and processing the signals are discussed, as well as the challenges faced in applying this technique.

The main part of the thesis presents the user manual for the Enobio system. Topics such as connecting the equipment, installing the software, creating protocols and starting a session are covered. In addition, information about the equipment and steps for the utilization and extraction of EEG data are included.

This manual is a valuable tool for researchers, healthcare professionals and any aspiring user who will use this EEG system, allowing them to effectively utilize this technology to study and evaluate brain activity.

Keywords: Electroencephalography (EEG), EEG signal analysis, Enobio, User manual

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπων καθηγήτρια μου Αικατερίνη Σκουρολιάκου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το θέμα της διπλωματικής εργασίας σε μια πολύ δύσκολη περίοδο για εμένα και για την καθοδήγηση της σε όλη την διάρκεια της εκπλήρωσης αυτής. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην παρουσίαση και στην βαθμολόγηση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, πρέπει να ευχαριστήσω την προϊσταμένη της γραμματείας κα. Καλλιόπη Θειακού για την στήριξη της και τη βοήθεια που μου παρείχε σε ότι χρειάστηκα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Κλείνοντας, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συνεχή ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας και των σπουδών μου. Χωρίς αυτήν η πορεία μου θα ήταν διαφορετική.

Πίνακας περιεχομένων

I.Εισαγωγή στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία.....	10
1.Νευροφυσιολογία.....	10
1.1 Δομή Νευρώνων.....	10
1.2 Λοβοί του Εγκεφάλου.....	12
1.3 Ηλεκτρικά Δυναμικά Νευρώνων.....	13
1.4 Μεταφορά πληροφορίας.....	15
2.Ηλεκτροεγκεφαλογραφία.....	15
2.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος.....	15
2.2 Ηλεκτρόδια.....	17
2.2.1 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων.....	18
3.Κατηγοριοποίηση των εγκεφαλικών κυμάτων.....	21
4.Ανάλυση σήματος.....	24
4.1 Προεπεξεργασία.....	25
4.1.1 Φίλτρα.....	26
4.2 Εξαγωγή χαρακτηριστικών.....	29
4.2.1 Μετασχηματισμός Fourier.....	29
4.2.2 Μετασχηματισμός Wavelet.....	31
4.2.3 Κοινή Χωρική Μέθοδος.....	32
4.3 Ταξινόμηση.....	34
4.3.1 Support Vector Machine (SVM).....	34
4.3.2 Νευρωνικά Δίκτυα (NN).....	35
4.3.3 k Πλησιέστερων Γειτόνων (k-NN).....	36
4.3.4 Naïve Bayes (NB).....	38
4.3.5 Δέντρα απόφασης.....	38
II.Εγχειρίδιο χρήσης συστήματος Enobio.....	40
5. Σύστημα ΗΕΓ Enobio.....	40
5.1 Enobio Necbox (8ch/20ch/32ch).....	40
5.2 Καλώδια ηλεκτροδίων.....	42
5.3 Ηλεκτρόδια ΗΕΓ.....	44
5.3.1 NG Geltrode.....	44
5.3.2 Foretrode.....	45
5.3.3 Drytrode.....	46
5.3.4 Earclip.....	47

5.4 Γενικές οδηγίες χρήσης ηλεκτροδίων Ag/AgCl.....	48
5.5 Ηλεκτρόδια διέγερσης.....	49
5.5.1 Sponstim.....	49
5.5.2 NG Pistim.....	51
6. Λογισμικό.....	51
6.1 Εγκατάσταση λογισμικού.....	51
6.2 Έναρξη χρήσης της συσκευής.....	53
6.2.1 Σύνδεση στη συσκευή.....	54
6.3 Συναρμολόγηση του Necbox.....	58
6.4 Καθορισμός πρωτοκόλλου.....	59
6.5 Σχεδιασμός πρωτοκόλλου.....	61
6.5.1 Περίληψη πρωτοκόλλου.....	64
6.5.2 Ρυθμίσεις πρωτοκόλλου.....	65
6.6. Εκτέλεση συνεδρίας.....	67
6.6.1 Σχεδιαγράμματα Liveview.....	68
6.6.2 Σχεδιασμός Liveview.....	73
6.7 Επίβλεψη ΗΕΓ.....	76
6.7.1 Ποιότητα σήματος EEG.....	77
6.7.2 Ανάλυση EEG.....	79
6.8 Λειτουργία Holter.....	81
6.9 Μορφές αρχείων NIC2.....	82
6.10 Λειτουργία εκτός σύνδεσης.....	83
7. Οδηγίες φόρτισης.....	85
8. Συμπεράσματα.....	87
Βιβλιογραφία.....	88

Ι.Εισαγωγή στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία

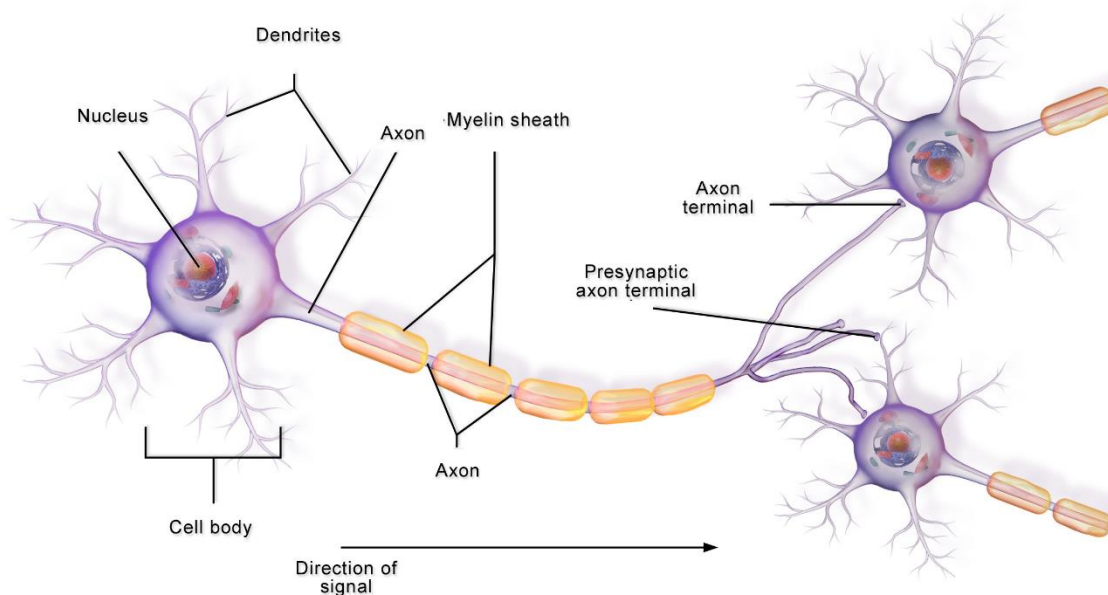
1. Νευροφυσιολογία

1.1 Δομή Νευρώνων

Η δομή των νευρώνων συμβάλλει στην ικανότητά τους να εκτελούν τις λειτουργίες του νευρικού συστήματος, οι οποίες βασίζονται στη μετάδοση νευρικών σημάτων. Ένας συνηθισμένος νευρώνας παρουσιάζει τέσσερα εύκολα αναγνωρίσιμα στοιχεία: το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες, τον νευράξονα και τις συναπτικές απολήξεις (Εικόνα 1.1).

- **Δενδρίτες:** Οι δενδρίτες οι οποίοι είναι μικρές πολλαπλές διακλαδώσεις, αποτελούν τις πρώτες προεκτάσεις του νευρώνα και αναλαμβάνουν τη λήψη νευρικών σημάτων από άλλους νευρώνες. Ο αριθμός και η δομή των δενδριτών μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του νευρώνα και τη λειτουργία του. Είναι εξοπλισμένοι με δέκτες που αντιλαμβάνονται ηλεκτρικά σήματα.
- **Σώμα (Σωμάτιο) του Νευρώνα:** Το σώμα του νευρώνα περιέχει το κυτταρικό πυρήνα και τα βασικά κυτταρικά όργανα. Για το διαχωρισμό του εσωτερικού του κυττάρου από το εξωτερικό περιβάλλον το σώμα είναι καλυμμένο από την κυτταρική μεμβράνη. Είναι εδώ που λαμβάνονται και επεξεργάζονται τα εισερχόμενα νευρικά σήματα.
- **Νευράξονας:** Ο νευράξονας είναι μια λεπτή προέκταση από το σώμα του νευρώνα και αποτελεί το κύριο μέσο μεταφοράς του νευρικού σήματος. Αυτό το σήμα ταξιδεύει κατά μήκος του αξονικού κυλίνδρου με υψηλή ταχύτητα και διαφεύγει του νευρώνα από τις συναπτικές απολήξεις προς άλλους νευρώνες ή στα κύτταρα-στόχους. Επίσης, σε ορισμένους νευρώνες, υπάρχει η προσθήκη της μυελίνης που περιβάλλει τους νευράξονες, λειτουργώντας ως μόνωση για την ταχύτερη μετάδοση των νευρικών σημάτων. Η μυελίνη περιέχει λιπαρές ουσίες και βοηθά στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της νευρικής μετάδοσης.
- **Συναπτικές απολήξεις:** Οι συναπτικές απολήξεις είναι τα άκρα του νευράξονα που επικοινωνούν με άλλους νευρώνες σε συναπτικές συνδέσεις. Οι συναπτικές συνδέσεις μεταξύ νευρώνων είναι εξαιρετικά σημαντικές, καθώς αποτελούν τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες επικοινωνούν. Αυτή η μετάδοση σημάτων στις

συναπτικές συνδέσεις είναι καθοριστική για τη λειτουργία του νευρικού συστήματος.



Εικόνα 1.1 : Η δομή του νευρώνα.[20]

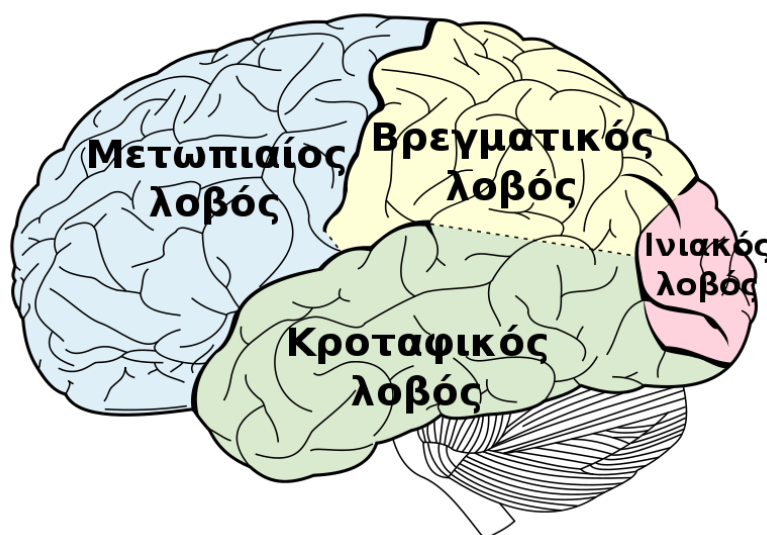
Οι νευρώνες μπορούν να συνδυαστούν σε πολύπλοκα δίκτυα, και η δομή τους εξειδικεύεται ανάλογα με τον τύπο τους και τη λειτουργία τους στο νευρικό σύστημα. Αυτή η ποικιλία στη δομή των νευρώνων επιτρέπει στο νευρικό σύστημα να εκτελεί διάφορες λειτουργίες. Για παράδειγμα, οι αισθητήριοι νευρώνες έχουν ειδικούς δενδρίτες για την ανίχνευση των αισθήσεων όπως της όρασης ή της αφής, ενώ οι κινητικοί νευρώνες έχουν νευράξονες που επιτρέπουν την εκτέλεση κινήσεων.

Η κυτταρική μεμβράνη που περιβάλλει τους νευρώνες εκτός από προστατευτικό μέσω από τον εξωτερικό χώρο είναι παράλληλα και το μέσο επικοινωνίας τους. Πάνω στη μεμβράνη αυτή υπάρχουν ειδικές πρωτεΐνες οι οποίες λειτουργούν σαν διόδους, και επιτρέπουν επιλεκτικά σε ιόντα και μόρια να εισέρχονται και να εξέρχονται στους νευρώνες. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες α) τις χημικά ελεγχόμενες διόδους οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με την ύπαρξη συγκεκριμένων μορίων εντός και εκτός της μεμβράνης β) τις ηλεκτρικά ελεγχόμενες διόδους οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν λόγω της διαφοράς δυναμικού που προκαλείται από την κατανομή των ιόντων εκτός και εντός της μεμβράνης. Ποιο συγκεκριμένα τα ιόντα αυτά είναι το νάτριο (Na^+), το κάλιο (K^+) και ασβέστιο (Ca^{++}).[1]

1.2 Λοβοί του Εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα όργανα του ανθρώπινου σώματος καθώς ελέγχει όλα τα μέρη του. Μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο συνδεδεμένων νευρώνων που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ανθρώπου. Η κατανόηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του ανθρώπινου εγκεφάλου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ερευνητικό πεδίο για ιατρικούς ερευνητές, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην εύρεση καλύτερων λύσεων για τα διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με αυτόν.

Ο εγκέφαλος διαιρείται σε δύο μεγάλα τμήματα, γνωστά ως ημισφαίρια, το αριστερό και το δεξί. Κάθε ημισφαίριο χωρίζεται περαιτέρω σε τέσσερις βασικούς τομείς που ονομάζονται λοβοί. Αυτοί οι λοβοί περιλαμβάνουν τον μετωπιαίο, τον κροταφικό, τον βρεγματικό, και τον ινιακό λοβό. (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2 : Λοβοί του εγκεφάλου.[20]

- **Μετωπιαίος λοβός:** Αποτελεί τον μεγαλύτερο λοβό και βρίσκεται στο πίσω μέρος του μετώπου. Έχει την ευθύνη για τη διαχείριση της μνήμης, τη λήψη αποφάσεων, την επίλυση προβλημάτων, την προσοχή, την οργάνωση και τον έλεγχο των παρορμήσεων, των συναισθημάτων και της συμπεριφοράς. Αν ο μετωπιαίος λοβός υποστεί βλάβη μπορεί να υπάρχουν δυσκολίες στη σκέψη και τη μνήμη.
- **Κροταφικός λοβός:** Βρίσκεται στο πλάγιο μέρος του εγκεφάλου μεταξύ του πίσω μέρους του μετωπιαίου λοβού και το κάτω του βρεγματικού. Αυτός ο λοβός είναι αφιερωμένος στην επεξεργασία των ακουστικών ερεθισμάτων και συμβάλλει στην αναγνώριση του ήχου και της γλώσσας. Προβλήματα σε αυτόν το λοβό μπορεί να οδηγήσουν σε

προβλήματα ακοής και δυσκολίες στην κατανόηση ή την έκφραση της γλώσσας.

- **Ινιακός λοβός:** Βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος του εγκεφάλου. Έχει την ευθύνη για την αναγνώριση εικόνων και την επεξεργασία και ερμηνεία οπτικών ερεθισμάτων. Μπορεί να υπάρχουν διαταραχές στην όραση μετά από τραυματισμό αυτού του τμήματος .
- **Βρεγματικός λοβός:** Βρίσκεται πίσω από τον μετωπιαίο λοβό και επεξεργάζεται τα ερεθίσματα που προκαλούνται από τις αισθήσεις όπως η αφή, η πίεση, η θερμοκρασία και η κίνηση του σώματος. Σε περίπτωση βλάβης μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα που επηρεάζουν την κινητικότητα, τη συντονισμένη κίνηση, την ικανότητα αναγνώρισης και εντοπισμού τμημάτων του σώματος καθώς και να οδηγήσουν σε διαταραχές της αίσθησης όπως είναι η αντίληψη του πόνου.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι ο εγκέφαλος είναι ιδιαίτερα διασυνδεδεμένος και ότι πολλές λειτουργίες περιλαμβάνουν τη συνεργασία πολλών περιοχών του εγκεφάλου και όχι μόνο ενός λοβού. Η κατανόηση των εγκεφαλικών λοβών παρέχει πληροφορίες για την πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου και τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνει τις σκέψεις, τις ενέργειες και τις αισθητηριακές μας εμπειρίες. Η πολυπλοκότητα και η προσαρμοστικότητα του εγκεφάλου τού επιτρέπουν να εκτελεί ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών και να προσαρμόζεται στις αλλαγές και τις προκλήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής. Βλάβες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή διαταραχές στη μεταξύ τους επικοινωνία μπορούν να οδηγήσουν σε διάφορες νευρολογικές παθήσεις και νοητικές διαταραχές . Η συνεχής έρευνα του εγκεφάλου και των λειτουργιών του παραμένει ένας ζωτικός τομέας μελέτης της νευροεπιστήμης, συμβάλλοντας στην κατανόηση της υγείας του εγκεφάλου, της συμπεριφοράς και της θεραπείας των νευρολογικών παθήσεων.[4]

1.3 Ηλεκτρικά Δυναμικά Νευρώνων

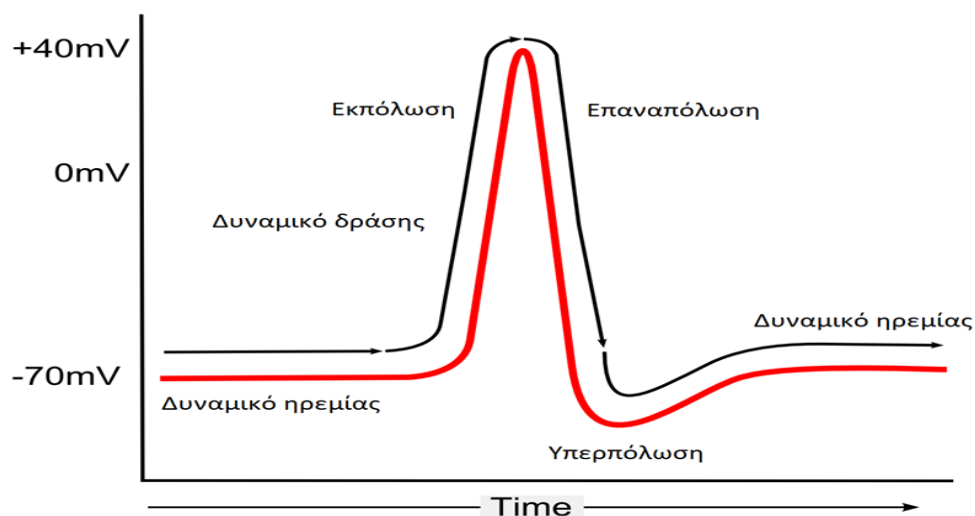
Δυναμικό Ηρεμίας (Resting Membrane Potential):

Το δυναμικό ηρεμίας αναφέρεται στην ηλεκτρική κατάσταση του νευρώνα όταν δεν βρίσκεται σε δράση, δηλαδή όταν δεν εκπέμπει δυναμικά δράσης. Σε αυτήν την κατάσταση, οι νευρώνες διατηρούν μια σταθερή διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού της μεμβράνης . Συνήθως, το δυναμικό ηρεμίας είναι περίπου -70 με -80 mV με το πρόσημο να συμβολίζει την ύπαρξη αρνητικού δυναμικού στο εσωτερικό σε σχέση με το εξωτερικό. Αυτή η διαφορά φορτίου διατηρείται από τις ηλεκτρικά ελεγχόμενες διόδους και την ιόντωση του κυττάρου. Το δυναμικό ηρεμίας

προετοιμάζει τον νευρώνα για τη λήψη εισερχομένων νευρικών σημάτων και η διατήρηση του είναι σημαντική για την αποφυγή τυχόν ανεπιθύμητων δράσεων του νευρώνα όταν δεν υπάρχει διέγερση .[2]

Δυναμικό Δράσης (Action Potential):

Το δυναμικό δράσης είναι μια σημαντική ηλεκτρική κατάσταση του νευρώνα καθώς αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες μεταδίδουν τα σήματα στο ενδιάμεσο τους και από εκεί σε άλλα νευρικά κύτταρα ή σε μυϊκά κύτταρα. Η εκδήλωση του δυναμικού δράσης συμβαίνει όταν ένας νευρώνας διεγερθεί επαρκώς και το δυναμικό αυξηθεί πάνω από την τιμή κατωφλίου η οποία είναι -50 mV . Αυτή η μεταβολή στο δυναμικό συμβαίνει λόγω της ροής ιόντων μέσω των ηλεκτρικά ελεγχόμενων διόδων. Στην αρχή τα ιόντα νατρίου (Na^+) εισέρχονται στον νευρώνα καθιστώντας το εσωτερικό του πιο θετικό μέχρι μια μέγιστη τιμή περίπου $+40\text{ mV}$ και στη συνέχεια τα ιόντα καλίου (K^+) εξέρχονται από το νευρώνα μέχρι η τιμή να φτάσει περίπου -70 με -80 mV επαναφέροντάς το έτσι σε δυναμικό ηρεμίας και ο νευρώνας είναι έτοιμος για την επόμενη διαδικασία.[2]



Εικόνα 1.3 : Σχηματική αναπαράσταση των δυναμικών δράσης και ηρεμίας.[20]

1.4 Μεταφορά πληροφορίας

Η μεταφορά πληροφορίας μεταξύ των νευρώνων μέσω της μεταφοράς των δυναμικών δράσης είναι ένα κρίσιμο στάδιο της νευρικής λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια της διέγερσης, ο νευρώνας παράγει ένα ισχυρό ηλεκτρικό σήμα που διαδίδεται με υψηλή ταχύτητα κατά μήκος του

νευράξονα αλλάζοντας το δυναμικό της μεμβράνης του και καταλήγει στις συναπτικές απολήξεις. Όταν το ηλεκτρικό σήμα φτάσει στις συναπτικές απολήξεις και προκαλέσει διαφορά δυναμικού στην περιοχή, τότε στις χημικές συνάψεις θα έχουμε απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών. Οι νευροδιαβιβαστές είναι χημικές ουσίες που επιτρέπουν τη μετάδοση του ηλεκτρικού σήματος από ένα νευρώνα σε έναν άλλο. Όταν ο νευρώνας που λαμβάνει το ηλεκτρικό σήμα λαμβάνει αυτούς τους νευροδιαβιβαστές, αυτοί συνδέονται με υποδοχείς στην επιφάνεια του δενδρίτη. Αυτό προκαλεί αλλαγές στο μεμβρανικό δυναμικό του δενδρίτη, είτε ενισχύοντας την πιθανότητα διέγερσης, είτε αφαιρώντας τη δυνατότητα διέγερσης, ανάλογα με τον τύπο της συνάψεως (ερεθίζουσα ή αναστέλλουσα). Έπειτα αυτό το δυναμικό θα διαδοθεί μέχρι το κυτταρικό σώμα και θα αθροιστεί με όλα τα δυναμικά που έχουν παραχθεί στις συνάψεις των υπόλοιπων δενδριτών που διεγείρονται ταυτόχρονα. Αν αυτό το άθροισμα ξεπεράσει την τιμή κατωφλίου (-50mV) τότε θα έχουμε την παραγωγή νέου δυναμικού δράσης και έτσι η διαδικασία θα συνεχιστεί προς τον επόμενο νευρώνα.

Ουσιαστικά, αυτή η μετάδοση του ηλεκτρικού σήματος από νευρώνα σε νευρώνα επιτρέπει την επικοινωνία και τη μετάδοση πληροφορίας σε όλο το νευρικό σύστημα, καθιστώντας το δυνατό να αντιδρά σε εξωτερικά ερεθίσματα και να ελέγχει τη σωματική λειτουργία και τη συμπεριφορά. Αυτή η διαδικασία είναι ουσιώδης για την αποτελεσματική λειτουργία του εγκεφάλου, του νωτιαίου μυελού και του περιφερικού νευρικού συστήματος.[2]

2. Ηλεκτροεγκεφαλογραφία

Η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μελέτη του εγκεφάλου και της συμπεριφοράς του με βάση τις συχνότητες των ηλεκτρικών σημάτων που παράγονται από αυτόν, αλλά και με βάση το πλάτος και την μορφολογία των σημάτων. Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της ΗΕΓ είναι ότι δεν απαιτεί επέμβαση στον ασθενή, είναι ανώδυνη, δεν προκαλεί παρενέργειες και μπορεί να παρέχει ακριβείς πληροφορίες για διάφορες νευρολογικές διαταραχές, όπως η επιληψία, η απώλεια μνήμης, η νόσος του Alzheimer και ο αυτισμός. Τα σήματα που καταγράφονται με τη χρήση της ΗΕΓ ταξινομούνται ανάλογα με τη συχνότητά τους. Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται σε διάφορες καταστάσεις όπως η κίνηση των ματιών, το άνοιγμα και κλείσιμο των ματιών κλπ. Αυτά τα σήματα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα εύρη συχνοτήτων από 0 Hz έως 100 Hz. Ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις τα σήματα αυτά να παρουσιάζουν συχνότητες άνω των 100 Hz. Αυτή η ανάλυση του σήματος σε σχέση με διάφορες καταστάσεις βοηθά τους ιατρικούς ερευνητές να κατανοήσουν καλύτερα τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του εγκεφάλου.

Για τη συλλογή δεδομένων ΗΕΓ τοποθετούνται ηλεκτρόδια στο κεφάλι και το πρόσωπο, που επικαλύπτονται με ένα αγωγίμο τζελ ώστε να διευκολύνουν τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας πληθυσμών νευρώνων (ηλεκτρόδια στο κεφάλι) και της δραστηριότητας των μυών (ηλεκτρόδια στο πρόσωπο).

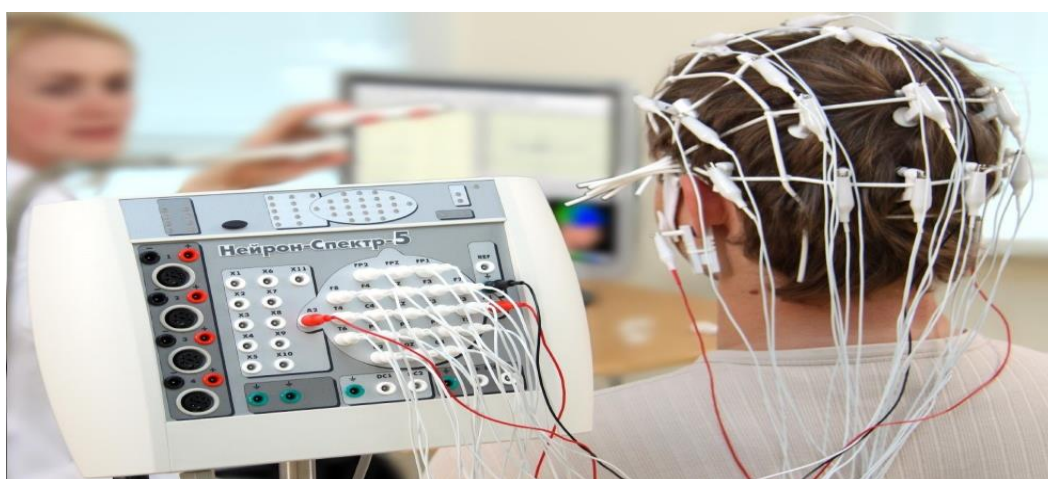
Η μέτρηση σημάτων μεμονωμένων νευρώνων με ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο δέρμα της κεφαλής είναι αδύνατη επειδή το ανθρώπινο κρανίο προκαλεί μεγάλη εξασθένηση σήματος. Για αυτό, για να έχουμε καταγραφή από δερματικά ηλεκτρόδια, χρειαζόμαστε πολλούς νευρώνες να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα, το οποίο επιτυγχάνεται λόγω της δομής των σχηματισμών που έχουν μεταξύ τους οι νευρώνες. Στην πραγματικότητα το σήμα που καταγράφεται είναι το μετασυναπτικό δυναμικό το οποίο δημιουργείται από την εισροή ιόντων στους μετασυναπτικούς νευρώνες με αποτέλεσμα να υπάρχουν αλλαγές του δυναμικού εντός και εκτός της κυτταρικής τους μεμβράνης. Αρχικά το δυναμικό της μεμβράνης που βρίσκεται κοντά στις συνάψεις είναι στα -70mV (δυναμικό ηρεμίας) αλλά με την είσοδο θετικών ιόντων μεταβαίνει στα -50mV (τιμή κατωφλίου). Στα σημεία όμως που δεν βρίσκονται κοντά στις συνάψεις το δυναμικό ηρεμίας παραμένει. Καταλήγουμε έτσι ο εξωκυττάριος χώρος κοντά στις διεγερμένες συνάψεις να έχει περισσότερο αρνητικό φορτίο από τον εξωκυττάριο χώρο του υπόλοιπου κυττάρου με αποτέλεσμα να δημιουργείται ροή ανιόντων από τις συνάψεις προς το σώμα του νευρώνα

και ταυτόχρονα μια αντίστροφη ροή κατιόντων από την περιοχή του σώματος προς τις συνάψεις. Αυτές οι ιοντικές ροές λοιπόν, όταν έχουμε διέγερση σε πολλές συνάψεις του νευρώνα, έχουν αρκετή ισχύ ώστε να φτάσουν στην επιφάνια του δέρματος του κεφαλιού και εκεί να μετρηθούν.[2]

2.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος

Ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος είναι η ειδική συσκευή που χρησιμοποιείται για τις καταγραφές ΗΕΓ. Αποτελείται από διάφορα στοιχεία, περιλαμβανομένων ηλεκτροδίων, ηλεκτρολυτικού τζελ, ενισχυτών και αναλογικού σε ψηφιακό μετατροπέα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1.

- **Ηλεκτρόδια (Αισθητήρες):** Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται (συνήθως) στο κεφάλι και χρησιμοποιούνται για να αγγίξουν το δέρμα και να λαμβάνουν την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου.
- **Ηλεκτρολυτικό τζέλ:** Αυτό το τζελ εφαρμόζεται κάτω από τα ηλεκτρόδια για να βελτιώσει την αγωγιμότητα και να διευκολύνει τη μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων από το δέρμα στα ηλεκτρόδια.
- **Ενισχυτές:** Οι ενισχυτές χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν τα ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται από τα ηλεκτρόδια, καθώς τα σήματα από τον εγκέφαλο είναι πολύ ασθενή (της τάξης των μV).
- **Αναλογικός προς ψηφιακός μετατροπέας:** Αυτή η συσκευή μετατρέπει τα ενισχυμένα αναλογικά σήματα από τους ενισχυτές σε ψηφιακά σήματα που μπορούν να αναλυθούν και να απεικονιστούν σε υπολογιστή ή άλλη οθόνη.

