



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία»

**Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω
συστήματος φορέσιμου
ηλεκτροεγκεφαλογράφου**

Καλτσάς Νικόλαος

Αριθμός Μητρώου: 2105

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Αικατερίνη Σκουρολιάκου, Καθηγήτρια

Αθήνα 18/04/2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Η Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Α. Σκουρολιάκου

Καθηγήτρια

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ι. Καλατζής

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ε. Δαυίδ

Επ. Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΚΑΛΤΣΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Μηχανικός Βιοϊατρικής Τεχνολογίας Τ.Ε.

© 2024 – All rights reserved

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Καλτσάς Νικόλαος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 2105 φοιτητής του Τμήματος Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ» του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 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

18/4/2024

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της ερευνητικής εργασίας είναι η διαμόρφωση ενός πρωτοκόλλου λήψης και επεξεργασίας βιοσημάτων, για να διερευνηθεί κατά πόσο αλλαγές από την κατάσταση ηρεμίας στην κατάσταση σκέψης ενός ανθρωπίνου εγκεφάλου μπορούν να είναι ανιχνεύσιμες. Οι αλλαγές στην λειτουργία του εγκεφάλου ελέγχονται από πολλά διαφορετικά κέντρα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, και μπορούν να ανιχνευτούν από το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αποτελεί μια εδραιωμένη μη επεμβατική τεχνική για την μελέτη λειτουργίας του εγκεφάλου. Στηρίζεται στην ανίχνευση διαφορών δυναμικού, που δημιουργούνται από την ενεργοποίηση περιοχών του εγκεφαλικού φλοιού. Τα διαγνωστικά συστήματα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας διαθέτουν από 20 έως 256 ηλεκτρόδια που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία εξωτερικά του κρανίου. Η τοποθέτησή τους στο τριχωτό της κεφαλής ακολουθεί διεθνή πρότυπα, όπως το πρότυπο 10-20 που θα εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη ερευνητική εργασία.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στοχεύει κατά κύριο λόγο στην εξοικείωση του φοιτητή με την διαδικασία λήψης και επεξεργασίας δεδομένων από τον εκπαιδευτικό εργαστηριακό εξοπλισμό που διαθέτει το εργαστήριο παραγωγής βιοσημάτων του τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει το EnoBio 20 σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογράφου της Neuroelectrics. Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από 16 ηλεκτρόδια παραγωγής σημάτων, 3 ηλεκτρόδια αναφοράς και 1 ηλεκτρόδιο εξωτερικής. Το ερευνητικό πρωτόκολλο θα εφαρμοστεί σε τουλάχιστον 10 ανθρώπους, οι οποίοι θα ενημερωθούν και θα υπογράψουν έντυπο συγκατάθεσης. Η διαδικασία περιλαμβάνει την ενημέρωση για την όλη διαδικασία των συμμετεχόντων. Στον κάθε συμμετέχοντα, με παρουσία του αρμόδιου επιστημονικά υπευθύνου, θα συνδεθούν τα 19 ηλεκτρόδιά του.

Ο συμμετέχων θα κλείσει τους οφθαλμούς και θα προσπαθήσει να χαλαρώσει και να βρεθεί σε μια κατάσταση εγκεφαλικής ηρεμίας χωρίς να κάνει σκέψεις. Μόλις αυτό επιτευχθεί, θα ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής προκλητών δυναμικών. Με τον τρόπο αυτό θα διεγερθούν διαφορετικά μέρη του εγκεφάλου και θα γίνει προσπάθεια καταγραφής των βιοσημάτων που θα ανιχνευθούν από το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Η διαδικασία αυτή θα διαρκέσει από 5 έως 10 λεπτά ανά άτομο και σε αυτό το χρονικό διάστημα θα πραγματοποιείται η καταγραφή των σημάτων αυτών. Τα σήματα καταγραφής θα αναλυθούν και θα βγουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροκαρδιογράφημα, προκλητά δυναμικά, EnoBio 20, Neuroelectrics, εγκεφαλική ηρεμία, ξηρά ηλεκτρόδια, καταγραφή σημάτων, Μηχανικοί Βιοϊατρικής, Βιοϊατρική Τεχνολογία.

ABSTRACT

The aim of the research project is to develop a protocol for acquiring and processing biosignals to investigate whether changes from a state of rest to a state of thought in the human brain can be detectable. Changes in brain function are controlled by various centers of the Central Nervous System and can be detected by the electroencephalography (EEG) system.

Electroencephalography is a well-established non-invasive technique for studying brain function. It relies on detecting potential differences generated by the activation of areas of the brain cortex. Diagnostic EEG systems typically have from 20 to 256 electrodes placed at specific points outside the skull. Their placement on the scalp follows international standards, such as the 10-20 system that will be applied in this research project.

This particular thesis primarily aims to familiarize the student with the process of acquiring and processing data from the educational laboratory equipment available at the Biomedical Engineering department's biosignal acquisition laboratory.

The equipment includes the Neuroelectrics Enobio 20 EEG system. This system consists of 16 signal acquisition electrodes, 3 reference electrodes, and 1 external electrode. The research protocol will be applied to at least 10 individuals who will be informed about and sign a consent form. The process involves informing the participants about the entire procedure. Each participant, under the supervision of the responsible scientific authority, will have their 19 electrodes connected.

Participants will close their eyes and attempt to relax and achieve a state of brain rest without thinking. Once this is achieved, the process of generating evoked potentials will begin. This will stimulate different parts of the brain, and an attempt will be made to record the biosignals detected by the EEG system. This process will last from 5 to 10 minutes per individual, during which the recording of these signals will take place. The recorded signals will be analyzed, and corresponding conclusions will be drawn.

Keywords: Electrocardiogram, evoked potentials, Enobio 20, Neuroelectrics, dry electrodes, auditory ERP, ERP, event related potentials, brain rest, signal recording, Biomedical Engineers, Biomedical Technology.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο σπουδών στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στην Βιοϊατρική Τεχνολογία» και ολοκληρώνοντας αυτή την διπλωματική εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσα άτομα με στήριξαν σε όλο αυτό το δύσκολο εγχείρημα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την καθηγήτρια μου κα Σκουρολιάκου Αικατερίνη, η οποία ήταν η επιβλέπουσα καθηγήτρια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Την ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους συναδέλφους μου Κωσταντίνο Κωστόπουλο και Παναγιώτη Χρυσανθόπουλο για την ενθάρρυνση, την υποστήριξη και τις αμέτρητες αλλαγές του εργασιακού προγράμματος και ωραρίου που πραγματοποιήσαμε ώστε να μπορώ να παραβρίσκομαι ανελλιπώς στα δια ζώσης μαθήματα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου για την στήριξη και υπομονή τους σε ότι και αν κάνω καθώς και την εμπιστοσύνη και την δύναμη που μου δίνουν για να ολοκληρώνω τους στόχους μου.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Ιστορική αναδρομή του Ηλεκτροεγκεφαλογράφου	1
1.2	Κλινική χρήση.....	3
1.3	Εμπορικά προϊόντα	4
2	ΝΕΥΡΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ	7
2.1	Το νευρικό σύστημα.....	7
2.1.1	Δομή και λειτουργία	10
2.1.1.1	Νευρικό κύτταρο – νευρώνας	10
2.1.1.2	Τα νευρογλοιακά κύτταρα	12
2.2	Διεργασία των συνάψεων – Νευροδιαβίβαση	15
2.3	Η πηγή του ΗΕΓ	17
2.4	Το δυναμικό της μεμβράνης	19
2.4.1	Το δυναμικό ηρεμίας	20
2.4.2	Κατάσταση ισορροπίας	20
2.4.3	Βαθμωτά δυναμικά.....	21
2.4.4	Ενεργά δυναμικά	21
3	ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ.....	23
3.1	Οργανολογία ΗΕΓ.....	23
3.2	Φίλτρα ΗΕΓ	24
3.2.1	Υψιπερατό φίλτρο.....	24
3.2.2	Βαθυπερατό φίλτρο	24
3.2.3	Ζωνοπερατό φίλτρο	25
3.3	Κύκλωμα προστασίας εξεταζόμενου	26
3.4	Αισθητήρες	26
3.4.1	Τα μέρη του αισθητήρα	27
3.4.2	Ταξινόμηση του αισθητήρα.....	27
3.4.3	Χαρακτηριστικά αισθητήρων	28
3.5	Ηλεκτρόδια ΗΕΓ	28
3.5.1	Ηλεκτρόδια γέλης	28
3.5.2	Ηλεκτρόδια ξηρής επαφής.....	30
3.6	Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων.....	31

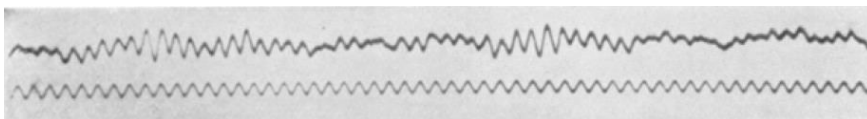
4	ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ	34
4.1	Αρχές λειτουργίας του ΗΕΓ	34
4.2	Καταγραφή του ηλεκτρικού σήματος	35
4.2.1	Παραγωγή του σήματος ΗΕΓ	36
4.2.2	Ενίσχυση σήματος.....	36
4.2.2.1	Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό	36
4.2.2.2	Ανάλυση (Resolution)	37
4.2.2.3	Εύρος εισόδου	38
4.3	Χαρακτηριστικά του ΗΕΓ	39
4.4	Προκλητά δυναμικά	41
4.4.1	Τρόποι απομόνωσης προκλητών δυναμικών	43
4.4.2	Τα βασικότερα χρονικά διαστήματα των προκλητών δυναμικών.....	45
5	ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΕΝΟΒΙΟ 20	47
5.1	Ενοbio Necbox	47
5.1.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	48
5.2	Neoprene Headcap (Μάσκα ηλεκτροδίων).....	48
5.3	Ηλεκτρόδια Ενοbio 20.....	50
6	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΝΟΒΙΟ 20	52
6.1	Πρωτόκολλα.....	53
6.2	Σχεδιασμός πρωτοκόλλου	54
6.3	Παράθυρο ζωντανής ροής (Liveview).....	56
6.4	Λειτουργία εκτός σύνδεσης (Offline Mode).....	57
7	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	60
7.1	Διαδικασία πειραματικών μετρήσεων.....	60
7.2	Εξοπλισμός - πρωτόκολλο καταγραφής δεδομένων	61
7.3	Επεξεργασία.....	62
7.4	Αποτελέσματα	64
7.4.1	Εντοπισμός σήματος ερεθίσματος	64
7.4.2	Παραγωγή διαγραμμάτων φάσματος χαλάρωσης	68
7.4.3	Εντοπισμός διαγραμμάτων φάσματος ερεθίσματος.	71
7.4.4	Διαγράμματα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ	75
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ	80

9	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	82
---	----------------	----

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική αναδρομή του Ηλεκτροεγκεφαλογράφου.

- Το 1875, ο Richard Caton, γιατρός που ασκούσε στο Λίβερπουλ, δημοσίευσε στο British Medical Journal τις παρατηρήσεις του σχετικά με τα ηλεκτρικά φαινόμενα που παρατηρήθηκαν στα εκτεθειμένα εγκεφαλικά ημισφαίρια πιθήκων και κουνελιών.
- Γύρω στο 1890, ο Πολωνός φυσιολόγος Adolf Beck δημοσίευσε την έρευνά του περί της αυθόρμητης ηλεκτρικής δραστηριότητας στον εγκέφαλο κουνελιών και σκύλων. Η έρευνά του περιλάμβανε ρυθμικές ταλάντωσης που επηρεάζονταν από το φως. Πραγματοποίησε πειράματα σχετικά με την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου των ζώων, τοποθετώντας ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εγκεφάλου με σκοπό να διερευνήσει ενδεχόμενη αισθητηριακή διέγερση. Η παρατήρησή του για την κυματοειδή εγκεφαλική δραστηριότητα οδήγησε στο συμπέρασμα της ύπαρξης εγκεφαλικών κυμάτων. (1).
- Το 1912, ο φυσιολόγος από την Ουκρανία, Vladimir Vladimirovich Pravdich-Neminsky, παρουσίασε την πρώτη Ηλεκτροεγκεφαλογραφία ζώων και το προκλητικό δυναμικό του σκύλου.
- Το 1914, ο Napoleon Cybulski και η Jelenska-Macieszyna κατέγραψαν με επιτυχία την Ηλεκτροεγκεφαλογραφία πειραματικών επιληπτικών κρίσεων.
- Το 1924, ο Γερμανός φυσιολόγος και ψυχίατρος Hans Berger κατέγραψε το πρώτο ανθρώπινο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ), επεκτείνοντας την προηγούμενη έρευνα που είχε γίνει σε ζώα από τον Richard Caton και άλλους (Εικόνα 1: Η πρώτη καταγραφή από ΗΕΓ ανθρώπου από τον Hans Berger το 1924 .). Επίσης, ο Berger εφηύρε τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο, μια εφεύρεση που περιγράφεται ως "μια από τις πιο εκπληκτικές, αξιοσημείωτες και βαρυσήμαντες εξελίξεις στην ιστορία της κλινικής νευρολογίας". Οι ανακαλύψεις του επιβεβαιώθηκαν για πρώτη φορά το 1934 από τους Βρετανούς επιστήμονες Β. Η. C. Matthews και Edgar Douglas Adrian, οι οποίοι τις ανέπτυξαν περαιτέρω.



Εικόνα 1: Η πρώτη καταγραφή από ΗΕΓ ανθρώπου από τον Hans Berger το 1924 (2).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Το 1934, οι Fisher και Lowenbach παρουσίασαν για πρώτη φορά τις επιληπτικές αιχμές.
- Το 1935, οι Gibbs, Davis και Lennox περιέγραψαν κύματα από ενδιάμεσες αιχμές οι οποίες είναι και ευρέως αποδεκτές διαγνωστικά ως σημάδι επιληψίας (3). Επιπλέον, περιέγραψαν το μοτίβο τριών κύκλων ανά δευτερόλεπτο κατά τη διάρκεια των επιληπτικών κρίσεων κλινικής απουσίας, γεγονός που άνοιξε τον δρόμο για την ανάπτυξη του πεδίου της κλινικής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Το 1936, οι Gibbs και Jasper παρουσίασαν την ενδιάμεση ακίδα ως την εστία της επιληψίας. Επίσης, την ίδια χρονιά, το πρώτο εργαστήριο Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας άνοιξε στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης (4).
- Ο Franklin Offner, καθηγητής βιοφυσικής στο Northwestern University, ανέπτυξε ένα πρωτότυπο της Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας που περιλάμβανε έναν πιεζοηλεκτρικό μελανογράφο, γνωστός ως κρυστογράφος (ή αλλιώς Offner Dynograph).
- Η American EEG Society ιδρύθηκε το 1947 και πραγματοποίησε το πρώτο της Διεθνές Συνέδριο Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (HEG) την ίδια χρονιά. Αυτό το γεγονός έχει σημαντική ιστορική σημασία, καθώς η HEG αναφέρεται στην καταγραφή των ηλεκτρικών δραστηριοτήτων του εγκεφάλου, ένας τομέας που έχει σημαντικές εφαρμογές στην ιατρική και την νευροεπιστήμη.
- Το 1953, οι ερευνητές Nathaniel Kleitman και Eugene Aserinsky περιέγραψαν το φαινόμενο του ύπνου REM (Rapid Eye Movement), γνωστό και ως "ύπνος γρήγορων κινήσεων των ματιών". Κατά τη διάρκεια του ύπνου REM, οι εγκεφαλικές δραστηριότητες είναι παρόμοιες με αυτές που συμβαίνουν όταν ο άνθρωπος είναι ξύπνιος, ενώ οι κινήσεις των ματιών είναι γρήγορες και ακολουθούνται από ενδεχομένως ονειρικά σενάρια. Αυτή η ανακάλυψη συνέβαλε σημαντικά στην κατανόηση της φύσης του ύπνου και των βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν κατά τη διάρκειά του.
- Ο William Grey Walter ήταν ένας διάσημος Βρετανός νευροφυσιολόγος και ψυχολόγος που εργαζόταν στον τομέα της νευροεπιστήμης και της ρομποτικής. Κατά τη δεκαετία του 1950, ανέπτυξε ένα σύστημα που ονομάστηκε "topography of EEG" ή αλλιώς "τοπογραφία HEG" που επέτρεπε την χαρτογράφηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας σε όλη την επιφάνεια του εγκεφάλου. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στους ερευνητές να κατανοήσουν καλύτερα τα μοτίβα και τις δραστηριότητες του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια διαφόρων καταστάσεων, όπως τον ύπνο, την αφύπνιση, την αναστολή κ.λπ. Αυτή η τεχνική αποτέλεσε σημαντικό βήμα προόδου στον τομέα της Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και συνέβαλε σημαντικά στην κατανόηση της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Αυτό φάνηκε ιδιαίτερα υποσχόμενο στην ψυχιατρική καθώς γνώρισε μια σύντομη περίοδο

δημοτικότητας στη δεκαετία του 1980. Παραμένει κυρίως ερευνητικό εργαλείο αφού δεν έγινε ποτέ αποδεκτό από τους νευρολόγους.

- Το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογράφου που κατασκεύασε η Beckman Instruments το 1965-1966 χρησιμοποιήθηκε σε τουλάχιστον μία από τις επανδρωμένες διαστημικές πτήσεις του Project Gemini για την παρακολούθηση των εγκεφαλικών κυμάτων των αστροναυτών κατά την πτήση. Αυτό το σύστημα αποτελούσε ένα από τα πολλά όργανα που ειδικεύονταν και χρησιμοποιούνταν από τη NASA σε επανδρωμένες αποστολές. Η χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογράφου επέτρεπε στους επιστήμονες να μελετήσουν τις αντιδράσεις του ανθρώπινου εγκεφάλου σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας και άλλες εξαιρετικές συνθήκες της διαστημικής πτήσης (5).
- Το 1988 σημειώθηκε η πρώτη περίπτωση χρήσης της Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (ΗΕΓ) για τον έλεγχο ενός φυσικού αντικειμένου, ενός ρομπότ. Το ρομπότ είχε τη δυνατότητα να ακολουθήσει μια γραμμή ή να σταματήσει ανάλογα με την αλφα δραστηριότητα του υποκειμένου. Αυτή η εφαρμογή της ΗΕΓ στον έλεγχο του ρομπότ ανοίγει τον δρόμο για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την ανθρώπινη εγκεφαλική δραστηριότητα για τον έλεγχο μηχανημάτων και συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, εάν το άτομο βρίσκονταν σε χαλάρωση και έκλεινε τα μάτια του, επομένως υπήρχε αύξηση της δραστηριότητας άλφα, το robot μπορούσε να μετακινηθεί. Κατά το άνοιγμα των ματιών του, υπήρχε μείωση της δραστηριότητας άλφα και το ρομπότ σταματούσε στην τροχιά.
- Τον Οκτώβριο του 2018, επιστήμονες κατάφεραν να πραγματοποιήσουν την σύνδεση των εγκεφάλων τριών ανθρώπων μέσω του ΗΕΓ με σκοπό την πειραματική ανταλλαγή των σκέψεών τους. Στο πείραμα αυτό συμμετείχαν πέντε ομάδες αποτελούμενες από τρία άτομα η κάθε μία, χρησιμοποιώντας ΗΕΓ. Η επιτυχία του πειράματος ανέρχονταν στο ποσοστό του 81%.

1.2 Κλινική χρήση

Η χρήση ενός ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος συνήθως γίνεται όταν κριθεί απαραίτητο ώστε να εντοπιστεί εάν ένα άτομο έχει σωματικό πρόβλημα, δηλαδή πρόβλημα που εστιάζεται στο νευρικό σύστημα ή στον εγκέφαλο, ή αν έχει πρόβλημα ψυχικής υγείας (6). Συνεπώς, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των ηλεκτρικών δραστηριοτήτων του εγκεφάλου. Επίσης, χρησιμοποιείται στην διαφορική διάγνωση των επεισοδίων απώλειας συνείδησης και πιο συγκεκριμένα όταν υπάρχουν ενδείξεις ότι τα επεισόδια αυτά μπορεί να αποτελούν επιληπτικές κρίσεις. Να σημειωθεί πως το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία για την διάγνωση της επιληψίας. Άλλες κλινικές εφαρμογές αυτού αφορούν

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

τις διαταραχές του ύπνου και γίνονται μέσω της διαδικασίας «μελέτης του ύπνου». Επιπροσθέτως το ΗΕΓ χρησιμοποιείται ακόμα και στις μονάδες εντατικής θεραπείας, όταν οι γιατρού χρειάζεται να εντοπίσουν τους λόγους που ο ασθενής δεν είναι ικανός να ανακτήσει την συνείδησή του. Άλλες αιτίες για χρήση του ΗΕΓ είναι για την παρακολούθηση κάποια πάθησης όπως ημικρανίες, όγκος στον εγκέφαλο ή ακόμα και τραυματισμοί εγκεφάλου. Τέλος, ευρύτερα διαδεδομένη είναι και η μελέτη με την χρήση προκλητών δυναμικών όπου και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3 Εμπορικά προϊόντα

Τη δεδομένη στιγμή υπάρχουν δεκάδες εταιρείες παγκοσμίως που ασχολούνται με την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Θα γίνει μια αναφορά στις καλύτερες 5 εταιρείες με τις περισσότερες δημοσιεύσεις.