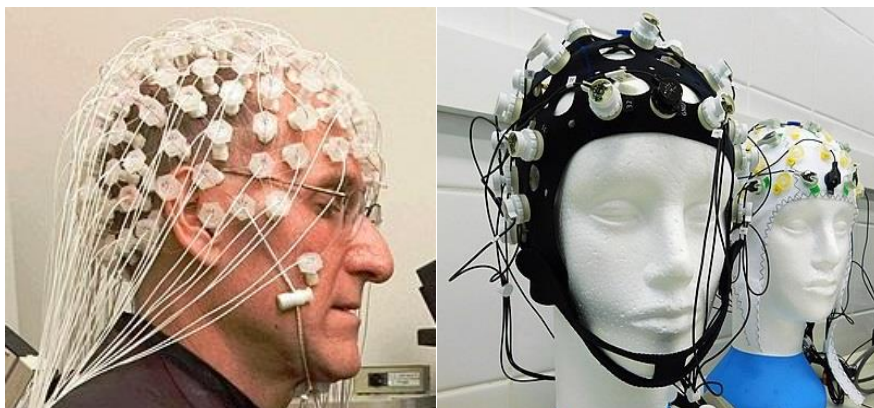


Εικόνα 2.1 : Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.[20]

2.2 Ηλεκτρόδια

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται στην ΗΕΓ. Τα μεμονωμένα επαναχρησιμοποιήσιμα δισκία ηλεκτροδίων είναι μια οικονομική επιλογή και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο δίσκο και το μονωτικό μέσο στο καλώδιο. Ωστόσο, έχουν το μειονέκτημα ότι υπάρχει πιθανότητα να ξεκολλήσουν και να πέσουν από το κεφάλι. Όταν ένα ηλεκτρόδιο αποσπάται, μπορεί να οδηγήσει σε ψευδείς απεικονίσεις. Οι ψευδείς απεικονίσεις είναι μη επιθυμητά σήματα ή παρεμβολές που μπορούν να αποκρύπτουν την πραγματική εγκεφαλική δραστηριότητα που μετράται. Στο πλαίσιο της ΗΕΓ, οι ψευδείς απεικονίσεις καθιστούν δυσκολότερη την ερμηνεία των καταγεγραμμένων δεδομένων.

Μια άλλη επιλογή είναι η κάσκα ΗΕΓ: Είναι μία ειδική κάσκα που φοριέται στο κεφάλι του ασθενούς ή του ερευνητή και περιλαμβάνει ενσωματωμένα ηλεκτρόδια για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Παρέχει ευελιξία στην επιλογή του αριθμού και του τύπου των ηλεκτροδίων που θα χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με τον σκοπό της καταγραφής. Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή της κάσκας για διάφορες εφαρμογές. Ορισμένες κάσκες ΗΕΓ έχουν σχεδιαστεί με ηλεκτρόδια που διαθέτουν οπές στις οποίες μπορεί να γίνει η εισαγωγή αγώγιμου τζελ. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την πιο αποτελεσματική και ελεγχόμενη εφαρμογή του τζελ στα ηλεκτρόδια, ειδικά όταν πρόκειται για καταγραφές με πολλά κανάλια. Ωστόσο, υπάρχει μια πολυπλοκότητα που σχετίζεται με τις κάσκες ΗΕΓ. Εάν ένα ηλεκτρόδιο αποτύχει ή αποσυνδεθεί, μπορεί να διακόψει ολόκληρη την καταγραφή. Σε αντίθεση από τα μεμονωμένα δισκία, όπου η αποτυχία ενός ηλεκτροδίου δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα, η διασύνδεση των ηλεκτροδίων σε μια κάσκα ΗΕΓ σημαίνει ότι ένα μόνο προβληματικό ηλεκτρόδιο μπορεί να απαιτήσει την αντικατάσταση ολόκληρης της κάσκας. Επιπλέον, μπορεί να είναι δύσκολος ο εντοπισμός του συγκεκριμένου ηλεκτροδίου που απέτυχε, κάτι που καθιστά την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη συντήρηση πιο δύσκολη.[1][5]



Εικόνα 2.2 : α) Μεμονωμένα ηλεκτρόδια β) Κάσκα ηλεκτροδίων.[20]

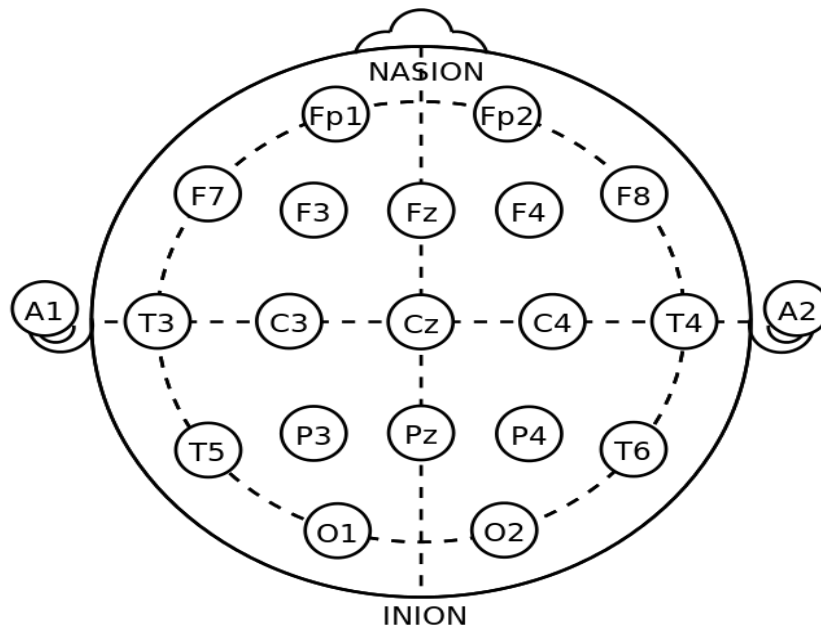
2.2.1 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων

Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο δέρμα του κρανίου είναι κρίσιμη για τη σωστή καταγραφή της δραστηριότητας του εγκεφάλου μέσω του ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις πάνω στο κρανίο, και αυτές οι θέσεις σχετίζονται με συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου. Το σύστημα για τοποθέτηση των ηλεκτροδίων παρέχει πλήρη κάλυψη όλων των πλευρών του κεφαλιού, και οι θέσεις των ηλεκτροδίων ορίζονται σε σχέση με τις υποκείμενες περιοχές του εγκεφάλου και υποδεικνύουν τους λοβούς του εγκεφάλου: F-Μετωπιαία, Ρ-Βρεγματική, C-κεντρική, Τ-Κροταφική, Ο-ινιακή. Οι αριθμοί που συνοδεύουν τα γράμματα (π.χ. C1, F2) χρησιμοποιούνται για να διακριθούν οι θέσεις στην αριστερή και δεξιά πλευρά του κεφαλιού. Οι περιττοί αριθμοί αντιστοιχούν σε θέσεις στην αριστερή πλευρά, ενώ οι ζυγοί αριθμοί αντιστοιχούν στη δεξιά πλευρά. Εκτός από τα καθιερωμένα ηλεκτρόδια, χρησιμοποιούνται επίσης επιπλέον αισθητήρες για την καταγραφή ειδικών παραμέτρων, όπως ο παλμός της καρδιάς, η αναπνοή, οι κινήσεις των ματιών και η αγωγιμότητα του δέρματος. Αυτοί οι αισθητήρες προσθέτουν περισσότερες πληροφορίες για την φυσιολογία και την αντίδραση του οργανισμού.

Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σύμφωνα με τα πρότυπα 10-20. Με τον όρο "10-20" εννοούμε ότι τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο 10% ή 20% της απόστασης μεταξύ δύο αναφορικών σημείων στο κρανίο. Η χρήση ποσοστών για τον υπολογισμό των αποστάσεων επιτρέπει την προσαρμογή της τοποθέτησης για τις διαφορές στο μέγεθος και το σχήμα του κεφαλιού μεταξύ διαφορετικών ατόμων. Αυτό εξασφαλίζει πως το Διεθνές Σύστημα 10-20 είναι κατάλληλο για χρήση από βρέφη έως ενήλικες. Για να την μέτρηση των αποστάσεων χρησιμοποιείται μια ταινία μέτρησης (μέτρο) με σήμανση ιδανικά σε εκατοστά και χιλιοστά. Για τις εμπρόσθιες και οπίσθιες θέσεις μετρείται το μήκος του κρανίου από το μέτωπο (nasion) προς το πίσω μέρος του κεφαλιού (inion). Μεταξύ αυτής της απόστασης εντοπίζονται πέντε σημεία και συμβολίζονται με Fp, F, C, P και O. Το πρώτο σημείο είναι το Fp και βρίσκεται στο 10% της απόστασης nasion-to-inion. Το σημείο F βρίσκεται πίσω από το Fp σε απόσταση ίση με το 20% της απόστασης nasion-to-inion, το C βρίσκεται πίσω από το F σε απόσταση 20%, το P βρίσκεται πίσω από το C σε απόσταση 20% και το O βρίσκεται πίσω από το P σε απόσταση 20%. Η απόσταση μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς του κεφαλιού χρησιμοποιείται για τις πλαϊνές θέσεις. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων T3 και T4 βρίσκονται στο 10% της απόστασης πάνω από το αριστερό και το δεξί σημείο αντίστοιχα. Το C3 βρίσκεται σε απόσταση 20% πάνω από το T3, ενώ το C4 βρίσκεται 20% πάνω από το T4. Τέλος έχουμε τις θέσεις που αντιστοιχούν

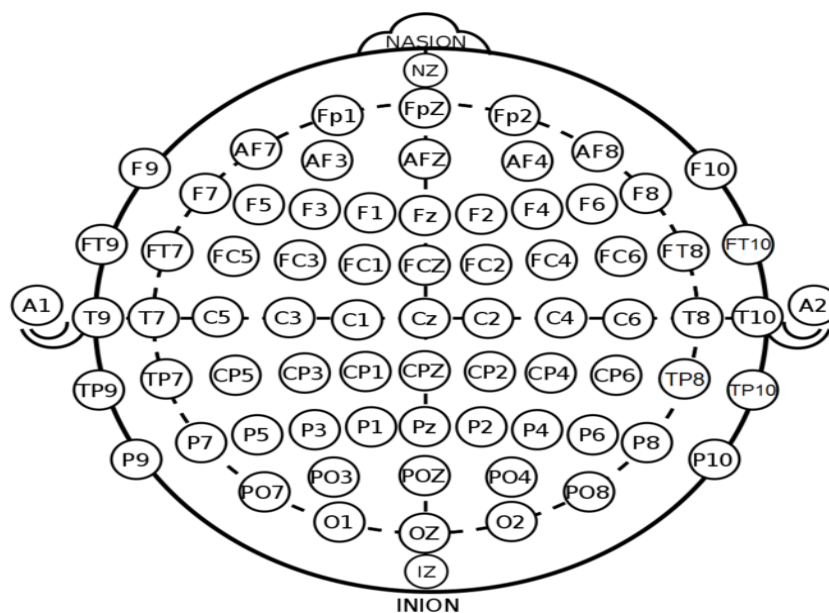
στα αυτιά και συμβολίζονται με A1 και A2. Ακολουθώντας αυτές τις οδηγίες σημειώνονται οι 21 θέσεις των ηλεκτροδίων στο Διεθνές Σύστημα 10-20.[1]

Η εικόνα 2.3 δείχνει τις θέσεις των ηλεκτροδίων σε σχέση με τις περιοχές του εγκεφάλου με χρήση του προτύπου 10-20.



Εικόνα 2.3 : Πρότυπο 10-20.[20]

Με την ίδια λογική χρησιμοποιούμε και το πρότυπο 10-10 το οποίο προβλέπει τη χρήση έως και 74 ηλεκτροδίων και απεικονίζεται παρακάτω .



Εικόνα 2.4 : Πρότυπο 10-10.[20]

Μοντάζ

Στο πλαίσιο της ΗΕΓ, ένα μοντάζ αναφέρεται στην συγκεκριμένη διάταξη ή διαμόρφωση των ηλεκτροδίων στο δέρμα του κρανίου και στον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζονται και προβάλλονται τα καταγεγραμμένα ηλεκτρικά σήματα. Τα μοντάζ έχουν κρίσιμο ρόλο στη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων ΗΕΓ, καθώς καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο η ηλεκτρική δραστηριότητα από τον εγκέφαλο μετριέται και αναπαρίσταται.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μοντάζ ηλεκτροεγκεφαλογραφίας:

- **Μοντάζ Αναφοράς (Referential):** Σε ένα μοντάζ αναφοράς, κάθε ηλεκτρόδιο καταγράφει την ηλεκτρική διαφορά δυναμικού σε σχέση με ένα αναφορικό ηλεκτρόδιο. Το αναφορικό ηλεκτρόδιο χρησιμεύει ως βάση για σύγκριση, και όλα τα άλλα ηλεκτρόδια καταγράφουν την ηλεκτρική δραστηριότητα σε σχέση με αυτό. Συνήθεις τοποθεσίες αναφοράς περιλαμβάνουν τα αυτιά ή τη μύτη.
- **Διπολικό μοντάζ (Bipolar):** Σε ένα διπολικό μοντάζ, καταγράφονται οι διαφορές δυναμικού ανάμεσα σε ζεύγη ενεργών ηλεκτροδίων, χωρίς αναφορικό ηλεκτρόδιο. Κάθε ζεύγος ενεργών ηλεκτροδίων μετρά την τάση απευθείας μεταξύ των δύο επιλεγμένων τοποθεσιών του κρανίου. Ενεργό θεωρείται ηλεκτρόδιο που βρίσκεται πάνω από εγκεφαλική περιοχή.

Η επιλογή ενός κατάλληλου μοντάζ εξαρτάται από τους ερευνητικούς ή κλινικούς στόχους. Ορισμένες μελέτες μπορεί να απαιτούν μια γενική άποψη της εγκεφαλικής δραστηριότητας (μοντάζ αναφοράς), ενώ άλλες μπορεί να επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ περιοχών (διπολικό μοντάζ).[6][7]

3. Κατηγοριοποίηση των εγκεφαλικών κυμάτων

Μετά από τη μέτρηση των ιοντικών ροών που προκύπτουν από τα καταγεγραμμένα εγκεφαλικά σήματα, ανοίγεται ένας πλούτος δυνατοτήτων για την εξαγωγή ερευνητικών συμπερασμάτων σχετικά με την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Αυτά τα σήματα αντικατοπτρίζουν διάφορους ρυθμούς εγκεφαλικής δραστηριότητας που υφίστανται σε διάφορες συχνότητες. Κατανοώντας αυτούς τους ρυθμούς, μπορούμε να αναλύσουμε την εγκεφαλική δραστηριότητα και να κατανοήσουμε διάφορες πτυχές της ανθρώπινης κατάστασης. Αυτοί οι ρυθμοί διαφοροποιούνται όχι μόνο στη συχνότητα αλλά και στην εγκεφαλική κατάσταση του ατόμου, για παράδειγμα, οι συχνότητες των εγκεφαλικών σημάτων διαφέρουν ανάλογα με το αν κάποιος βρίσκεται σε κατάσταση χαλάρωσης με κλειστά μάτια ή σε κατάσταση εγρήγορσης με ανοιχτά μάτια. Υπάρχουν πέντε βασικοί ρυθμοί εγκεφαλικής δραστηριότητας που διακρίνονται από τις διάφορες στα εύρη συχνοτήτων τους. Αυτά τα εύρη συχνοτήτων ταξινομημένα από την χαμηλότερη προς την υψηλότερη συχνότητα ονομάζονται αντίστοιχα δέλτα (δ), θήτα (θ), άλφα (α), βήτα (β), και γάμμα (γ).[8]-[10]

Ποιο αναλυτικά:

Ρυθμός δ : Τα δέλτα κύματα εμπεριέχονται στο εύρος συχνοτήτων 0,5-4 Hz. Αυτά τα κύματα εμφανίζονται κυρίως στη φάση του βαθέως ύπνου αλλά μπορεί να παρατηρηθούν και σε καταστάσεις εγρήγορσης. Είναι συχνό να παρερμηνευτούν ως ψευδή σήματα που προκαλούνται από την κινητικότητα των μυών του λαιμού και της γνάθου. Αυτό συμβαίνει διότι οι μύες αυτοί βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του δέρματος και παράγουν μεγάλα σήματα, ενώ το ενδιαφέρον σήμα προέρχεται από βάθος του εγκεφάλου και αποκόπτεται σημαντικά καθώς διασχίζει το κρανίο. Ωστόσο, εφαρμόζοντας απλές μεθόδους ανάλυσης σήματος ΗΕΓ, είναι πολύ εύκολο να διακριθεί τότε η απόκριση παράγεται λόγω κάποιας μυϊκής κίνησης.

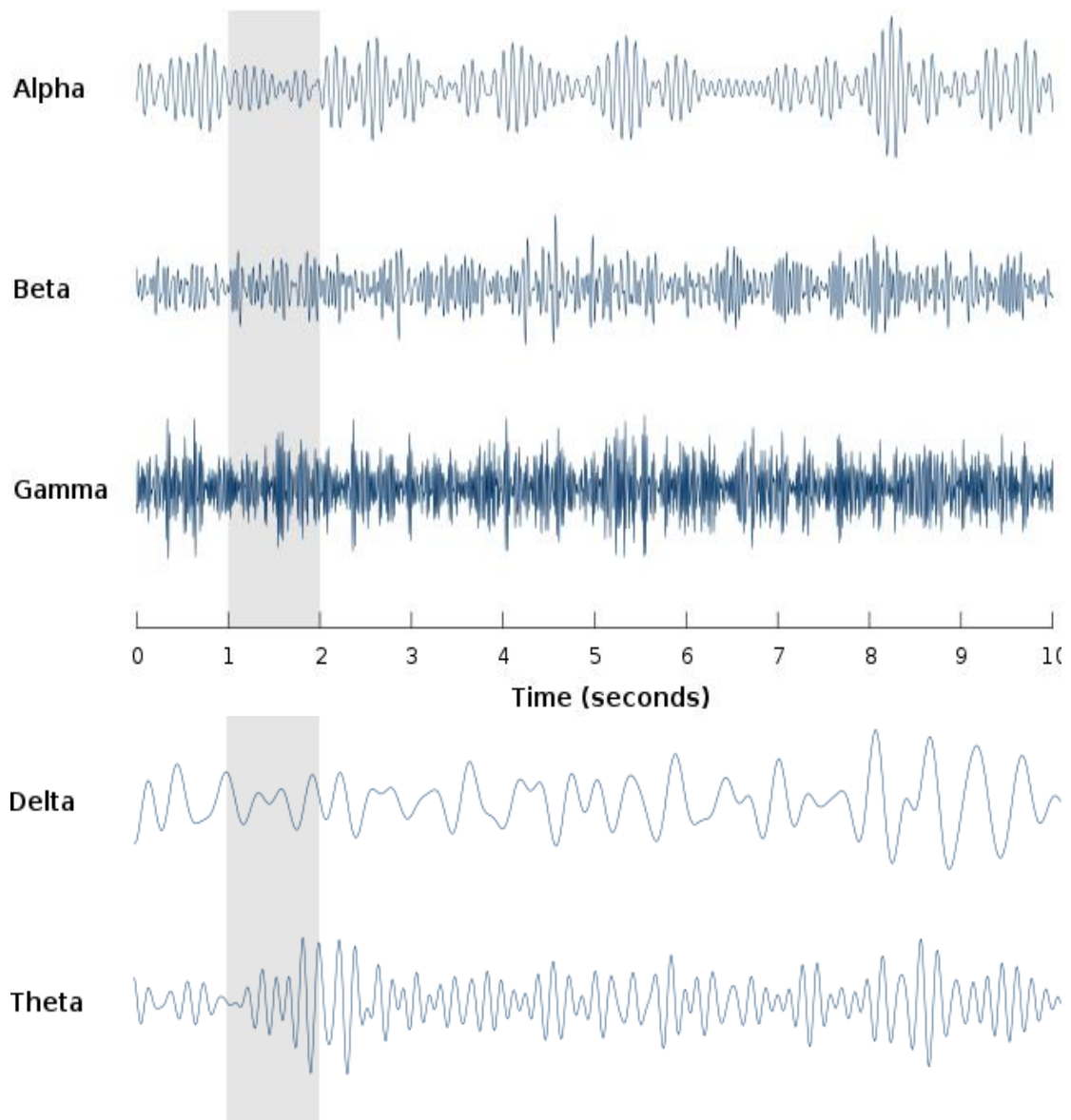
Ρυθμός θ : Τα θήτα κύματα αντιστοιχούν στο εύρος συχνοτήτων 4-8 Hz. Τα θήτα κύματα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του ελαφρού ύπνου όταν έχουμε εξασθένηση της συνείδησης. Έχουν συσχετιστεί με τις ασυνείδητες σκέψεις και τη δημιουργική έμπνευση. Συνήθως συνοδεύεται από άλλες συχνότητες και παίζουν σημαντικό ρόλο στη βρεφική και παιδική ηλικία επηρεάζοντας τη διαδικασία της μάθησης και της ανάπτυξης του εγκεφάλου. Η παρουσία μεγαλύτερων ποσοτήτων θήτα κυμάτων σε ενήλικες που είναι ζύπνιοι δεν είναι φυσιολογική και οφείλεται σε διάφορα παθολογικά

προβλήματα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες που αφορούν την ωρίμανση και τα συναισθήματα εξετάζοντας τις αλλαγές στο ρυθμό τους.

Ρυθμός α: Είναι ο εξέχων ρυθμός της εγκεφαλικής δραστηριότητας και η συχνότητα των κυμάτων του κινείται στο εύρος 8-12 Hz. Εντοπίζονται στην πίσω πλευρά του κεφαλιού στη βρεγματική και ινιακή περιοχή . Συχνά έχουν ημιτονοειδή μορφή αλλά σπάνια εμφανίζονται και ως αιχμηρά κύματα. Υποδεικνύουν χαλάρωση χωρίς προσοχή ή συγκέντρωση. Κατά κύριο λόγο, παράγονται όταν τα μάτια είναι κλειστά, υποδηλώνοντας ίσως ένα πρότυπο αναμονής ή σάρωσης από τις οπτικές περιοχές του εγκεφάλου. Μειώνονται κατά τη διάρκεια νοητικής συγκέντρωσης, έκθεσης σε άγνωστους ήχους και με το άνοιγμα των ματιών.

Ρυθμός β: Τα βήτα κύματα είναι η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου που αντιστοιχεί στο εύρος 12-30 Hz .Εμφανίζονται κυρίως στις περιοχές του μετώπου και του κεντρικού εγκεφάλου. Προκαλούνται κατά τη διάρκεια της ενεργού σκέψης και προσοχής και κατά τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων και εντοπίζονται σε υγιείς ενήλικες αλλά μπορεί να ελαττωθούν με την ύπαρξη κάποιας κινητικής δραστηριότητας ή μέσω διέγερσης που προκαλείται από την αφή. Βήτα κυματισμοί υψηλού επιπέδου, δηλαδή μεταξύ 20 και 30 Hz, μπορεί να παρατηρηθούν όταν ένα άτομο βρίσκεται σε κατάσταση πανικού, επίσης μπορούν να ενισχυθούν λόγω ενός οστικού ελαττώματος στο κρανίο και γύρω από περιοχές που υπάρχει κάποιος όγκος.

Ρυθμός γ: Τα γάμμα κύματα αντιστοιχούν σε συχνότητες η οποίες είναι πάνω από τα 30 Hz. Η ανίχνευσή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιβεβαίωση ορισμένων νευρολογικών και εγκεφαλικών παθήσεων. Οι περιοχές που εντοπίζονται υψηλές συχνότητες στην ΗΕΓ και υψηλά επίπεδα κυκλοφορίας του αίματος (καθώς και απορρόφησης οξυγόνου και γλυκόζης) βρίσκονται στην περιοχή του μετώπου και του κεντρικού εγκεφάλου. Το εύρος των γάμμα κυμάτων έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας καλός δείκτης συγχρονισμού που σχετίζεται με συγκεκριμένα γεγονότα στον εγκέφαλο (Event-Related Synchronization - ERS) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίδειξη κινήσεων του σώματος όπως είναι οι κινήσεις του δείκτη του δεξιού και αριστερού δαχτύλου, των δακτύλων του δεξιού ποδιού και της περιοχής της γλώσσας.



Εικόνα 3.1 : Απεικόνιση εγκεφαλικών ρυθμών για διάρκεια χρόνου 10 δευτερολέπτων.[20]

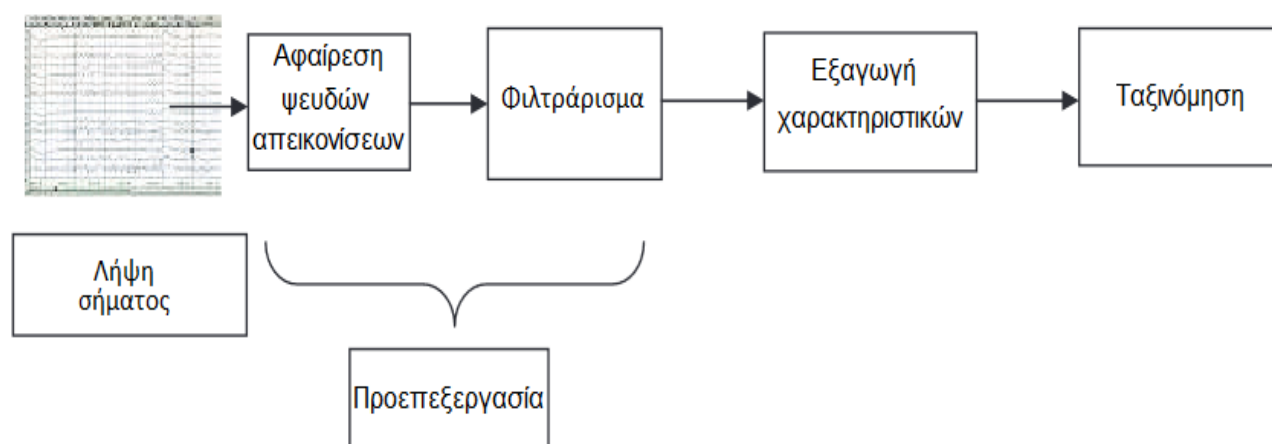
4. Ανάλυση σήματος

Τα σήματα που καταγράφονται από τη συσκευή ΗΕΓ χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση για να διερευνηθούν λεπτομερώς οι ηλεκτρικές δραστηριότητες του εγκεφάλου και να αποκαλυφθούν ενδεχόμενες ανωμαλίες ή παθολογίες που μπορεί να επηρεάζουν τη νευρολογική λειτουργία του υποκειμένου. Η ανάλυση σημάτων ΗΕΓ βασίζεται συνήθως σε τρεις φάσεις:

1) Αφαίρεση ψευδών απεικονίσεων ή αλλιώς Προεπεξεργασία.

2)Εξαγωγή χαρακτηριστικών .

3)Ταξινόμηση.



Εικόνα 4.1 : Διάγραμμα ανάλυσης σήματος ΗΕΓ.

4.1 Προεπεξεργασία

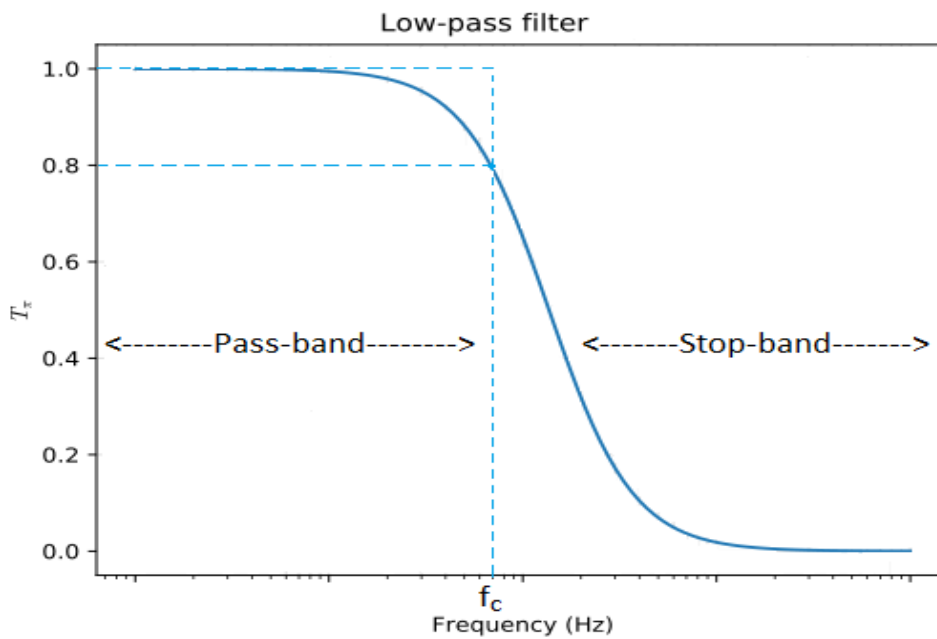
Η προεπεξεργασία είναι η διαδικασία μετατροπής της μορφής των αρχικών δεδομένων που έχουμε πάρει από την ΗΕΓ σε μια πιο κατάλληλη μορφή για περαιτέρω ανάλυση και ερμηνεία. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για την προεπεξεργασία των δεδομένων . Ο πρώτος λόγος είναι ότι τα ληφθέντα σήματα δεν είναι τόσο ακριβή σε σχέση με αυτά που προέρχονται πραγματικά από τον εγκέφαλο επειδή ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio) δεν είναι καλός και έχουν χαθεί χωρικές πληροφορίες κατά την καταγραφή. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το ληφθέν σήμα περιέχει μεγάλη ποσότητα θορύβου που έχει την τάση να αποκρύπτει τα χαμηλά και ασθενή σήματα. Αυτός ο θόρυβος που δημιουργεί ψευδείς απεικονίσεις μπορεί να προέρχεται από την κίνηση των ματιών και του κεφαλιού, κάποια μυϊκή

δραστηριότητα του προσώπου, τους παλμούς της καρδιάς, την αναπνοή, την κακή επαφή των ηλεκτροδίων με το δέρμα και την κίνηση των καλωδίων. Επίσης έχουμε και θόρυβο που προέρχεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως ο ηλεκτρομαγνητισμός από ηλεκτρικές συσκευές και τις γραμμές του ρεύματος. Συνεπώς, η προεπεξεργασία απαιτείται για τον διαχωρισμό των σημαντικών σημάτων από το θόρυβο, προκειμένου να ληφθεί το πραγματικό νευρικό σήμα του εγκεφάλου. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει το φιλτράρισμα, την τμηματοποίηση και την ανίχνευση ψευδών απεικονίσεων. Η μείωση του θορύβου γίνεται με τη χρήση διαφόρων τεχνικών φιλτραρίσματος και ψηφιοποίησης μέσω δειγματοληψίας του σήματος. Τα φιλτραρισμένα σήματα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. [12]-[14]

4.1.1 Φίλτρα

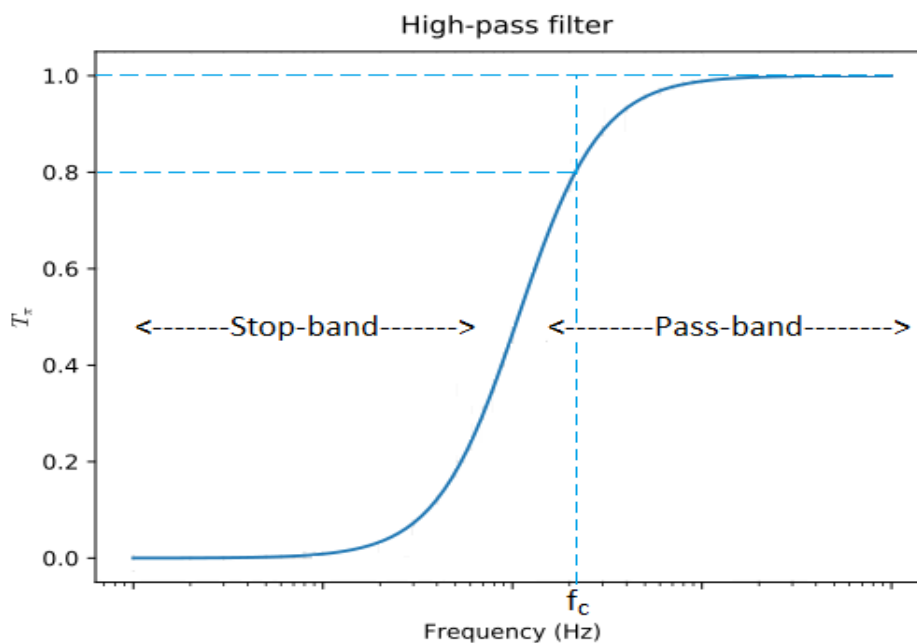
Συνήθη είδη φίλτρων, ανάλογα με τις συχνότητες αποκοπής ή διέλευσης, είναι:

Βαθυπερατά φίλτρα (Low-Pass Filter): Ένα βαθυπερατό φίλτρο επιτρέπει στις συχνότητες κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι να περάσουν, ενώ αποκόπτει τις υψηλότερες συχνότητες. Χρησιμοποιείται για την εξάλειψη θορύβου υψηλής συχνότητας και ψευδών απεικονίσεων από τις κινήσεις των μυών. [1]



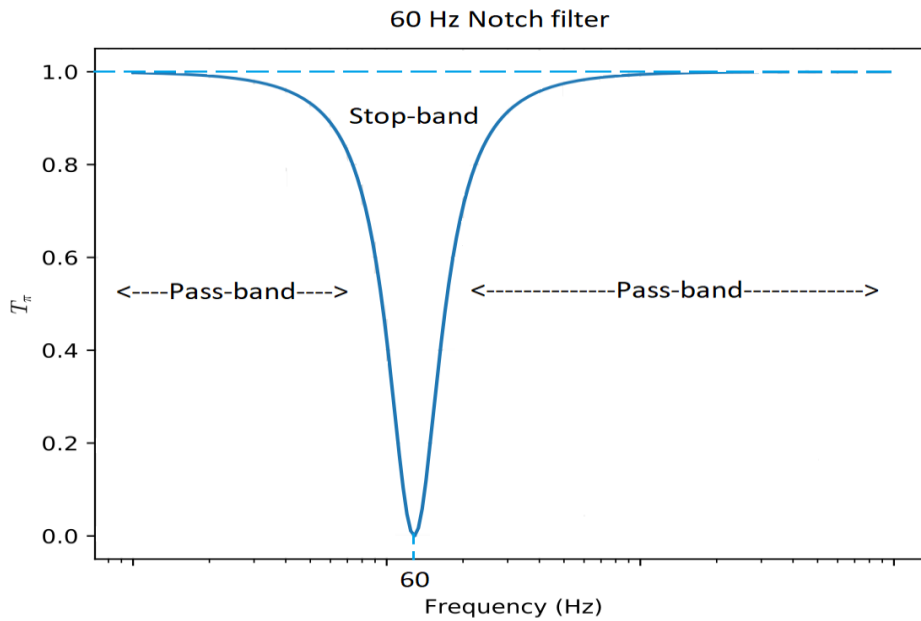
Εικόνα 4.2 : Βαθυπερατό φίλτρο.

Υψιπερατά φίλτρα (High-Pass Filter): Ένα υψιπερατό φίλτρο επιτρέπει τις συχνότητες πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι να περάσουν, ενώ αποκόπτει τις χαμηλότερες συχνότητες. Χρησιμοποιείται για την εξάλειψη αργών διακυμάνσεων όπως αυτές που προκαλούνται από αλλαγές στην αντίσταση του δέρματος κάτω από τα ηλεκτρόδια και την κίνηση του ατόμου. [1]



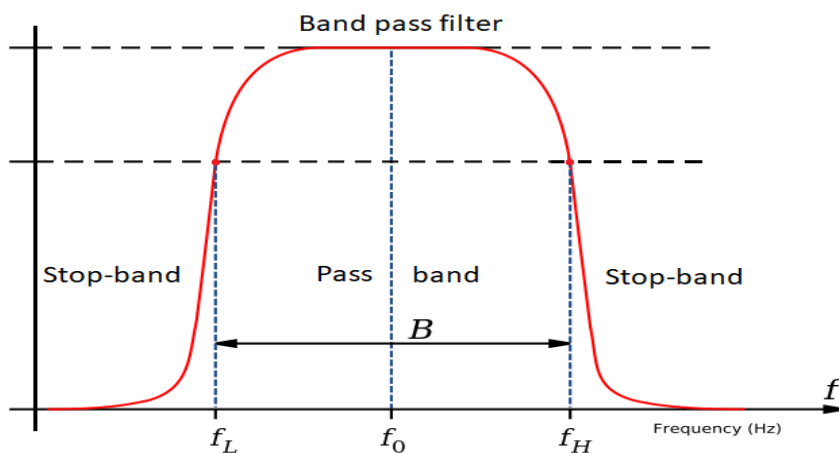
Εικόνα 4.3 : Υψιπερατό φίλτρο.

Φίλτρα Notch: Το φίλτρο αυτό αποκόπτει μια συγκεκριμένη συχνότητα, συνήθως τα 50 Hz (στην Ευρώπη) ή τα 60 Hz (στις Ηνωμένες Πολιτείες) για την αφαίρεση θορύβου που προκαλείται από το ηλεκτρικό δίκτυο.[1]



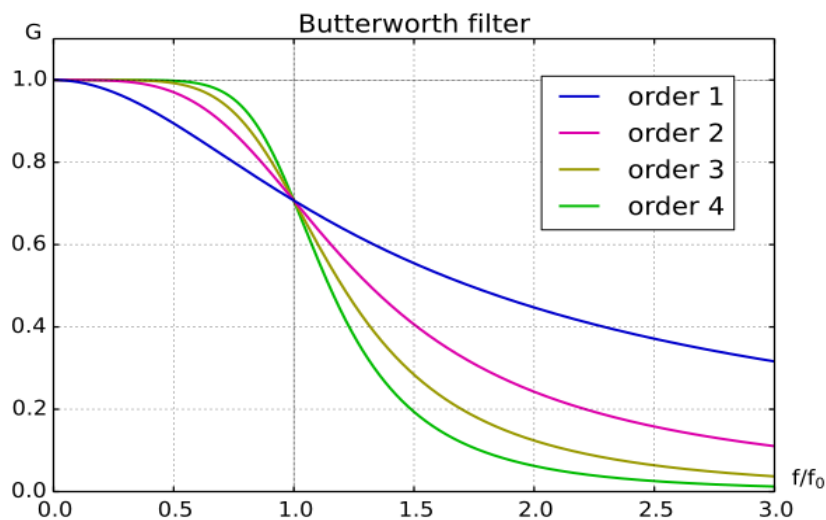
Εικόνα 4.4 : Φίλτρο Notch 60 hz.

Ζωνοπερατά φίλτρα (Bandpass): Αυτό το φίλτρο επιτρέπει μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων να περάσει, κόβοντας τις υπόλοιπες συχνότητες. Αυτό είναι χρήσιμο για την επιλογή συγκεκριμένων συχνοτήτων που μας ενδιαφέρουν για την ανάλυση και την ανίχνευση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.[1]



Εικόνα 4.5 : Ζωνοπερατό φίλτρο.

Φίλτρα Butterworth: Τα φίλτρα Butterworth μπορεί να ανήκουν σε κάθε ένα από τα είδη που προαναφέρθηκαν, και σχετίζονται με τη μορφή της συνάρτησης αποκοπής ή διέλευσης που ακολουθείται. Αυτό που κάνει τα φίλτρα Butterworth να ξεχωρίζουν είναι το χαρακτηριστικό τους να παρέχουν μια μέγιστη επίπεδη απόκριση συχνότητας στη ζώνη διέλευσης ενώ εξασθενούν σταδιακά τις συχνότητες εκτός της ζώνης διέλευσης. Αυτό σημαίνει ότι εντός του επιθυμητού εύρους συχνοτήτων, τα φίλτρα Butterworth μπορούν να απομακρύνουν αποτελεσματικά τις ανεπιθύμητες συχνότητες διατηρώντας τις επιθυμητές συχνότητες χωρίς να εισάγουν σημαντική παραμόρφωση στο σήμα. [17]



Εικόνα 4.6 : Φίλτρο Butterworth.[20]

4.2 Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Σε αυτήν τη φάση, λαμβάνονται δεδομένα χωρίς ψευδείς απεικονίσεις από τα οποία εξάγονται και επιλέγονται μόνο τα σημαντικά χαρακτηριστικά που μπορούν να αξιοποιηθούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά των σημάτων ΗΕΓ εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία του ατόμου μου, η νοητική και ψυχολογική του κατάσταση, καθώς και άλλες συμπεριφορές του εγκεφάλου και είναι μοναδικά για το κάθε άτομο. Ο κύριος στόχος της εξαγωγής χαρακτηριστικών είναι η αναγνώριση κοινών προτύπων από τα σήματα ΗΕΓ. Αυτές οι πληροφορίες αντικατοπτρίζουν τις διάφορες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ο εγκέφαλος, όπως η αναγνώριση συναισθημάτων. Όταν καταγράφεται αρχικά ένα σήμα ΗΕΓ, αναπαρίσταται στον πεδίο του χρόνου, αλλά περιλαμβάνει τόσο τις χρήσιμες πληροφορίες (χαρακτηριστικά) όσο και τον

ανεπιθύμητο θόρυβο. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, το σήμα ΗΕΓ πρέπει να εξεταστεί είτε στο πεδίο του χρόνου είτε στο πεδίο των συχνοτήτων. Σε παλαιότερες μελέτες, παρατηρήθηκε ότι τα χαρακτηριστικά που εξάγονται στο πεδίο των συχνοτήτων είναι πιο κατάλληλα για ταξινόμηση, αλλά αυτά που εξάγονται στο πεδίο του χρόνου δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα. Σε πιο πρόσφατες μελέτες όμως, ένας συνδυασμός χρόνου-συχνοτήτων έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται για να ληφθούν πιο ακριβή χαρακτηριστικά. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών, κάποιες από αυτές εξηγούνται παρακάτω. [12][13]

4.2.1 Μετασχηματισμός Fourier

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των πληροφοριών που παίρνουμε από τις συχνότητες ενός σήματος, σύμφωνα με την οποία ένα οποιοδήποτε περιοδικό σήμα αναλύεται σε ένα άθροισμα απείρων ημιτόνων, όλων των δυνατών συχνοτήτων, των οποίων το άθροισμα σχηματίζει το αρχικό σήμα. Κάθε ημίτονο συμμετέχει με διαφορετικό πλάτος και διαφορετική φάση στο ολικό σήμα και ο μετασχηματισμός Fourier μας λέει κατά πόσο συμμετέχει κάθε πιθανή συχνότητα στον σχηματισμό του. Δίνεται από τον κάτωθι ορισμό:

Έστω $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ μια δοσμένη συνάρτηση. Ορίζουμε την $F(s)$ με $s \in \mathbb{R}$ ως εξής

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-ist} dt$$

Αν το ολοκλήρωμα είναι πεπερασμένο η συνάρτηση $F(s)$ ονομάζεται ο μετασχηματισμός Fourier της f και συμβολίζεται και με $F(f)(s)$.

Σε αυτό τον ορισμό χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

Για ανάλυση μη-στατικών σημάτων και για ανάλυση στο πεδίο του χρόνου-συχνοτήτων χρησιμοποιείται ο βραχύς μετασχηματισμός Fourier (STFT). Ο STFT τμηματοποιεί το σήμα χρησιμοποιώντας ένα παράθυρο εντοπισμού χρόνου και πραγματοποιεί ανάλυση για κάθε τμήμα. Με αυτόν τον τρόπο παρέχει μια αναπαράσταση χρόνου - συχνοτήτων του σήματος, δείχνοντας πώς οι συχνότητες του αλλάζουν κατά τη πάροδο του χρόνου. Δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$X_m(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(n)w(n - mR)e^{-j\omega n}$$

- $x(n)$ = για χρόνο n το σήμα εισόδου
- $w(n)$ = παράθυρο συνάρτησης μήκους M
- $X_m(\omega)$ = ο μετασχηματισμός Fourier του παράθυρου δεδομένων, με επίκεντρο τον χρόνο mR .

- R = μέγεθος άλματος στα δείγματα μεταξύ διαδοχικών επιτυχών μετασχηματισμών.

Ο STFT έχει ως μειονέκτημα ότι δυσκολεύεται να ανιχνεύσει σήματα που έχουν υψηλές και χαμηλές συχνότητες διότι χρησιμοποιεί το ίδιο μήκος παραθύρου για όλο το σήμα. Για τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT) ο οποίος επιτρέπει να οριστεί με ακρίβεια το εύρος στο οποίο θα υπολογιστεί ο μετασχηματισμός. Δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$X(\omega_k) = \sum_n^{N-1} x(t_n)e^{-j\omega_k t_n}$$

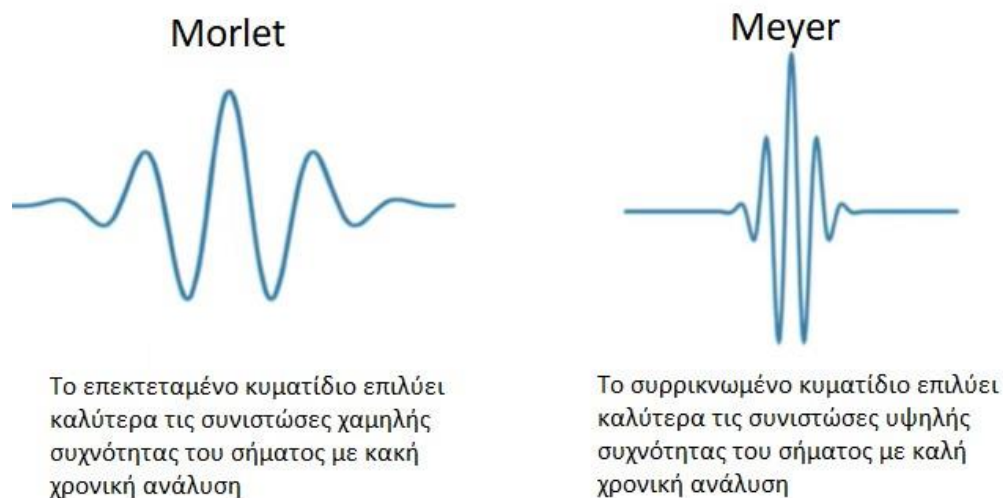
- x=το σήμα στο πεδίο του χρόνου
- N= το πλήθος των τιμών του σήματος
- n=0...N-1= οι χρονικές στιγμές του σήματος
- k=0...N-1= οι συχνότητες του X

Ο DFT υπολογιστικά είναι πολύ αργός για αυτό το λόγο έγινε επινόηση ενός πιο αποδοτικού τρόπου εφαρμογής του που ονομάζεται ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT). Ο FFT είναι υπολογιστικά μια πολύ αποτελεσματική και γρήγορη μέθοδος, αυτό το πλεονέκτημα το αποκτάει μειώνοντας τον αριθμό των υπολογισμών που χρειάζεται για την ανάλυση μιας κυματομορφής. Χρησιμοποιείται συνήθως για την εξαγωγή χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τα κύματα θήτα, δέλτα, άλφα και βήτα. Δεν συνηθίζεται όμως να χρησιμοποιείται για την εξαγωγή χαρακτηριστικών των γάμμα κυμάτων επειδή τείνουν να έχουν πολύ θόρυβο. Κάτι σημαντικό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι ο FFT δεν παρέχει πληροφορίες χρόνου, καθιστώντας τον λιγότερο κατάλληλο για την ανάλυση μη-στατικών σημάτων. [11][15][16][18]

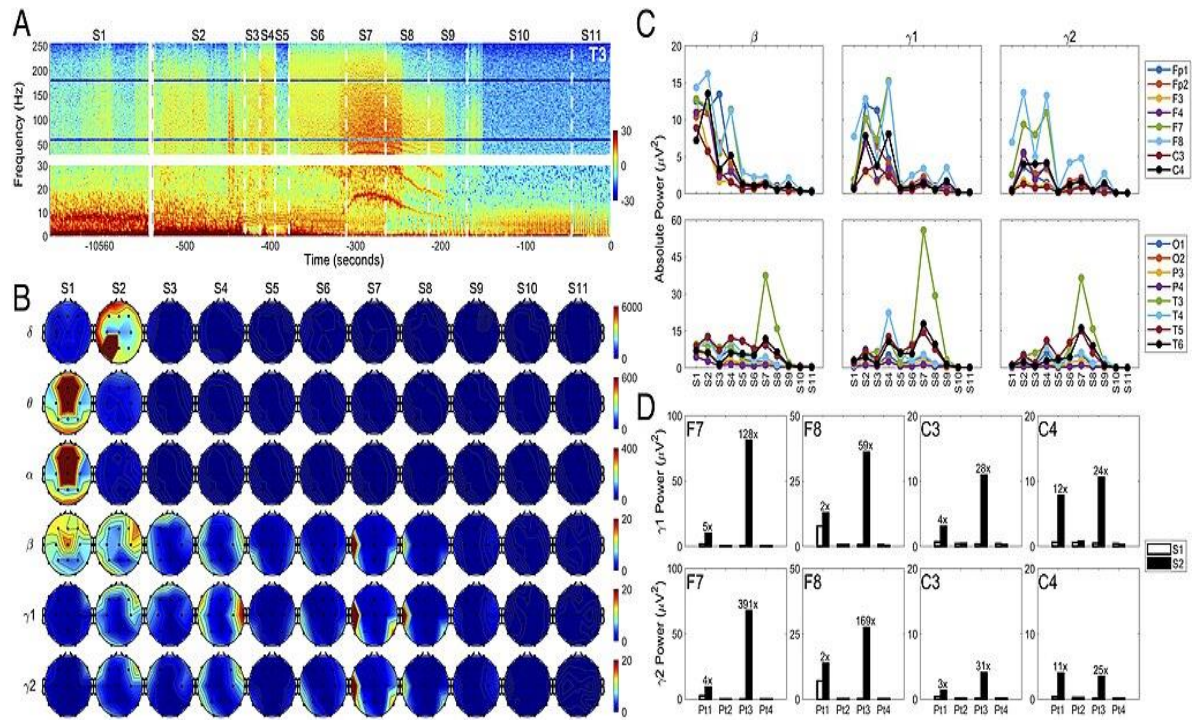
4.2.2 Μετασχηματισμός Wavelet

Ο μετασχηματισμός Wavelet είναι μια ακόμη σημαντική τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή πληροφοριών από μη-στατικά σήματα ΗΕΓ, παρέχοντας επίσης πληροφορίες στο πεδίο του χρόνου. Ο πυρήνας του μετασχηματισμού Wavelet είναι η επιλογή μιας βασικής κυματικής συνάρτησης. Ένα κυματίδιο είναι μια μικρή, τοπική κυματομορφή που μπορεί να κλιμακωθεί και να μετατοπιστεί για να αναλύσει διάφορες πτυχές ενός σήματος. Η επιλογή της κυματικής συνάρτησης εξαρτάται από τους συγκεκριμένους στόχους της ανάλυσης και τα χαρακτηριστικά του σήματος ΗΕΓ. Το σήμα ΗΕΓ διαιρείται σε πολλές κλίμακες και επίπεδα και περνάει επαναλαμβανόμενα μέσα από ένα ζεύγος υψιπερατών και βαθυπερατών φίλτρων, τα οποία το διαχωρίζουν σε συντελεστές προσέγγισης (που

αντιπροσωπεύουν τα χαμηλής συχνότητας στοιχεία) και συντελεστές λεπτομέρειας (που αντιπροσωπεύουν τα υψηλής συχνότητας στοιχεία). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται, δημιουργώντας μια αναπαράσταση πολλαπλής ανάλυσης του σήματος. Το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού Wavelet παρουσιάζεται συχνά ως ένα φασματογράφημα που είναι μια δισδιάστατη αναπαράσταση με τον χρόνο στον έναν άξονα και τη συχνότητα στον άλλο. Η ένταση των χρωμάτων ή της σκίασης δείχνουν την ένταση του σήματος σε συγκεκριμένο χρόνο και συχνότητα. Αντίθετα με τον FFT, ο οποίος επικεντρώνεται κυρίως στον τομέα των συχνοτήτων, ο μετασχηματισμός Wavelet συνδυάζει πληροφορίες από και τους δύο τομείς, προσφέροντας συχνά καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με το FFT στον τομέα της ανάλυσης των σημάτων ΗΕΓ. Ένα άλλο πλεονέκτημα του μετασχηματισμού Wavelet είναι η ικανότητά του να προσφέρει υψηλή χρονική ανάλυση, ιδιαίτερα για συνιστώσες υψηλής συχνότητας, σε σύγκριση με τον βραχύ μετασχηματισμό Fourier (STFT). Αυτό σημαίνει ότι ο μετασχηματισμός Wavelet μπορεί να ανιχνεύσει πιο αποτελεσματικά γρήγορες αλλαγές που συμβαίνουν στα χαρακτηριστικά του σήματος με την πάροδο του χρόνου, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν αναλύουμε σήματα ΗΕΓ που μπορεί να περιέχουν μεταβαλλόμενες συχνότητες και παροδικά συμβάντα .[10]-[12]



Εικόνα 4.7 : Κυματίδια Morlet και Meyer.

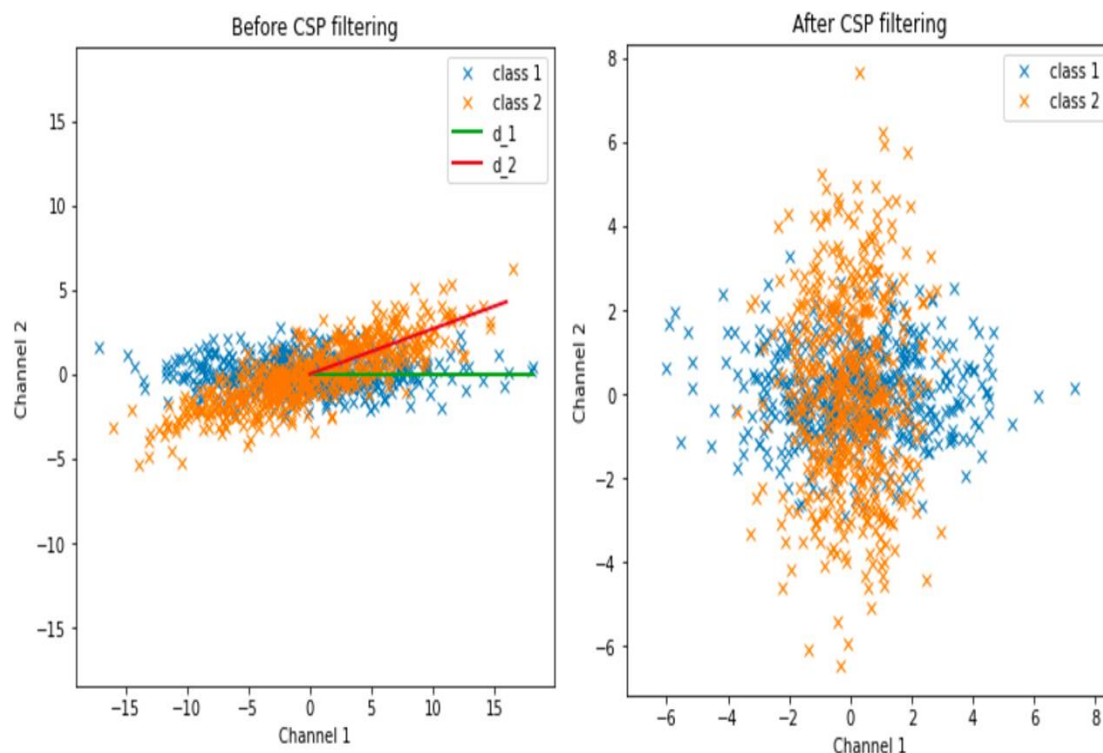


Εικόνα 4.8 : Παράδειγμα φασματογραφήματος.[20]

4.2.3 Κοινή Χωρική Μέθοδος

Η μέθοδος του Κοινού Χωρικού Προτύπου (Common Spatial Pattern - CSP) είναι μια μέθοδος εξαγωγής χαρακτηριστικών που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό πολυκαναλικών σημάτων ΗΕΓ σε χωρικά πρότυπα που εμφανίζουν το μέγιστο βαθμό διακύμανσης μεταξύ δύο διαφορετικών σημάτων ΗΕΓ. Ο αλγόριθμος CSP δημιουργεί χωρικά φίλτρα που έχουν το διπλό στόχο της ελαχιστοποίησης της διακύμανσης ενός σήματος, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιούν τη διακύμανση ενός άλλου σήματος. Αυτή η διαδικασία ενισχύει ουσιαστικά τις διαφορές μεταξύ των σημάτων, καθιστώντας τα πιο διακριτά για μελλοντικές εργασίες ταξινόμησης.

Για την υλοποίηση της CSP, τα πολυκαναλικά σήματα ΗΕΓ συνήθως περνούν πρώτα από ένα φίλτρο περιοχής συχνοτήτων, που επιλέγει το επιθυμητό εύρος συχνοτήτων ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, γίνεται φιλτράρισμα χρησιμοποιώντας τα χωρικά φίλτρα και φίλτρα Finite Impulse Response (FIR), με αποτέλεσμα τη δημιουργία διακριτικών χωρικών προτύπων. Αυτή η τεχνική συμβάλλει στη βελτίωση της ταξινόμησης των σημάτων ΗΕΓ, αλλά δεν αποτελεί από μόνη της τεχνική ταξινόμησης.[11]



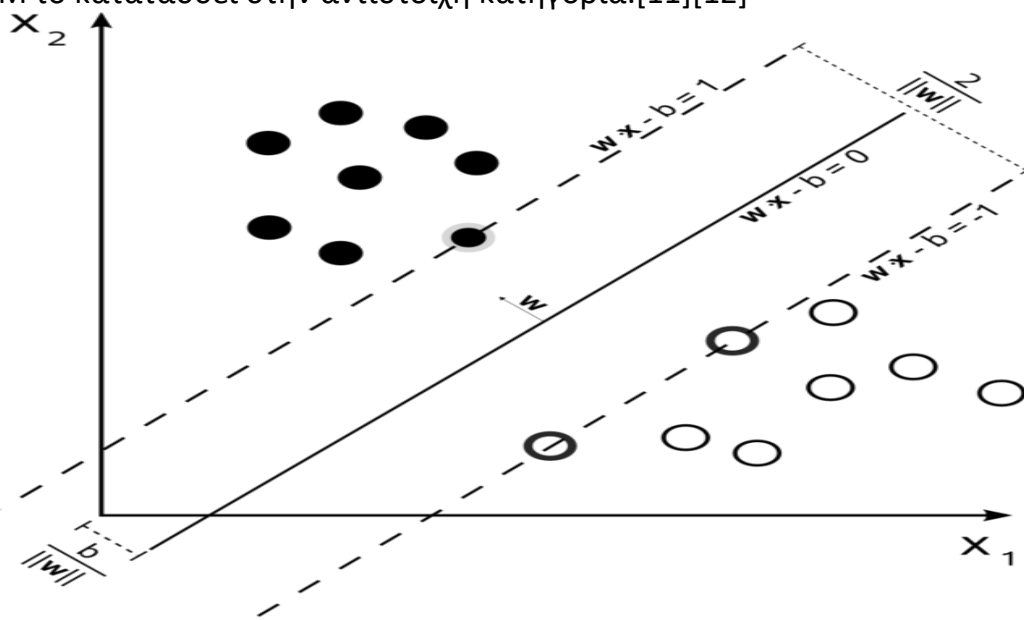
Εικόνα 4.9 : Σήματα πριν και μετά την εφαρμογή της μεθόδου Κοινού Χωρικού Προτύπου.[20]

4.3 Ταξινόμηση

Τα χαρακτηριστικά που έχουν εξαχθεί χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των σημάτων σε κλάσεις με την χρήση αλγορίθμων. Αυτοί οι αλγόριθμοι ονομάζονται ταξινομητές. Οι ταξινομητές εκπαιδεύονται με τη χρήση δεδομένων εκπαίδευσης και στη συνέχεια καθορίζουν την κλάση των σημάτων. Η ταξινόμηση χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη αποτελεσμάτων και για την κατηγοριοποίηση προτύπων. Η διαδικασία της εκπαίδευσης και της χρήσης των ταξινομητών ανήκει στον κλάδο της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning). Τα δυο είδη Μηχανικής Μάθησης είναι α) Η επιβλεπόμενη τεχνική όπου η έξοδος είναι γνωστή, δηλαδή ξέρουμε τον αριθμό των κλάσεων και σε ποιες αντιστοιχούν τα δεδομένα. β) Η μη επιβλεπόμενη στην οποία η έξοδος δεν είναι γνωστή και ο ταξινομητής πρέπει να εντοπίσει και να κατηγοριοποιήσει τα κοινά δεδομένα σε ομάδες (συστάδες). Επίσης χρησιμοποιούνται δύο τύποι τεχνικών ταξινόμησης, οι οποίες είναι η δυαδική ταξινόμηση και η ταξινόμηση πολλαπλών κλάσεων. Η δυαδική ταξινόμηση χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση μόνο δύο κλάσεων (0 και 1) και οι τεχνικές ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση πολυάριθμων κλάσεων. Παρακάτω εξηγούνται ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές ταξινόμησης.[11][12]