1. Μια από τις πιο παλιές εταιρίες είναι η εταιρία NeuroScan. Ιδρύθηκε το 1985 και με την πάροδο των ετών έγινε ο κορυφαίος πάροχος προϊόντων ηλεκτροκαρδιογραφήματος παγκοσμίως. Διαθέτει πληθώρα τεχνολογιών, λογισμικών, αναλωσίμων κ.α. είτε για κλινικές είτε για ερευνητικές μελέτες. Έχει αναπτύξει προϊόντα που υποστηρίζουν 256 κανάλια αισθητήρων και επιτρέπει την καταγραφή όλων με ρυθμό δειγματοληψίας τα 10.000 Hz (7).



Εικόνα 2: Βαθμίδα συλλογής σημάτων και ενίσχυσης (8).



Εικόνα 3: Κάσκα τοποθέτησης στο κρανίο με 256 αισθητήρες (9).

2. Η εταιρεία Brain Products γερμανικής καταγωγής ιδρύθηκε το 1997 και κατέχει ηγετική θέση στον τομέα των προϊόντων ΗΕΓ. Προσφέρει ποικιλία λογισμικών πακέτων και κυκλωμάτων με σκοπό την ανάλυση του ΗΕΓ καθώς και συστήματα για τις μελέτες fMRI NIRS κ.α. Έχει κατασκευάσει κάσκες για όλες τις ηλικίες με αισθητήρες που μπορούν να φτάσουν τους 180 ενώ ο ρυθμός δειγματοληψίας φτάνει τα 100.000 Hz (10).



Εικόνα 4: Σύστημα ΗΕΓ 180 αισθητήρων (11).

3. Η εταιρεία BioSemi ιδρύθηκε το 1998, και ήταν ο καρπός έπειτα από μια 10ετή πορεία ερευνών στο τμήμα Ιατρικής Φυσική στο πανεπιστήμιο του Άμστερνταμ. Η εταιρεία προσφέρει μια σειρά από εξοπλισμό τελευταίας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

τεχνολογίας για τις πιο απαιτητικές μετρήσεις βιοδυναμικού με τον μέγιστο αριθμό ηλεκτροδίων να φτάνει τα 264 (12).



Εικόνα 5: Συσκευή ΗΕΓ 264 ηλεκτροδίων (13).

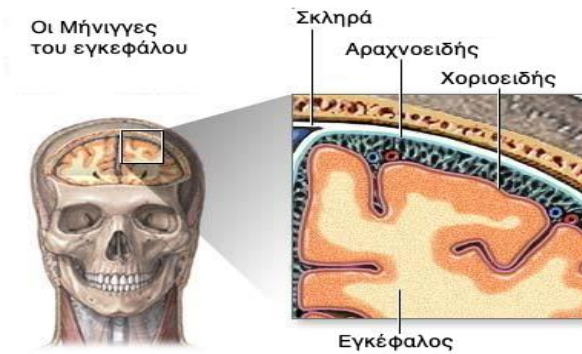
2 ΝΕΥΡΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

2.1 Το νευρικό σύστημα

Το νευρικό σύστημα αποτελεί ένα περίπλοκο δίκτυο αγωγών που έχει ως κύρια λειτουργία τον έλεγχο, τη ρύθμιση και την εξασφάλιση της ομαλής συνεργασίας των οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Ο ανθρώπινος οργανισμός οφείλει να αντιλαμβάνεται τις μεταβολές του περιβάλλοντος και να αντιδρά σε αυτές. Στην ουσία μέσω των διαφόρων υποδοχέων όπως τα μάτια, τα αυτιά, τη μύτη, το δέρμα και τη γλώσσα ανιχνεύει, συλλέγει και αναλύει πληροφορίες ή ερεθίσματα, τα οποία μεταβιβάζει υπό την μορφή ηλεκτρικού ή χημικού σήματος στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Έτσι, το νευρικό σύστημα διαμορφώνει την ανθρώπινη αντίληψη του περιβάλλοντος και διασφαλίζει την φυσιολογική ισορροπία που είναι ουσιώδης για την επιβίωση. Παράλληλα, αναλαμβάνει την ευθύνη για την διαχείριση και τον συντονισμό των πνευματικών και ψυχικών διεργασιών, όπως η σκέψη, η βούληση, η μνήμη και τα συναισθήματα. Αφού ολοκληρωθεί η συλλογή ερεθισμάτων από τα αισθητήρια όργανα, ο εγκέφαλος τα επεξεργάζεται και στη συνέχεια δίνει εντολές προς τους μύες και τους αδένες. Αυτό γίνεται με στόχο τον συντονισμό της κίνησης του σώματος και την ρύθμιση των λειτουργιών των ενδοκρινών αδένων και των σπλάχνων.

Το νευρικό σύστημα διαιρείται σε κεντρικό και περιφερικό τμήμα. Το κεντρικό νευρικό σύστημα περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό, ενώ το περιφερικό αποτελείται από τα νεύρα που βρίσκονται τόσο στον εγκέφαλο όσο και στον νωτιαίο μυελό, καθώς και από τα εγκεφαλονωτιαία γάγγλια.

Ο εγκέφαλος περιβάλλεται από τρία περιβλήματα, τις μήνιγγες. Οι μήνιγγες, που λειτουργούν ως προστατευτικά υμένα, αποτελούνται από τρία στρώματα: εξωτερικά η σκληρά μήνιγγα, ακολουθούμενη από την αραχνοειδή μήνιγγα και εσωτερικά την χοριοειδή μήνιγγα (Εικόνα 6: Οι μήνιγγες του εγκεφάλου.). Μεταξύ της αραχνοειδούς και της χοριοειδούς μήνιγγας βρίσκεται ο υπαραχνοειδής χώρος, ο οποίος περιέχει διάφορα αιμοφόρα αγγεία και το εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Αυτό το υγρό παίζει κρίσιμο ρόλο στην απορρόφηση κραδασμών, καθώς και στηνστήριξη, προστασία και θρέψη του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού.



Εικόνα 6: Οι μήνιγγες του εγκεφάλου (14).

Ο **εγκέφαλος** βάσει ανατομίας χωρίζεται σε τρεις περιοχές:

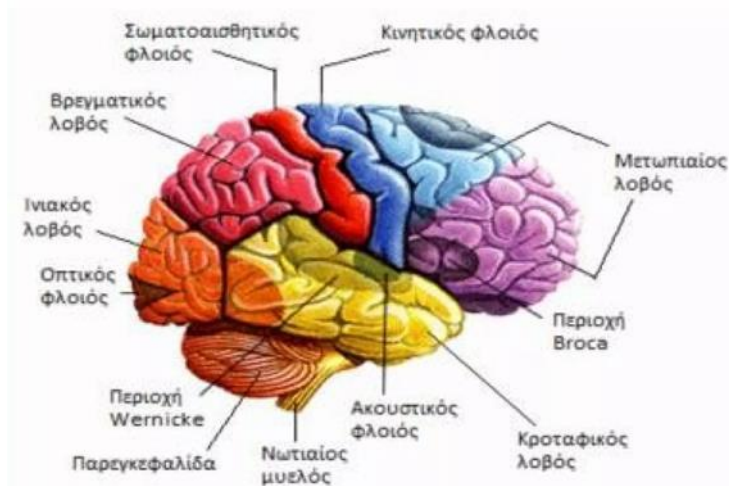
- Το ανθρώπινο εγκέφαλο διαιρείται σε δύο ημισφαίρια, το δεξιό και το αριστερό. Η επιφάνεια αυτών των ημισφαιρίων χαρακτηρίζεται από αρκετές προεξοχές, γνωστές ως έλικες, και πολλαπλές αυλακώσεις, οι οποίες ονομάζονται αύλακες. Οι βαθύτεροι αύλακες, γνωστοί ως σχισμές, συμβάλλουν στον διαχωρισμό του εγκεφάλου σε διάφορους λοβούς. Η φαιά ουσία, που βρίσκεται στην εξωτερική περιοχή των ημισφαιρίων, αποτελείται κυρίως από νευρωνικά σώματα, ενώ η λευκή ουσία στο εσωτερικό περιλαμβάνει δέσμες νευρικών αποφυάδων. Ο φλοιός των ημισφαιρίων είναι η μόνη περιοχή του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος που είναι υπεύθυνη για τις συνειδητές λειτουργίες.
- Το στέλεχος, το οποίο με τη σειρά του αποτελεί το κατώτερο τμήμα του εγκεφάλου και την συνέχεια του νωτιαίου μυελού. Δια του στελέχους, ο νωτιαίος μυελός συνδέεται με την παρεγκεφαλίδα και τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Επίσης αποτελεί το μέσο επικοινωνίας του υπόλοιπο εγκεφάλου με την παρεγκεφαλίδα του υπολοίπου σώματος. Αποτελείται από τον μεσεγκέφαλο, την γέφυρα και τον προμήκη μυελό. Τέλος η αναπνοή, η πέψη, ο βήχας, η αφύπνιση και ο ύπνος, η συχνότητα των καρδιακών παλμών, η πίεση του αίματος, η θερμοκρασία του σώματος, είναι κάποιες από τις ζωτικές λειτουργίες που είναι υπεύθυνο το στέλεχος του εγκεφάλου.
- Την παρεγκεφαλίδα, η οποία εντοπίζεται οπίσθια του εγκεφάλου, καταλαμβάνει καίρια θέση για την στάση του σώματος, την ισορροπία, καθώς και τον συντονισμό των κινήσεων των μυών, αφού μετά την λήψη αισθητικών πληροφοριών, επηρεάζει νευρικές οδούς προκαλώντας ήπιες και συνδυασμένες κινήσεις.

Ο εγκέφαλος επίσης αποτελείται από τέσσερις λοβούς:

- Μετωπιαίος λοβός, ο οποίος εντοπίζεται στο μπροστινό μέρος του εγκεφάλου, οπίσθια του μετωπιαίου οστού και αποτελεί τον μεγαλύτερο λοβό. Σχετίζεται με λειτουργίες όπως αυτές της συνείδησης, της κρίσης στην καθημερινότητα του ανθρώπου, της επίλυσης προβλημάτων, της λήψης αποφάσεων, της συγκέντρωσης, της κίνησης του σώματος (κινητική περιοχή),

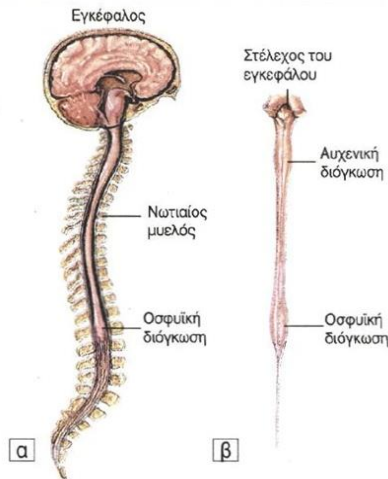
της προσωπικότητας, της συμπεριφοράς και των συναισθημάτων, της ομιλίας και της γραφής (περιοχή Broca).

- Βρεγματικός λοβός, που αποτελείται από τον αριστερό και τον δεξιό. Έχει ρόλο στον χειρισμό πληροφοριών, την κατανόηση γλώσσας και λεκτικών στοιχείων, στην αντίληψη της αφής, του πόνου και της θερμότητας, στην οπτική, χωρική και ακουστική εικόνα, στην ανάλυση κινητικών και αισθητηριακών ενδείξεων, καθώς και στην επεξεργασία σημάτων από την όραση, την ακοή και τη μνήμη.
- Κροταφικός λοβός, που αποτελείται από τον δεξιό και τον αριστερό και βρίσκεται πλάγια κάθε ημισφαιρίου, κοντά στους κροτάφους. Σχετίζεται με την κατανόηση της γλώσσας (περιοχή Wernicke), την μνήμη, την ακοή, την αντίληψη και κατανόηση της γλώσσας, την ακουστική μνήμη, την ακολουθία και την οργάνωση.
- Ινιακός λοβός, ο οποίος εντοπίζεται στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου και σχετίζεται με την ερμηνεία της όρασης (χρώμα, φως, κίνηση), την επεξεργασία των εικόνων και την χωροταξική αναγνώριση.



Εικόνα 7: Οι λοβοί του εγκεφάλου (15).

Ο **νωτιαίος μυελός** αποτελείται από ένα λεπτό, σχεδόν κυλινδρικό σχήμα νευρικού ιστού και λειτουργεί ως προέκταση του εγκεφάλου. Περιβάλλεται κι αυτός από τρεις προστατευτικούς υμένες, τις μήνιγγες, μέσα στο σπονδυλικό σωλήνα. Ο νωτιαίος μυελός ξεκινάει από το επίπεδο του ινιακού τρήματος και εκτείνεται μέχρι περίπου τον δεύτερο οσφυϊκό σπόνδυλο. Από αυτόν προέρχονται τριάντα ένα ζεύγη νωτιαίων νεύρων.



Εικόνα 8: Δομή νωτιαίου μυελού (16).

Το περιφερικό νευρικό σύστημα μπορεί να κατατμηθεί σε σωματικό και αυτόνομο νευρικό σύστημα. Το σωματικό νευρικό σύστημα δραστηριοποιείται εκούσια, υποστηρίζοντας τις αλληλεπιδράσεις με τον εξωτερικό κόσμο και διαχειριζόμενο τις κινήσεις των σκελετικών μυών. Αντίθετα, το αυτόνομο ή σπλαχνικό νευρικό σύστημα επιτελεί τις λειτουργίες του ακούσια, ρυθμίζοντας την δραστηριότητα των εσωτερικών οργάνων, των ιστών και των αδένων.

2.1.1 Δομή και λειτουργία

Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, που όπως αναφέρθηκε αποτελούν τα όργανα του κεντρικού νευρικού συστήματος, αποτελούνται από νευρικό ιστό. Στο νευρικό σύστημα υπάρχουν δυο διακριτές ποικιλίες κυττάρων, τα νευρικά κύτταρα ή αλλιώς νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα. Ο νευρώνας αποτελεί την δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος και η κύρια ιδιότητα του είναι να αντιδρά σε συγκεκριμένες μεταβολές που συμβαίνουν στο περιβάλλον πχ σε μεταβολές έντασης του φωτός, του pH, της θερμοκρασίας, της πίεσης κ.α. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, αποδείχτηκε πως τα νευρογλοιακά κύτταρα δεν παίζουν απλώς βοηθητικό ρόλο, αλλά συνεργάζονται με τους νευρώνες για να παραχθούν οι σκέψεις.

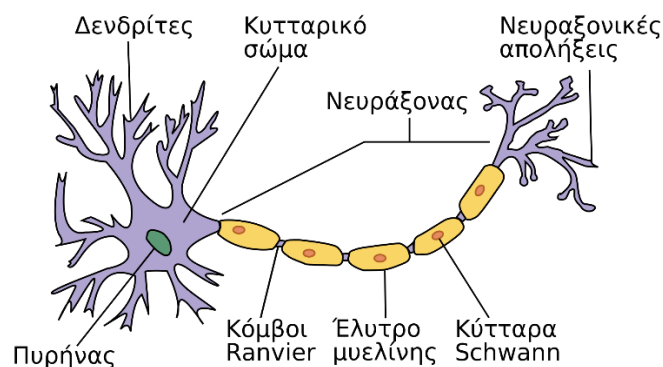
2.1.1.1 Νευρικό κύτταρο – νευρώνας

Κάθε νευρικό κύτταρο αποτελείται από το κυτταρικό σώμα και τις αποφυάδες. Το κυτταρικό σώμα περιλαμβάνει τον πυρήνα και τα οργανίδια του κυττάρου αυτού. Οι αποφυάδες, αποτελούνται από μια κύρια διακλαδούμενη ίνα ή αλλιώς νευράξονα και πολυάριθμες μικρότερες διακλαδιζόμενες ίνες τους λεγόμενους δενδρίτες.

- Οι νευρώνες είναι κύτταρα που ανταποκρίνονται στον ηλεκτρισμό και έχουν ως λειτουργία την επεξεργασία και τη μετάδοση πληροφοριών. Αυτές οι πληροφορίες μεταφέρονται μέσω ασθενών ηλεκτρικών σημάτων, τα οποία ενισχύονται καθώς διέρχονται από τον νευρώνα, με σκοπό την επικοινωνία με το κεντρικό νευρικό σύστημα. Άλλα

χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι νευρώνες εκτός από τις ιδιότητες της αγωγιμότητας και διεγερσιμότητας, είναι ο πολύ μεγάλος χρόνος ζωής τους, η απαίτηση αρκετά μεγάλης ποσότητας ενέργειας για την λειτουργία τους και η παύση της αυτοδιαίρεσης τους με την έναρξη της λειτουργίας τους στο νευρικό σύστημα.

- Οι δενδρίτες χαρακτηρίζονται από πολλαπλές διακλαδώσεις και είναι σχετικά μικροί σε μήκος, ενώ ο νευράξονας μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να εκτείνεται μέχρι και ένα μέτρο. Αυτός επίσης διακλαδίζεται σε πολλές μικρές τελικές απολήξεις, με κάθε μία να καταλήγει σε ένα εξειδικευμένο άκρο.



Εικόνα 9: Η δομή του νευρώνα (17).

Οι νευρώνες όπως φαίνεται και στο σχήμα από πάνω, δομούνται από το κυρίως σώμα (κυτταρικό σώμα), τους δενδρίτες, τον νευράξονα και τις απολήξεις του άξονα. Συνδέονται μεταξύ τους μέσω συνάψεων, όπου το ηλεκτρικό σήμα ενισχύεται. Η πλειονότητα των νευρώνων δέχεται σήματα μέσα από το σώμα και τους δενδρίτες και τα προωθούν μέσω του άξονα, χρησιμοποιώντας βιοχημικούς αγγελιοφόρους για να επικοινωνήσουν με άλλα κύτταρα. Το κυτταρικό σώμα του νευρώνα αποτελεί το μεταβολικό του κέντρο, αφού μέσα σε αυτό περιλαμβάνεται ο πυρήνας και τα ριβοσώματα, το ενδοπλασματικό δίκτυο και το σύστημα Golgi, γεγονός που σημαίνει πως το κύτταρο φέρει τη γενετική πληροφορία και τα μέσα για την παραγωγή πρωτεϊνών. Οι δενδρίτες αποτελούν μικρές και πολλαπλές διακλαδώσεις, μέσω των οποίων γίνεται η εισαγωγή σημάτων στο νευρώνα. Η νευρική ίνα, γνωστή και ως άξονας, είναι μια επέκταση του κυτταρικού σώματος. Το σημείο του άξονα που βρίσκεται κοντύτερα στο κυτταρικό σώμα και το μέρος όπου γίνεται η σύνδεση λέγεται αρχικό τμήμα. Από εκεί, διαδίδονται ηλεκτρικά σήματα που κινούνται μακριά από το κύτταρο και διανύουν τον άξονα. Οι άξονες είναι σημαντικοί στη μετάδοση πληροφοριών στο νευρικό σύστημα. Αν και έχουν μικρή διάμετρο (περίπου 1μm), μπορούν να φτάσουν μεγάλα μήκη, ξεπερνώντας το 1mm. Για παράδειγμα, οι

ΝΕΥΡΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

μεγαλύτεροι άξονες στον άνθρωπο ανήκουν στο ισχιακό νεύρο, ξεκινώντας από τη βάση της σπονδυλικής στήλης και καταλήγοντας στο μεγάλο δάκτυλο του ποδιού. Το απομακρυσμένο άκρο του νευράξονα διαιρείται σε πολλές μικρές διακλαδώσεις δημιουργώντας τα συναπτικά άκρα. Αυτά τα άκρα είτε βρίσκονται κοντά στο κυτταρικό σώμα, είτε κοντά στους δενδρίτες άλλων νευρώνων. Ο άξονας συχνά καλύπτεται από ένα στρώμα μυελίνης, το οποίο δείχνει σημεία διακοπής που ονομάζονται κόμβοι του Ranvier. Οι θήκες μυελίνης μονώνουν τον άξονα, αποτρέποντας την διαρροή ιόντων στην μεμβράνη και βοηθούν στην ταχεία αγωγή ηλεκτρικών σημάτων. Η βασική λειτουργία του νευράξονα είναι η αγωγή σημάτων από ένα νευρώνα σε έναν ή περισσότερους νευρώνες.

Οι νευρώνες κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικούς τύπους ανάλογα με τον αριθμό, το μήκος και τις διακλαδώσεις των αποφυάδων τους (μορφολογική διαφοροποίηση):

- 1) Μονοπολική ή ψευδομονοπολική νευρώνες. Διαθέτουν μια αποφυάδα, πολύ μικρή σε μήκος, η οποία χωρίζεται σε δύο κλάδους, ο ένας εκ των οποίων λειτουργεί ως δενδρίτης. (υπάρχει στα Νωτιαία Γάγγλια).
- 2) Δίπολοι νευρώνες. Από το σώμα του κυττάρου εκφύονται ένας άξονας και ένας δενδρίτης από αντίθετους πόλους. (υπάρχει στα δίπολα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς).
- 3) Πολύπολοι νευρώνες. Σχηματίζονται από έναν άξονα και πολλούς δενδρίτες αποτελώντας την πλειοψηφία των νευρώνων.

Οι νευρώνες διαφοροποιούνται επίσης ως προς την λειτουργία τους:

- ✓ Αισθητικοί νευρώνες. Μεταφέρουν μηνύματα από διάφορες περιοχές του σώματος στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό.
- ✓ Κινητικοί νευρώνες. Μεταφέρουν μηνύματα από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό στους μύες, οι οποίοι αντιδρούν μέσω των συσπάσεων και τους αδένες, οι οποίοι αντιδρούν διαμέσου έκκρισης ουσιών.
- ✓ Ενδιάμεσοι νευρώνες. Οι ενδιάμεσοι νευρώνες βρίσκονται μόνο στον εγκέφαλο και στον νωτιαίο μυελό και μπορούν να κάνουν μόνο 2 λειτουργίες:
 - Παραλαμβάνουν τα μηνύματα από τους αισθητικούς νευρώνες, τα μεταφέρουν και τα κατευθύνουν στις κατάλληλες περιοχές του νωτιαίου μυελού ή του εγκεφάλου.
 - Παραλαμβάνουν τα μηνύματα από μια περιοχή του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού και τα μεταφέρουν σε μια άλλη περιοχή παραδίδοντάς τα στους κινητικούς νευρώνες.

2.1.1.2 Τα νευρογλοιακά κύτταρα

Τα νευρογλοιακά κύτταρα έχουν διάφορα σχήματα και ειδικές λειτουργίες, όπως είναι η στήριξη και η προστασία που παρέχουν στους νευρώνες του εγκεφάλου, καθώς και η διατήρηση της ομοιόστασης. Ο όρος “νευρογλοιακά” προέρχεται από τα

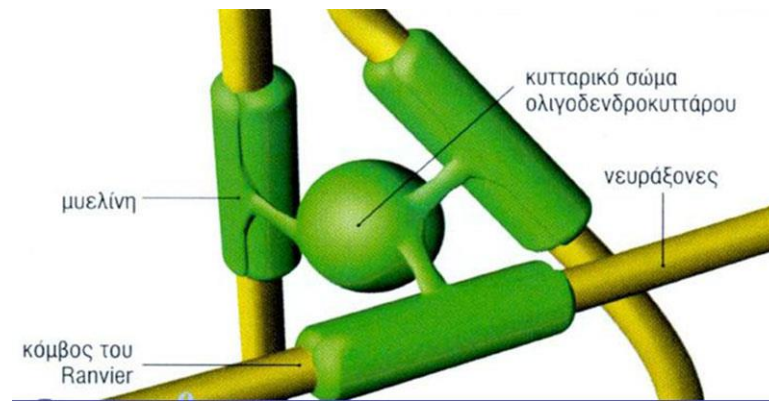
συνθετικά νεύρο και γλοία που είναι η κόλλα, δίνοντας νόημα στην ιδιότητα τους να “κολλάνε” γύρω από τα νευρικά κύτταρα, περιβάλλοντας τον νευράξονα των περισσότερων από αυτά.

Λειτουργίες νευρογλοιακών κυττάρων:

- Παροχή θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου στους νευρώνες.
- Εξουδετέρωση και απομάκρυνση άχρηστων και παθογόνων συστατικών από τον νευρώνα.
- Απομάκρυνση νεκρών νευρώνων.
- Περιβάλλοντας τον νευράξονα συμβάλλουν στη μόνωσή του και επιταχύνουν τη μεταφορά των νευρικών ώσεων.
- Απομόνωση νευρώνων από τους γειτονικούς τους, κρατώντας σταθερή τη θέση τους χωροταξικά.

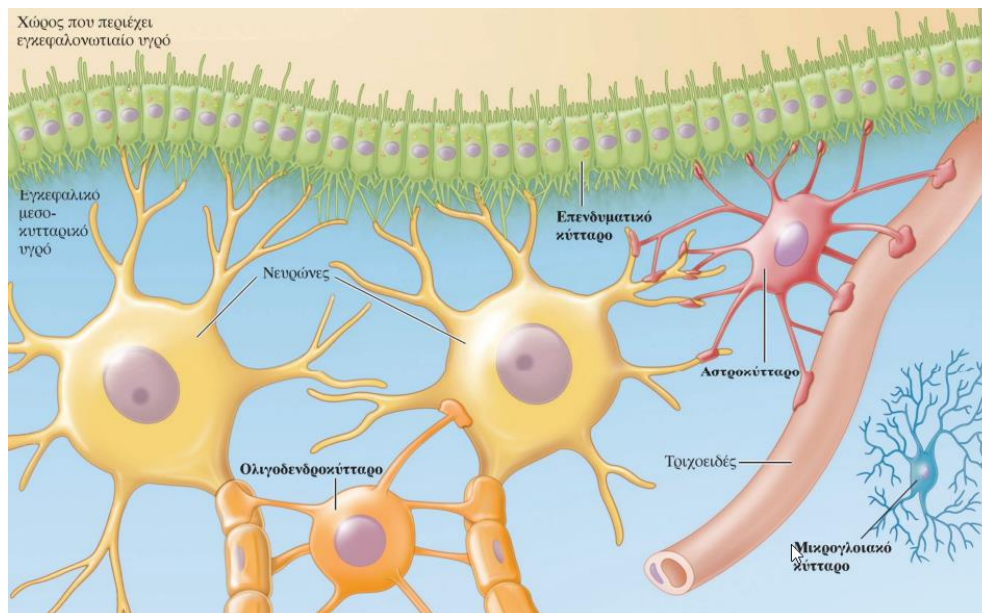
Τα είδη των νευρογλοιακών κυττάρων είναι τα εξής:

- Μικρογλοία. Αποτελούν τα ανοσοκύτταρα ενός νευρικού συστήματος και διατηρούν την ομοιοστασία του. Επί της ουσίας βοηθάνε το ανοσοποιητικό σύστημα ώστε να αναγνωρίσει ξένους εισβολείς και λοιμώξεις, καταπολεμώντας μικροβιακούς παράγοντες και περιορίζοντας τις βλάβες των νευρώνων. Εκτός από την ανίχνευση και την καταπολέμηση των βλαβερών παραγόντων, συμμετέχουν στην επιδιόρθωση και την αναγέννηση των νευρικών ιστών μετά από βλάβη. (18).
- Αστρογλοία ή γνωστά και ως αστροκύτταρα έχουν σχήμα αστεροειδές και είναι το πολυπληθέστερο είδος. Τα συγκεκριμένα κύτταρα καταστρέφουν τα νεκρά κύτταρα, πιάνοντας τα με την βοήθεια των ποδιών τους, που μαζεύουν και απλώνουν, καταλήγοντας στην αποσύνθεση τους. Η διαδικασία που αναφέρθηκε είναι γνωστή με τον όρο φαγοκυττάρωση. Επιπλέον, έχουν υποστηρικτικό ρόλο και συμβάλουν στην προφύλαξη και συντήρηση του αιματοεγκεφαλικού φραγμού (19).
- Ολιγοδενδροκύτταρα. Είναι υπεύθυνα για την παραγωγή της μυελίνης στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Η μυελίνη αποτελεί μια λιπαρή ουσία, που περιβάλλει και μονώνει τους άξονες των νευρώνων, επιτρέποντας τη γρήγορη και αποδοτική διάδοση των νευρικών παλμών κατά μήκος των νευραξόνων. Κάθε τέτοιο κύτταρα μπορεί να υποστηρίξει την παραγωγή μυελίνης για 50 νευράξονες. Οι διακλαδώσεις των αποφυάδων του ενώνουν τα έλυτρα μυελίνης με το κυτταρικό σώμα (20).



Εικόνα 10: Γεφύρωση ολιγοδενδροκυττάρου και νευράξωνα (21).

- Επενδυματικά κύτταρα. Αποτελούν επιθηλιακού τύπου κύτταρα με κυβοειδές ή κυλινδρικό σχήμα. Είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους, και η παρουσία κροσσών στην επιφάνεια τους διευκολύνει τη διακίνηση του εγκεφαλονωτιαίου υγρού μέσα στις κοιλίες του εγκεφάλου. Η κύρια λειτουργία τους είναι να “επενδύουν” τις εγκεφαλικές κοιλίες και τον κεντρικό σωλήνα του νωτιαίου μυελού. Μπορεί να βοηθούν στην μεταφορά ουσιών από το ΕΝΥ στο αίμα ή να παράγουν και να διατηρούν την κυκλοφορία του ΕΝΥ. Λειτουργούν επίσης ως φραγμός ελέγχοντας τις ουσίες που μπορούν να περάσουν από το αίμα στο ΕΝΥ, προστατεύοντας τον εγκέφαλο από δυνητικά βλαβερές ουσίες.



Εικόνα 11: Τα νευρογλοιακά κύτταρα του κεντρικού νευρικού συστήματος (22).

2.2 Διεργασία των συνάψεων – Νευροδιαβίβαση

Οι συνάψεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα είναι οι δομές που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των νευρικών κυττάρων, ή ανάμεσα σε νευρώνες και άλλους τύπους κυττάρων, όπως μυϊκά κύτταρα ή κύτταρα στους αδένες. Στο ΚΝΣ, οι συνάψεις παίζουν κρίσιμο ρόλο στην επεξεργασία, αποθήκευση και ανάκληση πληροφοριών, και επηρεάζουν σημαντικά τόσο την αναγνωριστική όσο και τη συμπεριφορική λειτουργία.

Υπάρχουν δυο βασικά είδη συνάψεων στο ΚΝΣ:

- Χημικές συνάψεις: Αυτές είναι οι πιο κοινές συνάψεις στο ΚΝΣ. Περιλαμβάνουν την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών από τον προσυναπτικό νευρώνα, οι οποίοι διασχίζουν το συναπτικό χάσμα και δεσμεύονται σε ειδικούς υποδοχείς στη μεμβράνη του μετασυναπτικού νευρώνα, προκαλώντας συναπτικά δυναμικά που επηρεάζουν την πιθανότητα εκπομπής δυναμικού δράσης.
- Ηλεκτρικές συνάψεις: Στις ηλεκτρικές συνάψεις, οι μεμβράνες των δύο νευρώνων βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη, επιτρέποντας την άμεση μεταφορά ιόντων και άλλων μορίων μέσω καναλιών που ονομάζονται συναπτικά κενά. Αυτό επιτρέπει την γρήγορη και συγχρονισμένη μετάδοση σημάτων μεταξύ των κυττάρων.

Οι συνάψεις αποτελούν κρίσιμα στοιχεία στη νευρωνική επικοινωνία και αναπτύσσονται από τρεις βασικές δομές:

1. Το προσυναπτικό τμήμα, το οποίο φιλοξενεί τους νευροδιαβιβαστές.
2. Τη συναπτική σχισμή, που αποτελεί το χώρο μεταξύ των δύο νευρώνων.
3. Το μετασυναπτικό τμήμα, το οποίο διαθέτει τις υποδοχείς για τους νευροδιαβιβαστές.

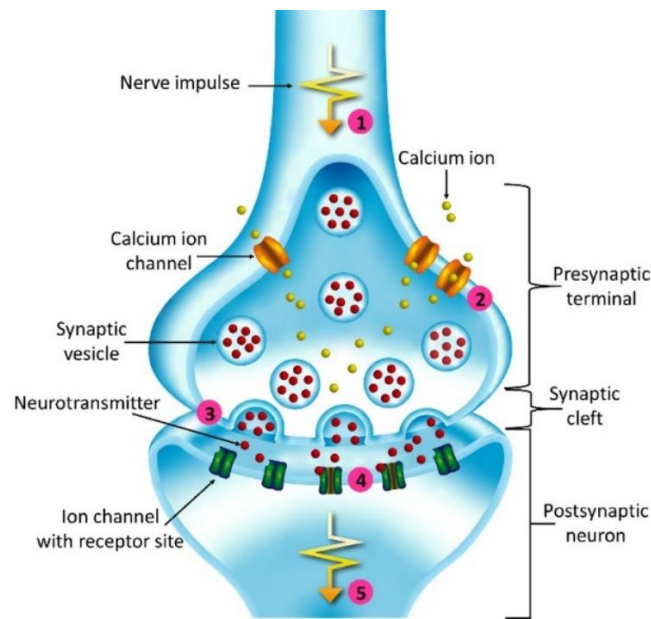
Καθώς ένα ηλεκτρικό σήμα διανύει το μήκος του αξονικού νήματος ενός νευρώνα, ενεργοποιεί την απελευθέρωση των νευροδιαβιβαστικών κυστιδίων στο προσυναπτικό τέλος. Τα κυστίδια αυτά συγχωνεύονται με την προσυναπτική μεμβράνη και εκτοξεύουν τους νευροδιαβιβαστές στο συναπτικό χάσμα. Εκεί, αυτοί οι χημικοί διαμεσολαβητές περνούν τη συναπτική σχισμή και προσδένονται στα αντίστοιχα σημεία υποδοχής στο μετασυναπτικό κύτταρο, προκαλώντας την παραγωγή ενός νέου ηλεκτρικού σήματος, το δυναμικό δράσης.

Πιο αναλυτικά, οι συνάψεις παίζουν τον ρόλο του διαμεσολαβητή στην επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων, επιτρέποντας την ενδοκυτταρική μετάδοση πληροφοριών. Καθώς ένα νευρικό σήμα φτάνει στο άκρο ενός νευρώνα, δεν μπορεί να μεταβεί αυτομάτως σε ένα άλλο κύτταρο. Αντίθετα, αυτό το σήμα θα πρέπει να διεγείρει την

απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, τα οποία στη συνέχεια διαπερνούν τη σύναψη και μεταφέρουν το μήνυμα στον ακόλουθο νευρώνα, όπου η πλασματική μεμβράνη του εκπέμποντος νευρώνα (προσυναπτική) βρίσκεται σε κοντινή επαφή με αυτή του δέκτη νευρώνα (μετασυναπτική). Και οι δύο πλευρές της σύναψης είναι εξοπλισμένες με πολύπλοκους μοριακούς μηχανισμούς που διευκολύνουν την επικοινωνία και την παραγωγή σηματοδότησης. Αφού οι νευροδιαβιβαστές απελευθερωθούν, αυτοί οι χημικοί διαμεσολαβητές ταξιδεύουν μέσα από το συναπτικό χάσμα και ενώνονται με ειδικούς υποδοχείς στο κύτταρο-παραλήπτη. Οι εν λόγω υποδοχείς και οι νευροδιαβιβαστές αλληλεπιδρούν με τον τρόπο που μια κλειδαριά ανταποκρίνεται σε ένα κλειδί. Συχνά, το προσυναπτικό μέρος εντοπίζεται στο τέλος ενός αξονικού ινώματος, ενώ το μετασυναπτικό μπορεί να βρίσκεται σε έναν δενδρίτη ή ακόμα και στο κυτταρικό σώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται αλλαγές στο μεμβρανικό δυναμικό των δενδριτών, είτε αφαιρώντας είτε ενισχύοντας την πιθανότητα διέγερσης ανάλογα με τον τύπο της σύναψης (αναστέλλουσα ή ερεθίζουσα). Εν συνεχεία, το δυναμικό αυτό θα αθροιστεί με όλα τα δυναμικά που έχουν παραχθεί στις συνάψεις των δενδριτών που διεγείρονται ταυτόχρονα. Αν το άθροισμα αυτών ξεπεράσει την τιμή κατωφλίου (-50mVolt), τότε θα παραχθεί ένα νέο δυναμικό δράσης και η διαδικασία θα συνεχίσει προς τον επόμενο νευρώνα. Ανάλογα με τη φύση της αλληλεπίδρασης, οι νευροδιαβιβαστές μπορούν να ενεργοποιήσουν ή να απενεργοποιήσουν τον επόμενο νευρώνα και έτσι καθίστανται δυνατή η επικοινωνία και μετάδοση της πληροφορίας σε όλο το νευρικό σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η αντίδραση σε εξωτερικά ερεθίσματα και ο έλεγχος της σωματικής λειτουργίας και συμπεριφοράς (23).

Στην Εικόνα 12 απεικονίζεται το διάγραμμα με την ακολουθία της συναπτικής μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα:

1. Καταφθάνει ένα νευρωνικό σήμα.
2. Αυτό ενεργοποιεί την ανοικτή κατάσταση των ασβεστιακών καναλιών, οδηγώντας σε εισροή ιόντων ασβεστίου στην τερματική περιοχή.
3. Η διεργασία αυτή προκαλεί την ενσωμάτωση των συναπτικών κυστιδίων στη μεμβράνη του τερματικού, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση του νευροδιαβιβαστή στην περιοχή ανάμεσα στα νευρικά κύτταρα, γνωστή ως συναπτική σχισμή.
4. Οι νευροδιαβιβαστές στη συνέχεια προσδένονται στα σημεία υποδοχής των ιοντικών καναλιών στη μετασυναπτική μεμβράνη, οδηγώντας στην ανοικτή κατάσταση τους.
5. Καθώς τα ιόντα κινούνται προς το εσωτερικό του μετασυναπτικού νευρώνα, δημιουργείται ένα δυναμικό δράσης όταν φτάσει στο κρίσιμο επίπεδο.



Εικόνα 12: Διάγραμμα συναπτικής μετάδοσης (24).

2.3 Η πηγή του ΗΕΓ

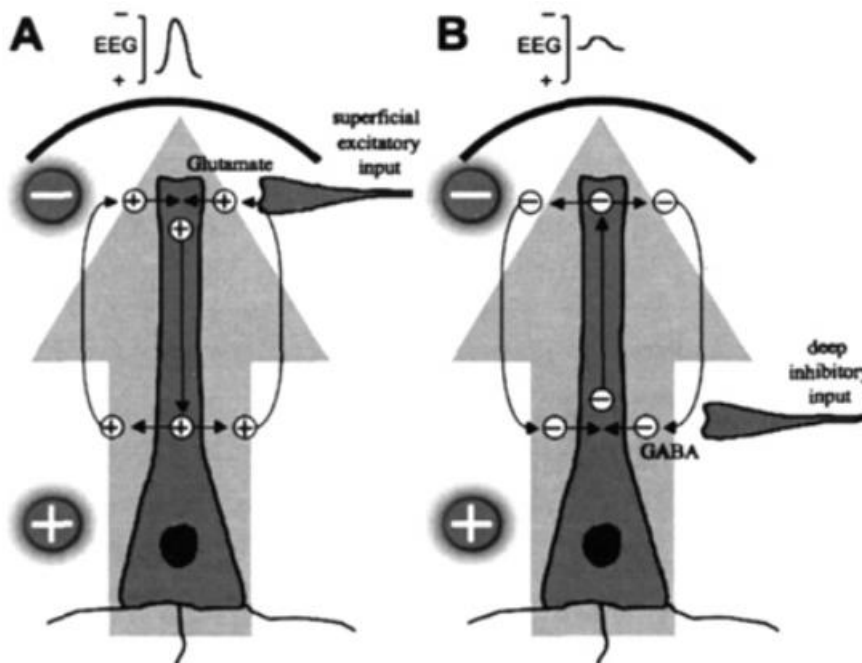
Οι πυραμιδικοί νευρώνες είναι κάθετοι την επιφάνεια του φλοιού, έχουν μοναδική δομή με μακρούς δενδρίτες, και είναι ιδανικά δίπολα για καταγραφές ΗΕΓ. Ο προσανατολισμός αυτών των διπόλων καθορίζεται από τη θέση των συναπτικών εισόδων, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται επιφανειακά ή βαθιά μέσα στον φλοιό. Αυτή η δομή και η τοποθεσία επηρεάζουν τη δημιουργία εξωκυτταρικών δυναμικών, τα οποία είναι κρίσιμα για τα σήματα του ΗΕΓ.