4.3.1 Support Vector Machine (SVM)

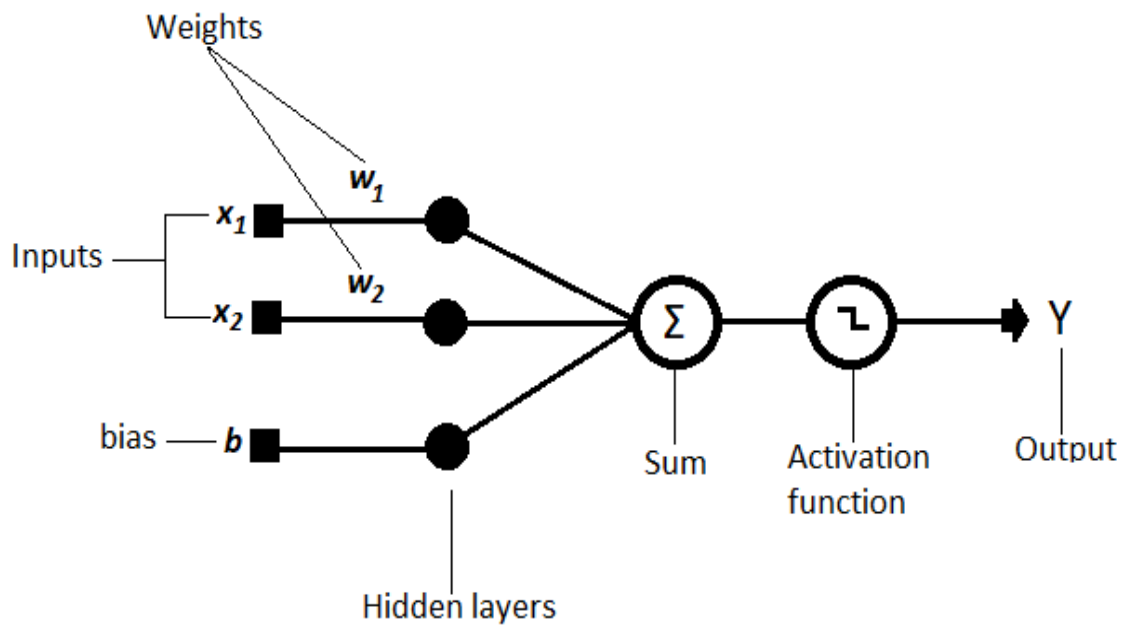
Η SVM είναι μια πολύ ισχυρή μέθοδος ταξινόμησης. Είναι ένας επιβλεπόμενος αλγόριθμος μάθησης γνωστός για την ικανότητά του να παράγει ακριβή αποτελέσματα, ακόμη και όταν έχει να κάνει με μεγάλο όγκο δεδομένων. Η SVM χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κλάσης στην οποία θα πρέπει να ανήκει ένα νέο περιστατικό με τον μετασχηματισμό των δεδομένων σε έναν υψηλών διαστάσεων χώρο πολλαπλών χαρακτηριστικών, το οποίο είναι χρήσιμο για την κατηγοριοποίηση των στοιχείων των δεδομένων, ακόμη και όταν τα δεδομένα δεν είναι διακριτά και διαχωρίσιμα. Στον χώρο αυτό η SVM στοχεύει στην εύρεση ενός υπερεπιπέδου, δηλαδή την υποπεριοχή μίας διάστασης λιγότερης από τον περιβάλλοντα χώρο που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μία ευθεία γραμμή αφού τα δεδομένα είναι δισδιάστατα, που διαχωρίζει καλύτερα τις διάφορες κλάσεις δεδομένων. Αυτό το υπερεπίπεδο τοποθετείται έτσι ώστε να μεγιστοποιεί το περιθώριο μεταξύ των κλάσεων, εξασφαλίζοντας έναν σαφή διαχωρισμό. Μόλις δημιουργηθεί το διαχωριστικό υπερεπίπεδο, ο SVM μπορεί να το χρησιμοποιήσει για την κατηγοριοποίηση νέων δεδομένων. Καθορίζοντας σε ποια πλευρά του υπερεπιπέδου εμπίπτει ένα δεδομένο, ο SVM το κατατάσσει στην αντίστοιχη κατηγορία.[11][12]



Εικόνα 4.10 : Η γραμμή στο κέντρο αποτελεί το υπερεπίπεδο που διαχωρίζει τις δυο κλάσεις (μαύροι κύκλοι, λευκοί κύκλοι).[20]

4.3.2 Νευρωνικά Δίκτυα (NN)

Ο SVM μας δίνει ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα, αλλά δεν είναι αποτελεσματικός για την αντιμετώπιση προβλημάτων πολλαπλών κατηγοριών. Τα NN είναι μια κατηγορία ταξινομητών που έχουν καλύτερες επιδόσεις αλλά χρειάζονται περισσότερο χρόνο εκπαίδευσης, παρέχουν όμως έναν λογικό συμβιβασμό μεταξύ ακρίβειας και ταχύτητας και χρησιμοποιούνται για προβλήματα πολλαπλών κατηγοριών και για δυναμικά σήματα ΗΕΓ. Τα Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούνται από πολλές στοιχειώδεις υπολογιστικές μονάδες, που ονομάζονται "νευρώνες". Η οργάνωση αυτών των νευρώνων προσομοιάζει τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου νευρωνικού δικτύου. Οι νευρώνες οργανώνονται σε επίπεδα (layers) και συνδέονται μεταξύ τους μέσω "συνάψεων" στις οποίες αντιστοιχεί ένα βάρος (weight) που έχει καθοριστεί κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης και πολλαπλασιάζεται με την είσοδο. Χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα NN, όπως οι ταξινομητές Gauss, το Radial Basis Function (RBF) και το Multilayer Perceptrons (MLP). Ένα βασικό νευρωνικό μοντέλο είναι το perceptron ενός επιπέδου, Single Layer Perceptron (SLP) . Αποτελείται από ένα επίπεδο εισόδου και ένα επίπεδο εξόδου. Για τον υπολογισμό ενός perceptron ενός επιπέδου, το διάνυσμα εισόδου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τα στοιχεία της εισόδου με τα αντίστοιχα βάρη, και στη συνέχεια υπολογίζεται η καθαρή είσοδος προσθέτοντας ένα διάνυσμα εισόδου με ένα καθορισμένο σταθερό στοιχείο (bias). Η καθαρή τιμή εισόδου είναι η είσοδος για τη συνάρτηση ενεργοποίησης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11. Η συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιείται για να προσθέσει μη γραμμικότητα και να αυξήσει την ευελιξία ενός μοντέλου. Καθορίζει εάν ένα νευρώνας θα ενεργοποιηθεί ή όχι. Οι πιο δημοφιλείς συναρτήσεις ενεργοποιήσεως είναι οι Sigmoid, Relu και Tanh.[11]

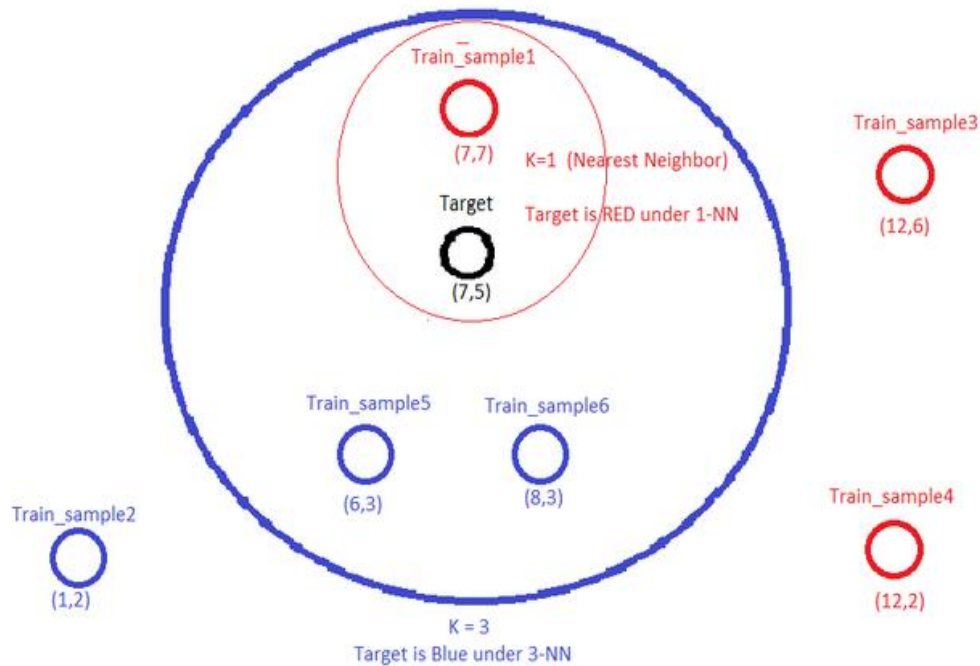


Εικόνα 4.11 : Single Layer Perceptron (SLP). [Γιάννης

4.3.3 k Πλησιέστερων Γειτόνων (k-NN)

Ο k-NN είναι ένας μη παραμετρικός επιβλεπόμενος αλγόριθμος μάθησης. Ομαδοποιεί τα δεδομένα με βάση τα εγγενή πρότυπα τους ή τις ομοιότητές τους. Το σύνολο των δεδομένων ΗΕΓ χωρίζεται σε δύο υποσύνολα: ένα σύνολο εκπαίδευσης και ένα σύνολο ελέγχου. Το σύνολο εκπαίδευσης χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση ενός μοντέλου k-NN, ενώ το σύνολο ελέγχου χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσής του. Στη φάση εκπαίδευσης, ο αλγόριθμος k-NN αποθηκεύει ολόκληρο το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης στη μνήμη. Για κάθε στοιχείο στο σύνολο εκπαίδευσης, ο k-NN υπολογίζει την απόσταση μεταξύ του συγκεκριμένου στοιχείου και όλων των άλλων στοιχείων στο σύνολο εκπαίδευσης, με τα πιο συνηθισμένα μέτρα απόστασης να περιλαμβάνουν την Ευκλείδεια απόσταση και την απόσταση Manhattan. Τα στοιχεία που βρίσκονται στη μικρότερη απόσταση ορίζονται ως οι k-πλησιέστεροι γείτονες. Το τρέχον στοιχείο θα ταξινομηθεί στην κλάση που έχει την πλειοψηφία των k-πλησιέστερων γειτόνων. Για την ταξινόμηση ενός νέου σήματος ΗΕΓ στο σύνολο ελέγχου, ο αλγόριθμος k-NN υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ του νέου στοιχείου και όλων των στοιχείων στο σύνολο εκπαίδευσης κ.ο.κ. Η επιλογή του μέτρου απόστασης και η τιμή του "k" θα πρέπει να ρυθμίζονται με βάση τα

χαρακτηριστικά των δεδομένων ΗΕΓ και του συγκεκριμένου προβλήματος ταξινόμησης. Μόλις το μοντέλο k-NN εκπαιδευτεί και ρυθμιστεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση νέων δεδομένων EEG σε πραγματικό χρόνο.[10]



Εικόνα 4.12 : Παράδειγμα ταξινόμησης k-NN. Το υπό εξέταση στοιχείο (Μαύρος κύκλος) πρέπει να ταξινομηθεί σε μια από τις 2 κλάσεις (Μπλε ή Κόκκινη). Σύμφωνα με τον ταξινομητή, για k=1 ανήκει στην Κόκκινη κλάση, ενώ για k=3 ανήκει στην Μπλε κλάση. [20]

4.3.4 Naive Bayes (NB)

Ο ταξινομητής NB λειτουργεί υπολογίζοντας την πιθανότητα ενός δεδομένου να ανήκει σε μια κλάση βάσει των χαρακτηριστικών του. Για κάθε δεδομένο αποδίδεται μια πιθανότητα σε κάθε κλάση και ως προβλεπόμενη κλάση επιλέγεται αυτή με την υψηλότερη πιθανότητα. Το θεώρημα του Bayes αποτελεί τη βάση του NB και είναι μια θεμελιώδης έννοια στη θεωρία των πιθανοτήτων. Το θεώρημα του Bayes μας επιτρέπει να ανανεώνουμε τις πεποιθήσεις μας για ένα γεγονός βάσει νέων αποδείξεων. Μαθηματικά, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P(\text{class} | \text{features}) = (P(\text{features} | \text{class}) * P(\text{class})) / P(\text{features})$$

όπου: $P(\text{class} \mid \text{features})$: Η πιθανότητα της κλάσης δεδομένων των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών.

$P(\text{features} \mid \text{class})$: Η πιθανότητα παρατήρησης των χαρακτηριστικών δεδομένης της κλάσης.

$P(\text{class})$: Η εκ των προτέρων πιθανότητα της κλάσης.

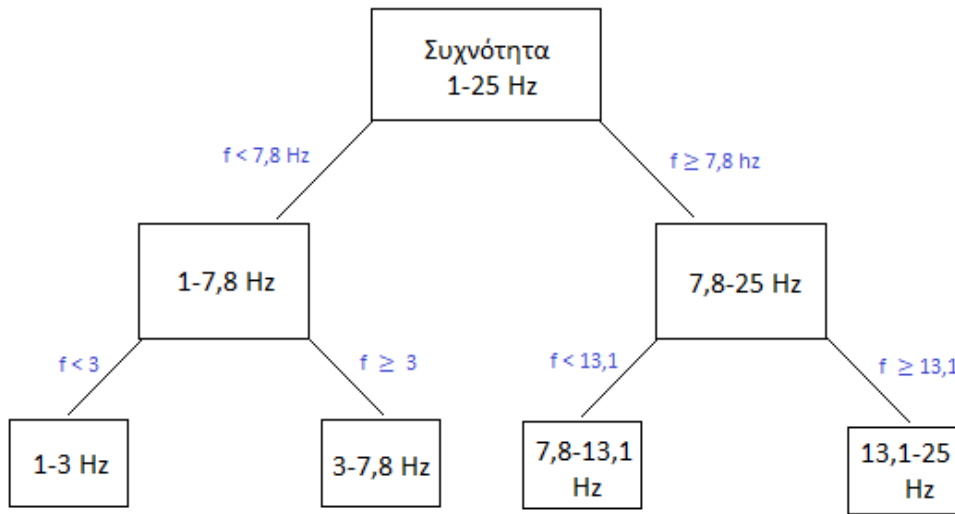
$P(\text{features})$: Η εκ των προτέρων πιθανότητα των χαρακτηριστικών (μια σταθερά ομαλοποίησης).

Ο NB είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για σύνολα δεδομένων υψηλών διαστάσεων, όπου ο αριθμός των χαρακτηριστικών είναι μεγάλος και μπορεί να χειριστεί προβλήματα με πολλαπλές κλάσεις (περισσότερες από δύο). [10]

4.3.5 Δέντρα απόφασης

Ο αλγόριθμος του δέντρου απόφασης δημιουργεί μια δενδροειδή δομή με βάση τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά. Στόχος είναι η δημιουργία μιας ιεραρχίας κόμβων απόφασης που χωρίζουν τα δεδομένα σε διαφορετικές κλάσεις. Κάθε κόμβος απόφασης στο δέντρο αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό και έναν αντίστοιχο κανόνα απόφασης με δύο πιθανά αποτελέσματα. Το κάθε αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε ένα "κλαδί" (branch) και οδηγείται σε έναν άλλο κόμβο όπου εφαρμόζεται ένας άλλος κανόνας απόφασης κ.ο.κ. Η διαδικασία διαχωρισμού συνεχίζεται μέχρι να ικανοποιηθεί μία από τις συνθήκες διακοπής, οι οποίες μπορεί να είναι είτε η επίτευξη ενός συγκεκριμένου βάθους του δέντρου είτε η ύπαρξη ενός ελάχιστου αριθμού δεδομένων σε έναν κόμβο ή αν η τιμή του κόμβου είναι μεγαλύτερη από μία τιμή κατωφλίου. Κατά τη δημιουργία του δέντρου, οι τελικοί κόμβοι (leaf nodes) αντιπροσωπεύουν τις κλάσεις στις οποίες αντιστοιχούν τα δεδομένα ΗΕΓ. Κάθε leaf node αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα ταξινόμησης. [19]

Παράγοντας πρόβλεψης: Συχνότητα



Εικόνα 4.13 : Παράδειγμα δέντρου απόφασης.

II. Εγχειρίδιο χρήσης συστήματος Enobio

Όλες οι πληροφορίες και οι εικόνες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη του παρακάτω κεφαλαίου έχουν αντληθεί από το υλικό που παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρεία Neuroelectrics (NE) καθώς και από προσωπική μελέτη και χρήση του συστήματος.

5. Σύστημα ΗΕΓ Enobio

Το Enobio της Neuroelectrics (NE) είναι ένα φορητό σύστημα παρακολούθησης ΗΕΓ που προορίζεται για τη διάγνωση και παρακολούθηση εγκεφαλικών παθήσεων τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά. Έχει σχεδιαστεί για χρήση σε κλινικό περιβάλλον, νοσοκομεία ή ερευνητικά κέντρα και πρέπει χρησιμοποιείται από εκπαιδευμένο υγειονομικό προσωπικό ικανό να εγγυηθεί τη σωστή καταγραφή.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ρυθμός δειγματοληψίας: 500 SPS
- Εύρος ζώνης: 0 έως 125Hz
- Ανάλυση 24 bits
- Μέτρηση θορύβου: < 1 μ V RMS

Ανάλογα με το μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει καταγραφή 8, 20 και 32 καναλιών, είναι ασύρματο, και λειτουργεί με μπαταρία. Μαζί με το Enobio περιέχονται όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας συνεδρίας, καθώς και κάποια πρόσθετα στοιχεία που μπορεί να είναι χρήσιμα κατά τη διάρκεια χρήσης της συσκευής. Στις επόμενες σελίδες, θα δούμε μια περιγραφή των εξαρτημάτων καθώς και μια επεξήγηση του λογισμικού.

5.1 Enobio Necbox (8ch/20ch/32ch)

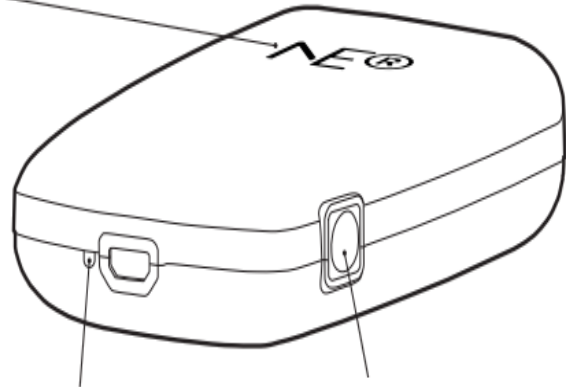
Το Necbox είναι ο πυρήνας και η μονάδα ελέγχου του Enobio. Μέσω της χρήσης του λογισμικού NIC2 συνδέεται ασύρματα με τον υπολογιστή και λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Έχει βάρος 85 g και οι διαστάσεις του είναι 87x61x24,8 mm. Στα σχεδιαγράμματα που ακολουθούν (εικ.5.1,5.2) περιγράφονται κάποιες λεπτομέρειες του Necbox.

LED λειτουργίας

-Σβηστό: Η συσκευή είναι απενεργοποιημένη.

-Συνεχής φωτεινή ένδειξη: Η συσκευή λειτουργεί σωστά σε κανονική κατάσταση λειτουργίας.

-Αναβοσβήνει με περίοδο 250ms: Η συσκευή έχασε τη σύνδεση κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου. Για να συνεχίσει, πρέπει να απενεργοποιηθεί και να ενεργοποιηθεί ξανά.



LED φόρτισης

-Σβηστό: Ο φορτιστής είναι δεν είναι συνδεδεμένος.

-Κίτρινη φωτεινή ένδειξη: Ο φορτιστής είναι συνδεδεμένος και η συσκευή φορτίζει.

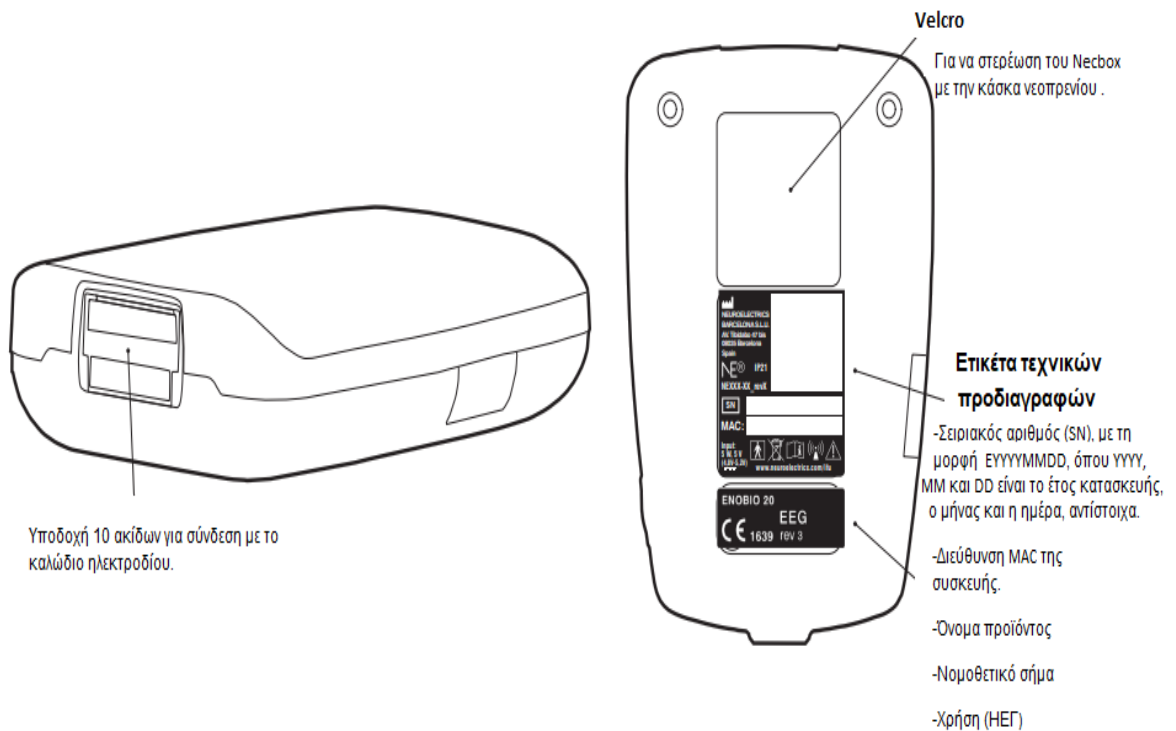
-Πράσινη φωτεινή ένδειξη: Ο φορτιστής είναι συνδεδεμένος και η συσκευή είναι πλήρως φορτισμένη.

Πλήκτρο ON/OFF

-Με μονό πάτημα, ενεργοποιεί τη συσκευή ενώ είναι απενεργοποιημένη.

-Με παρατεταμένο πάτημα 2 δευτερολέπτων, απενεργοποιεί τη συσκευή ενώ είναι ενεργοποιημένη.

Εικόνα 5.1 : Σχεδιάγραμμα Necbox (a).



Εικόνα 5.2 : Σχεδιάγραμμα Necbox (b).

5.2 Καλώδια ηλεκτροδίων

Τα καλώδια ηλεκτροδίων αντιστοιχούν στα ηλεκτρόδια που είναι διαθέσιμα αναλόγως του μοντέλου Ενοβίο που χρησιμοποιούμε και συνδέονται στο πάνω μέρος του Necbox.

Καλώδιο ηλεκτροδίων EN8

Το καλώδιο αυτό διαθέτει 10 υποδοχές που είναι συμβατές με τα ηλεκτρόδια τα οποία παρέχονται από την Neuroelectrics.

Περιέχει 8 κανάλια, αριθμημένα από το 1 έως το 8, για την παρακολούθηση ΗΕΓ τα όποια μπορεί να αντιστοιχίζονται ελεύθερα σε οποιοδήποτε θέση της κάσκας και δύο κανάλια αναφοράς με ετικέτες CMS & DRL.



Εικόνα 5.3 : Καλώδιο ηλεκτροδίων EN8.

Καλώδιο ηλεκτροδίων EN20 και EN32(10)

Το καλώδιο αυτό διαθέτει 10 υποδοχές που είναι συμβατές με τα ηλεκτρόδια τα οποία παρέχονται από την Neuroelectrics.

Στις ετικέτες αναγράφονται οι θέσεις που αντιστοιχούν στο κλιπ στο σύστημα ΗΕΓ 10-10 για την προκαθορισμένη διάταξη του EN20 και EN32: Κανάλια 1-8 (P7, P4, Cz, Pz, P3, P8, O1,O2) & αναφορά (CMS, DRL). Επίσης αναγράφονται οι αριθμοί των καναλιών για την υποστήριξη προσαρμοσμένης διάταξης .



Εικόνα 5.4 : Καλώδια ηλεκτροδίων 10 υποδοχών α) EN20 β) EN32.

Καλώδιο ηλεκτροδίων EN20 και EN32(12)

Το καλώδιο αυτό διαθέτει 12 υποδοχές που είναι συμβατές με τα ηλεκτρόδια τα οποία παρέχονται από την Neuroelectrics.

Στις ετικέτες αναγράφονται οι θέσεις που αντιστοιχούν στο κλιπ στο σύστημα ΗΕΓ 10-10 για την προκαθορισμένη διάταξη του EN20 και EN32: Κανάλια 9-19 (T8, F8, C4, F4, Fp2,Fz, C3, F3, Fp1, T7, F7) & EXT (EN20) ή Oz (EN32). Επίσης αναγράφονται οι αριθμοί των καναλιών για την υποστήριξη προσαρμοσμένης διάταξης.



Εικόνα 5.5 Καλώδια ηλεκτροδίων 12 υποδοχών α) EN20 β) EN32.

Καλώδιο ηλεκτροδίων EN32

Διαθέτει 12 υποδοχές που είναι συμβατές με τα ηλεκτρόδια τα οποία παρέχονται από την Neuroelectrics.

Στις ετικέτες αναγράφονται οι θέσεις που αντιστοιχούν στο κλιπ στο σύστημα ΗΕΓ 10-10 για την προκαθορισμένη διάταξη του EN32: Κανάλια 21-32 (PO4, FC6, FC2, AF4, CP6, CP2, CP1, CP5, FC1, FC5, AF3, PO3). Επίσης αναγράφονται οι αριθμοί των καναλιών για την υποστήριξη προσαρμοσμένης διάταξης.



Εικόνα 5.6 : Καλώδιο ηλεκτροδίων EN32.

5.3 Ηλεκτρόδια ΗΕΓ

5.3.1 NG GELTRODE

Το NG Geltrode αποτελείται από δύο κομμάτια, τον σύνδεσμο (πάνω μέρος) και το σπείρωμα (κάτω μέρος). Ο σύνδεσμος αποτελείται από ένα συσσωματωμένο σφαιρίδιο Ag/AgCl με διάμετρο 4 mm. Η περιοχή επαφής είναι περίπου 1,6 cm². Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πολλές φορές και η χρήση του ενδείκνυται για 50 ώρες καταγραφής ΗΕΓ.



Εικόνα 5.7 : Ηλεκτρόδιο NG Geltrode.

Οδηγίες χρήσης

- Ξεβιδώστε τα ηλεκτρόδια. Τοποθετήστε το κάτω μέρος στην επιθυμητή θέση της κάσκας.
- Τοποθετήστε την κάσκα στο υποκείμενο.
- Βεβαιωθείτε ότι η σύριγγα είναι γεμάτη με τζελ. Για κάθε ηλεκτρόδιο, χρησιμοποιήστε τη σύριγγα για να χωρίσετε τα μαλλιά και να εκθέσετε το τριχωτό της κεφαλής. Διανείμετε αργά το τζελ ξεκινώντας από το δέρμα και σταδιακά προς τα πάνω έως ότου ο πυθμένας του ηλεκτροδίου έχει γεμίσει κατά το ήμισυ.
- Βιδώστε μαζί το πάνω και το κάτω μέρος του ηλεκτροδίου. Το τζελ θα πρέπει τώρα να αγγίζει τόσο το δέρμα όσο και το βιδωμένο επάνω μέρος.
- Συνδέστε το καλώδιο του ηλεκτροδίου στο επάνω μέρος του ηλεκτροδίου.

5.3.2 Foretrode

Το Foretrode είναι ένα ηλεκτρόδιο HEΓ ιδανικό για χρήση σε περιοχές γυμνού δέρματος όπως το μέτωπο. Η χρήση τζελ είναι προαιρετική. Ο σύνδεσμος αποτελείται από ένα συσσωματωμένο σφαιρίδιο Ag/AgCl με διάμετρο 4 mm. Η περιοχή επαφής είναι περίπου 0,1 cm². Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πολλές φορές και η χρήση του ενδείκνυται για 50 ώρες καταγραφής HEΓ.



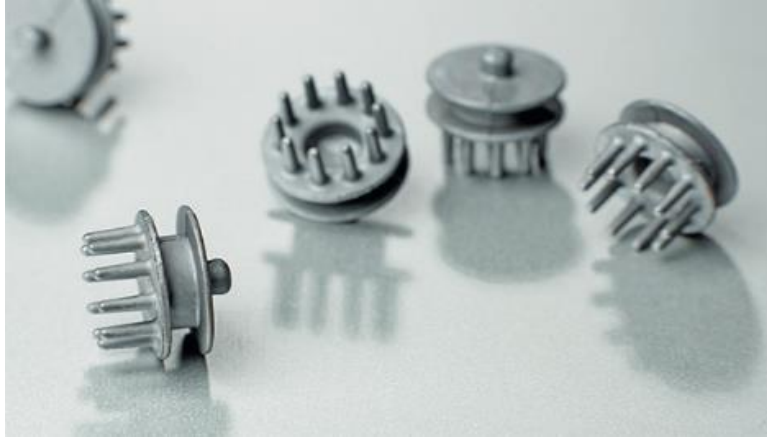
Εικόνα 5.8 : Ηλεκτρόδιο Foretrode.

Οδηγίες χρήσης

- Τοποθετήστε το ηλεκτρόδιο στην επιθυμητή θέση της κάσας.
- Προαιρετικό: Εισαγάγετε μικρή ποσότητα αγωγίμου τζελ στην επιφάνεια επαφής του ηλεκτροδίου.
- Τοποθετήστε την κάσκα στο υποκείμενο.
- Συνδέστε το καλώδιο του ηλεκτροδίου στο επάνω μέρος του ηλεκτροδίου.

5.3.3 Drytrode

Το Drytrode δεν απαιτεί την εφαρμογή οποιουδήποτε τύπου τζελ μεταξύ του ηλεκτροδίου και του τριχωτού της κεφαλής. Σχεδιάστηκε για εφαρμογές εκτός εργαστηρίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με ή χωρίς μαλλιά. Δεν πρέπει να ασκεί μεγάλη πίεση στο κεφάλι. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πολλές φορές και η χρήση του ενδείκνυται για 50 ώρες καταγραφής ΗΕΓ.



Εικόνα 5.9 : Ηλεκτρόδιο Drytrode.

Οδηγίες χρήσης

- Τοποθετήστε το ηλεκτρόδιο στην επιθυμητή θέση της κάσας.
- Τοποθετήστε την κάσκα στο υποκείμενο.
- Συνδέστε το καλώδιο του ηλεκτροδίου στο επάνω μέρος του ηλεκτροδίου.

5.3.4 Earclip

Το Earclip είναι ένα διπλό ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται για τη ταυτόχρονη σύνδεση των CMS και DRL στον ίδιο λοβό του αυτιού. Είναι επαναχρησιμοποιήσιμο και η χρήση τζελ στο άκρο είναι προαιρετική, αλλά συνιστάται. Αποτελείται από δύο σφαιρίδια Ag/AgCl με αντίθετη φορά και διάμετρο 8 mm με το κάθε ένα από τα δύο σφαιρίδια να έχει επιφάνεια επαφής 0,5 cm². Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές και η χρήση του ενδείκνυται για 50 ώρες καταγραφής ΗΕΓ.



Εικόνα 5.10 : Ηλεκτροδιο Earclip.

Οδηγίες χρήσης

- Εφαρμόστε λίγο τζελ στους αισθητήρες (συνιστάται).
- Συνδέστε τα καλώδια CMS και DRL στα ηλεκτρόδια.
- Τοποθετήστε το στο δεξί ή στο αριστερό λοβό του αυτιού.

5.4 Γενικές οδηγίες χρήσης ηλεκτροδίων Ag/AgCl

Τα ηλεκτρόδια δεν πρέπει να έρχονται σε άμεση επαφή με μέταλλα διότι αυτό μπορεί να προκαλέσει διάβρωση. Αποφύγετε να αγγίζετε την επιφάνεια των ηλεκτροδίων, καθώς τα κατάλοιπα που αφήνονται μπορεί να αυξήσουν το χρόνο που απαιτείται για την επίτευξη καλής συνδεσιμότητας και επίσης δεν πρέπει να γίνεται χρήση διαβρωτικών χημικών ουσιών διότι θα καταστρέψει τα ηλεκτρόδια. Για την ελαχιστοποίηση της μετατόπισης και της ολίσθησης DC, τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετούνται 5 λεπτά πριν από την έναρξη της καταγραφής και ο λόγος είναι ότι τα ηλεκτρόδια χρειάζονται χρόνο για να επιτύχουν ηλεκτροχημική ισορροπία με το δέρμα και με τους ηλεκτρολύτες του ανθρώπινου σώματος.

Καθαρισμός

Τα ηλεκτρόδια Ag/AgCl είναι πορώδη και επομένως συμπεριφέρονται σαν σφουγγάρια και απορροφούν το νερό και το τζελ ηλεκτροδίων και όσο βαθύτερα διεισδύουν αυτά τα υγρά στο ηλεκτρόδιο, τόσο περισσότερο χρόνο

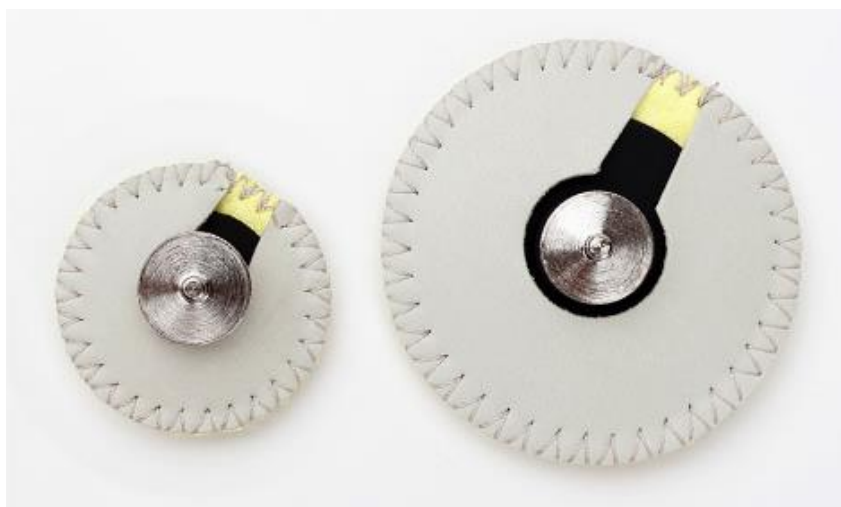
χρειάζεται για να εξατμιστούν. Αυτό έχει ως συνέπεια τη διάβρωση και μακροπρόθεσμα αυτό θα κάνει τα ηλεκτρόδια πιο επιρρεπή σε θόρυβο και θα μειώσει την ποιότητα του σήματος. Για αυτό το λόγο συνιστάται να καθαρίζετε και να αφήνετε τα ηλεκτρόδια να στεγνώσουν αμέσως μετά από κάθε χρήση. Για τον καθαρισμό χρησιμοποιούμε ζεστό νερό βρύσης για να ξεπλύνουμε απαλά το τζελ από τα ηλεκτρόδια. Η χρήση χαρτοπετσετών ή πανιών δεν συνιστάται για τον καθαρισμό καθώς μπορεί να αφήσουν υπολείμματα ή σκόνη στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να αφήνονται να στεγνώσουν πάνω σε μια χαρτοπετσέτα ή πανί μακριά από το ηλιακό φως πριν από την αποθήκευση στη συσκευασία. Όταν απαιτείται απολύμανση πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο τυποποιημένα σκευάσματα ισοπροπανόλης ή αιθανόλης και σε καμία περίπτωση δεν χρησιμοποιούμε ατμό ή άλλες μεθόδους αποστείρωσης .

5.5 Ηλεκτρόδια διέγερσης

Τα ηλεκτρόδια διέγερσης δεν χρησιμοποιούνται συνήθως για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, αντίθετα χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικών ερεθισμάτων στο υποκείμενο σε συγκεκριμένες μελέτες ή δοκιμές ΗΕΓ, για να παρατηρηθεί πώς ανταποκρίνεται ο εγκέφαλος σε ελεγχόμενη ηλεκτρική διέγερση.

5.5.1 Sponstim

Τα Sponstims είναι ηλεκτρόδια σφουγγαριού και χρησιμοποιούνται για διακρανική διέγερση. Διατίθενται σε δύο διαφορετικά μεγέθη. Το μικρότερο μοντέλο, με επιφάνεια επαφής 8 cm², είναι ιδανικό για πειράματα με πολυεστιακές διεγέρσεις , το μοντέλο με επιφάνεια επαφής 25 cm² από την άλλη πλευρά είναι ιδανικό για πειράματα με διπολικές (ανοδικές ή καθοδικές) διεγέρσεις. Τα ηλεκτρόδια Sponstim λειτουργούν με φυσιολογικό ορό και όχι με τζελ ηλεκτροδίων. Αποτελούνται από ένα κάλυμμα σφουγγαριού και στο κέντρο υπάρχει μια μεταλλική ακίδα από επινικελωμένο ορείχαλκο που περιβάλλεται από καουτσούκ άνθρακα. Μετά από κάθε χρήση τα σφουγγάρια και το καουτσούκ πρέπει να πλένονται ξεχωριστά με νερό βρύσης και να στεγνώνουν πριν την αποθήκευση. Οι μεταλλικές ακίδες δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με τα σφουγγάρια κατά την αποθήκευση για να μην σκουριάσουν. Η χρήση τους ενδείκνυται για 100 ώρες διέγερσης.



Εικόνα 5.11 : Ηλεκτρόδιο Sponstim.

Οδηγίες χρήσης

- Τοποθετήστε τα ηλεκτρόδια στην επιθυμητή θέση της κάσκα.
- Χρησιμοποιώντας τη σύριγγα, εκχύστε αργά το αλατούχο διάλυμα στην κίτρινη εξωτερική επιφάνεια για το κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια σφουγγαριού έτσι ώστε να βραχούν αλλά όχι να μουλιάσουν. Βεβαιωθείτε ότι δεν θα βραχεί η κάσκα.
- Τοποθετήστε την κάσκα στο υποκείμενο.
- Συνδέστε τα καλώδια των ηλεκτροδίων στα ηλεκτρόδια που έχουν τοποθετηθεί στην κάσκα .
- Εάν ο έλεγχος της αντίστασης ενός ηλεκτροδίου αποτυγχάνει, τοποθετήστε τη σύριγγα μέσα από μια οπή του καπακιού κοντά στο εν λόγω ηλεκτρόδιο. Βεβαιωθείτε ότι η κατάληξη της σύριγγας αγγίζει τον πυθμένα του σφουγγαριού και προσθέστε λίγο ακόμα φυσιολογικό ορό στην επιφάνεια του σφουγγαριού.

5.5.2 NG Pistim

Το NG Pistim είναι μια παραλλαγή του NG Geltrode και είναι ένα υβριδικό ηλεκτρόδιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για διέγερση και για παρακολούθηση ΗΕΓ. Έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής καθώς η επένδυση Ag / AgCl αναλώνεται ανάλογα με την ένταση της διέγερσης και πρέπει να αντικατασταθούν, με ένα μέσο ορό ζωής στις 10 ώρες διέγερσης.



Εικόνα 5.12 : Ηλεκτρόδιο NG Pistim

6. Λογισμικό

Το NIC2(Neuroelectrics Instruments Controller) είναι το λογισμικό της συσκευής EnoBio. Παρέχει βασικές και προηγμένες λειτουργίες για το σχεδιασμό και την παρακολούθηση οποιουδήποτε πειράματος ΗΕΓ. Η γραφική του επιφάνεια απλοποιεί την αλληλεπίδραση με τη χρήση του EnoBio και επιτρέπει τη ροή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Είναι προσαρμοσμένο τόσο για ενσύρματη όσο και για ασύρματη σύνδεση.

6.1 Εγκατάσταση λογισμικού

Πριν τη λειτουργία της συσκευής πρέπει να γίνει εγκατάσταση και έναρξη του NIC2.

Λήψη του προγράμματος εγκατάστασης NIC2:

- 1) Μέσω USB



Εικόνα 6.1 : USB λογισμικού

- Μαζί με το κιτ του EnoBio παρέχεται και το USB που περιέχει το λογισμικό.
- Συνδέστε τη μονάδα USB στον υπολογιστή σας.
- Μεταβείτε στον διαχειριστή αρχείων του υπολογιστή σας. Στον κατάλογο USB Drive μεταβείτε στο φάκελο Software.
- MacOS: Αντιγράψτε το αρχείο Setup_NIC2.X.X.X.dmg και επικολλήστε το σε έναν φάκελο στη μονάδα δίσκου σας.

- Windows: Αντιγράψτε το αρχείο Setup_NIC2.X.X.X.X.exe και επικολλήστε το σε ένα φάκελο στη μονάδα δίσκου σας.

2) Μέσω διαδικτύου

- Μεταβείτε στο <https://www.neuroelectrics.com/resources/software>
- MacOS: Κάντε κλικ στο εικονίδιο NIC2.X.X.X.X macOS
- Windows: Κάντε κλικ στο εικονίδιο NIC2.X.X.X Windows
- Αποδεχτείτε τους όρους και τις προϋποθέσεις.
- Το πρόγραμμα εγκατάστασης NIC2 θα αποθηκευτεί στο φάκελο Λήψης (Downloads) που έχει οριστεί στην περιήγησή σας.

Εγκατάσταση και έναρξη λειτουργίας του NIC2

- Κάντε διπλό κλικ στο πρόγραμμα εγκατάστασης NIC2 που προηγουμένως αποθηκεύσατε.
- MacOS: Θα εμφανιστεί ένα παράθυρο που θα περιέχει το Setup_NIC2.X.X.X.X.app. Κάντε διπλό κλικ σε αυτό για να ξεκινήσει το πρόγραμμα εγκατάστασης NIC2 και ακολουθήστε τις οδηγίες εγκατάστασης.
- Windows: Ακολουθήστε τις οδηγίες της διαδικασίας εγκατάστασης.
- Στην τελική οθόνη του προγράμματος εγκατάστασης, συμφωνήστε με την εκτέλεση του λογισμικού.
- Και στη συνέχεια θα γίνει έναρξη του NIC2.

Για χρήστες Mac:

Ο χρήστης μπορεί να χρειαστεί να επιτρέψει πρώτα στον υπολογιστή να εγκαταστήσει προγράμματα από μη αναγνωρισμένους κατασκευαστές. Για το σκοπό αυτό, μεταβείτε στις Προτιμήσεις συστήματος / Ασφάλεια & Απόρρητο (System Preferences / Security & Privacy) και επιλέξτε Οπουδήποτε (Anywhere) στην επιλογή Να επιτρέπεται η λήψη εφαρμογών από (Allow apps downloaded from). Τα διαπιστευτήρια διαχειριστή απαιτούνται για την τροποποίηση αυτών των ρυθμίσεων.

6.2 Έναρξη χρήσης της συσκευής

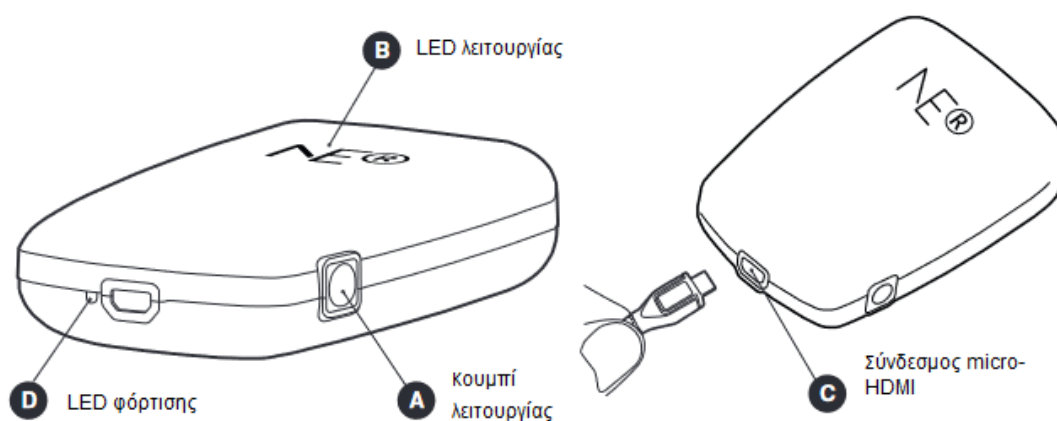
Ενεργοποίηση της συσκευής

- Πατήστε το κουμπί λειτουργίας (A) στη συσκευή.

- Βεβαιωθείτε ότι η λυχνία LED λειτουργίας (B) μπροστά από τη συσκευή ανάβει.

Αν είναι αποφορτισμένη η μπαταρία η συσκευή δεν θα ενεργοποιηθεί. Ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα για να τη φορτίσετε.

- Βγάλτε τον φορτιστή ρεύματος από το κουτί συσκευασίας και συνδέστε τον στην πρίζα ρεύματος.
- Συνδέστε τον φορτιστή ρεύματος στο σύνδεσμο micro-HDMI (C) στη συσκευή.
- Βεβαιωθείτε ότι η λυχνία LED φόρτισης (D) ανάβει με το κίτρινο φως.
- Περιμένετε μέχρι να γίνει η λυχνία LED φόρτισης (D) πράσινη και τότε μπορείτε να προχωρήσετε με την ενεργοποίηση της συσκευής.



Εικόνα 6.2 : Σχεδιάγραμμα Necbox (c).

6.2.1 Σύνδεση στη συσκευή

Προκαταρκτικό βήμα

Μετά την εγκατάσταση του λογισμικού αν σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε την επιλογή σύνδεσης με καλώδιο USB απαιτούνται μερικά βήματα πρώτα ώστε να εγκαταστήσετε τα προγράμματα οδήγησης USB στα Windows. Πριν από τη χρήση του NIC2 ακολουθήστε τις οδηγίες παρακάτω:

- Στα Windows 7, με τη συσκευή ενεργοποιημένη και συνδεδεμένη μέσω καλωδίου, μεταβείτε στον Πίνακα Ελέγχου (Control Panel definitions) και επιλέξτε Διαχείριση συσκευών (Device Manager). Κάντε Δεξί-κλικ στην επιλογή CDC Virtual COM και επιλέξτε Ενημέρωση λογισμικού προγράμματος οδήγησης (Update Driver Software). Επιλέξτε τη θέση

του προγράμματος οδήγησης ως εξής: C:\Program Files\NeuroElectrics\NIC2\usbdriver. Μετά από αυτό, μπορείτε να συνεχίσετε με το βήμα 1.

- Στα Windows 8, με τη συσκευή ενεργοποιημένη και συνδεδεμένη μέσω καλωδίου, μεταβείτε στο C:\Program Files\NeuroElectrics\NIC2\usbdriverwin8. Εκτελέστε και εγκαταστήστε το πρόγραμμα οδήγησης driver-atmel-bundle-7.0.888. Μετά από αυτό, μπορείτε να συνεχίσετε με το βήμα 1.
- Στα Windows 10 δεν χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση οποιοδήποτε προγράμματος οδήγησης. Μπορείτε να προχωρήσετε αμέσως με το βήμα 1.

Βήμα 1

Εκκινήστε το NIC2. Το NIC2 εμφανίζει την Αρχική οθόνη κατά την εκκίνηση όπως φαίνεται στην εικόνα 6.3. Στην αρχική οθόνη η αριστερή πλευρική μπάρα είναι πάντα ορατή. Σε αυτή βλέπετε το εικονίδιο Neuroelectrics (E), τα ξεκλειδωμένα παράθυρα του NIC2 (F) και την έκδοση του NIC2 που είναι εγκατεστημένη (G). Αν θέλετε να μετακινήσετε το NIC2 μπορείτε κάνοντας κλικ και σύροντας το εικονίδιο Neuroelectrics (E). Η γραμμή παραθύρων (F) εμφανίζει όλα τα ενεργά παράθυρα. Βεβαιωθείτε ότι έχετε την τελευταία έκδοση του NIC2 εγκατεστημένη για να αξιοποιήσετε στο έπακρο τις δυνατότητές της συσκευής. Η τελευταία έκδοση NIC2 είναι διαθέσιμη για λήψη στον ιστότοπο της Neuroelectrics:

- <https://www.neuroelectrics.com/resources/software>

Βήμα 2

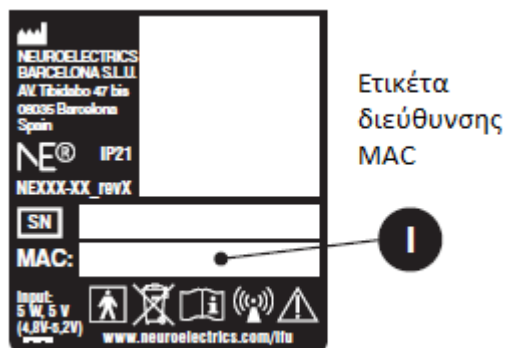
Βεβαιωθείτε ότι η συσκευή είναι ενεργοποιημένη ακολουθώντας τα βήματα που παρουσιάζονται στην ενότητα 6.2.



Εικόνα 6.3 : Αρχική οθόνη NIC2.

Βήμα 3

Στην ετικέτα που είναι τοποθετημένη στο πίσω μέρος της συσκευής σας, επαληθεύστε τη μοναδική διεύθυνση MAC (I).



Εικόνα 6.4 : Ετικέτα πληροφοριών.

Βήμα 4

Μετά την εκκίνηση του λογισμικού το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνετε είναι να επιλέξετε τον τύπο της σύνδεσης για την αλληλεπίδραση με τη συσκευή. Οι τρεις επιλογές που υπάρχουν είναι σύνδεση μέσω WiFi, USB ή/και Bluetooth (BT). Επιλέξτε τον τύπο σύνδεσης συμβατό με τη συσκευή σας (εικ. 6.3.H). Αφού επιλέξετε τον τύπο σύνδεσης, θα ανοίξει το παράθυρο My Devices (L).

Βήμα 5

Περιμένετε λίγο μέχρι η MAC συσκευή σας να εμφανιστεί στη λίστα.

Βήμα 6

Κάντε κλικ στο SCAN FOR DEVICES (R) στην περίπτωση που η MAC συσκευή δεν εμφανίστηκε και επαναλάβετε τη σάρωση ανά ένα λεπτό μέχρι να βρεθεί η συσκευή.

Βήμα 7

Επιλέξτε τη συσκευή σας από τη λίστα (L). Θα ανοίξει το παράθυρο των ρυθμίσεων (Settings). Εδώ μπορούν να καθοριστούν οι γενικές ρυθμίσεις πριν από τη σύζευξη της συσκευής με το NIC2.

- Μπορείτε να κλειδώσετε/ξεκλειδώσετε τις συνδέσεις TCP από και προς το NIC2 (βλ. ενότητα 6.7.2), να ενεργοποιήσετε το double blind mode, να ενεργοποιήσετε το συγχρονιστή (synchronizer), ή να αντιστρέψετε την πολικότητα του σήματος HEF για την απεικόνιση (M) .
- Μπορείτε να ενεργοποιήσετε το φίλτρο θορύβου για να αφαιρέσετε τις ψευδές ενδείξεις της κύριας γραμμής από τα δεδομένα HEF (N) . Επιλέξτε τα 50Hz για την Ευρώπη και τα 60Hz για τις Ηνωμένες Πολιτείες. Και οι δύο επιλογές επηρεάζουν την απεικόνιση των δεδομένων. Εάν η επιλογή Enable at recording είναι ενεργή, το φιλτράρισμα εφαρμόζεται και στα καταγεγραμμένα δεδομένα.
- Μπορείτε να επιλέξετε τις συχνότητες του φίλτρου απεικόνισης, που θα εφαρμοστεί μόνο για την απεικόνιση HEF (O).

Σημείωση: Ο συγχρονιστής πρέπει να είναι ενεργοποιημένος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων όταν ο χρονικός συγχρονισμός της συσκευής με τον υπολογιστή ή/και άλλες εξωτερικές συσκευές απαιτείται (π.χ. όταν εφαρμόζουμε event-related-potentials ERPs). Αν είναι ενεργοποιημένη η εφαρμογή τότε θα πραγματοποιηθούν δύο διαδικασίες συγχρονισμού: Μια πολύ σύντομη πριν τη φόρτωση ενός πρωτοκόλλου και μια δεύτερη μετά ενώ

λαμβάνεται το ΗΕΓ. Έτσι αποτρέπεται η έναρξη της εγγραφής έως ότου ο συγχρονισμός μεταξύ του Necbox και του NIC2 είναι αρκετά ακριβής. Αυτή η διαδικασία διαρκεί από 1 έως 3 λεπτά.

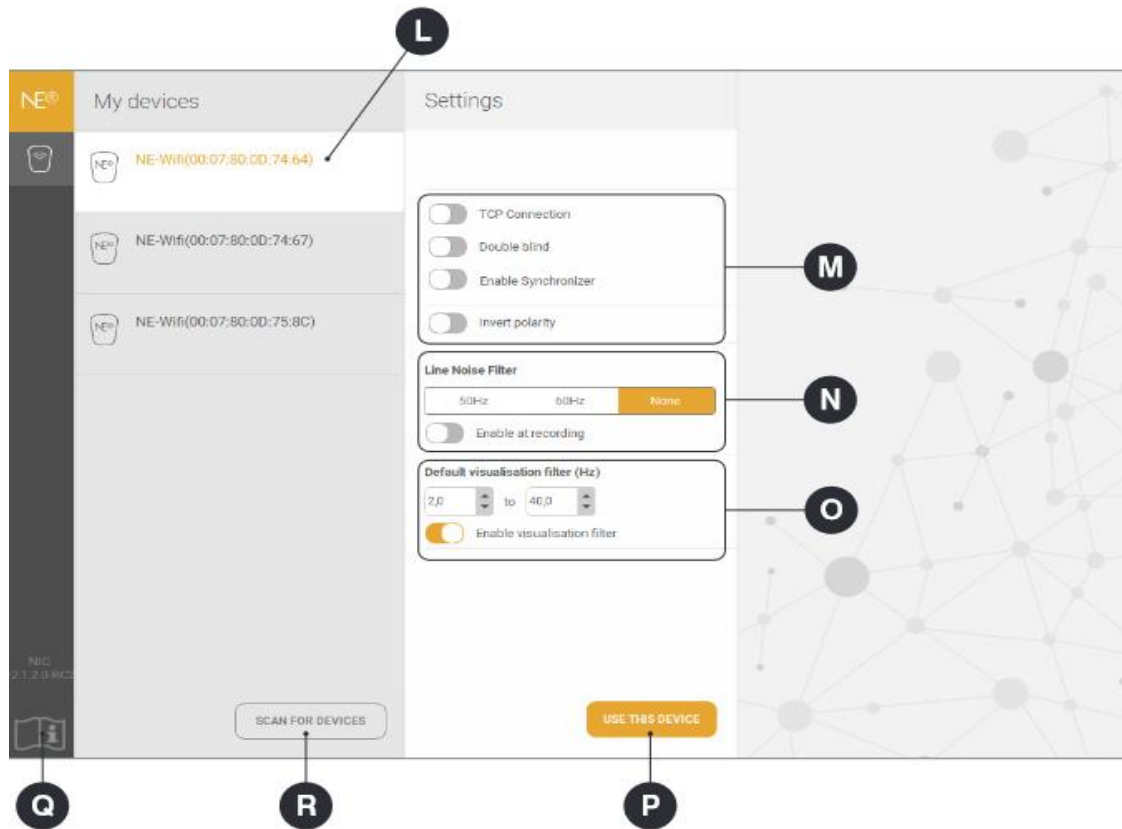
Βήμα 8

Κάντε κλικ στο USE THIS DEVICE (P). Το λογισμικό θα κάνει σύζευξη με τη συσκευή. Μετά τη σύζευξη, το κουμπί θα αντικατασταθεί από το κουμπί DISCONNECT.

Με την επιτυχή σύνδεση μιας συσκευής εμφανίζονται ο τύπος της συσκευής, η έκδοση λογισμικού και το επίπεδο της μπαταρίας της. Επίσης ανάβει η λυχνία LED του εικονιδίου της συσκευής στην πλευρική μπάρα. Κάθε χρωματική ένδειξη της λυχνίας LED αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο της μπαταρίας:

- γκρι : η συσκευή δεν είναι συνδεδεμένη
- κόκκινο : [0 - 33] %
- πορτοκαλί : [33 - 66] %
- πράσινο : [66 - 100] %

Στο κάτω μέρος του αριστερού μενού του NIC2, μπορείτε να κάνετε κλικ στην επιλογή INSTRUCTIONS FOR USE (Q) για να βρείτε όλες τις σχετικές οδηγίες για συνεχίσετε την εργασία σας με τη συσκευή.



Εικόνα 6.5 : Οθόνη ρυθμίσεων (Settings).

6.3 Συναρμολόγηση του Necbox

Χρησιμοποιείτε το αυτοκόλλητο που βρίσκετε πάνω στην κάσκα για προσαρμόσετε το Necbox και στη συνέχεια συνδέστε το με τα καλώδια ηλεκτροδίων. Τα καλώδια εισάγονται στον ακροδέκτη του Necbox όπως περιγράφεται στο σχεδιάγραμμα 6.6.

Enobio 8

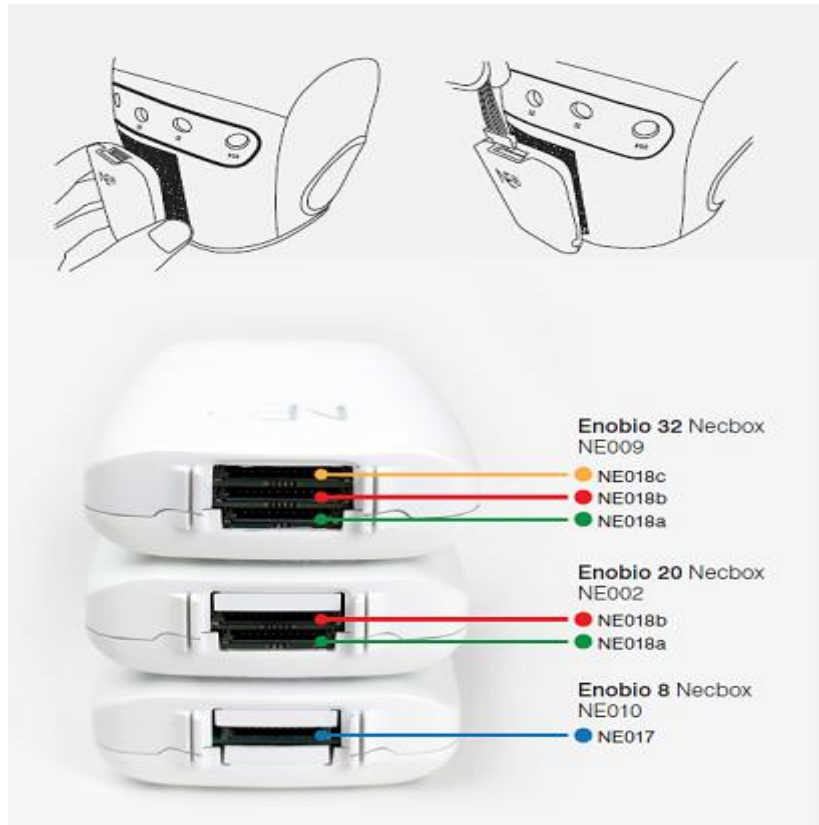
- Το καλώδιο NE017 συνδέεται στη μόνη διαθέσιμη υποδοχή (μπλε).

Enobio 20

- Το καλώδιο NE018a συνδέεται στην πράσινη υποδοχή ενώ το καλώδιο NE018b συνδέεται στην κόκκινη υποδοχή.

Enobio 32

- Ομοίως με το Enobio 20, αλλά έχουμε την προσθήκη του καλωδίου NE018c που συνδέεται στην πορτοκαλί υποδοχή.

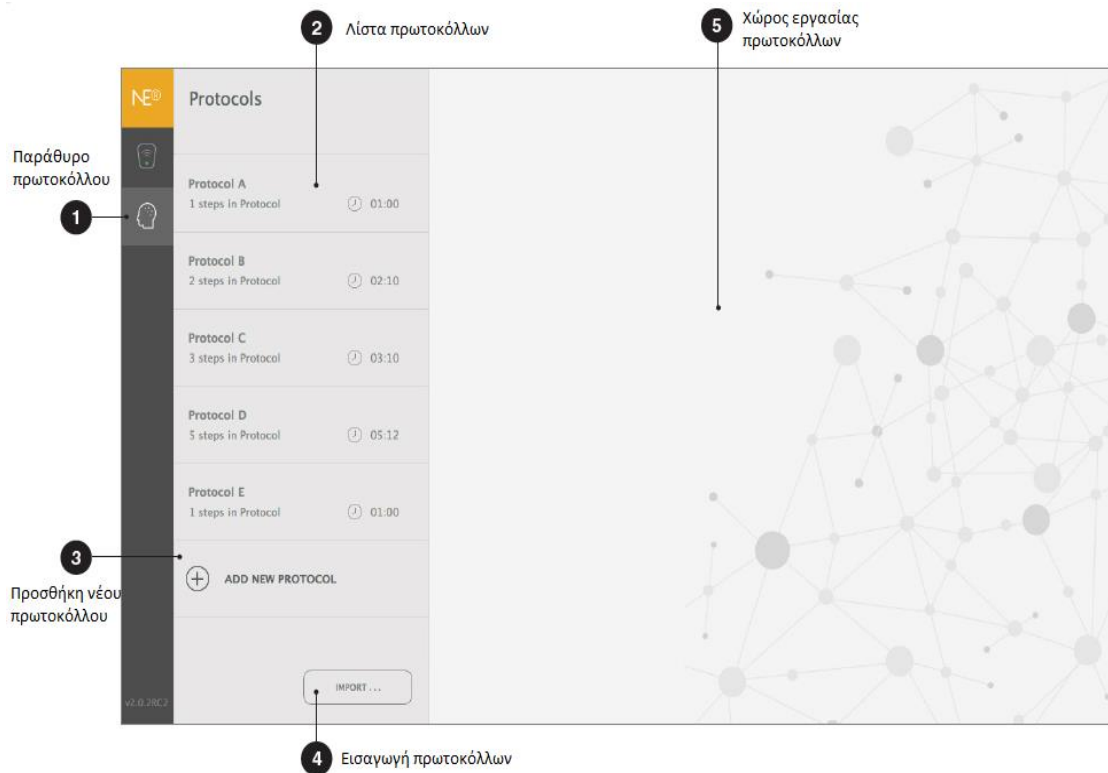


Εικόνα 6.6 : Σχεδιάγραμμα προσαρμογής του Necbox στην κάσκα και υποδοχές καλωδίων.