Κύριοι Μηχανισμοί:

- Διεγερτικές Συνάψεις: Περιλαμβάνουν την εισροή κατιόντων όπως το Na^+ και Ca^{2+} , οδηγώντας σε διεγερτικά μετασυναπτικά δυναμικά (EPSP). Αυτά διαδίδονται κατά μήκος του δενδρίτη, προκαλώντας χωρητική απελευθέρωση θετικών φορτίων και δημιουργώντας έναν δίπολο με συγκεκριμένο δυναμικό στο τριχωτό της κεφαλής. Οι επιφανειακές διεγέρσεις προκαλούν αρνητικά δυναμικά στο τριχωτό (και ανοδικές αποκλίσεις στο ΗΕΓ), ενώ οι βαθιές διεγέρσεις προκαλούν θετικά δυναμικά (και καθοδικές αποκλίσεις).
- Ανασταλτικές Συνάψεις: Λειτουργούν μέσω εισροής Cl^- ή εκροής K^+ , προκαλώντας τοπική θετικότητα και απομακρυσμένη αρνητικότητα. Αυτό επίσης δημιουργεί ένα δίπολο, αλλά με αντίθετη πολικότητα στο τριχωτό σε σύγκριση με τις διεγερτικές συνάψεις. Οι αναστολές σε βαθύτερα στρώματα οδηγούν σε αρνητική πολικότητα στο τριχωτό, ενώ οι επιφανειακές αναστολές προκαλούν θετική πολικότητα.

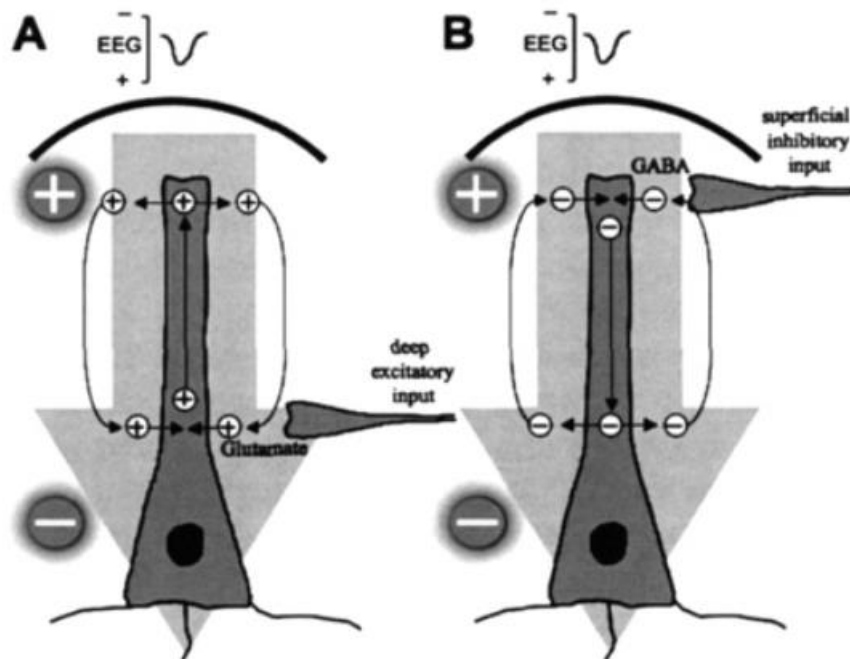
ΝΕΥΡΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

Παρατηρώντας την Εικόνα 13 οι ανοδικές (αρνητικές) αποκλίσεις προκύπτουν είτε από επιφανειακές διεγερτικές εισόδους (Α) είτε από βαθιές ανασταλτικές εισόδους (Β) στους πυραμιδικούς νευρώνες. Μια επιφανειακή διεγερτική είσοδος (Α) προκαλεί την εισροή θετικών ιόντων, δημιουργώντας αρνητική πολικότητα στον εξωκυτταρικό χώρο. Τα θετικά φορτία διαδίδονται μέσα στον δενδρίτη και μέσω χωρητικής εκροής κατά μήκος του δενδρίτη προκαλούν θετικότητα εξωκυτταρικά σε απόσταση από τη σύναψη στο σώμα του νευρώνα. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα δίπολο με αρνητική πολικότητα στο τριχωτό της κεφαλής, το οποίο καταγράφεται ως ανοδική απόκλιση. Παρόμοιο δίπολο εντοπίζεται και κατά τη δράση μιας βαθιάς ανασταλτικής σύναψης (Β). Σε αυτή την περίπτωση, ένα εισερχόμενο ρεύμα αρνητικών φορέων προκαλεί εξωκυτταρική θετικότητα, ενώ η χωρητική εξερχόμενη ροή κατά μήκος του δενδρίτη δημιουργεί αρνητική εξωκυτταρική πολικότητα στο τριχωτό της κεφαλής. Ωστόσο, το κύμα του ΗΕΓ που προκύπτει από βαθιά ανασταλτική είσοδο είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό από επιφανειακή διεγερτική είσοδο, καθώς η πηγή βρίσκεται πιο μακριά από το τριχωτό της κεφαλής και οι φορείς φορτίου έχουν μικρότερη ηλεκτροχημική κλίση.



Εικόνα 13: Απεικόνιση μιας αρνητικής (ανοδικής) απόκλισης (25).

Η ίδια ακριβώς διαδικασία συμβαίνει και για τις θετικές (προς τα κάτω) αποκλίσεις, οι οποίες οφείλονται σε βαθιές διεγερτικές εισόδους (Α) ή σε επιφανειακές ανασταλτικές εισόδους (Β) στους πυραμιδικούς νευρώνες.



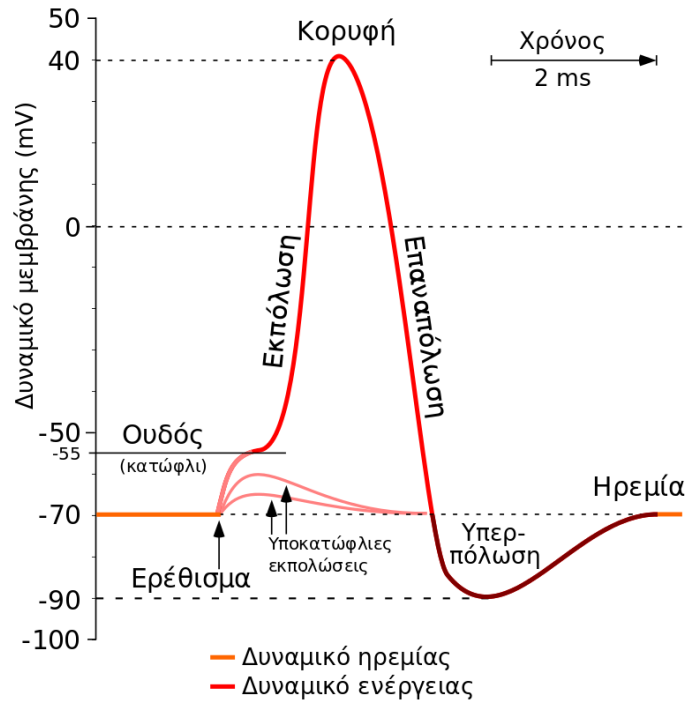
Εικόνα 14: Απεικόνιση μιας θετικής (καθοδικής) απόκλισης (25).

2.4 Το δυναμικό της μεμβράνης

Η μεμβράνη είναι μια λεπτή δομή που αποτελείται από διπλά στρώματα λιπιδίων και πρωτεϊνών και αποτελεί τον κύριο χώρο περιορισμού και επικοινωνίας για τα κύτταρα. Σε οργανισμούς, οι μεμβράνες έχουν πολλαπλούς ρόλους, όπως ο χωρισμός των εσωτερικών κυτταρικών δομών, η ρύθμιση της μεταφοράς ιόντων και μορίων μέσω καναλιών και μεταφορέων, καθώς και η μετάδοση σημάτων.

Το δυναμικό της μεμβράνης αναφέρεται στην ηλεκτρική διαφορά τάσης μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης, που οφείλεται στις ιοντικές συγκεντρώσεις. Στη βιοφυσική, αυτό το δυναμικό μπορεί να είναι γνωστό και ως δυναμικό κυττάρων. Σε διάφορα μέρη της μεμβράνης, υπάρχει ένα μη μηδενικό "διαμεμβρανικό" δυναμικό. Στα νευρικά κύτταρα, αλλαγές στο δυναμικό μπορούν να πραγματοποιηθούν τοπικά στις συνάψεις.

Τα κύτταρα σε ηρεμία διατηρούν μία διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης. Συνήθως, το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικά φορτισμένο σε σχέση με το εξωτερικό. Το δυναμικό μπορεί να αλλάξει από την κατάσταση ηρεμίας μέσω εκπόλωσης, όπου γίνεται λιγότερο αρνητικό, ή υπερπόλωσης, όπου γίνεται περισσότερο αρνητικό. Η επιστροφή της μεμβράνης στην αρχική της κατάσταση ονομάζεται επαναπόλωση (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Δυναμικά μεμβράνης (26).

2.4.1 Το δυναμικό ηρεμίας

Το δυναμικό ηρεμίας ενός κυττάρου επι της ουσίας δεν είναι τίποτε άλλο παρα η διαφορά τάσεως μεταξύ δυο περιοχών της μεμβράνης. Για να υπολογιστεί σωστά η τάση αυτή, δεν θα πρέπει να υπάρχουν άλλα δυναμικά ή μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης εκείνη την στιγμή. Η τιμή μέτρησης εκείνη την χρονική στιγμή θα είναι της τάξεως των -70 mVolt (Εικόνα 1512).

Το δυναμικό ηρεμίας δημιουργείται με τον εξής τρόπο. Στους εξωκυττάριους και ενδοκυττάριους χώρους υπάρχουν ίσα ποσά αρνητικών και θετικών φορτισμένων ιόντων. Τα θετικά ιόντα ονομάζονται κατιόντα, ενώ τα αρνητικά ανιόντα. Εξωκυτταρικά, το νάτριο (Na^+) είναι το κυρίως κατιόν και το χλώριο (Cl^-) το κυρίως ανιόν. Ενδοκυτταρικά, το καλίου (K^+) είναι το κύριο κατιόν, ενώ διαφορετικά οργανικά ιόντα είναι τα κυριότερα ανιόντα. Και οι δύο υγροί χώροι είναι ηλεκτρικά ουδέτεροι, με ίσο αριθμό θετικών και αρνητικών φορτίων. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια διαφορά στον αριθμό των φορτίων κοντά στην κυτταρική μεμβράνη, δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού στις δυο πλευρές της (27).

2.4.2 Κατάσταση ισορροπίας

Η "κατάσταση ισορροπίας" αναφέρεται στην τάση της κυτταρικής μεμβράνης όταν ένα συγκεκριμένο ιόν είναι σε ισορροπία. Σε αυτήν την τάση, η ηλεκτρική δύναμη από το φορτίο των ιόντων, που εμποδίζει την εξωτερική διάχυσή τους, εξισώνεται σε μέγεθος, αλλά είναι αντίθετη σε πρόσημο με την διάχυση των ιόντων προς τα έξω. Σε

αυτήν την κατάσταση, οι ροές του ιόντος είναι ισορροπημένες και ίδιες προς και από τη μεμβράνη. Το δυναμικό ισορροπίας για το κάθε ιόν καθορίζεται από τη συγκέντρωσή του, το pH του κυττάρου και τη θερμοκρασία του. Για παράδειγμα, το δυναμικό ισορροπίας για το κάλιο E_K είναι -80 mV (αρνητικό εντός του κυττάρου), ενώ για το νάτριο E_{Na} είναι $+60$ mV (θετικό εντός του κυττάρου). Το διαφορετικό πρόσημο αυτών των δυναμικών οφείλεται στην θέση και την τάση διάχυσης των ιόντων (ενδοκυττάριο για K^- και εξωκυττάριο για Na^+) (28).

2.4.3 Βαθμωτά δυναμικά

Τα βαθμωτά δυναμικά αποτελούν έναν δείκτη του δυναμικού μέσα στην κυτταρική μεμβράνη και είναι κρίσιμα για τους νευρώνες, ιδιαίτερα όταν δεν εκδηλώνεται δράση. Όταν τα δυναμικά αυτά αυξάνουν το δυναμικό της μεμβράνης (εκπόλωση) πέραν του δυναμικού ηρεμίας, τότε λειτουργούν ως "δυναμικά σκανδαλισμού" που μπορούν να διαδοθούν σε όλη την επιφάνεια του νευρικού κυττάρου, ενεργοποιώντας άλλα δυναμικά. Αντίθετα, όταν μειώνουν το δυναμικό κάτω από το δυναμικό ηρεμίας (υπερπόλωση), καταστέλλουν την παραγωγή ενεργών δυναμικών. Τα βαθμωτά δυναμικά μπορεί να εμφανιστούν είτε σε τμήματα των κυττάρων που υπηρετούν ως αισθητήριοι δέκτες είτε στις συνάψεις, γνωστά ως δυναμικά υποδοχέων και συναπτικά δυναμικά αντίστοιχα. Στο σημείο προέλευσής τους, τα δυναμικά είναι πιο έντονα και μειώνονται καθώς απομακρύνονται από αυτό.

2.4.4 Ενεργά δυναμικά

Τα ενεργά δυναμικά αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο για τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των ιστών, καθώς και εντός αυτών. Αν και δημιουργούνται σε διάφορα είδη κυττάρων, όπως τα κύτταρα του μυοκαρδίου, η κύρια χρήση τους είναι στο νευρικό σύστημα για την επικοινωνία μεταξύ νευρώνων, μυών και αδένων. Εν αντιθέσει με τα βαθμωτά δυναμικά, τα ενεργά δυναμικά έχουν την ικανότητα να διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, επιτρέποντας, για παράδειγμα, στον εγκέφαλο να αντιληφθεί την αίσθηση του πόνου σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα.

Τα ενεργά δυναμικά περνούν από διάφορες φάσεις, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- **Δυναμικό Ηρεμίας:** Η διάχυση ιόντων καλίου εκτός κυττάρου δημιουργεί διαφορά δυναμικού μέσω της κυτταρικής μεμβράνης, με αρνητικό φορτίο στο εσωτερικό του κυττάρου.
- **Διέγερση:** Ένα διεγερτικό ερέθισμα προκαλεί τοπική αποπόλωση των μεμβρανών, ανοίγοντας τα κανάλια νατρίου, επιτρέποντας την είσοδο θετικά φορτισμένων ιόντων νατρίου, τα οποία αντιστρέφουν τη διαφορά δυναμικού.

ΝΕΥΡΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

- **Ανοδική Φάση:** Η αυξανόμενη εισροή ιόντων νατρίου ανοίγει περισσότερα κανάλια νατρίου, καθιστώντας το εσωτερικό της μεμβράνης θετικά φορτισμένο.
- **Αιχμή:** Στα +30 mV, τα κανάλια νατρίου κλείνουν, ενώ τα κανάλια καλίου αρχίζουν να ανοίγουν.
- **Καθοδική Φάση:** Η εξόδου των ιόντων καλίου προκαλεί την επαναπόλωση της μεμβράνης, επιστρέφοντας το νευρώνα στην κατάσταση δυναμικού ηρεμίας.
- **Undershoot:** Τα κανάλια καλίου κλείνουν με καθυστερημένη αντίδραση, προκαλώντας μια προσωρινή περαιτέρω μείωση του δυναμικού της μεμβράνης κάτω από το επίπεδο του δυναμικού ηρεμίας.

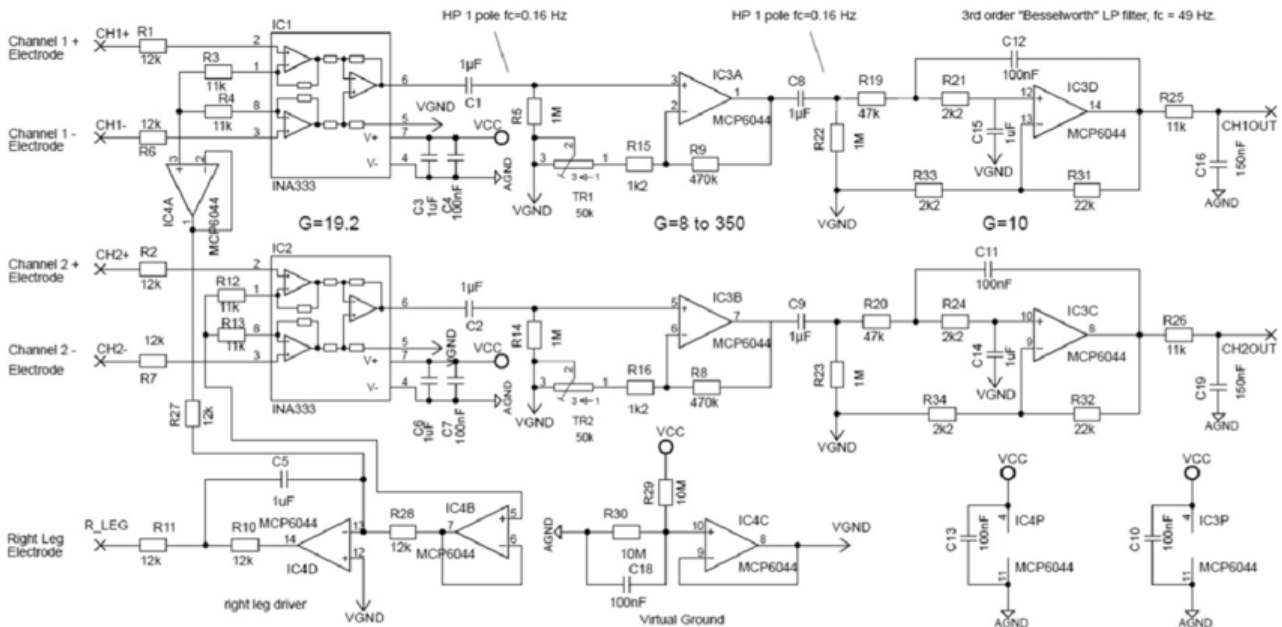
Όταν μια αρχική εκπόλωση πλησιάζει ένα κατώφλι, προκαλούνται τα ενεργά δυναμικά. Η τιμή αυτού του κατωφλίου είναι κατά προσέγγιση 15 mVolts υψηλότερη από το δυναμικό της μεμβράνης του κυττάρου και διαπιστώνεται όταν το εσωτερικό ρεύμα νατρίου υπερβαίνει το εξωτερικό ρεύμα καλίου. Η είσοδος των θετικών φορτίων που μεταφέρονται από τα ιόντα νατρίου εκπολώνει περαιτέρω το δυναμικό της μεμβράνης, οδηγώντας στο άνοιγμα περισσότερων καναλιών νατρίου. Αυτή η διαδικασία υποστηρίζει την αύξηση του εσωτερικού ρεύματος και προκαλεί περαιτέρω αποπόλωση, δημιουργώντας έναν κύκλο θετικής ανατροφοδότησης, που οδηγεί το δυναμικό της μεμβράνης σε υψηλά εκπολωμένο επίπεδο.

Είναι συνηθισμένο το κατώφλι για την έναρξη του ενεργού δυναμικού να συγχέεται με το "κατώτατο όριο" για το άνοιγμα των καναλιών νατρίου, ωστόσο, αυτό είναι λανθασμένο. Τα κανάλια νατρίου δεν διαθέτουν κατώτατο όριο, αλλά ανοίγουν στοχαστικά. Η εκπόλωση δεν προκαλεί τόσο το άνοιγμα του καναλιού, αλλά αυξάνει την πιθανότητα αυτό να βρίσκεται σε ανοικτή κατάσταση. Ακόμη και σε συνθήκες υπερπόλωσης, ένα κανάλι νατρίου ανοίγει εξαιρετικά περιστασιακά. Επιπλέον, το κατώφλι για ένα ενεργό δυναμικό δεν συνδέεται με την τάση κατά την οποία το ρεύμα νατρίου αυξάνει, αλλά με το σημείο όπου υπερβαίνει το ρεύμα καλίου. Στους νευρώνες, βιολογικά, η εκπόλωση προκύπτει στις συνάψεις, εντός των δενδριτών.