Σημείωση: Αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το Enobio 20 και το Enobio 32 σαν Enobio 8 τότε το καλώδιο NE017 πρέπει να συνδεθεί στην πράσινη υποδοχή ενώ οι υπόλοιπες υποδοχές πρέπει να είναι κενές.

6.4 Καθορισμός πρωτοκόλλου

Η διαχείριση όλων των πειραμάτων γίνεται μέσω της δομής των πρωτοκόλλων. Κάθε πρωτόκολλο αντιστοιχεί σε ένα πείραμα παρακολούθησης ΗΕΓ και κάθε πείραμα μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα βήματα. Το παράθυρο πρωτοκόλλου (εικ. 6.7.1) επιτρέπει τη διαχείριση όλων των πρωτοκόλλων και βρίσκετε στο αριστερό μέρος του μενού του λογισμικού.



Εικόνα 6.7 : Οθόνη πρωτοκόλλων.

Το παράθυρο πρωτοκόλλου αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

1. **Λίστα πρωτοκόλλων** (εικ. 6.7.2). Όταν γίνεται εκκίνηση του NIC2 για πρώτη φορά, δεν υπάρχουν πρωτόκολλα στη λίστα. Εάν το NIC2 έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, μπορεί να περιέχει προηγούμενα πρωτόκολλα που είχαν αποθηκευτεί. Κάνοντας κλικ σε ένα πρωτόκολλο εμφανίζεται η σύνοψη του στο χώρο εργασίας πρωτοκόλλων (εικ. 6.7.5).
2. **Προσθήκη νέου πρωτοκόλλου** (εικ. 6.7.3). Για να δημιουργήσετε ένα νέο πρωτόκολλο, κάντε κλικ στο ADD NEW PROTOCOL. Μεταβείτε στην ενότητα Σχεδιασμός πρωτοκόλλου 6.5 για τις οδηγίες δημιουργίας πρωτοκόλλου.
3. **Εισαγωγή πρωτοκόλλων** (εικ. 6.7.4). Το NIC2 επιτρέπει την εισαγωγή πρωτοκόλλων που μπορεί να έχουν δημιουργηθεί σε κάποιο άλλο υπολογιστή ή που έχουν δημιουργηθεί πριν από τη διαγραφή και επανεγκατάσταση του λογισμικού. Εάν εισαχθεί ένα πρωτόκολλο και υπάρχει οποιοδήποτε πρωτόκολλο με το ίδιο όνομα αυτό θα αντικατασταθεί. Το NIC2 δεν είναι συμβατό με τα πρωτόκολλα που δημιουργήθηκαν με την προηγούμενη έκδοση του λογισμικού (NIC).

4. **Χώρος εργασίας πρωτοκόλλων** (εικ. 6.7.5). Χρησιμοποιείται για:

- Σχεδιασμό πρωτοκόλλου (βλέπε ενότητα 6.5)
- Περίληψη πρωτοκόλλου (βλέπε ενότητα 6.5.1)

6.5 Σχεδιασμός πρωτοκόλλου

Όνομα πρωτοκόλλου (εικ. 6.8.1)

Ξεκινήστε καθορίζοντας το όνομα του πρωτοκόλλου κάτω από το New Protocol. Δεν πρέπει να υπάρχει άλλο πρωτόκολλο με το ίδιο όνομα.

Κατάλογος βημάτων (προαιρετικό).

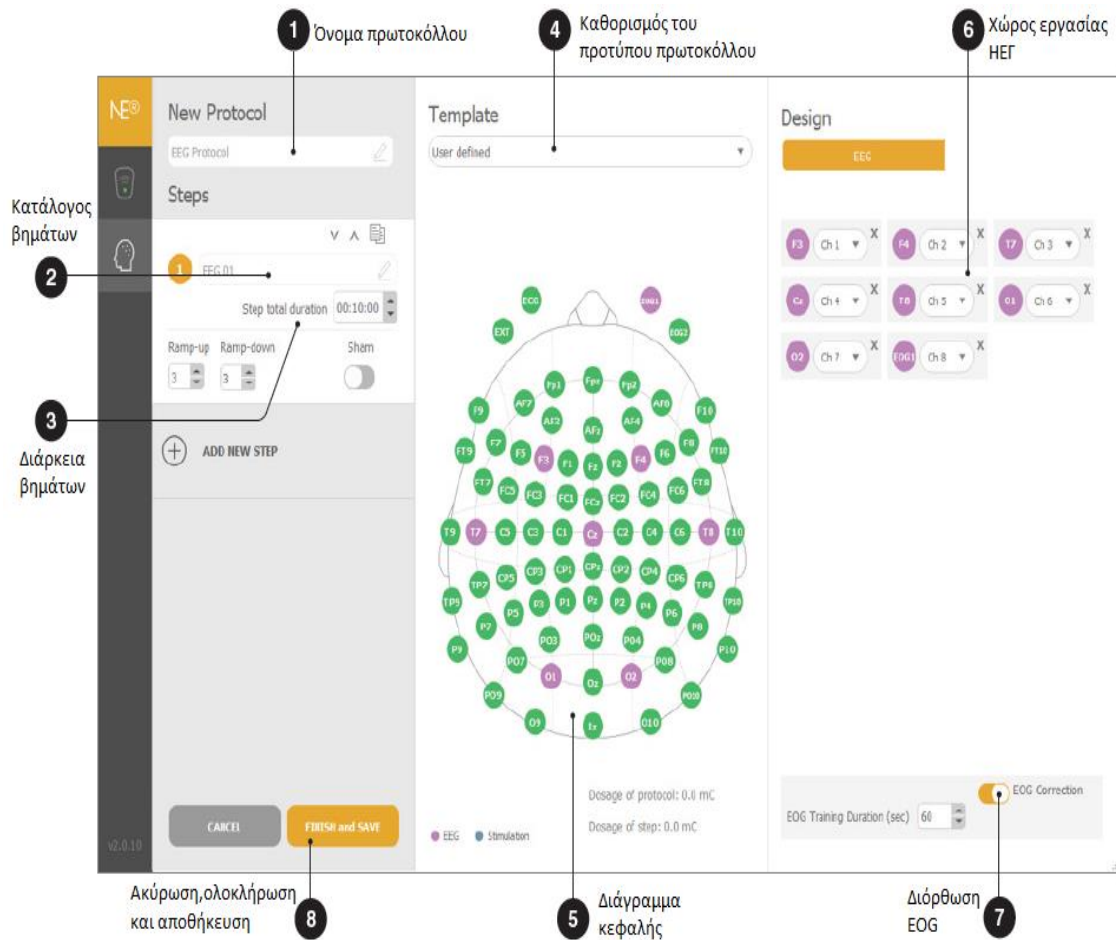
Κάτω από το Steps ορίστε το όνομα (εικ 6.8.2) και τη διάρκεια (εικ. 6.8.3) κάθε βήματος του πρωτοκόλλου.

Σημείωση: Λόγο του ότι η διάρκεια της μπαταρίας είναι περιορισμένη, βεβαιωθείτε ότι η μπαταρία είναι φορτισμένη πριν από την έναρξη πρωτοκόλλων μεγάλης διάρκειας.

Μπορούν να δημιουργηθούν πρωτόκολλα πολλαπλών βημάτων, αλλά η τοποθέτηση πρέπει να είναι η ίδια για όλα τα βήματα του ίδιου πρωτοκόλλου, ανεξάρτητα από τη λειτουργία που έχει οριστεί σε κάθε κανάλι. Τα βήματα μπορούν να αντιγραφούν και να αναδιαταχθούν χρησιμοποιώντας τα ειδικά κουμπιά. Για να εισαγάγετε βήματα ανάπαυσης μεταξύ των βημάτων του ίδιου πρωτοκόλλου, προσθέστε ένα νέο βήμα με καθορισμένο όνομα και διάρκεια, και μην ορίσετε κανένα κανάλι για ΗΕΓ.

Σχεδιασμός.

Η περιοχή σχεδιασμού επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάσει τη διάταξη των ηλεκτροδίων που θέλει να χρησιμοποιήσει .



Εικόνα 6.8 : Οθόνη σχεδιασμού πρωτοκόλλων.

Καθορισμός του προτύπου πρωτοκόλλου (εικ. 6.8.4). Με συσκευές 8 καναλιών, η επιλογή προτύπου έχει οριστεί σε User defined. Για συσκευές 20/32 καναλιών συσκευές, επιλέξτε μεταξύ των επιλογών User defined (προσαρμοζόμενη διάταξη) και Standard mount (προκαθορισμένη διάταξη). Η πρώτη επιλογή επιτρέπει την αντιστοίχιση οποιασδήποτε από τις 76 θέσεις χαρτογράφησης του τριχωτού της κεφαλής (ή EOG1, EOG2, ECG και EXT) με τα κανάλια της συσκευής, ενώ η δεύτερη κλειδώνει τις θέσεις στη προσαρμοζόμενη διάταξη του συστήματος.

Καθορισμός πρωτοκόλλου τοποθέτησης. Το διάγραμμα κεφαλής (εικ. 6.8.5) δείχνει ένα υποσύνολο του συστήματος 10-10 ΗΕΓ. Ο χρωματικός κωδικός προσδιορίζει τα κανάλια και τη λειτουργία/κατάστασή τους:

- Πράσινο : Θέσεις που είναι διαθέσιμες με το τρέχον πρότυπο/τοποθέτηση.

- Μοβ : Τα κανάλια που έχουν επιλεχτεί για ΗΕΓ κατά τη διάρκεια του τρέχοντος βήματος.
- Κυκλωμένο πράσινο : Διαθέσιμες θέσεις που έχουν επιλεχθεί για ΗΕΓ σε άλλα βήματα του ίδιου πρωτοκόλλου.
- Λευκό : Θέσεις που δεν είναι διαθέσιμες στα προκαθορισμένα πρότυπα τοποθέτησης.

Για να επιλεγεί ένα κανάλι από το διάγραμμα κεφαλής τοποθετήστε τον κέρσορα πάνω από τις διαθέσιμες θέσεις και με πατημένο κλικ σύρετέ το προς το χώρο εργασίας ΗΕΓ στα δεξιά (εικ. 6.8.6). Εναλλακτικά μπορείτε να κάντε διπλό κλικ στην επιθυμητή θέση. Βεβαιωθείτε ότι οι επιλεγμένες θέσεις έγιναν μοβ.

Διόρθωση EOG (προαιρετικό, εικ. 6.8.7).

Ενεργοποιήστε την επιλογή EOG CORRECTION και ορίστε τις ρυθμίσεις EOG Training settings (π.χ. EOG κανάλια και διάρκεια εκπαίδευσης EOG). Η λειτουργία διόρθωσης Electrooculogram EOG (Ηλεκτροοφθαλμογράφημα) αφαιρεί από το σήμα τις ψευδές απεικονίσεις που προκαλούνται από την κίνηση των ματιών. Για τη λειτουργία EOG πρέπει να ανατεθούν ένα ή δύο κανάλια και πρέπει να αντιστοιχούν με τα συγκολλητικά ηλεκτρόδια που τοποθετούνται κοντά στο μάτι για να είναι καλύτερη η ανίχνευση των οφθαλμικών κινήσεων. Για να ενεργοποιήσετε τη διόρθωση EOG, πρώτα αναθέστε ένα ή δύο κανάλια της διάταξης στις θέσεις EOG που εμφανίζονται στο διάγραμμα κεφαλής. Επιλέξτε τη διάρκεια της εκπαίδευσης EOG που αντιστοιχεί στη χρονική περίοδο κατά την οποία τα κανάλια EOG αναγνωρίζουν τα σήματα που σχετίζονται με την κίνηση των ματιών. Όταν ένα πρωτόκολλο ξεκινά πρώτα θα αρχίσει η εκπαίδευση EOG και όταν αυτή θα ολοκληρωθεί τότε θα αρχίσει η καταγραφή του ΗΕΓ. Η διόρθωση EOG θα εφαρμοστεί μόνο κατά τη διάρκεια της απεικόνισης.

Ακύρωση, ολοκλήρωση και αποθήκευση

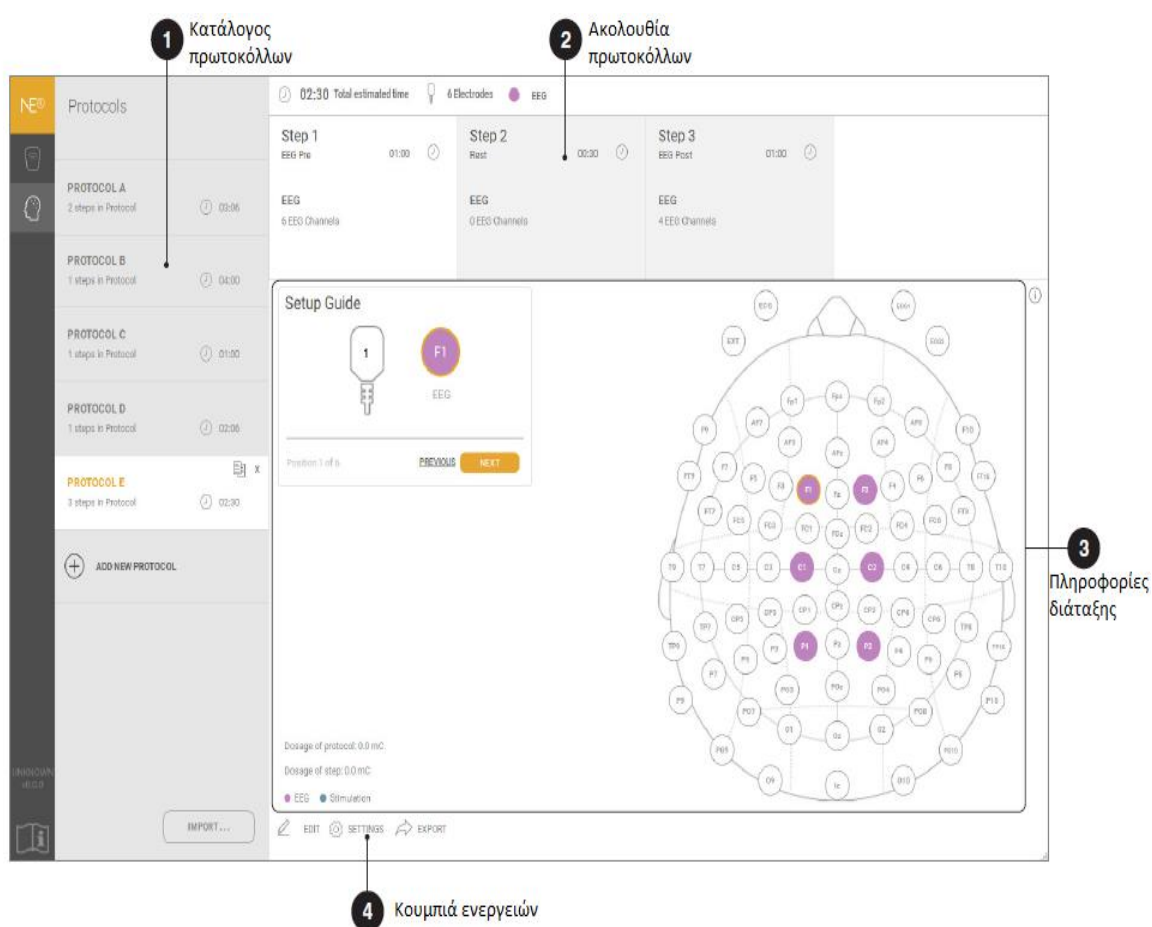
Αφού καθοριστούν όλες οι παράμετροι όπως προβλέπεται, κάντε κλικ στην επιλογή FINISH AND SAVE (εικ. 6.8.8). Εναλλακτικά, επιλέξτε CANCEL για να φύγετε χωρίς να εφαρμόσετε τις τελευταίες αλλαγές.

6.5.1 Περίληψη πρωτοκόλλου

Κατάλογος πρωτοκόλλων. Για κάθε πρωτόκολλο στη λίστα, παρουσιάζεται ο αριθμός των βημάτων και η συνολική διάρκεια (εικ. 6.9.1). Όταν επιλέγεται το

πρωτόκολλο που σας ενδιαφέρει, θα εμφανίζεται η σύνοψή του στη δεξιά πλευρά του παραθύρου, στο χώρο Protocol Workspace. Επίσης, γίνεται ορατό το εικονίδιο αντιγραφής στη λίστα πρωτοκόλλων. Κάνοντας κλικ σε αυτό, προστίθεται ένα νέο πρωτόκολλο στη λίστα, πανομοιότυπο με το αρχικό πρωτόκολλο και με την ένδειξη "_Copy" προσαρτημένη στο όνομά του.

Ακολουθία πρωτοκόλλων (εικ. 6.9.2). Σε αυτή την ενότητα βλέπουμε εν συντομία κάθε ένα από τα βήματά του επιλεγμένου πρωτοκόλλου. Η επάνω γραμμή εμφανίζει το χρόνο που θα διαρκέσει το πρωτόκολλο. Ο πίνακας από κάτω περιέχει τα βασικά δεδομένα κάθε βήματος: όνομα, διάρκεια και αριθμός καναλιών ΗΕΓ. Το πλαίσιο Setup Guide (εικ. 6.9.3) αντιστοιχεί στο επιλεγμένο βήμα.



Εικόνα 6.9 : Οθόνη σύνοψης πρωτοκόλλων.

Πληροφορίες διάταξης (εικ 6.9.3). Αυτή η ενότητα περιέχει ένα διάγραμμα διάταξης των ηλεκτροδίων στο κεφαλή στη δεξιά πλευρά και το πλαίσιο Setup Guide στην επάνω αριστερή πλευρά. Το διάγραμμα προσδιορίζει ποιες θέσεις στο σύστημα 10-10 των καναλιών ΗΕΓ χρησιμοποιούνται για το προεπιλεγμένο βήμα του πρωτοκόλλου. Για να διευκολυνθεί η

συναρμολόγηση το πλαίσιο Setup Guide απεικονίζει την αντιστοίχιση καναλιού-θέσης. Περιηγηθείτε και ελέγξτε τις θέσεις μία προς μία χρησιμοποιώντας το κουμπί NEXT που είναι διαθέσιμο στο πλαίσιο. Εναλλακτικά, κάντε κλικ σε μια επιλεγμένη θέση στο διάγραμμα για να επαληθεύσετε ποιο καλώδιο πρέπει να συνδεθεί σε αυτή.

Σημείωση: Αν ένα πρωτόκολλο έχει πολλά βήματα και δεν έχει επιλεγεί κανένα από αυτά, στο διάγραμμα θα εμφανίζονται με μοβ χρώμα οι θέσεις που χρησιμοποιούνται στο πρώτο βήμα του πρωτοκόλλου και με ένα κυκλωμένο λευκό χρώμα θα προσδιορίζονται οι θέσεις των καναλιών που χρησιμοποιούνται σε άλλα βήματα του πρωτοκόλλου.

Κουμπιά ενεργειών (εικ. 6.9.4). Μπορούν να εκτελεστούν τρεις ενέργειες σχετικά με το επιλεγμένο πρωτόκολλο:

- EDIT (Επεξεργασία): Κατευθύνει τον χρήστη στο Σχεδιασμό πρωτοκόλλου (βλ. ενότητα 6.5) ώστε το πρωτόκολλο να μπορεί να τροποποιηθεί.
- SETTINGS (Ρυθμίσεις): Ρυθμίσεις σχετικά με τη μορφή του αρχείου, τους δείκτες και τη ροή δεδομένων (βλέπε ενότητα 6.5.2).
- EXPORT (Εξαγωγή): ο χρήστης μπορεί να εξαγάγει το δεδομένα πρωτοκόλλου σε αρχείο *.txt.
- LOAD PROTOCOL (Φόρτωση πρωτοκόλλου) (βλέπε ενότητα 6.6).

6.5.2 Ρυθμίσεις πρωτοκόλλου

Οι ρυθμίσεις πρωτοκόλλου ορίζονται για όλα τα πρωτόκολλα και εφαρμόζονται σε όλα τα βήματά τους.

Μορφές αρχείων και φάκελος αποθήκευσης (εικ. 6.10.1) Το NIC2 επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει από πέντε τύπους αποθήκευσης αρχείων :

- *.nedf: Δυαδικό αρχείο με επικεφαλίδα *.xml.
- *.easy: αρχείο ASCII που αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της καταγραφής ΗΕΓ.
- *.edf: Η επέκταση EDF σημαίνει European Data Format. Το EDF+ είναι η πρότυπη δυαδική μορφή αρχείου για δεδομένα ΗΕΓ.
- *.sdeeg: δυαδικό αρχείο ΗΕΓ που αποθηκεύεται στην κάρτα SD κατά τη διάρκεια της εγγραφής εκτός σύνδεσης.

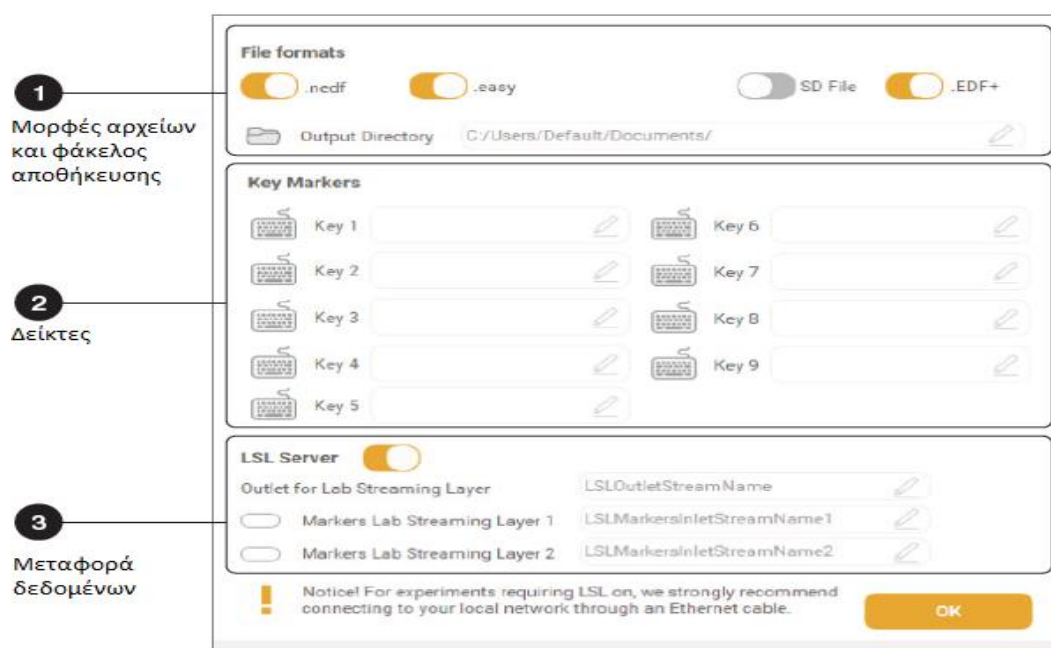
Στη συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει το φάκελο όπου θα αποθηκευτούν τα αρχεία. Στην ενότητα 6.9 μπορείτε να βρείτε περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα αρχεία.

Σημείωση: Οι μορφές αρχείων *.ncdf και *.edf έχουν ανάλυση 24-bit και 16-bit αντίστοιχα. Η συνιστώσα DC φιλτράρεται όταν δημιουργούνται αρχεία *.edf.

Δείκτες (εικ. 6.10.2) Μπορούν να ανατεθούν έως και 9 δείκτες στα πλήκτρα 1 έως 9 του πληκτρολογίου. Όταν αυτά τα πλήκτρα πατηθούν κατά τη διάρκεια του πειράματος, ο αριθμός του δείκτη προστίθεται στο αντίστοιχο δείγμα.

Μεταφορά δεδομένων (εικ. 6.10.3) Το NIC2 επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων και τη λήψη δεικτών από εφαρμογές λογισμικού τρίτων που εκτελούνται στο ίδιο δίκτυο με τη χρήση του Lab Streaming Layer (LSL).

Προειδοποίηση: Από την έκδοση 2.1, η συνδεσιμότητα μέσω του πρωτοκόλλου LSL είναι απενεργοποιημένη από προεπιλογή. Μόλις ενεργοποιηθεί, το LSL θα παραμείνει ενεργό εκτός αν απενεργοποιηθεί χειροκίνητα από τις ρυθμίσεις του πρωτοκόλλου. Το LSL χρησιμοποιεί μεγάλο αριθμό δεδομένων, για αυτό όταν απαιτείται η χρήση του συνιστάτε να συνδεθείτε στο τοπικό σας δίκτυο μέσω ενός καλωδίου Ethernet ώστε να αποτρέψετε την παρεμβολή του με τη συνδεσιμότητα της συσκευής.



Εικόνα 6.10 : Οθόνη ρυθμίσεων πρωτοκόλλων.

6.6. Εκτέλεση συνεδρίας

Μόλις συνδέσετε το Necbox και όλα τα εξαρτήματα της κάσκας, το παράθυρο Liveview (εικ. 6.11) επιτρέπει να συνεχίσετε με την εκτέλεση του πρωτοκόλλου. Έχετε πρόσβαση σε αυτό παράθυρο κάνοντας κλικ στο LOAD PROTOCOL στο παράθυρο πρωτοκόλλου (εικ. 6.9.4).

Οι ακόλουθες ενότητες είναι διαθέσιμες στο Liveview:

Liveview Home (εικ. 6.11.1)

Το Liveview Home είναι το παράθυρο NIC2 που πρέπει να χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των πειραμάτων ΗΕΓ. Αυτό το παράθυρο δεν μπορεί να προσαρμοστεί.

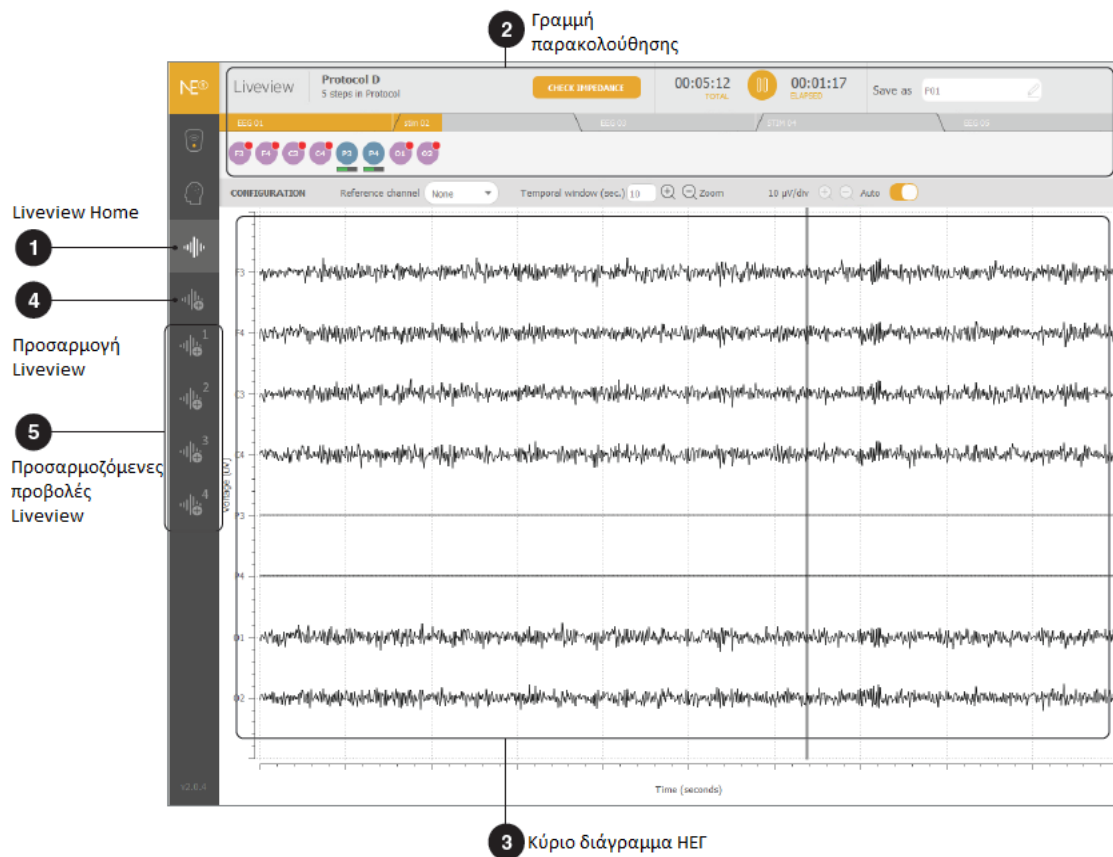
Γραμμή παρακολούθησης (εικ. 6.11.2)

Η επάνω μπάρα παρακολούθησης περιέχει τις βασικές εντολές:

- Όνομα πρωτοκόλλου και συνολικό αριθμό βημάτων.
- Πληροφορίες χρονισμού και τα κουμπιά PLAY/PAUSE/QUIT
 - Κάντε κλικ στο κουμπί PLAY/PAUSE για να ξεκινήσετε, διακόψετε ή να σταματήσετε το πρωτόκολλο ΗΕΓ ανά πάσα στιγμή.
 - Κάντε κλικ και κρατήστε πατημένο το κουμπί PLAY/PAUSE για 3 δευτερόλεπτα για να σταματήσετε και να γίνει επανεκκίνηση του πρωτοκόλλου από το 0.
- Το ID με το οποίο αποθηκεύονται τα αρχεία.
- Γραμμή προόδου με αναγνώριση των βημάτων.
- Γραμμή καναλιών με τις τιμές ποιότητας του σήματος (βλέπε ενότητα 6.7.1).
- Γραμμή διαμόρφωσης - επιλέξτε το κανάλι αναφοράς για την απεικόνιση και ρυθμίστε την τάση (μV) και το χρονικό παράθυρο (s) που θέλετε. Η κλίμακα τάσης μπορεί να ρυθμιστεί σε Auto, ώστε να προσαρμόζεται στο πλάτος των σημάτων.

Κύριο διάγραμμα ΗΕΓ (εικ. 6.11.3)

Το πολυκαναλικό σήμα απεικονίζεται για όλα τα κανάλια που ορίστηκαν στο Σχεδιασμό πρωτοκόλλου. Κάνοντας κλικ σε κάποιο κανάλι στη γραμμή των καναλιών (εικ. 6.11.2) μπορείτε να το προσθέσετε ή να το αφαιρέσετε από την κύρια απεικόνιση.



Εικόνα 6.11 : Κεντρική οθόνη Liveview.

Προσαρμογή Liveview (εικ. 6.11.4) Το NIC2 επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν παράθυρα Liveview σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Το παράθυρο προσαρμογής Liveview είναι το τμήμα του NIC2 όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και να συνδυάσει διάφορα εργαλεία για να αναλύσει δεδομένα ΗΕΓ σε πραγματικό χρόνο.

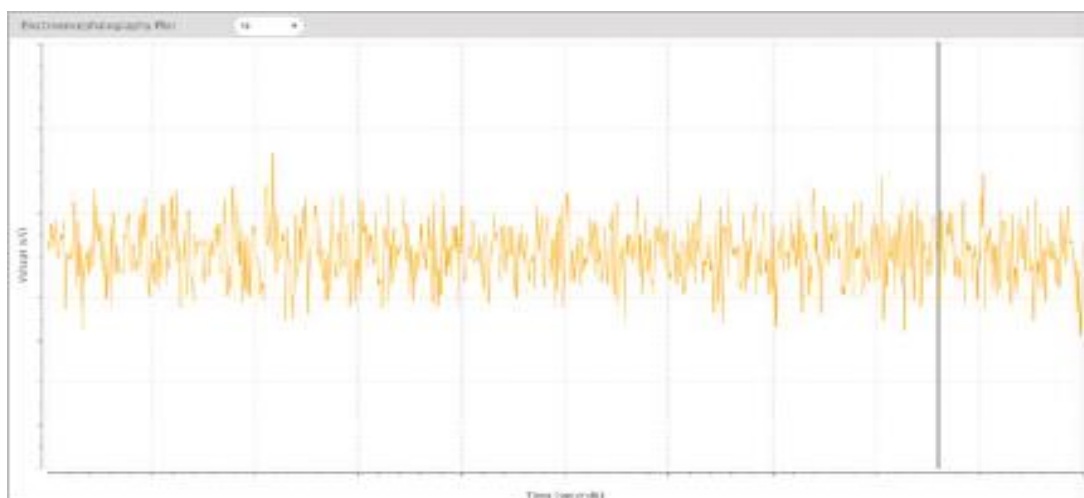
Προσαρμοζόμενες προβολές Liveview (εικ. 6.11.5) Μετά τη δημιουργία μιας προσαρμοζόμενης προβολής ο χρήστης μπορεί να τη φορτώσει και αυτή θα προστεθεί στην αριστερή πλευρά του NIC2 κάτω από το Liveview Home. Ο χρήστης μπορεί να φορτώσει έως και 4 προσαρμοζόμενες προβολές ταυτόχρονα και ανά πάσα στιγμή μπορεί να τις αφαιρέσει κάνοντας κλικ στο σταυρό στην κάτω δεξιά μεριά του εικονιδίου Liveview .

6.6.1 Απεικονίσεις Liveview

Τα προσαρμοζόμενα παράθυρα Liveview επιτρέπουν στο χρήστη να συνδυάζει διαφορετικές τύπους απεικονίσεων ανάλυσης ΗΕΓ. Υπάρχουν επτά διαφορετικές απεικονίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του ΗΕΓ σε πραγματικό χρόνο. Παρακάτω θα δούμε μια περιγραφή για το κάθε ένα από αυτά .

Απεικόνιση ΗΕΓ

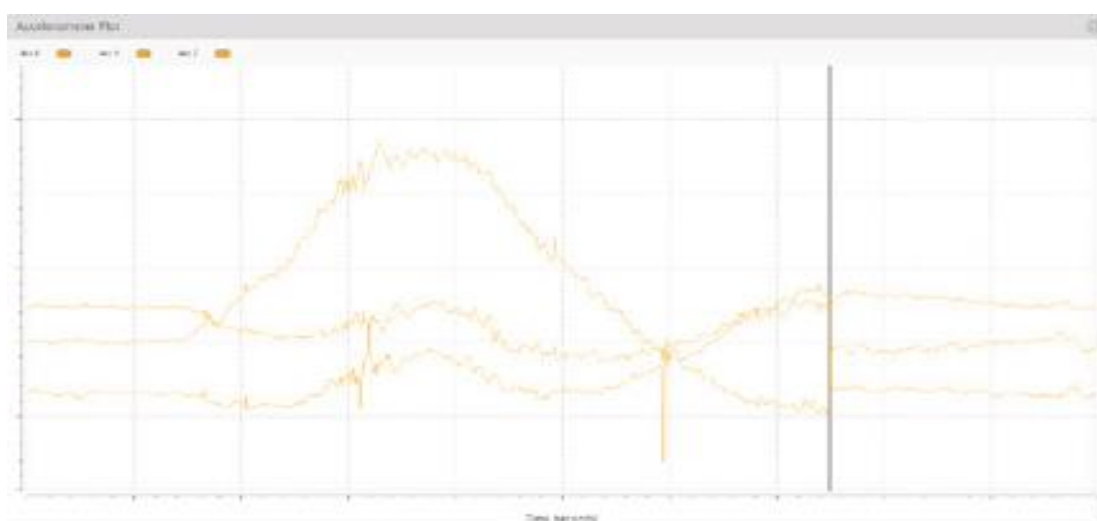
Ένα οποιοδήποτε κανάλι από τη λίστα των καναλιών του τρέχοντος πρωτοκόλλου μπορεί να επιλεγεί για να απεικονιστεί ξεχωριστά .



Εικόνα 6.12 : Απεικόνιση ενός καναλιού.

Επιταχυνσιόμετρο (Accelerometer)

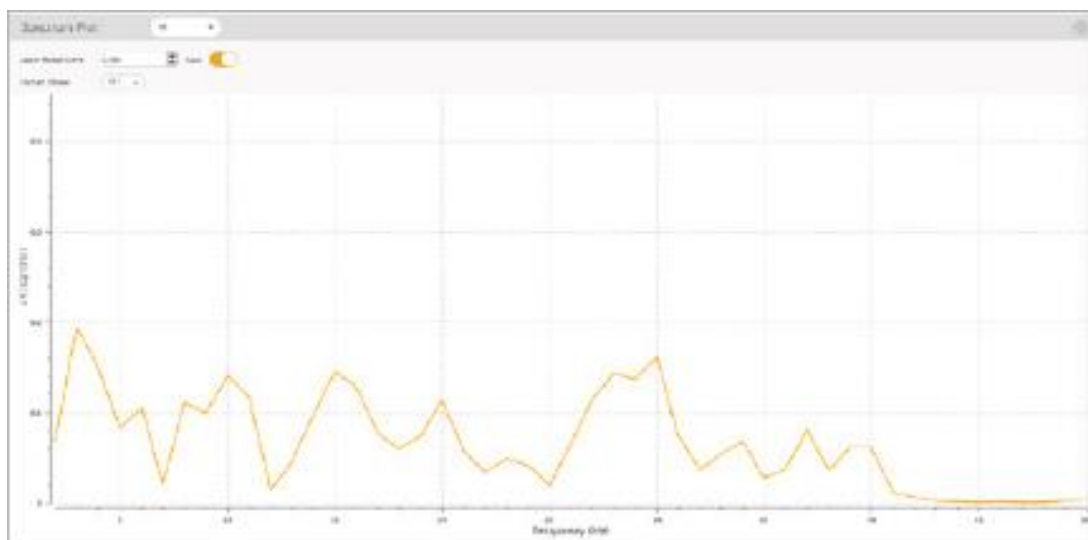
Τα επιταχυνσιομετρικά δεδομένα 3 αξόνων μπορούν να εμφανιστούν σε πραγματικό χρόνο, αφορούν τις ανιχνεύσιμες μεταβολές στην κίνηση, την επιτάχυνση ή τον προσανατολισμό. Κάνοντας κλικ στο σύμβολο του γκραναζιού στην επάνω δεξιά γωνία, είναι δυνατόν να επιλέξετε ποιες επιταχυνσιομετρικές συνιστώσες (x, y, z) θα απεικονίζονται.



Εικόνα 6.13 : Απεικόνιση επιταχυνσιομέτρου.

Φάσμα (Spectrum)

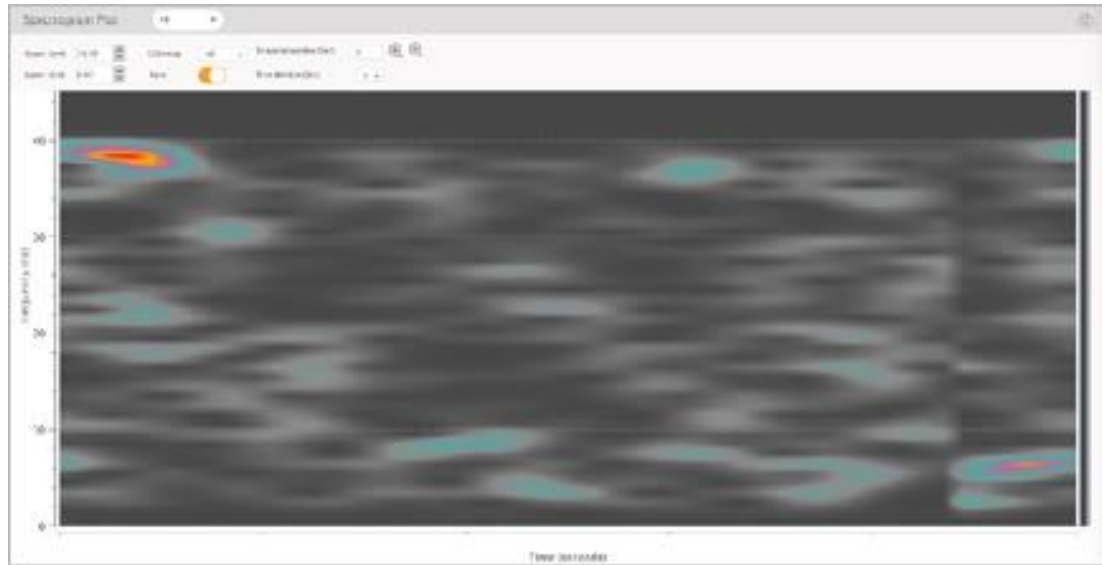
Για ένα επιλεγμένο κανάλι αυτό το παράθυρο θα εμφανίζει το Fast Fourier Transform (FFT) ή το Power Spectrum Density (PSD) του. Το ανώτερο όριο του εύρους (κατακόρυφη κλίμακα) μπορεί να ρυθμιστεί σε αυτόματο ή να οριστεί από τον χρήστη κάνοντας κλικ στο σύμβολο του γραναζιού στην επάνω δεξιά γωνία.



Εικόνα 6.14 : Απεικόνιση φάσματος.

Φασματογράφημα (Spectrogram)

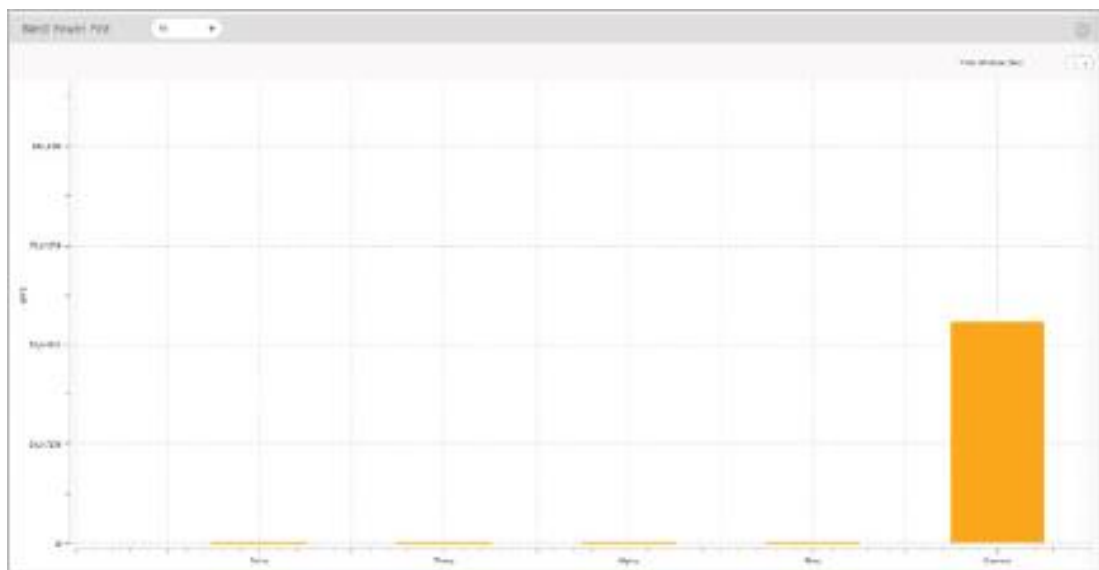
Το φασματογράφημα ισχύος εμφανίζει τα χαρακτηριστικά των συχνοτήτων του σήματος ενός συγκεκριμένου καναλιού ΗΕΓ κατά την πάροδο του χρόνου. Κάνοντας κλικ στο σύμβολο του γραναζιού στην επάνω δεξιά γωνία μπορούν να ρυθμιστούν η τιμή του χρόνου, ο χρωματικός χάρτης, το χρονικό παράθυρο και τα όρια του φάσματος.



Εικόνα 6.15 : Απεικόνιση φασματογραφήματος.

Ζώνη Ισχύος (Band power)

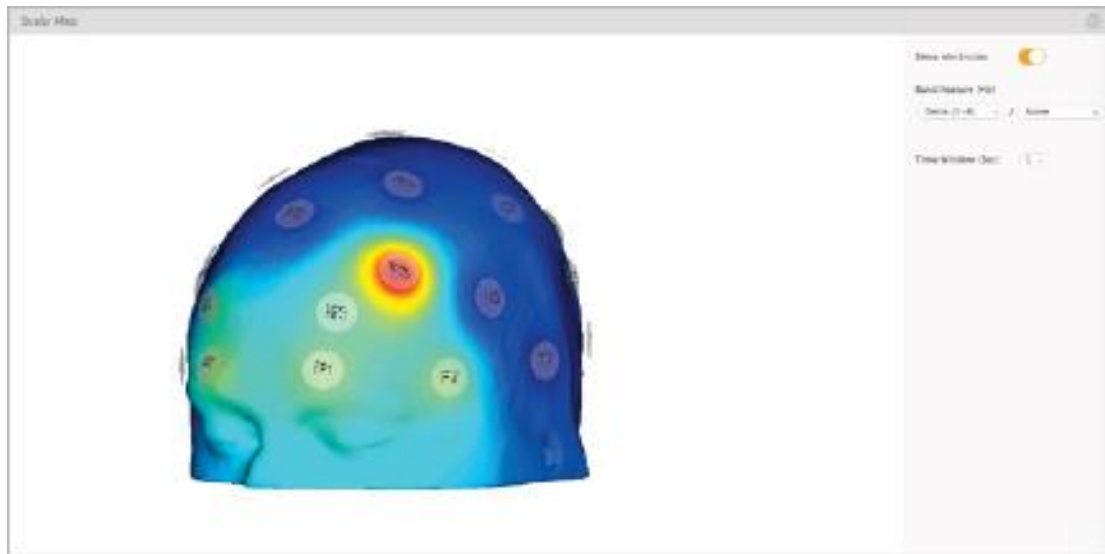
Η μέση ισχύς των διαφόρων ζωνών του ΗΕΓ (Δέλτα, Θήτα, Άλφα, Βήτα, Γάμμα) μπορεί να υπολογιστεί σε πραγματικό χρόνο για οποιαδήποτε κανάλι. Είναι δυνατή η ρύθμιση του παράθυρου του χρόνου (1, 2 ή 4 δευτερόλεπτα) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών της ζώνης ισχύος κάνοντας κλικ στο σύμβολο του γραναζιού στην επάνω δεξιά γωνία.



Εικόνα 6.16 : Απεικόνιση ζωνών ισχύος.

Χάρτης κεφαλής (Scalp map)

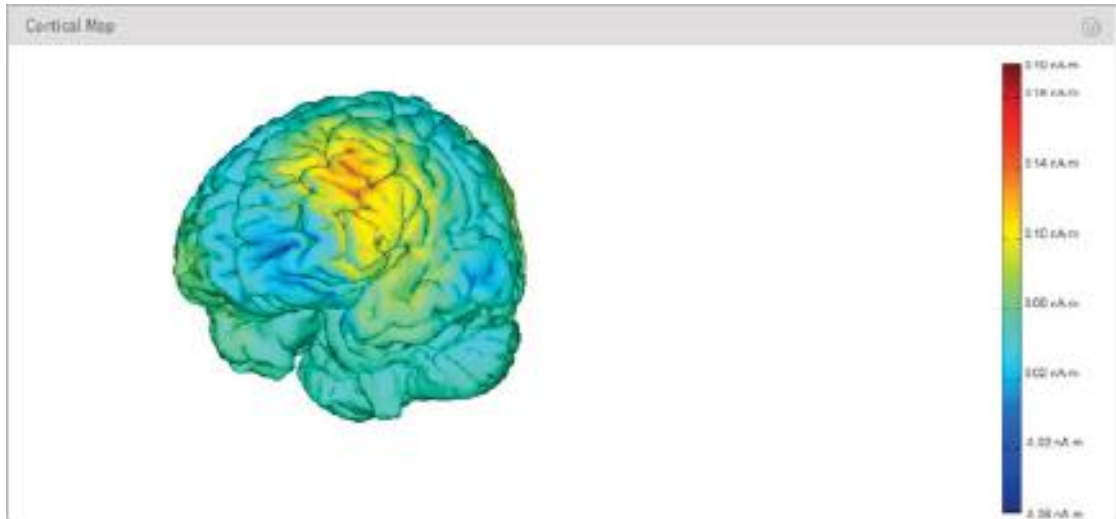
Ο χάρτης κεφαλής εμφανίζει έναν χρωματικό κώδικα για τη χωρική αναπαράσταση της κατανομής ισχύος μV^2 για την επιλεγμένη ζώνη, ή την αναλογία ζωνών. Μπορεί να επιλεγεί αν τα ηλεκτρόδια θα είναι ορατά και αν το μοντέλο της κεφαλής θα είναι ανδρικό ή γυναικείο κάνοντας κλικ στο σύμβολο του γκραναζιού στην επάνω δεξιά γωνία .



Εικόνα 6.17 : Απεικόνιση του χάρτη κεφαλής.

Χάρτης εγκεφαλικού φλοιού (Cortical map)

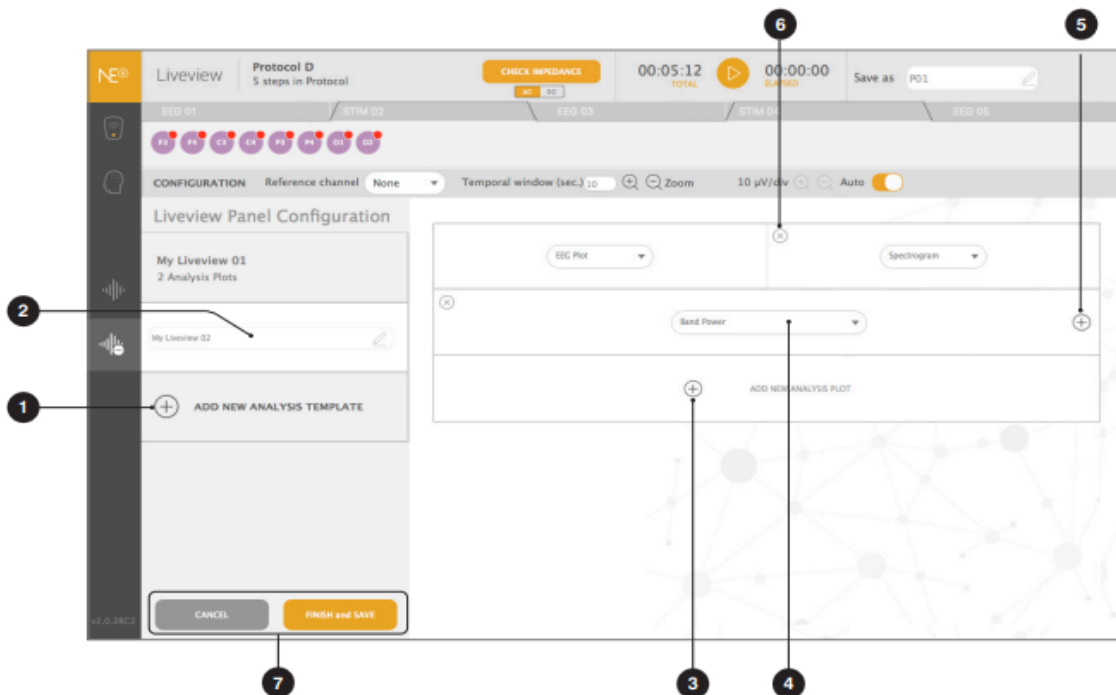
Ο χάρτης εγκεφαλικού φλοιού χρησιμοποιεί την αντιστροφή επίλυση προβλημάτων για τον υπολογισμό της πυκνότητας των ηλεκτρικών διπόλων ($nA \cdot m$) στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Αυτό το εργαλείο εντοπισμού πηγών επιτρέπει τον εντοπισμό των ενεργών περιοχών του εγκεφάλου, τόσο στις επιφάνειες της λευκής ουσίας όσο και της φαιάς ουσίας, με βάση τις τιμές του ηλεκτρικού δυναμικού που μετρούν οι αισθητήρες στο τριχωτό της κεφαλής. Αυτό το διάγραμμα είναι διαθέσιμο μόνο για συσκευές με 20 και 32 κανάλια που χρησιμοποιούν την τυπική διάταξη ηλεκτροδίων.



Εικόνα 6.18 : Απεικόνιση του χάρτη εγκεφαλικού φλοιού.

6.6.2 Σχεδιασμός Liveview

Το παράθυρο Liveview μπορεί να χωριστεί σε 5 γραμμές και 2 στήλες δίνοντας τη δυνατότητα για 10 διαφορετικές επιλογές απεικόνισης. Για να δημιουργήσετε ένα νέο παράθυρο Liveview, ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα (εικ. 6.19).

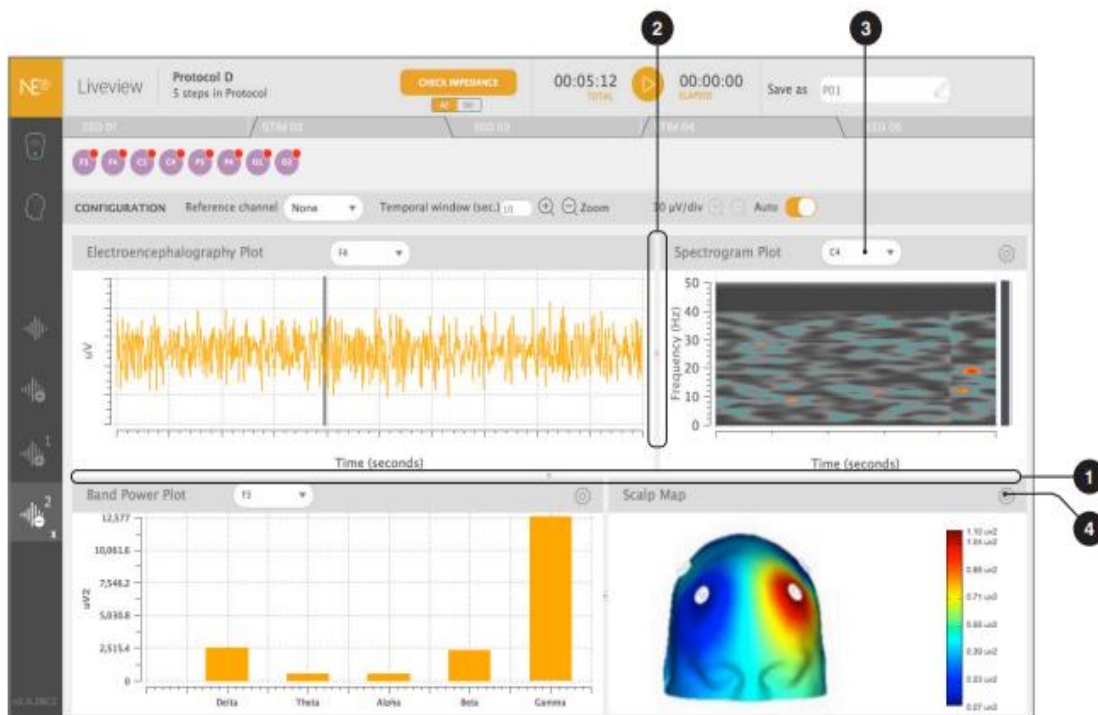


Εικόνα 6.19 : Οθόνη σχεδιασμού Liveview.

1. 6.19.1 Κάντε κλικ στην επιλογή ADD NEW ANALYSIS TEMPLATE.
2. 6.19.2 Καθορίστε το όνομα του νέου Liveview, πρέπει το όνομα να είναι μοναδικό.
3. 6.19.3 Κάντε κλικ στο ADD NEW ANALYSIS PLOT.
4. 6.19.4 Επιλέξτε, από την αναπτυσσόμενη λίστα, τον τύπο του σχεδιαγράμματος ΗΕΓ που θέλετε:
 - EEG Plot
 - Accelerometer (Acc) Plot
 - Spectrum
 - Spectrogram
 - Band Power
 - Scalp Map
 - Cortical Map
5. 6.19.5 Κάντε κλικ στο σύμβολο του συν για να προσθέσετε μια δεύτερη στήλη στην αντίστοιχη σειρά. Μια δεύτερη αναπτυσσόμενη λίστα θα εμφανιστεί, όπου μπορείτε να επιλέξετε τον τύπο του σχεδιαγράμματος ΗΕΓ που θέλετε. Επαναλάβετε τα βήματα 3-5 για να προσθέσετε περισσότερες σειρές στο παράθυρο Liveview.
6. 6.19.6 Για να αφαιρέσετε οποιοδήποτε σχεδιάγραμμα κάντε κλικ στο σύμβολο του X.
7. 6.19.7 Όταν έχετε ολοκληρώσει το σχεδιασμό κάντε κλικ στο FINISH & SAVE. Αν θέλετε προχωρήσετε χωρίς να γίνει αποθήκευση αλλαγών κάντε κλικ στο CANCEL.

Όταν το παράθυρο Liveview αποθηκευτεί θα φορτωθεί αυτόματα. Αν θέλετε να τροποποιήσετε τη δομή του παραθύρου επιστρέψτε στο σχεδιασμό Liveview και επιλέξτε το Edit. Η επιλογή LOAD κατευθύνει το χρήστη στις προσαρμοζόμενες προβολές Liveview (εικ. 6.11.5). Είναι δυνατό να φορτωθούν μέχρι και 4 προσαρμοζόμενες προβολές ταυτόχρονα.

Παρακάτω βλέπουμε (εικ. 6.20) ένα παράδειγμα παραθύρου Liveview με δομή 2 x 2.



Εικόνα 6.20 : Παράδειγμα ολοκληρωμένης προσαρμοζόμενης προβολής Liveview.

Μπορείτε να κάνετε περαιτέρω τροποποιήσεις στο παράθυρο :

- 6.20.1 Για να τροποποιήσετε το ύψος των γραμμών, σύρετε κατακόρυφα την οριζόντια μπάρα μεταξύ τους.
- 6.20.2 Για να τροποποιήσετε το πλάτος της στήλης, σύρετε οριζόντια την κατακόρυφη μπάρα μεταξύ των δύο στηλών.
- 6.20.3 Για τα σχεδιαγράμματα ΗΕΓ, Spectrum, Spectrogram και Band Power μπορεί να επιλέξετε το κανάλι που θέλετε να απεικονίζεται .
- 6.20.4 Κάθε γραφική παράσταση επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει συγκεκριμένες παραμέτρους αναλόγως του τι χρειάζεται να απεικονίζεται για της ανάγκες του πειράματος.

6.7 Παρακολούθηση ΗΕΓ

Η εγγραφή ξεκινάει όταν φορτωθεί ένα πρωτόκολλο και πατήσουμε το κουμπί PLAY. Πριν από την έναρξη της εγγραφής θα εμφανιστεί το παράθυρο εκπαίδευσης EOG, αν η εκπαίδευση EOG είναι ενεργοποιημένη. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του ΗΕΓ, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί σχετικά με τα φίλτρα, το σύστημα αναφοράς και τις κλίμακες των διαγραμμάτων. Χρησιμοποιήστε το Liveview (βλ. ενότητα 6.6) για την ανάλυση και απεικόνιση του ΗΕΓ σε πραγματικό χρόνο.

Φιλτράρισμα δεδομένων

Το NIC2 επιτρέπει το φιλτράρισμα των δεδομένων ΗΕΓ. Τα 50 Hz (Ευρώπη) και τα 60 Hz (ΗΠΑ) μπορούν να ενεργοποιηθούν/απενεργοποιηθούν στο My Devices (βλ. ενότητα 6.2.1). Και τα δύο φίλτρα θορύβου γραμμής εφαρμόζονται για το απεικόνιση και μπορούν προαιρετικά να εφαρμοστούν και για τα καταγεγραμμένα δεδομένα. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να ορίσει ένα φίλτρο απεικόνισης (βλ. Ενότητα 6.2.1). Αυτά τα φίλτρα εφαρμόζονται στα διαγράμματα ΗΕΓ στο NIC2, αλλά δεν επηρεάζουν τα δεδομένα που καταγράφονται. Ένα πιθανό ζωνοπερατό φίλτρο μπορεί να είναι 2 Hz - 40 Hz, δεδομένου ότι αφαιρεί το offset των καναλιών και το θόρυβο της γραμμής.

Αναφορά ΗΕΓ

Κατά την παρακολούθηση, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το κανάλι αναφοράς. Από προεπιλογή, όλα τα κανάλια απεικονίζονται αναφορικά με το κανάλι CMS. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλεγεί ο μέσος όρος των σημάτων όλων των καναλιών ΗΕΓ ως αναφορά. Η διπολική επιλογή αναφοράς είναι διαθέσιμη μόνο για συσκευές με 20 και 32 κανάλια που χρησιμοποιούν την τυπική διάταξη ηλεκτροδίων.

Σημείωση: Η επιλογή αναφοράς είναι μόνο για σκοπούς απεικόνισης. Όλα τα καταγεγραμμένα δεδομένα ΗΕΓ αναφέρονται στο κανάλι CMS.

Κλίμακες χρόνου και τάσης

Η κλίμακα τάσης είναι αρχικά ρυθμισμένη σε Auto και η τυπική κλίμακα χρόνου είναι 10 δευτερόλεπτα. Και οι δυο κλίμακες μπορούν να ρυθμιστούν. Χρησιμοποιήστε μια κατακόρυφη κλίμακα < 100 μ V, για καλύτερη ποιότητα και απεικόνιση των σημάτων ΗΕΓ .

6.7.1 Ποιότητα σήματος EEG

Στο NIC2, η ποιότητα του ΗΕΓ αξιολογείται μέσω του δείκτη ποιότητας (QI). Ο δείκτης ποιότητας (QI) υπολογίζεται κάθε 2 δευτερόλεπτα βασιζόμενος σε τρεις παραμέτρους που περιγράφονται από την παρακάτω εξίσωση :

- **Line noise (Θόρυβος γραμμή):** Ισχύς (μV^2) του σήματος στις πρότυπες ζώνες συχνοτήτων θορύβου γραμμής (EE: 50 ± 1 Hz- ΗΠΑ: 60 ± 1 Hz).
- **Main noise (Κύριος θόρυβος):** Ισχύς σήματος του ΗΕΓ (1-40Hz).
- **Offset (Κατώφλι):** Η μέση τιμή της κυματομορφής.
- **Drift (Ολίσθηση):** Η ολίσθηση μετράται αλλά δεν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό του QI επειδή έχει υψηλή μεταβλητότητα. Η υψηλή ολίσθηση δεν συνεπάγεται κακό σήμα.