3 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 Οργανολογία ΗΕΓ

Ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος (ΗΕΓ) διαθέτει ένα σύστημα λειτουργίας που παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με αυτό του ηλεκτροκαρδιογράφου (ΗΚΓ), όσον αφορά την καταγραφή και την ανάλυση των ηλεκτρικών σημάτων. Η σύνδεση του ΗΕΓ με τον ασθενή επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ειδικά διαμορφωμένων ηλεκτροδίων, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να μετατρέπουν τις ιοντικές ροές του εγκεφάλου σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτά τα σήματα στη συνέχεια αποστέλλονται σε έναν διαφορικό ενισχυτή ή αλλιώς ενισχυτή οργανολογίας (INA333), όπου υφίστανται διεργασίες ενίσχυσης και κανονικοποίησης για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας του σήματος (βλ. Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα ενός ΗΕΓ 2 καναλιών .) (29).



Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα ενός ΗΕΓ 2 καναλιών (29).

Για να αφαιρέσουν το θόρυβο και να διατηρήσουν την ακεραιότητα του χρήσιμου σήματος, χρησιμοποιούνται διάφορα είδη φίλτρων:

- Τα ζωνοπερατά φίλτρα για την απόρριψη συχνοτήτων εκτός του επιθυμητού εύρους.
- Τα χαμηλοπερατά φίλτρα για την αποκοπή υψηλών συχνοτήτων.
- Τα υψιπερατά φίλτρα για την αποκοπή χαμηλών συχνοτήτων.

Κατόπιν, το σήμα οδηγείται σε μια μονάδα ψηφιοποίησης αναλογικού σε ψηφιακό (ADP), όπου μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή για ευκολότερη επεξεργασία και

ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

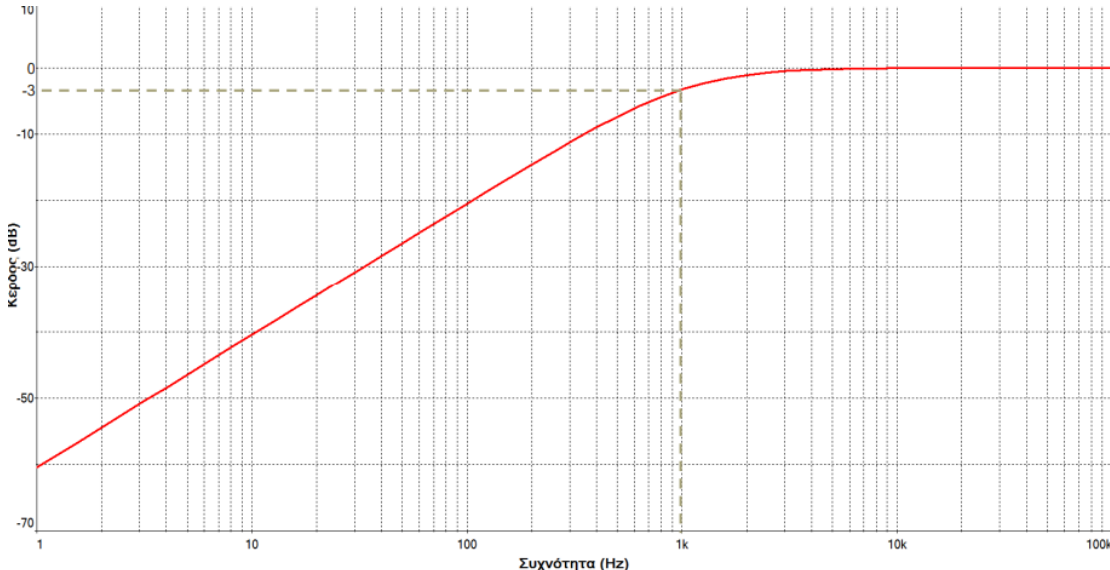
ανάλυση. Το ψηφιακό σήμα ύστερα περνά από έναν μικροελεγκτή, ο οποίος επεξεργάζεται και αναλύει τα δεδομένα. Υπο την μορφή ψηφιακού σήματος, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί κάθε είδους μορφής επεξεργασίας στο σήμα. Έπειτα, μια βαθμίδα ψηφιακού σε αναλογικό μετατροπέα (DAC) μετατρέπει το επεξεργασμένο ψηφιακό σήμα πίσω σε αναλογική μορφή, επιτρέποντας την οπτική ή άλλη μορφή απεικόνιση των εγκεφαλικών δραστηριοτήτων του ασθενούς, όπως για παράδειγμα εκτύπωση κτλ.

3.2 Φίλτρα ΗΕΓ

Υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί παράγοντες που μπαίνουν «εμπόδιο» στην σωστή καταγραφή ενός σήματος ΗΕΓ. Μερικοί από τους παράγοντες αυτούς μπορεί να είναι ο ιδρώτας του υπό εξέταση ατόμου, το ανοιγόκλειμα των ματιών αλλά και ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή από άλλες συσκευές στον χώρο. Για να την αποφυγή τέτοιου είδους παρεμβολών, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα φίλτρα για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση ή ακόμα και αποκλεισμού των θορύβων αυτών.

3.2.1 Υψιπερατό φίλτρο

Τα συγκεκριμένα φίλτρα χρησιμοποιούνται ώστε να επιτρέπουν σήματα με συχνότητα μεγαλύτερη από την ορισμένη τιμή συχνότητας αποκοπής. Χρησιμοποιείται στο ΗΕΓ για την διόρθωση του θορύβου που προκαλείται από τον ιδρώτα στα ηλεκτρόδια.

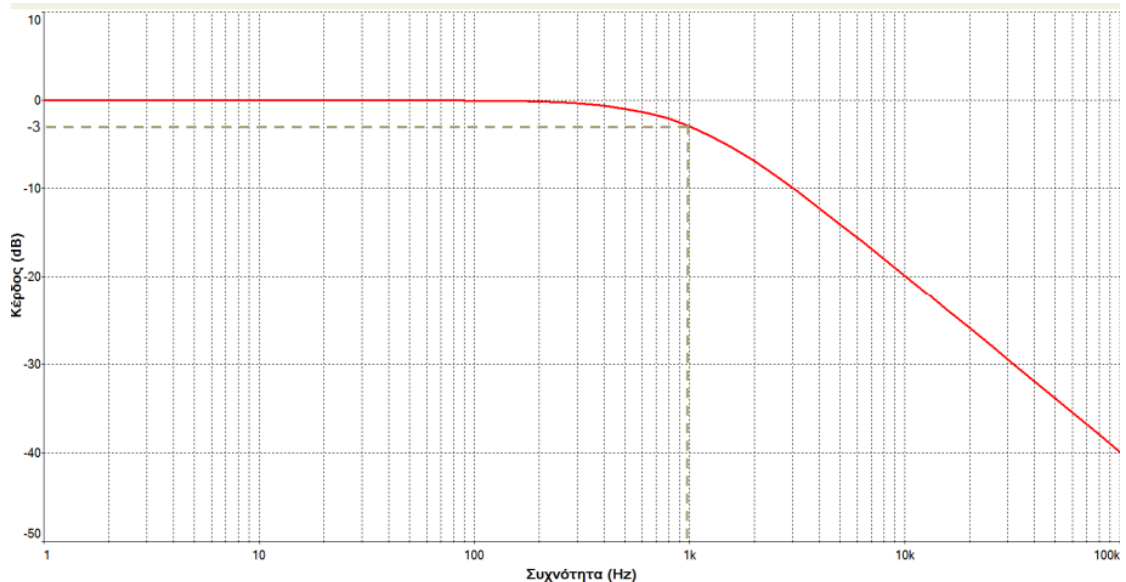


Εικόνα 17: Υψιπερατό φίλτρο (30).

3.2.2 Βαθυπερατό φίλτρο

Τα συγκεκριμένα φίλτρα χρησιμοποιούνται ώστε να επιτρέπουν σήματα με συχνότητα μικρότερη από την ορισμένη τιμή συχνότητας αποκοπής. Χρησιμοποιείται για την διόρθωση των παρεμβολών που πραγματοποιούνται από την κίνηση των

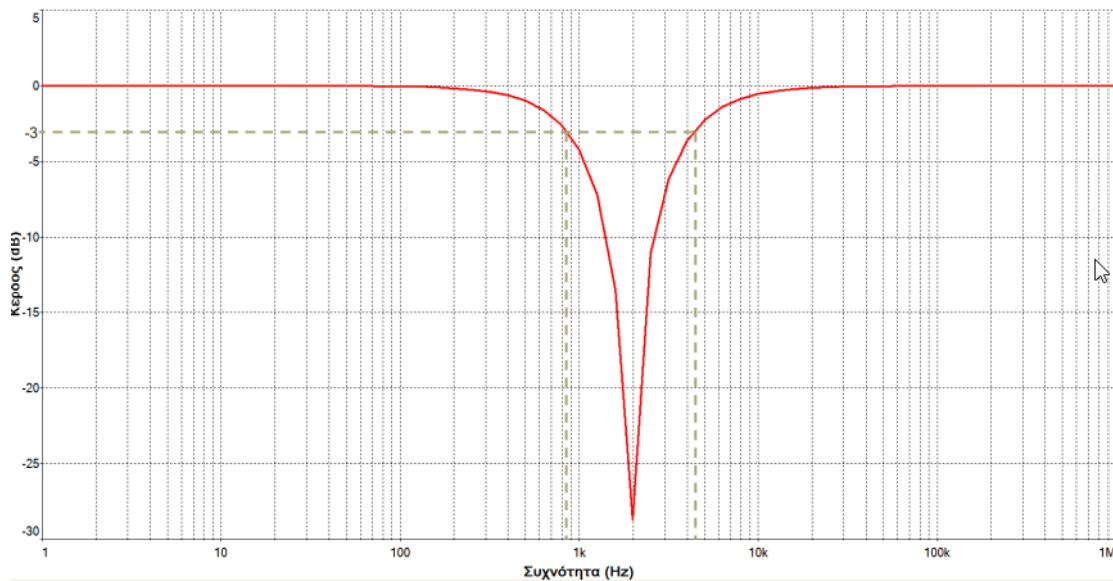
ανθρωπίνων μυών. Συνήθως η συχνότητα των σημάτων αυτών ξεπερνάει τα 100 Hz. Άρα η τιμή αποκοπής είναι στα 100 Hz. Η ακόλουθη εικόνα δεν ανταποκρίνεται στην αποκοπή των τιμών μεγαλύτερο από 100 Hz αλλά παρουσιάζει τη γενικότερη λειτουργία του φίλτρου.



Εικόνα 18: Βαθυπερατό φίλτρο (30).

3.2.3 Ζωνοπερατό φίλτρο

Τα συγκεκριμένα φίλτρα που ονομάζονται ζωνοφρακτικά χρησιμοποιούνται ώστε να μην επιτρέπουν σήματα μεταξύ 2 συχνοτήτων που ονομάζονται συχνότητες αποκοπής. Χρησιμοποιείται για την διόρθωση των παρεμβολών που προέρχονται από ηλεκτρικές συσκευές ή πρίζες και καλώδια τροφοδοσίας που υπάρχουν στον χώρο. Η συχνότητα αυτή εντοπίζεται στα 50 Hz και το φίλτρο αποκόπτει τις γειτονικές τιμές.



Εικόνα 19: Ζωνοπερατό φίλτρο (30).

3.3 Κύκλωμα προστασίας εξεταζόμενου

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για την ασφαλή καταγραφή του ΗΕΓ δίχως προβλήματα είναι το κύκλωμα προστασίας. Ένα τέτοιο κύκλωμα υπάρχει για την αποτροπή ενός δυστυχούς ατυχήματος από πιθανό ρεύμα που μπορεί να διαρρεύσει από το ΗΕΓ. Μια τέτοιου είδους διαρροή μπορεί να τραυματίσει ή ακόμα και να απειλήσει την ζωή του εξεταζόμενου.

Για να καταστεί δυνατό αυτό συνήθως τοποθετείται αμέσως μετά το ηλεκτρόδιο μια υψηλή αντίσταση της τάξεως των δεκάδων $k\Omega$ έτσι ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η πιθανότητα το ρεύμα να διαρρεύσει σε περίπτωση πιθανού βραχυκυκλώματος.

3.4 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι μετατροπείς που ανιχνεύουν μια φυσική ποσότητα και μετατρέπουν αυτήν την ποσότητα σε ένα σήμα που μπορεί να αναγνωστεί είτε από παρατηρητές είτε από ένα ηλεκτρονικό όργανο. Για παράδειγμα ένα θερμόμετρο είναι ένα αισθητήριο ευαίσθητο στις αλλαγές της θερμοκρασίας και βαθμονομημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προσδιορίζεται εύκολα η τιμή της θερμοκρασίας στο προς μέτρηση αντικείμενο.

Κατ' επέκταση, βιοϊατρικοί αισθητήρες είναι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση παραμέτρων που συνδέονται με την ποιότητα της υγείας ενός ασθενούς.

Οι πρώτοι αισθητήρες που δημιουργήθηκαν (βαρόμετρο, θερμόμετρο) ήταν μηχανικοί, όμως με το πέρασμα των ετών δημιουργήθηκε η ανάγκη για μέτρηση περισσότερων φυσικών μεγεθών, οπότε και εξελίχθηκαν σε ηλεκτρικούς. Η έξοδος των αισθητήρων αυτών ήταν ένα αναλογικό σήμα. Για να υπάρχει μεγαλύτερη

ακρίβεια, οι περισσότεροι αισθητήρες βαθμονομούνται ή αλλιώς καλιμπράρονται με βάση κάποια γνωστά πρότυπα.

Ο ρόλος των αισθητήρων είναι:

- i. Η συλλογή πληροφοριών.
- ii. Ο έλεγχος των συστημάτων.

Η λειτουργία τους άρα μπορεί να παρομοιαστεί με την λειτουργία των αισθήσεων του ανθρώπου. Όπως ο άνθρωπος συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον του χρησιμοποιώντας τις πέντε αισθήσεις του μετατρέποντάς αυτές σε πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων, έτσι και οι αισθητήρες σχεδιάστηκαν ώστε να μετατρέπουν τις πραγματικές τιμές σε ηλεκτρικά σήματα.

3.4.1 Τα μέρη του αισθητήρα

Τα βασικά μέρη που συνθέτουν έναν αισθητήρα είναι:

- Η ενεργός επιφάνεια (active surface) η οποία αποτελείται από το συστατικό αναγνώρισης (recognition element), το οποίο πραγματοποιεί την ανίχνευση και συνήθως είναι κάποιο ακινητοποιημένο βιομόριο ή στρώμα πολυμερών. (31)
- Ο μετατροπέας σήματος είναι μια συσκευή η οποία ανιχνεύει την αλληλεπίδραση μεταξύ μιας ενεργού επιφάνειας και μιας προσμετρούμενης ουσίας, μετατρέποντας την παρατηρούμενη μεταβολή σε μετρήσιμο σήμα (31). Το συγκεκριμένο τμήμα αποτελεί το δυσκολότερο και κρίσιμότερο τμήμα του αισθητήρα διότι καθορίζει την “ταυτότητά” του. Σημαντική παρατήρηση είναι ο διαχωρισμός του όρου αισθητήρα από αυτόν του μετατροπέα. Ο μετατροπέας μετατρέπει ένα τύπο ενέργειας σε κάποιον άλλο ενώ ο αισθητήρας μετατρέπει κάθε τύπο ενέργειας σε ηλεκτρική.
- Το ηλεκτρονικό τμήμα το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα και εν συνεχεία μετατρέπει και ενισχύει το παραγόμενο σήμα.

3.4.2 Ταξινόμηση του αισθητήρα

Για να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βαθμό τον τρόπο λειτουργίας των αισθητήρων, τίθεται αναγκαία η ταξινόμησή τους. Ως κριτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα από τα χαρακτηριστικά τους, όπως για παράδειγμα η αρχή λειτουργίας τους, ο τρόπος ένδειξής τους και το ερέθισμα που δέχονται.

- Ως προς την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται σε μαγνητικούς, επαγωγικούς, θερμικούς, χωρητικούς, οπτικούς κλπ.
- Ως προς το ερέθισμα που δέχονται και μετρούν, διακρίνονται σε θερμοκρασίας, υγρασίας, ποιότητας αέρα, δύναμης κλπ.
- Ως προς τον τρόπο ένδειξης, διακρίνονται σε αναλογικούς και ψηφιακούς.

ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

- ✓ Αναλογικοί είναι οι αισθητήρες οι οποίοι μετατρέπουν τα μηχανικά μεγέθη (π.χ. μήκη διαδρομών σε ηλεκτρικά σήματα εντάσεως).
- ✓ Ψηφιακοί είναι οι αισθητήρες που λαμβάνουν το υπό μέτρηση μέγεθος με αριθμητικό τρόπο και παράγουν ψηφιακά σήματα με δύο μόνο τιμές 0 ή 1.

3.4.3 Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα προσδιορίζουν τη σταθερότητα της λειτουργίας του, την απόδοσή του και την ταχύτητα της απόκρισής του στα ερεθίσματα που δέχεται. Ο διαχωρισμός των χαρακτηριστικών αυτών γίνεται σε στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά. Τα στατικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την απόδοση του αισθητήρα υπό σταθερές συνθήκες, ενώ τα δυναμικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στη συμπεριφορά του αισθητήρα κατά τη διάρκεια μεταβολής του σήματος εισόδου μέχρι την επανασταθεροποίηση του σήματος εξόδου.

3.5 Ηλεκτρόδια ΗΕΓ

Το σύστημα καταγραφής των σημάτων από το ΗΕΓ ξεκινά με τη χρήση ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο ανθρώπινο κεφάλι. Αυτά τα ηλεκτρόδια λειτουργούν ως αισθητήρες που μετασχηματίζουν το ιοντικό ρεύμα από το εσωτερικό του κεφαλιού προερχόμενο από την εγκεφαλική λειτουργία, σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το σήμα αυτό στη συνέχεια προωθείται προς ανάλυση και επεξεργασία από τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά μέρη του ΗΕΓ. Υπάρχουν τρία είδη ηλεκτροδίων ΗΕΓ. Τα ηλεκτρόδια με χρήση gel, τα ηλεκτρόδια ξηρού τύπου και τα ηλεκτρόδια με προσθήκη νερού. Στις μελέτες ΗΕΓ συνήθως χρησιμοποιούνται τα δυο πρώτα.

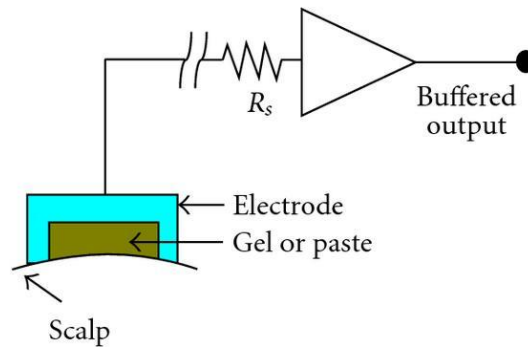
3.5.1 Ηλεκτρόδια γέλης

Για τη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, χρησιμοποιείται ένα ειδικό υγρό, το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης και είναι σε μορφή γέλης (gel).



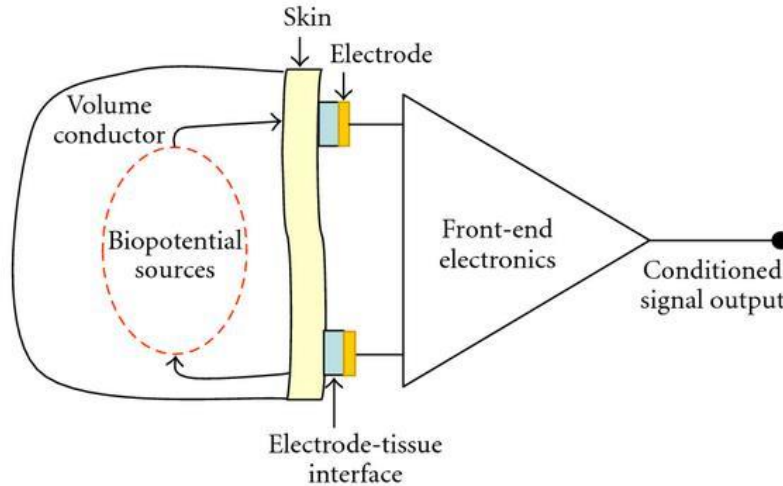
Εικόνα 20: Ηλεκτρόδιο Gel (32).

Επομένως, το ηλεκτρόδιο έρχεται σε άμεση επαφή με αυτό το υγρό. Αυτό επιτρέπει τη μετακίνηση ιόντων μέσα από το σύνορο μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ηλεκτρολύτη, μέχρι να επιτευχθεί μια κάποια ισορροπία. Αυτή η ισορροπία εξαρτάται από την ιοντική συγκέντρωση στις δύο πλευρές του συνόρου.



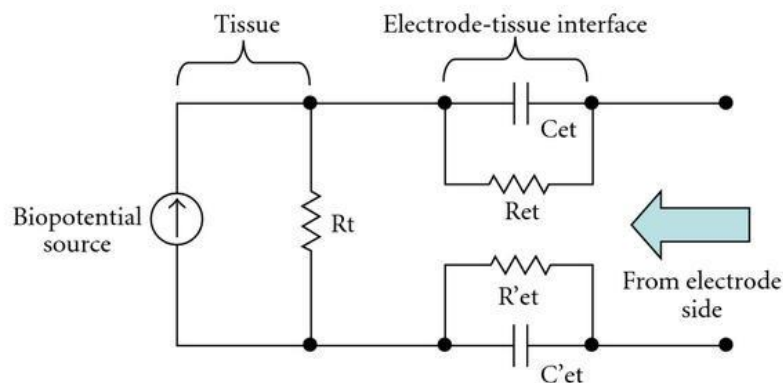
Εικόνα 21: Σχεδιάγραμμα ηλεκτροδίου επαφής με χρήση γέλης (33).

Στη διεπαφή των ηλεκτροδίων με το υγρό, δημιουργούνται δύο ξεχωριστά φορτισμένα στρώματα. Το ένα στην μεταλλική επιφάνεια του ηλεκτροδίου και το άλλο στο υγρό που βρίσκεται γύρω από αυτό. Αυτή η διάταξη προκαλεί μια διαφορά δυναμικού, η οποία εμποδίζει την περαιτέρω κίνηση των ιόντων. Ωστόσο, αυτή η διαφορά δυναμικού είναι πολύ ευαίσθητη στις μεταβολές των ιοντικών συγκεντρώσεων. Όταν στον εγκέφαλο παράγεται ένα σήμα (έχουμε δηλαδή ροή ιόντων), αυτό επιφέρει αλλαγές στις ιοντικές συγκεντρώσεις, προκαλώντας μεταβολή της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των στρωμάτων. Αυτό οδηγεί στη ροή ηλεκτρονίων στο μεταλλικό μέρος του ηλεκτροδίου. Για να εξασφαλιστεί ότι η τάση στη διασύνδεση επηρεάζεται αποκλειστικά από τα ιοντικά ρεύματα του εγκεφάλου και όχι από άλλους παράγοντες όπως οι θερμοκρασιακές μεταβολές ή οι μετακινήσεις των ηλεκτροδίων, ορισμένα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από τον συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του. Για παράδειγμα, ένα συχνά χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο είναι αυτό που είναι φτιαγμένο από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) και συνδυάζεται με έναν ηλεκτρολύτη που περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου (Cl⁻) (34).



Εικόνα 22: Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτροδίου επαφής (33).

Στην Εικόνα 23 γίνεται απεικόνιση ενός απλοποιημένου ισοδύναμου κυκλώματος μέτρησης ΗΕΓ. Η πηγή ρεύματος που παρουσιάζεται στο κύκλωμα, αναπαριστά τις ιοντικές ροές του εγκεφάλου (δίπολα). Η αντίσταση R_t ισοδυναμεί με την αντίσταση των ιστών. Τα ισοδύναμα στοιχεία ηλεκτροδίου C_{et} και R_{et} μπορεί να αλλάξουν για κάθε επαφή ηλεκτροδίου (33).



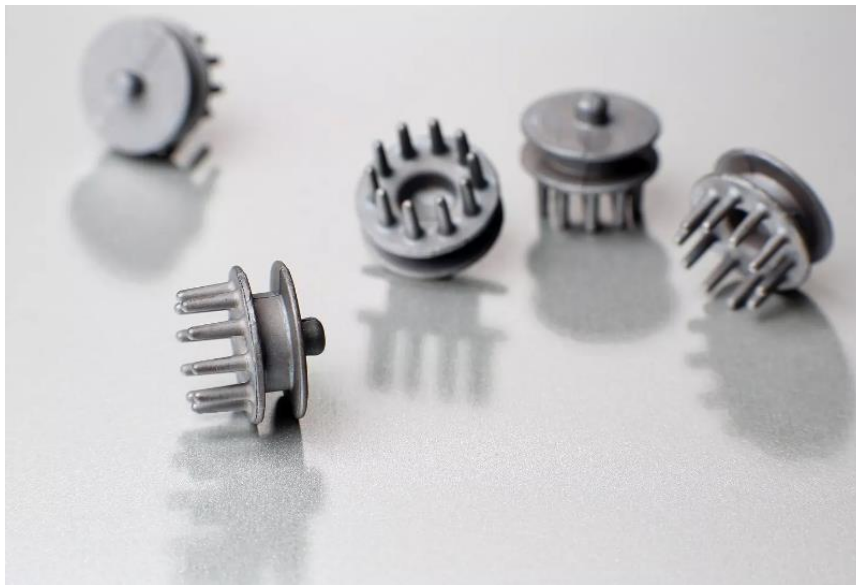
Εικόνα 23: Απλοποιημένο κύκλωμα βιοδυναμικής πηγής και διεπαφής ηλεκτροδίου- ιστού (33).

3.5.2 Ηλεκτρόδια ξηρής επαφής

Τα ηλεκτρόδια ξηρής επαφής είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των βιοηλεκτρικών σημάτων από τον εγκέφαλο, χωρίς την ανάγκη χρήσης ηλεκτροδιαλυτικών τζελ ή άλλων υγρών μέσων. Συνήθως, τα παραδοσιακά ηλεκτρόδια EEG χρειάζονται ένα υγρό μέσο για να διευκολύνουν την αγωγιμότητα μεταξύ του δέρματος και του ηλεκτροδίου, αλλά τα ξηρά ηλεκτρόδια δεν έχουν αυτή την ανάγκη. Τα ηλεκτρόδια αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε επαφής και μη επαφής. Σε ένα ηλεκτρόδιο ξηρής επαφής, το τριχωτό της κεφαλής έρχεται άμεση

επαφή με την επιφάνεια του ηλεκτροδίου, το οποίο αποτελείται από μια μεταλλική συστοιχία ακίδων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ηλεκτρόδιο μπορεί ακόμα και να διαπεράσει το στρώμα της κερατίνης, για να επιτευχθεί μηχανική σταθερότητα καθώς και καλύτερη ηλεκτρική ιδιότητα. Τα ξηρά ηλεκτρόδια είναι συνήθως πιο άνετα και ευέλικτα στη χρήση σε σύγκριση με τα υγρά, κάτι που τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα για μακροχρόνιες μετρήσεις ή για εφαρμογές όπως η φορητή νευροεπιστήμη. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών των ηλεκτροδίων είναι ότι, αντίθετα με τους ηλεκτρόδια με gel, δεν απαιτούν προετοιμασία του τριχωτού της κεφαλής και, επομένως, είναι λιγότερο χρονοβόρα η διαδικασία τοποθέτησής τους.

Παρόλα αυτά, τα ηλεκτρόδια ξηρής επαφής έχουν περιορισμένες εφαρμογές λόγω της μικρότερης αγωγιμότητας σε σύγκριση με τα υγρά ηλεκτρόδια. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του σήματος σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά η τεχνολογία συνεχίζει να βελτιώνεται.



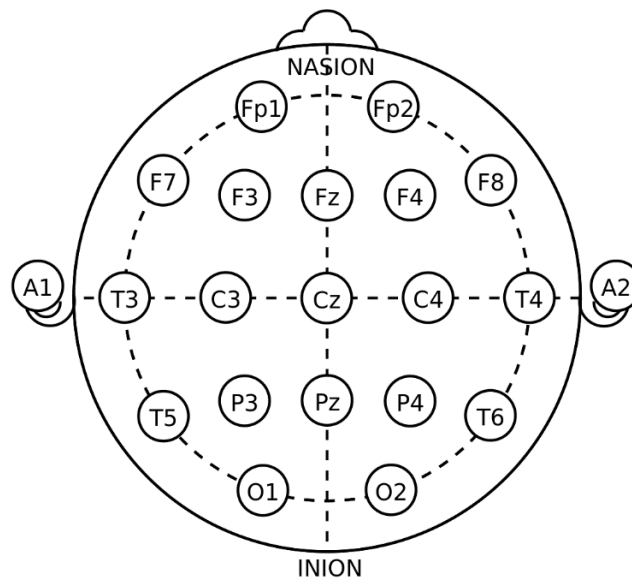
Εικόνα 24: Ηλεκτρόδια ξηρού τύπου (32).

3.6 Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων

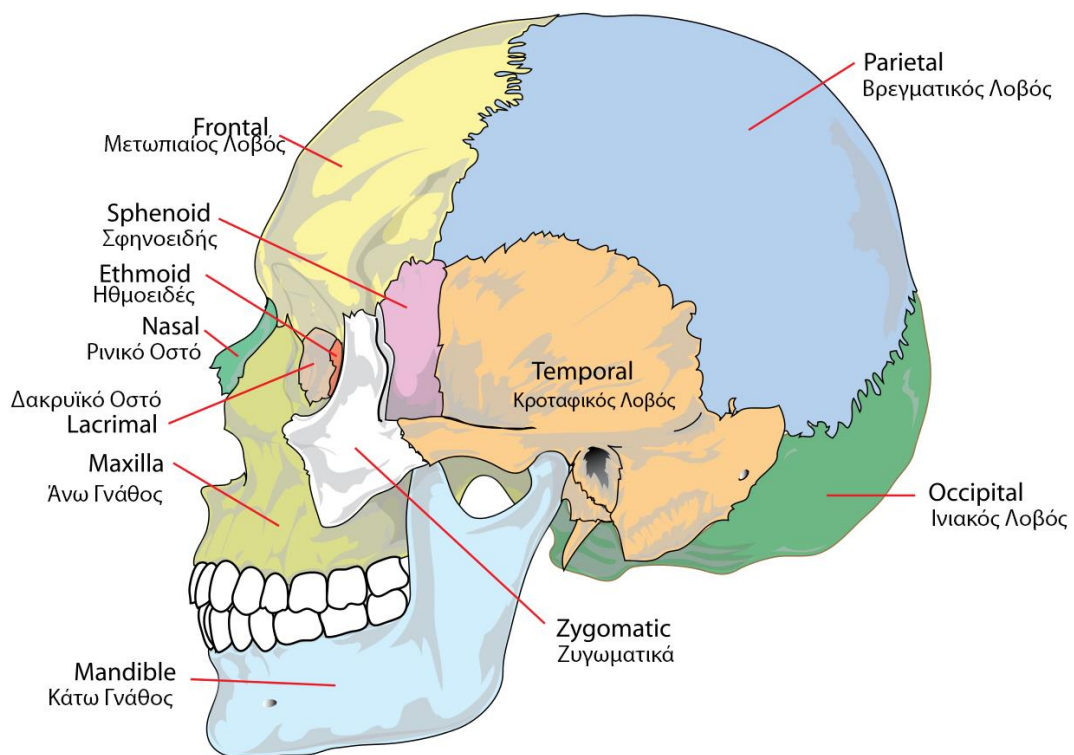
Για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων επάνω στο κεφάλι, χρησιμοποιείται το διεθνές σύστημα 10-20 (35). Το συγκεκριμένο σύστημα εξασφαλίζει ότι τα γειτονικά ηλεκτρόδια θα απέχουν 10% ή 20% από την συνολική απόσταση από το πίσω έως το μπροστινό μέρος του κρανίου και από το δεξί έως το αριστερό μέρος του κρανίου (36). Το σύστημα 10-20 περιλαμβάνει 21 τυποποιημένες θέσεις ηλεκτροδίων. Οι θέσεις αυτές αναφέρονται με τα αρχικά των λεξιλογικών ονομάτων των εγκεφαλικών

ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

περιοχών που καλύπτουν (π.χ., F για Frontal, C για Central, P για Parietal, O για Occipital, T για Temporal) (Εικόνα 2623). Επίσης, οι άρτιοι αριθμοί αναφέρονται σε θέσεις στη δεξιά πλευρά της κεφαλής και οι περιττοί στην αριστερή.



Εικόνα 25: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10-20 (37).



Εικόνα 26: Οστά του κρανίου (38).

Η επιλογή των συγκεκριμένων θέσεων επικεντρώνεται στην παρακολούθηση των σημαντικότερων εγκεφαλικών περιοχών που σχετίζονται με διάφορες νευρολογικές και ψυχολογικές λειτουργίες.

Ο σχεδιασμός του συστήματος έχει ως σκοπό να τυποποιήσει τη θέση των ηλεκτροδίων έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες μεταξύ διαφορετικών θεραπευτικών ή ερευνητικών κέντρων.

Εκτός από το βασικό σύστημα 10-20, υπάρχουν επεκτάσεις, όπως το σύστημα 10-10 ή το σύστημα 10-5, τα οποία προσφέρουν περισσότερες θέσεις για ακριβέστερη μετρητική κάλυψη.

4 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

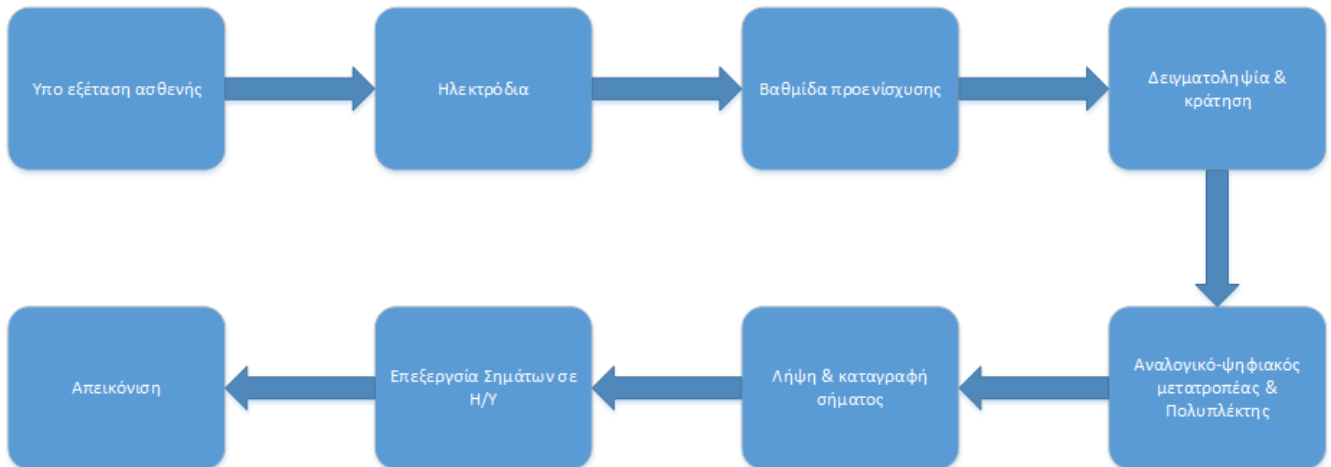
4.1 Αρχές λειτουργίας του ΗΕΓ

Η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου (ΗΕΓ) βασίζεται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού, οι οποίες εντοπίζονται στην επιφάνεια του δέρματος σε ένα ανθρώπινο κρανίο. Η προαναφερθείσα διαδικασία είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Για την πραγματοποίηση της καταγραφής χρησιμοποιούνται μεταλλικοί αισθητήρες λεγόμενοι και ως ηλεκτρόδια, τα οποία τοποθετούνται στο δέρμα του κρανίου. Η τοποθέτησή τους συνήθως γίνεται βάσει του διεθνούς αναγνωρισμένου συστήματος 10 – 20. Όσο περισσότερα ηλεκτρόδια τοποθετηθούν, τόσο πιο εστιασμένη θα είναι η μέτρηση που απαιτείται να μελετηθεί. Δεδομένου ότι η εγκεφαλική λειτουργία παράγει ασθενή σήματα της τάξεως των μVolt , είναι σημαντικό να διασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή ενίσχυση των υπο εξέταση σημάτων. Για να γίνει η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο κρανίο, θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί καθαρισμός του δέρματος με οινόπνευμα ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η αντίσταση επαφής ($<5\text{k}\Omega$). Τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια για το ΗΕΓ συνήθως είναι κατασκευασμένα από χλωριούχο άργυρο (AgCl) ή από άργυρο (Ag). Όσα ηλεκτρόδια βρίσκονται τοποθετημένα σε περιοχές του κρανίου που παρουσιάζουν ηλεκτρική δραστηριότητα, υποστηρίζεται ότι αντιστοιχούν σε ενεργά σημεία. Αντιθέτως, ηλεκτρόδια τα οποία είναι τοποθετημένα σε περιοχές που δεν παρουσιάζουν εγκεφαλική δραστηριότητα, υποστηρίζεται ότι αντιστοιχούν σε ανενεργά σημεία. Τέτοιου είδους σημεία μπορεί να είναι στο λαιμό, στα αυτιά κ.α.

Οι διαφορές δυναμικού που τελικά είναι μετρήσιμες οδηγούνται σε μία βαθμίδα προενίσχυσης. Στην βαθμίδα αυτοί υλοποιούνται κυκλώματα προενίσχυσης σήματος καθώς και βαθυπερατά και υψιπερατά φίλτρα. Λόγω της πολύ μικρής συχνότητας των σημάτων που παράγονται από την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου καθώς και την τάση της τάξεως των μVolt προκύπτουν αυστηρές απαιτήσεις για την προενισχυτική βαθμίδα. Οι συντελεστές ενίσχυσης της ενισχυτικής βαθμίδας αγγίζουν την κλίματα του 10^4 ή ακόμα και υψηλότεροι. Επιπροσθέτως, η ενίσχυση θα πρέπει να γίνεται με ενισχυτές πολύ χαμηλού θορύβου.

Στη συνέχεια, τα σήματα αναλογικής μορφής οδηγούνται στο κύκλωμα δειγματοληψίας και κράτησης για κάθε κανάλι ξεχωριστά και πολυπλεγμένα τα σήματα οδηγούνται με τη σειρά του στον μετατροπέα αναλογικοψηφιακού σήματος. (Analog Digital Converter ADC). Τα ψηφιακά σήματα οδηγούνται στον υπολογιστή όπου και είναι δυνατή η online ή offline επεξεργασία αυτών καθώς και η απεικόνισή τους σε οθόνη ή σε χαρτί. Ο συγκεκριμένος υπολογιστής μπορεί να συνδεθεί και να ελέγχει μια συσκευή χορήγησης ερεθισμών στο υπό εξέταση άτομο. Η υλοποίησης

αυτή πραγματοποιείται για κλινικές και εργαστηριακές μετρήσεις όπου μπορεί να χορηγείται στον εξεταζόμενο πχ ένας ερεθισμός με ήχο ή με φωτεινή ένδειξη και να καταγράφονται τα δυναμικά που προκύπτουν ως αποτέλεσμα αυτού του ερεθισμού. Τα δυναμικά αυτά ονομάζονται προκλητά. Τέλος, είναι υποχρεωτικό σε όλο το κύκλωμα του ΗΕΓ να εφαρμόζεται σύστημα κοινής γείωσης για αποφυγή σφαλμάτων.



Εικόνα 27: Αρχή Λειτουργίας ΗΕΓ.

4.2 Καταγραφή του ηλεκτρικού σήματος

Η καταγραφή ηλεκτρικού σήματος είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει και να αναλύσει τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από διάφορες πηγές. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πολλές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση και η ανάλυση σημάτων από ηλεκτρονικές συσκευές, η ανίχνευση και η ανάλυση βιολογικών ηλεκτρικών σημάτων (όπως τα σήματα EEG από τον εγκέφαλο), και πολλές άλλες. Η καταγραφή ηλεκτρικών σημάτων συχνά γίνεται με τη χρήση συσκευών όπως οι παλμογράφοι ή άλλους ειδικούς αναλυτές σημάτων. Αυτές οι συσκευές μπορούν να ανιχνεύσουν και να μετατρέψουν το ηλεκτρικό σήμα σε μια μορφή που μπορεί να ερμηνευτεί ευκολότερα από τους ανθρώπους, συνήθως μέσω γραφικής απεικόνισης.

Αυτή η διαδικασία απαιτεί γνώσεις σε διάφορα πεδία, όπως η ηλεκτρονική, η στατιστική, η μαθηματική και η υπολογιστική επιστήμη. Οι αλγόριθμοι για την ανάλυση των σημάτων μπορεί να περιλαμβάνουν τεχνικές όπως ο μετασχηματισμός Fourier, ο μετασχηματισμός Wavelet, και πολλές άλλες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων. Τέλος, τα σύγχρονα συστήματα καταγραφής ηλεκτρικών σημάτων ενδέχεται να χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

Intelligence) και τη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) για να αυξήσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας.