Εξίσωση :

$$QI(t) = \tanh \left(\sqrt{\left(\frac{Offset(t)}{WeightOffset} \right)^2 + \left(\frac{MainNoise(t)}{WeightMainNoise} \right)^2 + \left(\frac{LineNoise(t)}{WeightLineNoise} \right)^2} \right)$$

- WeightOffset = 280 mV

- WeightLineNoise = 100 μV

- WeightMainNoise = 250 μV

Κατά την παρακολούθηση του ΗΕΓ, τοποθετήστε τον κέρσορα πάνω από τις κυκλικές ενδείξεις των καναλιών για να εμφανιστούν οι τιμές των παραμέτρων Drift, Offset, Main noise, Line noise και QI. Η παράμετρος που είναι γραμμένη με έντονη γραφή έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο σήμα, καθιστώντας την καίρια για την αξιολόγηση της ποιότητας



Εικόνα 6.21 : Παράδειγμα απεικόνισης παραμέτρων σήματος.

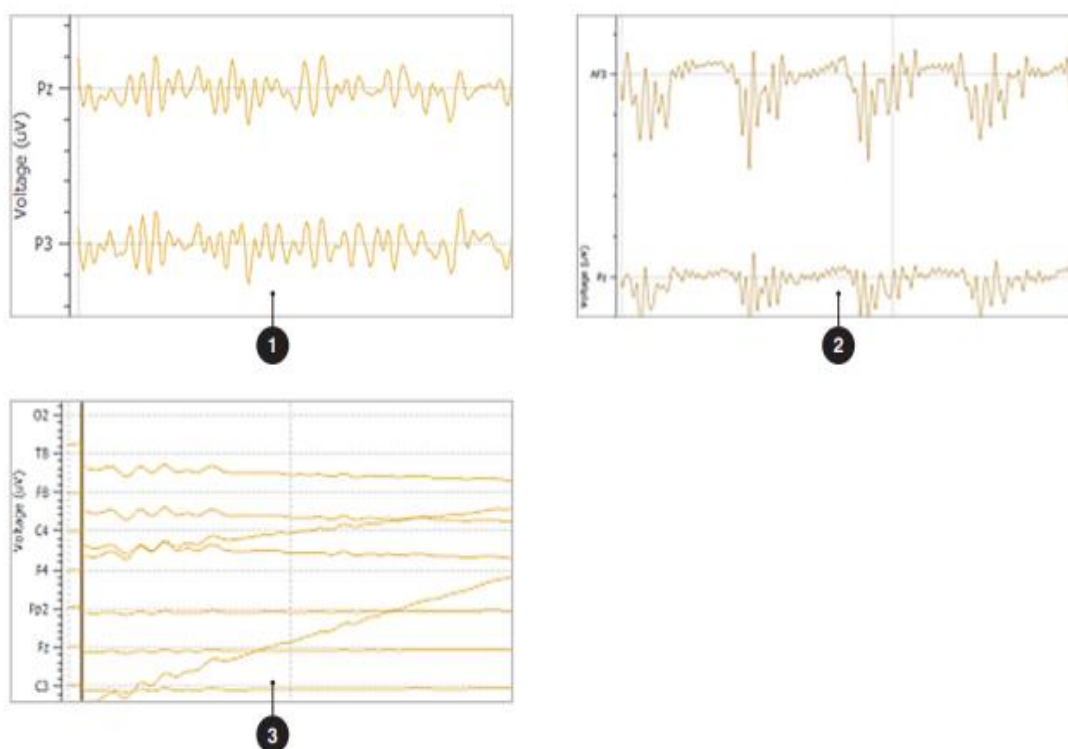
Ο δείκτης ποιότητας είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για καθοδήγηση κατά τη διάρκεια ενός πειράματος, αλλά δεν είναι απαραίτητο να τον λαμβάνουμε με αυστηρότητα. Είναι εξίσου σημαντικός ο οπτικός έλεγχος του σήματος ΗΕΓ. Εάν το σήμα φαίνεται καλό και ο δείκτης ποιότητας είναι πορτοκαλί ή πράσινο, τότε είναι ασφαλές να συνεχίσετε το πείραμα. Σε περίπτωση που ο δείκτης γίνει κόκκινος σε κάποιο σημείο, δεν είναι απαραίτητο να διακόψετε αμέσως την εγγραφή. Κάθε κανάλι ΗΕΓ παρουσιάζει έναν χρωματικό κώδικα βασισμένο στο QI του:

- πράσινο (QI: 0,0 - 0,5)
- πορτοκαλί (QI: 0,5 - 0,8)
- κόκκινο (QI: 0,8 - 1,0)

Πρώτα ελέγξτε οπτικά το σήμα και περιμένετε μέχρι να γίνει πάλι πορτοκαλί ή πράσινο. Διαβάστε τις οδηγίες χρήσης του ηλεκτροδίου στην ενότητα 5.4 για να μάθετε πώς να βελτιώσετε την ποιότητα του σήματος. Η ποιότητα του σήματος εξαρτάται από τον τύπο του ηλεκτροδίου και από το κανάλι αναφοράς CMS καθώς και από άλλους παράγοντες που έχουμε προαναφέρει.

Προειδοποίηση: Ο δείκτης ποιότητας (QI) δεν είναι μια μέτρηση ελέγχου αντίστασης.

Η εικόνα 6.22 περιέχει παραδείγματα σημάτων ΗΕΓ:



Εικόνα 6.22 : Παραδείγματα σημάτων ΗΕΓ.

6.22.1 Κανονικό σήμα ΗΕΓ.

6.22.2 Σήμα με ψευδείς απεικονίσεις.

6.22.3 Πολυκάναλικο σήμα ΗΕΓ με ένα σήμα με υψηλή ολίσθηση.

6.7.2 Ανάλυση EEG

Η Neuroelectrics® παρέχει επίσης ένα plugin για να επιτρέπει τα δεδομένα ΗΕΓ που καταγράφονται από το NIC2 να εισαχθούν στο toolbox EEGLAB για περιβάλλον MATLAB (MathWorks®). (www.sccn.ucsd.edu/eeglab/).

Ροή δεδομένων

Τα δεδομένα ΗΕΓ μπορούν να διαβαστούν και να υποστούν επεξεργασία με λογισμικό τρίτων, όπως το MathWorks® MATLAB. Τόσο το Lab Streaming Layer

(LSL) όσο και το Transmission Control Protocol (TCP) είναι διαθέσιμα στο NIC2. Για να τα ενεργοποιήσετε μεταβείτε στις ρυθμίσεις Protocol Settings (βλ. ενότητα 6.5.2).

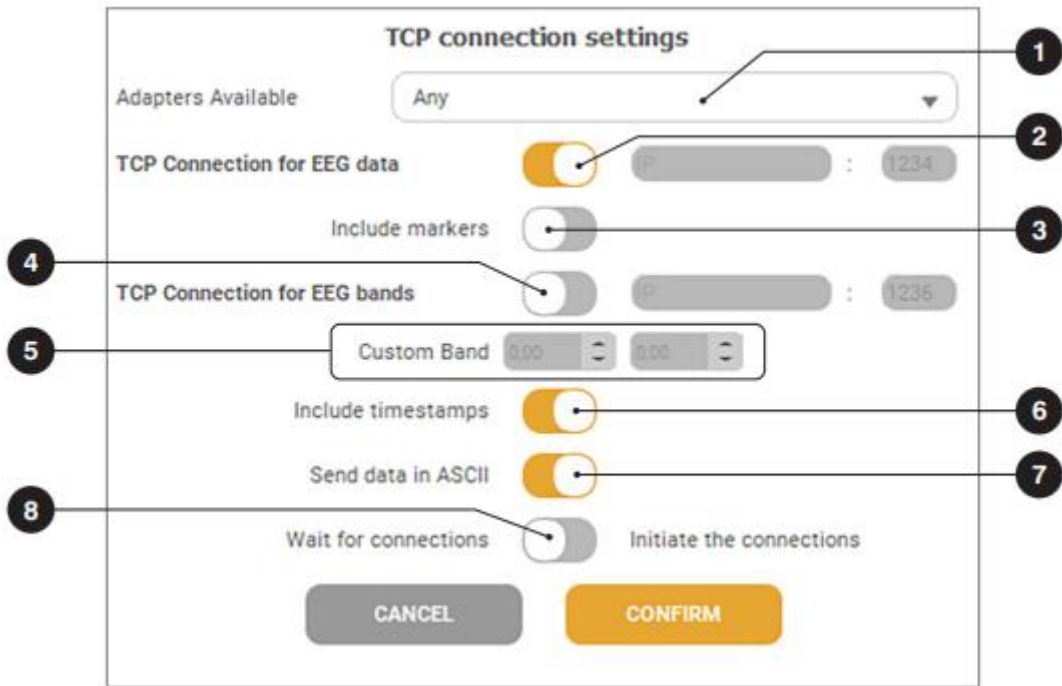
Για να ενεργοποιήσετε το LSL μεταβείτε στις ρυθμίσεις Protocol Settings και δώστε ένα όνομα για τις εξόδους LSL (εικ. 6.10.3). Το NIC2 θα χρησιμοποιήσει αυτό το όνομα για να παρέχει 4 διαφορετικές εξόδους:

- provided_name-EEG
- provided_name-Accelerometer
- provided_name-Quality
- provided_name-Markers

Μια εφαρμογή τρίτου μπορεί να συνδεθεί με αυτές για να λάβει πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα ΗΕΓ, το επιταχυνσιόμετρο, την ποιότητα και δεδομένα δεικτών αντίστοιχα.

Για να ενεργοποιήσετε τη σύνδεση μέσω TCP μεταβείτε στις ρυθμίσεις My Device Settings (βλ. ενότητα 6.2.1) και ενεργοποιήστε την επιλογή Διακομιστή TCP. Κάντε κλικ στο γρανάζι για να τροποποιήσετε τις παραμέτρους, όπως:

- 6.23.1 Ο προσαρμογέας δικτύου όπου ο διακομιστής θα επικοινωνεί.
- 6.23.2 Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση διακομιστή (server) για τα ακατέργαστα δεδομένα ΗΕΓ.
- 6.23.3 Συμπερίληψη του λαμβανόμενου δείκτη.
- 6.23.4 Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του διακομιστή (server) για περιοχή δεδομένων ΗΕΓ.
- 6.23.5 Ορισμός προσαρμοζόμενης ζώνης δεδομένων ΗΕΓ.
- 6.23.6 Συμπερίληψη χρονικής σήμανσης/συντόμευσης (timestamps).
- 6.23.7 Δυνατότητα αποστολής των πληροφοριών σε μορφή ASCII αντί σε δυαδική μορφή.
- 6.23.8 Επιλογή να περιμένει το NIC2 για εισερχόμενες συνδέσεις (προεπιλογή) ή να ξεκινήσει ενεργά μια σύνδεση με τις παρεχόμενες διευθύνσεις IP για την αποστολή δεδομένων.



Εικόνα 6.23 : Οθόνη ρυθμίσεων TCP.

6.8 Λειτουργία Holter

Με τη λειτουργία Holter τα δεδομένα αποθηκεύονται στην κάρτα SD που έχει εισαχθεί στο Enobio δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για εντελώς ασύρματη και φορητή λειτουργία . Ελέγξτε την έκδοση λογισμικού σας για να βεβαιωθείτε ότι υποστηρίζεται αυτή η λειτουργία.

Για να εισέλθετε σε λειτουργία Holter:

- Τοποθετήστε την κάρτα SD στην υποδοχή κάρτας SD στην πλαϊνή πλευρά του Necbox και διαμορφώστε το επιθυμητό πρωτόκολλο με τη συνολική διάρκεια της εγγραφής.
- Μεταβείτε στις ρυθμίσεις Protocol Settings (εικ. 6.10.1) και ενεργοποιήστε την επιλογή του αρχείου της κάρτας SD.
- Φορτώστε το πρωτόκολλο και πατήστε το πλήκτρο START για την απόκτηση ΗΕΓ.

Σημείωση: Θα εμφανιστεί ένα μήνυμα με το ακριβές ποσό του ελεύθερου χώρου στην SD κάρτα που απαιτείται για τη διεξαγωγή της εγγραφής. Εάν δεν υπάρχει επαρκής ελεύθερος χώρος, η συσκευή θα αναβοσβήνει γρήγορα για μερικά δευτερόλεπτα υποδεικνύοντας ότι η εγγραφή στην κάρτα SD δεν

μπορεί να ξεκινήσει. Η ίδια συμπεριφορά εμφανίζεται όταν η κάρτα SD δεν έχει τοποθετηθεί.

- Μόλις ξεκινήσει η εγγραφή, κλείστε το NIC2. Σε αυτό το σημείο το NIC2 ζητά άδεια για να εισέλθει σε λειτουργία Holter, οπότε πατήστε NAI.
- Τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί αποθηκεύονται για το χρονικό διάστημα που έχει οριστεί από το πρωτόκολλο.

Σημείωση: Η συσκευή θα αναβοσβήνει κατά τη διάρκεια της εγγραφής και θα επανέλθει σε κατάσταση αδράνειας όταν σταματήσει η εγγραφή.

6.9 Μορφές αρχείων NIC2

Το NIC2 λειτουργεί για διάφορες μορφές αρχείων. Κατά τη διάρκεια της εγγραφής ΗΕΓ, εάν η επιλογή *.easy είναι ενεργοποιημένη στο Protocol Settings (εικ. 6.10.1) δημιουργούνται δύο αρχεία ASCII με τη μορφή *.info και *.easy. Το *.info είναι ένα αρχείο κείμενου που περιέχει τα δεδομένα της αντίστοιχης εγγραφής. Πληροφορίες όπως ο ρυθμός δειγματοληψίας ΗΕΓ που αναφέρεται στον αριθμό των δεδομένων ή δειγμάτων που συλλέγονται ανά δευτερόλεπτο κατά την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, το ποσοστό απώλειας δεδομένων κατά τη μεταφορά από την εγγραφή προς στον υπολογιστή και η λίστα με τις θέσεις των καναλιών, γράφονται σε αυτό το αρχείο. Το *.easy είναι επίσης ένα αρχείο κειμένου που περιέχει δεδομένα τα οποία είναι οργανωμένα ως εξής:

1. Οι πρώτες 8 (20 ή 32) στήλες αντιστοιχούν στην τάση του σήματος των καναλιών ΗΕΓ σε νανοβόλτ (nV).
2. Οι τρεις επόμενες στήλες θα εμφανίζουν την επιτάχυνση (a_x , a_y , a_z) σε χιλιοστά ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο (mm/s^2).
3. Η επόμενη στήλη αντιστοιχεί στην στήλη των δεικτών και εμφανίζει ως επί το πλείστον μηδενικά. Οι αριθμημένες σημάνσεις (0 έως 9) καταχωρούνται όταν πατηθούν τα αντίστοιχα πλήκτρα. Ο αριθμός 255 χαρακτηρίζει τα δείγματα κατά τα οποία σημειώθηκε απώλεια δεδομένων.
4. Η τελευταία στήλη περιέχει τα Unix Time Stamp, σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) για κάθε δείγμα. Αυτή η μονάδα χρόνου είναι ένα σύστημα παρακολούθησης του χρόνου στην πληροφορική και αντιπροσωπεύει τον αριθμό των χιλιοστών του δευτερολέπτου που έχουν παρέλθει από την 1η Ιανουαρίου 1970. Χρησιμοποιείται ευρέως στα λειτουργικά συστήματα τύπου Unix και σε πολλές γλώσσες προγραμματισμού.

-5784363	-3873234	-4539845	-4614389	-14388788	-18114187	-6415788	-10008899	-912	-343	9483	0	1448592136173
-5717174	-3884959	-4552492	-4625675	-14398126	-18101210	-6427918	-10028641	-912	-343	9483	0	1448592136175
-5723256	-3898647	-4557717	-4631479	-14405298	-18117905	-6434057	-10026971	-951	-343	9443	0	1448592136177
-5786778	-3873646	-4548178	-4615375	-14388744	-18128523	-6416869	-10018265	-951	-343	9443	0	1448592136179
-5787568	-3876536	-4543818	-4616238	-14398237	-18116388	-6418147	-10011488	-951	-343	9443	0	1448592136181
-5695222	-3863897	-4538862	-4604897	-14376986	-18185458	-6485817	-9998889	-951	-343	9443	0	1448592136183
-5721262	-3889150	-4555168	-4638938	-14483993	-18109148	-6432261	-10024138	-951	-343	9443	0	1448592136185

Εικόνα 6.24 : Παράδειγμα αρχείου μορφής *.easy.

Τα αρχεία *.info και *.easy μπορούν να ανοιχτούν για παράδειγμα με το Σημειωματάριο/Notepad (Windows) ή τοTextEdit (MAC OS). Επιπλέον, το NIC2 λειτουργεί επίσης με δυαδικά αρχεία: *.edf, *.nedf και *.sdeeg.

Η επέκταση *.edf αντιπροσωπεύει το European Data Format (EDF) που είναι μια δυαδική μορφή αρχείου και συνήθως χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή και αποθήκευση πολυκαναλικών δεδομένων από φυσιολογικά σήματα. Το NIC2 παράγει αρχεία EDF+ (επέκταση του EDF) που είναι η πρότυπη δυαδική μορφή αρχείου για δεδομένα ΗΕΓ.

Τα δυαδικά αρχεία *.nedf είναι αποκλειστικά αρχεία του NIC2, ενώ τα δυαδικά αρχεία *.sdeeg χρησιμοποιούνται στην εγγραφή εκτός σύνδεσης όταν η εγγραφή χρησιμοποιεί για αποθήκευση την κάρτα SD.

6.10 Λειτουργία εκτός σύνδεσης

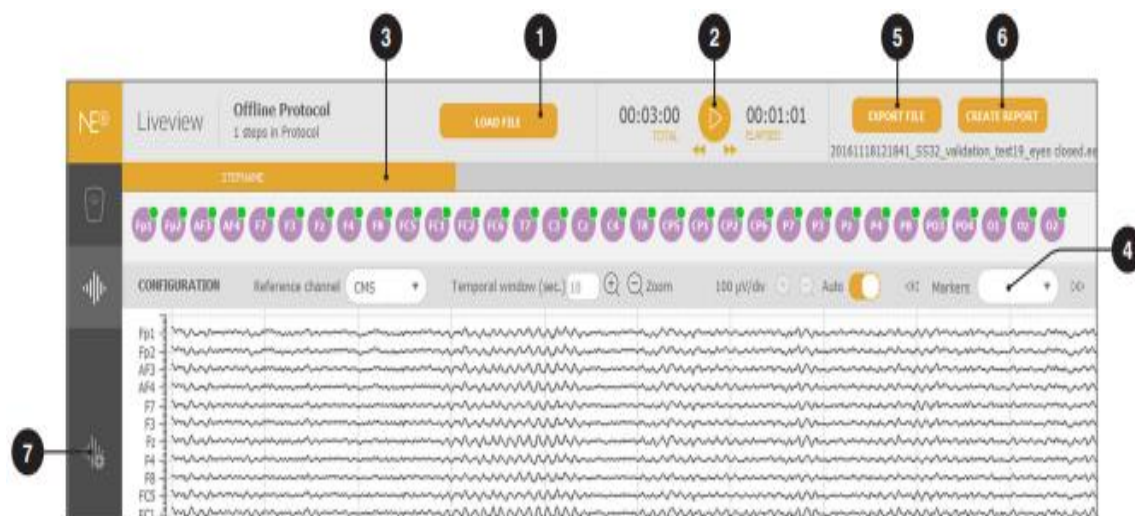
Για να εισέλθετε σε λειτουργία εκτός σύνδεσης επιλέξτε την επιλογή Offline Mode (R) στην αρχική οθόνη του NIC2.



Εικόνα 6.25 : Επιλογή offline mode στην αρχική οθόνη.

Φορτώνοντας τα αρχεία με *.easy, *.nedf, *.info και *.sdeeg τα σήματα ΗΕΓ παρουσιάζονται στο αρχικό παράθυρο του Liveview. Στη λειτουργία εκτός

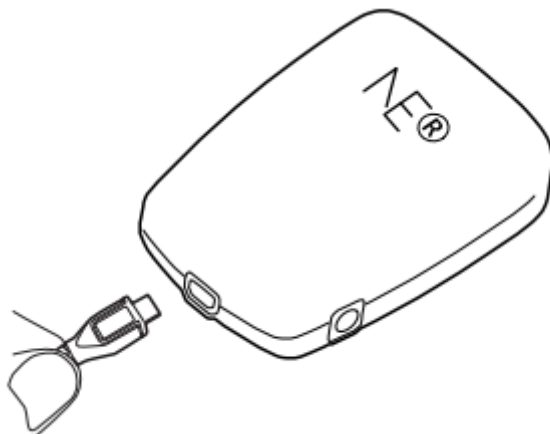
σύνδεσης υπάρχουν αλλαγές σε αυτό το παράθυρο όπως απεικονίζονται παρακάτω (εικ. 6.26).



Εικόνα 6.26 : Εκδοχή οθόνης Liveview για το offline mode.

- 6.26.1 Κάντε κλικ στην επιλογή OFFLINE MODE. Θα εμφανιστεί ένα πλαίσιο LOAD FILE για τη φόρτωση ενός νέου αρχείου. Βεβαιωθείτε ότι έχετε επιλέξει ένα αρχείο από το Directory σας.
- 6.26.2 Χρησιμοποιήστε τα PLAY/PAUSE και FORWARD/BACKWARD για να επιθεωρήσετε τα σήματα ΗΕΓ.
- 6.26.3 Για να μεταβείτε σε μια ακριβή χρονική στιγμή στο αρχείο σύρετε και αφήστε τη γραμμή του χρονοδιαγράμματος.
- 6.26.4 Αν το αρχείο περιέχει δείκτες, είναι δυνατή η επιλογή οποιουδήποτε τύπου. Για να μεταβείτε στο σημείο όπου αυτοί βρίσκονται κάντε κλικ στα κουμπιά ΔΙΠΛΟΥ ΒΕΛΟΥΣ .
- 6.26.5 Κάντε κλικ στο EXPORT FILE για να μετατρέψετε το τρέχον φορτωμένο αρχείο σε διαφορετική μορφή (*.easy, *.nedf, *.edf).
- 6.26.6 Αν θέλετε να δημιουργήσετε μια έκθεση για μεταγενέστερη επεξεργασία για τα τρέχοντα δεδομένα που έχουν φορτωθεί κάντε κλικ στην επιλογή CREATE REPORT. Ένα παράθυρο διαλόγου θα ανοίξει όπου οι παράμετροι μετα-επεξεργασίας μπορούν να προσαρμοστούν καθώς και ο χρόνος έναρξης και λήξης των δεδομένων.
- 6.26.7 Η πρόσβαση στο Custom views (βλέπε ενότητα 6.6.2) είναι επίσης δυνατή στη λειτουργία εκτός σύνδεσης .

7.Οδηγίες φόρτισης



Εικόνα 7.1 : Σχεδιάγραμμα Necbox (d) υποδοχή φορτιστή.

- Για τη φόρτιση της μπαταρίας πρέπει να χρησιμοποιείτε μόνο τον φορτιστή που συνοδεύει τη συσκευή.
- Η συσκευή θα απενεργοποιηθεί αυτόματα όταν συνδέσετε το καλώδιο του φορτιστή.
- Η συσκευή μπορεί να συνδεθεί και σε οποιαδήποτε ηλεκτρική εγκατάσταση κατηγορίας 2. Η ηλεκτρική εγκατάσταση κατηγορίας 2 αναφέρεται σε έναν ειδικό τύπο ηλεκτρικής καλωδίωσης και εξοπλισμού που παρέχει ένα πρόσθετο στρώμα μόνωσης για πρόσθετη ασφάλεια.
- Ο φορτιστής μπαταρίας συνδέεται μέσω της υποδοχής micro-HDMI που βρίσκεται στο πίσω μέρος (εικ. 7.1).
- Για την καλή διατήρηση της μπαταρίας συνιστάται ιδιαίτερα να φορτίζετε πλήρως τη συσκευή τουλάχιστον μία φορά ανά 3 μήνες. Αδυναμία στο να γίνει αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του χρόνου λειτουργίας για μία μόνο φόρτιση.
- Η πλήρη αποφόρτιση της μπαταρίας πρέπει να αποφεύγεται. Η φόρτιση μετά από κάθε χρήση βοηθά στη διατήρηση της χωρητικότητάς της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου.

- Η συσκευή αναμένεται να έχει πλήρη φόρτιση περίπου σε 2 ώρες, όταν ξεκινά από πλήρη αποφόρτιση. Ωστόσο, αυτός ο χρόνος μπορεί να ποικίλει λίγο με την πάροδο του χρόνου και ανάλογα με τον τρόπο χρήσης της συσκευής.
- Η κατάσταση της μπαταρίας εμφανίζεται στο Necbox και αν έχει γίνει σύζευξη με τον υπολογιστή τότε εμφανίζεται και στο λογισμικό.

8. Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή εστίασε στην κατανόηση των βασικών εννοιών του συστήματος Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (ΗΕΓ) Ενοβίο, παρέχοντας παράλληλα τα θεωρητικά θεμέλια της ΗΕΓ και της ανάλυσης σήματος ΗΕΓ. Στο κεφάλαιο που αφορά το εγχειρίδιο χρήσης, επικεντρωθήκαμε στην παρουσίαση του εξοπλισμού, των βημάτων και των διαδικασιών που απαιτούνται για τη χρήση του συστήματος Ενοβίο.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το πρόγραμμα χρήσης του Ενοβίο είναι ιδιαίτερα φιλικό προς τον χρήστη. Η απλότητα και η ευκολία χρήσης του συντελούν στο να καθιστούν το σύστημα προσιτό ακόμη και για αυτούς που δεν έχουν εμπειρία στην ΗΕΓ. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλα προγράμματα που ενδέχεται να έχουν ένα πιο "αυστηρό" ύφος στη σχεδίαση τους και που παρουσιάζουν υψηλότερη πολυπλοκότητα αποθαρρύνοντας έτσι χρήστες οι οποίοι δεν έχουν σχετική εμπειρία με τέτοια προγράμματα. Επιπλέον, παρατηρήσαμε ότι το σύστημα Ενοβίο παρουσιάζει εξαιρετικές προδιαγραφές σε σύγκριση με άλλα συστήματα ΗΕΓ. Ο ιδανικός ρυθμός δειγματοληψίας, το μεγάλο εύρος ζώνης, η ακρίβεια της καταγραφής σημάτων και η εύρυθμη λειτουργία των ηλεκτροδίων συντελούν στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το Ενοβίο επιτρέπει την αξιόπιστη και ακριβή παρακολούθηση της δραστηριότητας του εγκεφάλου, καθιστώντας το κατάλληλο για ερευνητές, ιατρούς και άλλους επαγγελματίες που απαιτούν υψηλή ποιότητα στην καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων.

Συνολικά, η εργασία επικεντρώθηκε στη διερεύνηση και την παρουσίαση του συστήματος ΗΕΓ Ενοβίο, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι αυτό το σύστημα είναι εύκολο στη χρήση και αποτελεί μια αξιόπιστη και ευέλικτη επιλογή για την καταγραφή και ανάλυση των ΗΕΓ σημάτων.

Βιβλιογραφία

- 1) F.H. Duffy, V.C.Iyer , WW SulWillo "Clinical Electroencephalography and Topographic Brain Mapping", Springer-Verlag New York 1989 ,pp 29-36,68-82.
- 2) Ερρίκος Βεντούρας, "Τεχνολογία της in-vivo διαγνωστικής - Διατάξεις απαγωγής βιοηλεκτρικών σημάτων," 2015,pp. 11-20,99-120.
- 3) Σιδηροπούλου Κυριακή, "Βασικές αρχές λειτουργίας του νευρικού συστήματος",2015,pp.13-15.
- 4) Παπανικολάου Παναγιώτης, "Νευρολογία-Ψυχιατρική δευτέρου Κύκλου", Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων 2009,pp. 17-20.
- 5) Taheri BA, Knight RT and Smith RL. A dry electrode for EEG recording. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 1994, pp. 376-383.
- 6) Mona Sazgar, Michael G.Young,"Ablolute Epilepsy and EEG Rotation Review",Springer 2019,pp 117-125.
- 7) Cuffin B N. Effects of modeling errors and EEG measurement montage on source localization accuracy. *Journal of Clinical Neurophysiology*. 2001, 18 (1): pp. 37-44.
- 8) Juergen Fell , Nikolai Axmacher and Sven Haupt. From alpha to gamma: Electrophysiological correlates of meditation-related states of consciousness. *Medical Hypotheses* .2010, 75: pp. 218-224.
- 9) Fonseca LC, Tedrus GM, Chiodi MG, Cerqueira JN and Tonelotto JM. Quantitative EEG in children with learning disabilities: analysis of band power.*Arq Neuropsiquiatr*. 2006, 64(2B): pp. 376-381.
- 10) J. Zhang, Z. Yin, P. Chen, and S. Nichele, "Emotion recognition using multi-modal data and machine learning techniques: A tutorial and review," *Inf. Fusion* 2020, 59: pp. 103–126.
- 11) S. Aggarwal and N. Chugh, "Signal processing techniques for motor imagery brain computer interface: A review," *Array* 2019, 1–2, p. 100003.

- 12) D. R. Edla, M. F. Ansari, N. Chaudhary, and S. Dodia, "Classification of Facial Expressions from EEG signals using Wavelet Packet Transform and SVM for Wheelchair Control Operations," *Procedia Comput. Sci.*, 2018, 132, pp. 1467–1476.
- 13) S. Vaid, P. Singh, and C. Kaur, "EEG signal analysis for BCI interface: A review," *Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol. ACCT*, 2015-April, pp. 143–147
- 14) C. E. Stevens and D. L. Zabelina, "Classifying creativity: Applying machine learning techniques to divergent thinking EEG data," *Neuroimage* 2020,219, no. August 2019, p. 116990.
- 15) Σ. Καραμπογιάς, "Σήματα και Συστήματα," Εκδόσεις Κάλλιπος 2015, pp. 82-109.
- 16) Ricardo & Olvera-López, José & Pineda, Ivan & Snchez-Urrieta, Susana & Martín-Ortiz, Manuel Ramos, "Parameter Experimentation for Epileptic Seizure Detection in EEG Signals using Short-Time Fourier Transform," *Research in Computing Science*, vol. 148,2019.
- 17) Emanuele Lindo Secco, Timothy Chu, "Performance Analysis of a Neuro Fuzzy Algorithm in Human Centered & Non-Invasive BCI, Conference Paper 2020,pp.7.
- 18) Αδάμ Μ. Ασημάκης Ν., "Σήματα και Συστήματα," Εκδόσεις Κάλλιπος 2015, p. 287-306.
- 19) Wikipedia contributors, "Decision tree learning," Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- 20) Wikimedia Commons, Images, The free media repository.