4.2.1 Παραγωγή του σήματος ΗΕΓ

Η παραγωγή σήματος ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται ενεργά για την καταγραφή και την ανάλυση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Το ΗΕΓ αποτελεί ένα αναλογικό σήμα που παράγεται από τη δραστηριότητα των νευρώνων στον εγκέφαλο και καταγράφεται με τη χρήση ειδικών αισθητήρων, γνωστών ως ηλεκτρόδια.

Η διαδικασία παραγωγής του ΗΕΓ συνίσταται στην τοποθέτηση των ηλεκτροδίων σε συγκεκριμένα σημεία του κεφαλιού, γεγονός που απαιτεί την προετοιμασία του δέρματος και την εφαρμογή καλωδίων που συνδέουν τα ηλεκτρόδια με μια συσκευή εγγραφής. Τα ηλεκτρόδια ανιχνεύουν τις ηλεκτρικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της εγκεφαλικής δραστηριότητας και μετατρέπουν αυτές τις αλλαγές σε ηλεκτρικά σήματα.

Το ΗΕΓ χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική και την επιστήμη για την κατανόηση της εγκεφαλικής λειτουργίας, τη διάγνωση διαφόρων νευρολογικών και ψυχιατρικών παθήσεων, καθώς και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας θεραπευτικών παρεμβάσεων. Επιπλέον, το ΗΕΓ έχει εφαρμογές και σε άλλους τομείς, όπως η νευροεπιστήμη, η ψυχολογία και η έρευνα στην ανθρώπινη συμπεριφορά.

Η ανάλυση των σημάτων ΗΕΓ απαιτεί προηγμένες μαθηματικές τεχνικές και αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος, καθώς οι ηλεκτρικές δραστηριότητες στον εγκέφαλο είναι πολύ μικρές και υπόκεινται σε πολλούς εξωτερικούς παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα του σήματος.

Συνολικά, η παραγωγή σήματος ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος αποτελεί μια ανεκτίμητη μέθοδο για την κατανόηση του ανθρώπινου εγκεφάλου και την ανίχνευση παθήσεων, προσφέροντας μια παράθεση της ηλεκτρικής δραστηριότητας που αποτυπώνει την κατάσταση του συνειδητού και του ασυνείδητου μέρους του ανθρώπινου εγκεφάλου.

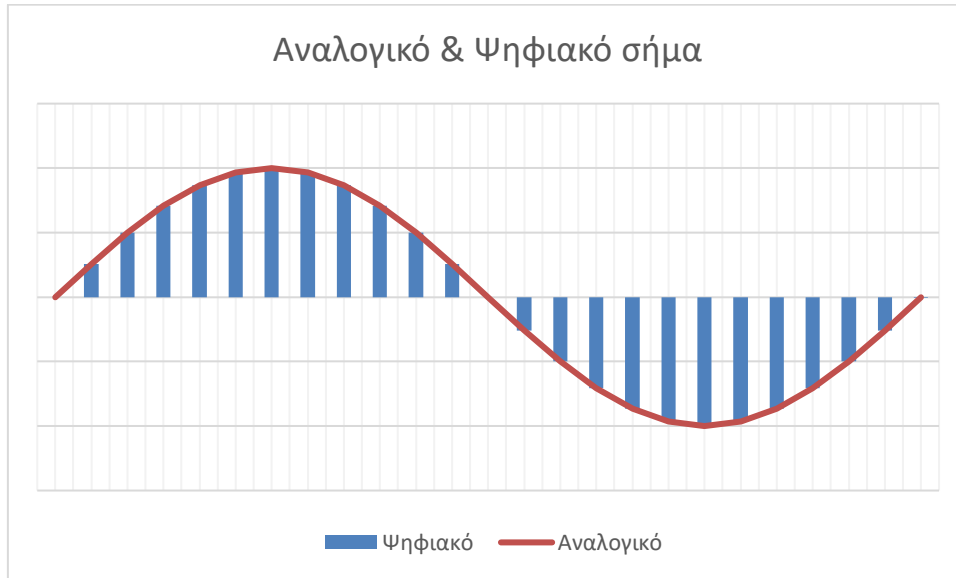
4.2.2 Ενίσχυση σήματος

Ο ενισχυτής σήματος αναλαμβάνει τον ρόλο στο σύστημα απόκτησης δεδομένων (Data acquisition) να προσαρμόσει, ενισχύσει και μετατρέψει τα αναλογικά σήματα από τον αισθητήρα σε ψηφιακά σήματα, έτσι ώστε να μπορούν να υποστούν επεξεργασία από τον υπολογιστή.

4.2.2.1 Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Ο ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate), εκφρασμένος συνήθως σε Hertz (Hz), αναφέρεται στον αριθμό των φορών που το σήμα μετريέται ανά μονάδα χρόνου (Sample Per Second). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το

ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, παρόλο που είναι ένα αναλογικό σήμα που παρακολουθείται σε συνεχή χρόνο, πρέπει να υποβληθεί σε μετατροπή για να γίνει διακριτικό στον χρόνο και να μπορεί να επεξεργαστεί από τον υπολογιστή.



Εικόνα 28: Αναλογικό & Ψηφιακό σήμα.

Ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο διπλάσιος από τη μέγιστη συχνότητα του μετρούμενου σήματος, σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας Nyquist (39). Συγκεκριμένα, για το εύρος συχνοτήτων του EEG που κυμαίνεται από 0,5 Hz έως 80 Hz, ο ελάχιστος αποδεκτός ρυθμός δειγματοληψίας είναι 160 Hz (2 δείγματα ανά 1 περίοδο σήματος). Συνήθως, τα κανονικά ενισχυτικά χρησιμοποιούν ρυθμούς δειγματοληψίας τουλάχιστον στα 256 Hz. Αν κάποιος χρειάζεται υψηλότερη ανάλυση για πιο απαιτητικές εφαρμογές, μπορεί να αυξήσει τον ρυθμό δειγματοληψίας έως 512 Hz, αλλά αυτό θεωρείται ήδη πολύ υψηλός ρυθμός δειγματοληψίας για δεδομένα EEG. Γενικά, η επιλογή του ρυθμού δειγματοληψίας εξαρτάται από τις ανάγκες της εφαρμογής. Για πραγματικό χρόνο στη νευροεπιστήμη και βιοϊατρικές εφαρμογές, συνήθως χρησιμοποιείται ρυθμός δειγματοληψίας 256 Hz, καθώς τα δεδομένα πρέπει να μεταφέρονται και να επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο.

4.2.2.2 Ανάλυση (Resolution)

Όπως προαναφέρθηκε, η τάση του αναλογικού σήματος μετατρέπεται σε ψηφιακή τιμή, συχνά αναφερόμενη ως διαδικασία ψηφιοποίησης. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω ενός Αναлого-Ψηφιακού Μετατροπέα (ADC), ο οποίος μετατρέπει κάθε τιμή τάσης σε ένα συγκεκριμένο αριθμό bit. Ο αριθμός αυτός των bit αντιστοιχεί στην ανάλυση του ενισχυτή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο όρος

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

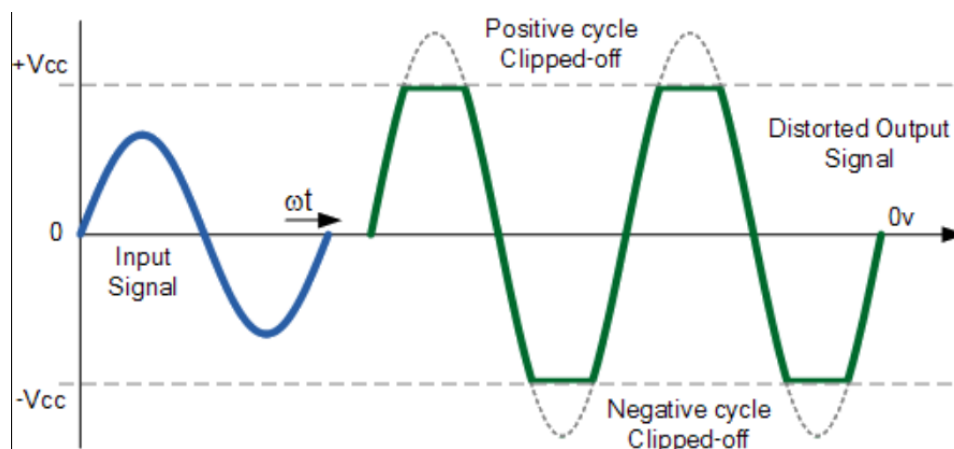
"ανάλυση" μπορεί να αναφέρεται επίσης στο μικρότερο μέρος ενός σήματος που μπορεί να αναλυθεί, το οποίο καθορίζεται από τον λόγο μεταξύ του εύρους εισόδου του ενισχυτή και του αριθμού των bit της κβαντοποίησης ($2^{\text{αριθμός bits}}$). Η συνήθης ανάλυση σε κλινικούς ή ερευνητικούς ενισχυτές EEG υψηλής ποιότητας είναι τουλάχιστον 24 bits.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση 24bits ADC σημαίνουν 16.777.216 μετρήσεις σε κάθε δειγματοληπτική περίοδο.

4.2.2.3 Εύρος εισόδου

Το εύρος εισόδου αναφέρεται στο μέγιστο πλάτος του σήματος που μπορεί να καταγραφεί προτού προκύψει κορεσμός. Η έξοδος ενός ενισχυτή έχει σταθερό εύρος (συνήθως συμβολίζεται ως V_{cc}) και εξαρτάται από την τάση τροφοδοσίας του. Συνεπώς, το εύρος εισόδου περιορίζεται από το εύρος εξόδου και το εσωτερικό κέρδος του ενισχυτή (πόσες φορές ενισχύεται το εισερχόμενο σήμα) $V_{out} = G \times V_{in}$. Αν για παράδειγμα ο ενισχυτής μπορεί να καταγράψει σήματα από 1 Volt και έχει κέρδος 2, το εύρος εισόδου θα είναι 500 mVolt (0.5 Volt).

Οι ενισχυτές EEG πρέπει να έχουν εύρος εισόδου που να καλύπτει τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των σημάτων EEG, τα οποία μπορούν να φτάσουν σε δεκάδες Volt. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και τις τιμές από άλλες φυσιολογικές ή μηχανικές διεργασίες που μπορεί να επηρεάζουν το EEG, όπως η Ηλεκτροοφθαλμογραφία EOG (σε εκατοντάδες Volt), το Ηλεκτρομυογράφημα EMG (σε δεκάδες mVolt) και οι τάσεις αποκοπής (σε δεκάδες mVolt). Εάν το φυσικό σήμα υπερβεί το εύρος εισόδου, το πλεονάζον μέρος περικόπτεται και δεν καταγράφεται. Συνήθως, το εύρος εισόδου πρέπει να είναι τουλάχιστον 50mV σε λειτουργία συνεχούς σύνδεσης, ώστε ο ενισχυτής να είναι σε θέση να καταγράψει όλα τα προαναφερθέντα σήματα χωρίς κορεσμό.



Εικόνα 29: Αποκοπή πλεονάζοντος σήματος (40).

4.3 Χαρακτηριστικά του ΗΕΓ

Τα σήματα ηλεκτροεγκεφαλογράφησης (EEG) διακρίνονται για τη συνεχή και ρυθμική τους φύση, παρόλο που δεν εμφανίζουν ακριβή επανάληψη μεταξύ των κύκλων τους, επιδεικνύοντας μια ουσιαστικά προβληματική εξέλιξη. Από μια μαθηματική σκοπιά, αυτά τα σήματα μπορούν να περιγραφούν ως παραγώγες μιας "στοχαστικής διαδικασίας", ήτοι μιας συνάρτησης που εμφανίζει μια απρόβλεπτη πορεία με την πάροδο του χρόνου, παρά την "αναγκαστική" της τάση να ακολουθεί έναν στατιστικά ομαλό ρυθμό. Η κατάσταση αυτή θέτει υπό αμφισβήτηση την ακριβή φύση της EEG δραστηριότητας ως προς το αν αποτελεί αμιγώς στοχαστικό φαινόμενο, καθώς στοχαστικά φαινόμενα αναμένεται να διατηρούν μια σταθερή φασματική κατανομή ισχύος κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους, κάτι που δεν φαίνεται πάντα να συμβαίνει με την EEG δραστηριότητα.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1) επισημαίνονται οι βασικοί «ρυθμοί» ή αλλιώς οι συχνοτικές ζώνες (μπάντες) που εντοπίζονται σε ένα σήμα EEG, αποκαλύπτοντας τις διάφορες συχνοτικές εκτάσεις που αναδεικνύονται μέσω της φασματικής ανάλυσης. Για κάθε έναν από αυτούς τους ρυθμούς, παρουσιάζεται επιπλέον το πλάτος του σήματος, δηλαδή η τιμή της μετρούμενης ηλεκτρικής τάσης σε μικροβόλτ (μV), παρέχοντας μια αναλυτική εικόνα της δυναμικής και της έντασης των συνιστωσών του σήματος EEG. Επιπλέον, για κάθε ρυθμό γίνεται και αναφορά της κατάστασης της εγκεφαλικής λειτουργία στην οποία εντοπίζονται (23).

Πίνακας 1: Οι βασικότεροι ρυθμοί του ΗΕΓ.

Ρυθμός	Ευρος Συχνότητας (Hz)	Πλάτος (μV)	Φυσιολογία
Δέλτα	0,5 - 3,5	<200	<ul style="list-style-type: none">• Δραστηριότητες που απαιτούν συγκέντρωση.• Βαθύς ύπνος ενηλίκων και παιδιών.
Θήτα	4 - 7,5	<30	<ul style="list-style-type: none">• Χαλάρωση ενηλίκων.• Μικρά παιδιά.
Άλφα	8 - 12	30-50	<ul style="list-style-type: none">• Κλειστά μάτια.• Κατάσταση χαλάρωσης.
Βήτα	14 - 32	<30	<ul style="list-style-type: none">• Μεγάλη συγκέντρωση.• Άγχος.• Καταστάσεις εγρήγορης.
Γάμμα	30 - 70	<20	<ul style="list-style-type: none">• Ανώτερη πνευματική δραστηριότητα.

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

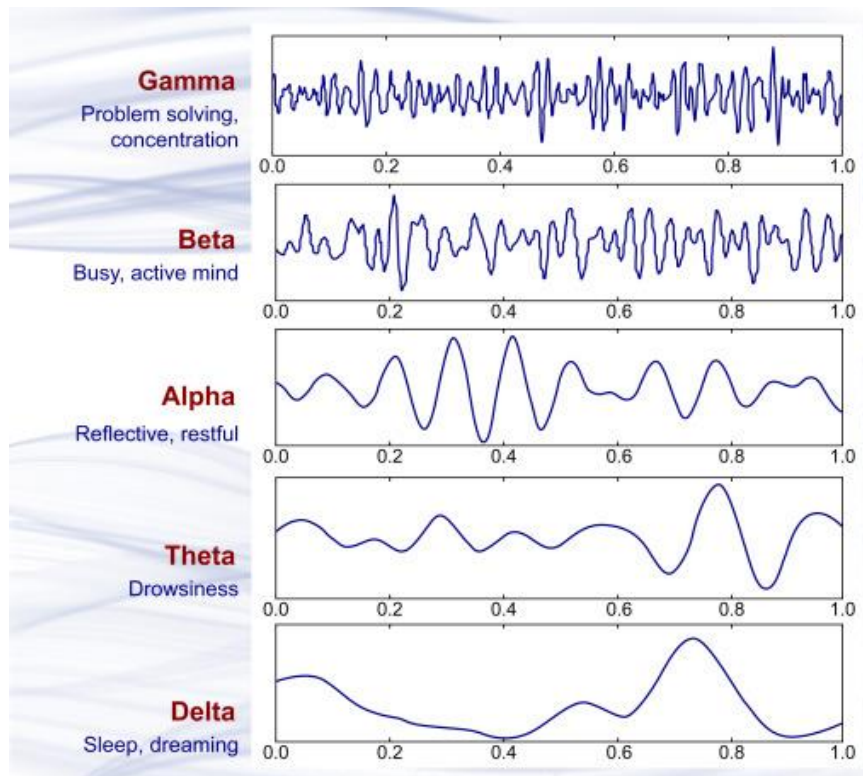
Η τεχνική της ποσοτικοποίησης του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος έχει αναγνωρισθεί ως μια πολύτιμη και αποτελεσματική μέθοδος για την αξιολόγηση της έντασης και της διασποράς της εγκεφαλικής φλοιϊκής δραστηριότητας. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία κατά την ανάλυση των διαφόρων αντιδράσεων του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια νοητικών, συναισθηματικών, και συμπεριφορικών διεργασιών. Έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ότι οι ρυθμοί άλφα (α) και βήτα (β) στα ΗΕΓ ενηλίκων που βρίσκονται σε κατάσταση εγρήγορσης θεωρούνται φυσιολογικοί.

Η συχνότητα α (8-12 Hz) καταγράφεται συνήθως στις οπίσθιες απαγωγές των ενηλίκων και έχει συνδεθεί με αυξημένα επίπεδα εγκεφαλικής διεγερσιμότητας, ιδιαίτερα σε φλοιϊκές περιοχές που εμπλέκονται στη μεταφορά πληροφοριών μέσω των θαλαμο-φλοιϊκών νευρωνικών δικτύων. Αυτό το δίκτυο είναι κρίσιμο για τις διαδικασίες που σχετίζονται με την λειτουργική και μακροπρόθεσμη μνήμη (41). Αντιθέτως, η συχνότητα β (14-32 Hz) συνήθως καταγράφεται στις πρόσθιες απαγωγές λόγω του ότι στις οπίσθιες επικαλύπτονται από της άλφα που έχει υψηλότερο δυναμικό και συνδέεται με την ενεργοποίηση των φλοιϊκών νευρωνικών κυκλωμάτων που ευθύνονται για τον συγχρονισμό των μηχανισμών προσοχής κατά τη διάρκεια αισθητηριακών διεργασιών. Ο ρυθμός αυτός εντοπίζεται και καταγράφεται ευκολότερα όταν ο υπό εξέταση ασθενής έχει ανοικτά τα μάτια του (42).

Οι ρυθμοί θ (θήτα) και δ (δέλτα) συνήθως υποδηλώνουν παθολογικές καταστάσεις ή οργανικές βλάβες στον εγκέφαλο, αλλά υπάρχουν εξαιρέσεις όπως κατά τη διάρκεια του ύπνου στα παιδιά ή σε καταστάσεις όπως το κώμα, όπου τα παρόμοια μοτίβα μπορεί να θεωρηθούν φυσιολογικά. Επιπλέον, η συχνότητα θ θεωρείται δείκτης της φλοιοιπποκάμπειας επικοινωνίας, σημαντική για τον προσανατολισμό και την επεξεργασία πληροφοριών κατά τη διάρκεια της εγρήγορσης και της επιφυλακής. Η συχνότητα δ σχετίζεται με την ενεργοποίηση φλοιο-υποφλοιωδών κυκλωμάτων, κρίσιμων για την ανίχνευση και αξιολόγηση αισθητηριακών σημάτων (43), (44).

Τέλος, ο ρυθμός γάμμα (30-70 Hz) συνδέεται με τις ανώτερες γνωστικές λειτουργίες του εγκεφάλου, όπως ο φόβος, η κατανόηση και η αντίληψη των πραγμάτων, η επίλυση προβλημάτων, και η συνείδηση. Η έρευνα έχει επίσης δείξει ότι οι γάμμα ρυθμοί είναι παρόντες τόσο κατά τη διαδικασία της αφύπνισης όσο και κατά τη διάρκεια του ύπνου ραγδαίων κινήσεων των ματιών REM, υποδηλώνοντας την σημασία τους στην υποστήριξη των πολύπλοκων γνωστικών διεργασιών.

Στην παρακάτω Εικόνα 30: Απεικόνιση ρυθμών ΗΕΓ ., απεικονίζονται οι προαναφερθέντες ρυθμοί του ΗΕΓ (45).



Εικόνα 30: Απεικόνιση ρυθμών ΗΕΓ (45).

4.4 Προκλητά δυναμικά

Τα συγκεκριμένα δυναμικά (Event related potentials, ERP) στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του νευρικού συστήματος, μέσω της μέτρησης της απόκρισης του εγκεφάλου σε συγκεκριμένα εξωτερικά ερεθίσματα. Αυτά τα δυναμικά ονομάζονται "προκλητά" επειδή προκαλούνται σκόπιμα από εξωτερικά ερεθίσματα και είναι μετρήσιμες αποκρίσεις σε αυτά τα ερεθίσματα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι προκλητών δυναμικών, ανάλογα με τον τύπο του ερεθίσματος και την περιοχή του εγκεφάλου που εξετάζεται. Οι βασικότεροι τύποι περιλαμβάνουν:

- Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials - VEPs): Αποκρίσεις σε οπτικά ερεθίσματα, όπως φωτεινοί παλμοί ή σχέδια. Χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της λειτουργίας του οπτικού νευρικού συστήματος.
- Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Auditory Evoked Potentials - AEPs): Αποκρίσεις σε ακουστικά ερεθίσματα, όπως ήχοι ή τόνοι. Χρησιμεύουν στην αξιολόγηση της ακοής και των σχετικών νευρικών διαδρομών.
- Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials - SEPs): Αποκρίσεις σε αφή ή άλλα σωματικά ερεθίσματα, όπως ηλεκτρικές

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

παλμικές διεγέρσεις στα δάκτυλα ή τα άκρα. Χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του αισθητηριακού και του κινητικού νευρικού συστήματος.

Τα Προκλητά Δυναμικά συνήθως έχουν μικρό πλάτος, κυμαίνονται από 1 μV olt ή ακόμα και λιγότερο έως μερικά μV olts, σε αντίθεση με τις δεκάδες μV olt στο ΗΕΓ. Συνήθως, αυτά τα δυναμικά επικαλύπτονται από τα σήματα του κανονικού ΗΕΓ και απαιτούν ειδικές τεχνικές καταγραφής για να αναγνωριστούν και να αξιολογηθούν. Το μέγεθός τους, η κατεύθυνσή τους (είτε θετική, είτε αρνητική) και ο χρόνος που απαιτείται για την εμφάνισή τους σχετίζονται με παράμετρους όπως:

1. Ο ερεθισμός που παρέχεται.
2. Η λειτουργική και ακέραια κατάσταση των συνδέσμων μεταξύ της περιφέρειας και του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος,
3. Τα ψυχολογικά χαρακτηριστικά της νευροεπεξεργασίας των πληροφοριών από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με άλλες τεχνικές απεικόνισης του ΚΝΣ βασίζεται στο γεγονός ότι με τα προκλητά δυναμικά καταγράφεται η επεξεργασία των συγκεκριμένων ερεθισμάτων σε ένα ευρύ χρονικό παράθυρο, από χιλιοστά του δευτερολέπτου έως μερικά δευτερόλεπτα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για πλήρη παρακολούθηση των αλλαγών στη δραστηριότητα των νευρώνων κατά τη διάρκεια γνωστικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο. Γι' αυτό το λόγο, τα γνωστικά προκλητά δυναμικά αποτελούν αξιόπιστη μέθοδο για την αξιολόγηση νευρολογικών, μαθησιακών και ψυχολογικών διαταραχών, ακόμη και διαταραχών που σχετίζονται με την προσωπικότητα. Επιπλέον, οι μετρήσεις αυτές βοηθούν τους γιατρούς να διαγνώσουν και να παρακολουθήσουν διαταραχές της όρασης, της ακοής, της αισθητηριακής λειτουργίας, καθώς και σκλήρυνση κατά πλάκας, εγκεφαλικά επεισόδια και άλλες παθήσεις. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην προεγχειρητική αξιολόγηση ή για τον προσδιορισμό της ανάκαμψης μετά από νευρολογική βλάβη.

Τα προκλητά δυναμικά αποτελούν σημαντικό εργαλείο στην κλινική πράξη λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν αντικειμενικά δεδομένα και εκτιμήσεις σχετικά με τη λειτουργία των αισθητηριακών συστημάτων και των αισθητηριακών οδών. Η σημαντική αξία τους βασίζεται στο γεγονός ότι:

- i. Σε περιπτώσεις όπου οι ιστορικές πληροφορίες του ατόμου ή οι εξετάσεις νευρολογίας, νευροψυχολογίας, ακοολογίας και οφθαλμολογίας δεν παρέχουν καθαρά αποτελέσματα, οι μετατροπείς μπορούν να ανιχνεύουν και να εντοπίζουν τη μη φυσιολογική λειτουργία των αισθητηριακών συστημάτων.
- ii. Μπορούν να αποκαλύψουν δυσλειτουργίες στα αισθητηριακά συστήματα όταν πρόδρομα συμπτώματα υποδηλώνουν μια πιθανή νευρολογική νόσο,

ενώ μπορούν επίσης να αποκλείσουν δυσλειτουργίες σε άλλες περιοχές του κεντρικού νευρικού συστήματος.

- iii. Μπορούν να διαφωτίσουν την πορεία της νόσου ανάλογα με τις ανατομικές βλάβες που έχουν προκαλέσει.
- iv. Μπορούν να παρέχουν ακριβείς και αντικειμενικές αξιολογήσεις των αλλαγών στην κατάσταση του ασθενή.

Συνολικά, στην κλινική πρακτική, τα προκλητά δυναμικά έχουν ευρεία χρήση για τη διάγνωση νευρολογικών παθήσεων, την αξιολόγηση αισθητηριακών διαταραχών και τη νευροψυχολογική εκτίμηση ατόμων με μαθησιακές δυσκολίες, ψυχιατρικές διαταραχές και δυσλεξία.

Τα εγκεφαλικά προκλητά δυναμικά έχουν πλέον επιβεβαιωθεί ως αξιόπιστα εργαλεία για την αξιολόγηση επιλεγμένων φαινομένων της ηλεκτροφυσιολογικής δραστηριότητας του ΚΝΣ. Αυτά συμβάλλουν σημαντικά τόσο στη συστηματική προσέγγιση και ανάλυση βασικών διεργασιών της λειτουργίας του ΚΝΣ, όπως η πρόσληψη, η επιλογή, η αποκωδικοποίηση, η αποθήκευση και η επεξεργασία "πληροφοριών", όσο και στη διαχείριση διαγνωστικών και θεραπευτικών προβλημάτων στην ψυχιατρική.

4.4.1 Τρόποι απομόνωσης προκλητών δυναμικών

Η καταγραφή των ERP γίνεται με την ίδια διάταξη που απαιτείται και για την καταγραφή του ΗΕΓ. Όταν ο εξεταζόμενος βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, το πλάτος του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (περίπου στα 50 μV) που καταγράφεται είναι μεγαλύτερο από το πλάτος των προκλητών δυναμικών (0,1 έως 20 μV). Κατά τη μέτρηση εγκεφαλικού σήματος, παρατηρείται ότι, εκτός από τις εγκεφαλικές περιοχές που αντιδρούν στο ερέθισμα, λειτουργούν και άλλες εγκεφαλικές περιοχές που σχετίζονται με τη συνολική λειτουργία του οργανισμού. Έτσι, φαίνεται ότι το σήμα που αντιστοιχεί στην αντίδραση του εγκεφάλου στο ερέθισμα ενσωματώνεται μέσα στο συνολικό σήμα που καταγράφεται. Ο όρος "θόρυβος" χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σήμα που δεν σχετίζεται με την εγκεφαλική επεξεργασία του ερεθίσματος και είναι πιο έντονος από το ενδιαφέρον σήμα που εξετάζουμε.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω λόγου χρησιμοποιούνται οι εξής μεθόδους:

- Απομόνωση των χώρων μέτρησης από ηλεκτρικούς κινητήρες, ηλεκτρικά πεδία, όπως αυτά που προκαλούν οι ηλεκτρικές συσκευές, καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, προτιμάται τέτοιες μετρήσεις να γίνονται σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένα δωμάτια όπως είναι ο κλωβός Faraday που χρησιμοποιούνται και στους μαγνητικούς τομογράφους.
- Χρήση ενισχυτών υψηλής ευαισθησίας.

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

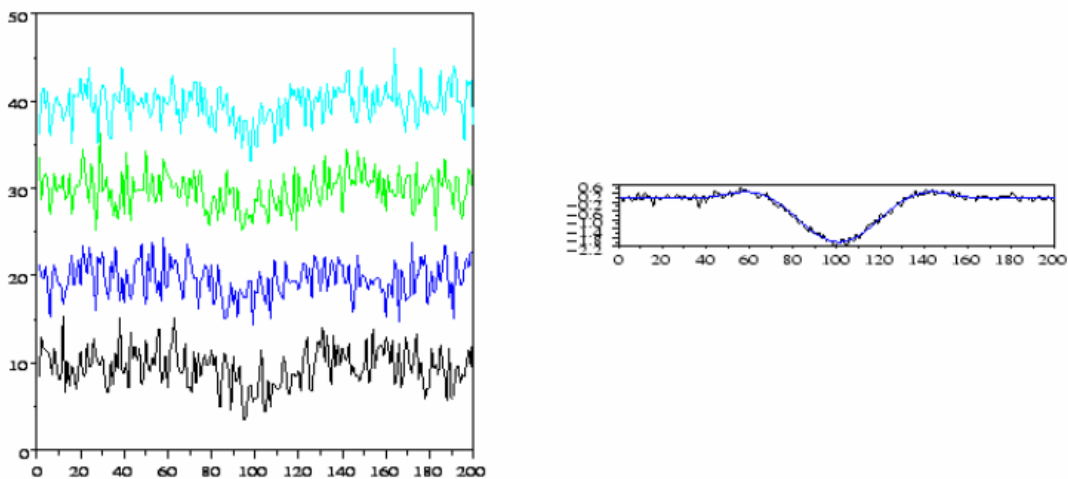
- Εφαρμογή μεθόδου εύρεσης μέσου όρου (signal averaging). Η λήψη εγκεφαλικού σήματος για τη μέτρηση ERP επαναλαμβάνεται επανειλημμένα ή το συνολικό σήμα διαιρείται σε μικρότερα τμήματα χρονικής διάρκειας (για μέτρηση EEG). Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το συνολικό αυτό σήμα $Signal(t)$ αποτελείται από δύο συνιστώσες, το σήμα $ERP(t)$ και το θόρυβο $Noise(t)$. Επομένως υπολογίζοντας τον μέσο όρο των σημάτων αυτών θα έχουμε:

$$Mean = \frac{\sum_{i=1}^N Signal(t)}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N ERP(t)}{N} + \frac{\sum_{i=1}^N Noise(t)}{N}$$

όπου N είναι ο αριθμός των επαναλήψεων.

Τηρώντας τα παραπάνω θεωρείται ότι ο θόρυβος είναι μηδαμινός, άρα και ο μέσος όρος του θα ελαχιστοποιείται. Το ERP σήμα θα έχει τα ίδια χαρακτηριστικά και επομένως με την διαδικασία εύρεσης του μέσου όρου τα προκλητά δυναμικά θα ενισχύονται.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 31: Σήματα επαναληπτικής διαδικασίας και εμφάνιση του μέσου όρου αυτών .) απεικονίζονται στα αριστερά τα σήματα από τις επαναληπτικές διαδικασίες καταγραφής των ERP και στη δεξιά εικόνα η εμφάνιση του μέσου όρου αυτών.

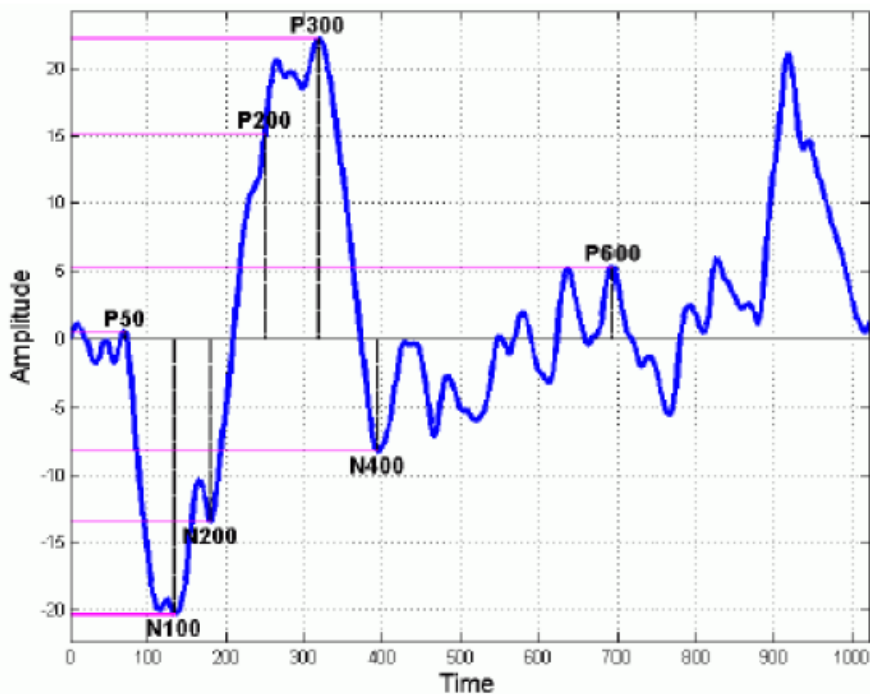


Εικόνα 31: Σήματα επαναληπτικής διαδικασίας και εμφάνιση του μέσου όρου αυτών (46).

Η μέθοδος του μέσου όρου χρησιμοποιείται συχνά, αλλά παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Οι παράγοντες όπως η προσαρμογή, η κόπωση, η εξοικείωση και η αλλαγή της προσοχής του εξεταζόμενου επηρεάζουν τις μετρήσεις, όπως το πλάτος, το εύρος κλπ. Για τον παραπάνω λόγο ο αριθμός των επαναλήψεων σε τέτοιου είδους πειράματα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε συνάρτηση με την κατάσταση του εξεταζόμενου και να ελέγχεται.

4.4.2 Τα βασικότερα χρονικά διαστήματα των προκλητών δυναμικών

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 32: Κυματομορφή καταγραφής των πιο βασικών προκλητών δυναμικών.) γίνονται αντιληπτές οι κορυφώσεις των βασικότερων προκλητών δυναμικών που χρησιμοποιούνται στην καταγραφή ενός σήματος ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.



Εικόνα 32: Κυματομορφή καταγραφής των πιο βασικών προκλητών δυναμικών (46).

1. P₅₀: Στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία, το P₅₀ είναι ένα δυναμικό σχετιζόμενο με το γεγονός που συμβαίνει περίπου 50 ms μετά την παρουσίαση ενός ερεθίσματος, συνήθως ενός ακουστικού κλικ (47). Στην ουσία, περιγράφει τη θετική κορυφή του υπο μέτρηση δυναμικού και εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 έως 80 msec μετά το ερέθισμα, θεωρώντας τον ως δείκτη πρώιμων πτυχών προσοχής (46).
2. N₁₀₀: Το προκλητό δυναμικό N100 είναι μια αρνητική κορυφή που παρατηρείται περίπου στο χρονικό παράθυρο μεταξύ 90 έως 150 ms μετά από ένα ερέθισμα. Συνήθως σχετίζεται με την αντίληψη της ερεθιστικής πληροφορίας και συχνά συσχετίζεται με διεργασίες που σχετίζονται με την

ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΑ

επεξεργασία της γλώσσας και της αντίληψης του ήχου. Συνήθως, η παρουσία του N_{100} μπορεί να αναδείξει την αντίληψη ενός ακουστικού ερεθίσματος και την επεξεργασία του από τον εγκέφαλο.

3. P_{200} : Το P_{200} είναι μια θετική κορυφή που εμφανίζεται μεταξύ 140 και 250 ms μετά από ένα ερέθισμα προκλητού δυναμικού. Συνήθως συσχετίζεται με διεργασίες επεξεργασίας της ερεθιστικής πληροφορίας και αναγνώρισης συναισθηματικών ή προσωπικών πτυχών του ερεθίσματος. Επίσης, μπορεί να είναι σημαντικό σε μελέτες που εξετάζουν την αντίληψη της ερεθιστικής πληροφορίας, την επεξεργασία του συναισθηματικού περιεχομένου ή την αναγνώριση προσώπων.
4. N_{200} : Το N_{200} είναι ένα αρνητικό κύμα που φθάνει στην ακμή του 200-350 ms μετά το ερέθισμα και εντοπίζεται κυρίως στις προσόψεις του κεφαλιού.
5. P_{300} : Το P_{300} είναι μια θετική κορυφή που παρατηρείται στο χρονικό παράθυρο μεταξύ 220 έως 500 ms μετά από ένα ερέθισμα. Συνήθως συσχετίζεται με διεργασίες που σχετίζονται με την προσοχή, την αναγνώριση της πληροφορίας και την απόφαση για αντίδραση σε ερεθίσματα. Το P_{300} είναι ευρέως μελετημένο και συχνά χρησιμοποιείται σε πειράματα που εξετάζουν τη γνωστική λειτουργία, την αναγνώριση ερεθισμάτων, τη μνήμη και τη γλωσσική επεξεργασία. Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες που αναλύουν νευροψυχολογικές διαταραχές και νευροεπισημονικές παθήσεις.
6. N_{400} : Είναι μια αρνητική κορυφή που παρατηρείται περίπου μεταξύ των 280 έως 500 ms μετά από ένα ερέθισμα. Συνήθως σχετίζεται με την επεξεργασία σημασιολογικής πληροφορίας, όπως η κατανόηση λέξεων, προτάσεων ή παραδειγμάτων. Συχνά εμφανίζεται όταν υπάρχει ασυμβατότητα ή αντίφαση μεταξύ του προσδοκώμενου νοήματος και του παρουσιαζόμενου ερεθίσματος. Έχει μελετηθεί ευρέως σε πειράματα που εξετάζουν τη γλωσσική κατανόηση, την αναγνώριση λέξεων, την ανάπτυξη της γλώσσας και άλλες γνωστικές λειτουργίες.
7. P_{600} : Είναι μια θετική κορυφή που παρατηρείται περίπου μεταξύ των 500 και 800 ms μετά από ένα ερέθισμα. Συνήθως συνδέεται με την επεξεργασία πιο πολύπλοκων συντακτικών και σημασιολογικών δομών σε φράσεις ή προτάσεις. Εμφανίζεται συχνά σε πειράματα που εξετάζουν τη γλωσσική συντακτική κατανόηση, τη συνθετική γραμματική, την αναγνώριση ερωτηματικών δομών, την επεξεργασία πολύπλοκων προτάσεων και άλλες γλωσσικές λειτουργίες που απαιτούν πιο προχωρημένη συντακτική ανάλυση. Το P_{600} έχει επίσης συνδεθεί με τη διόρθωση συντακτικών λαθών και την κατανόηση προτάσεων που περιλαμβάνουν ασυνήθιστες γραμματικές καταστάσεις.

5 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΕΝΟΒΙΟ 20

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις η συσκευή Enobio 20 της εταιρίας Neuroelectrics και θα γίνει μια αναφορά σε αυτή. Θα ακολουθήσει ανάλυση των επιμέρους τμημάτων της συσκευής.

5.1 Enobio Necbox

Αποτελεί τον «πυρήνα» του συστήματος, καθώς εκεί γίνεται η λήψη των δεδομένων από τους αισθητήρες, το φιλτράρισμα και η αποστολή τους στον υπολογιστή. Κολλάτε επάνω στην μάσκα του κεφαλιού χωρίς να βαραίνει το κεφάλι καθώς ζυγίζει μόνο 86 γραμμάρια. Διαθέτει επαναφορτιζόμενη μπαταρία διάρκειας 5,5 ωρών αν η αποστολή γίνεται μέσω της ασύρματης επικοινωνίας Wi-Fi ή 19 ώρες αν γίνεται ενσύρματα μέσω USB καλωδίου. Διαθέτει δυο υποδοχές για την σύνδεση των 20 ηλεκτροδίων του κεφαλιού. Η δειγματοληψία του μπορεί να φτάσει τα 500 δείγματα ανά δευτερόλεπτο με εύρος ζώνης από 0 έως 125 Hz. Η αντίσταση εισόδου είναι μεγαλύτερη από 1 giga Ohm. Διαθέτει επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων καθώς και υποστήριξη καταγραφής απευθείας σε microSD κάρτα. Ακολουθεί ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 33: Συσκευή Necbox (32).

5.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 2: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών Ενοβιο 20 (32).

Χαρακτηριστικά	Ενοβιο 20
Αριθμός καναλιών	20 κανάλια
Bandwidth	0 έως 125 Hz
Ρυθμός δειγματοληψίας	500 SPS
Δυναμικό εύρος	24 bits / 0,05 μ V
Θόρυβος μέτρησης	< 1 μ V RMS
Αντίσταση είσοδου	> 1 G Ω
CMRR	-115 dB
Επικοινωνία	Wi-Fi IEEE 802.11 g ή USB
Επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων	Ναι (100 S/s)
Κάρτα MicroSD για offline εγγραφή	Ναι
Επαναφορτιζόμενη μπαταρία	Ναι
Διαστάσεις συσκευής	89.1 mm x 61.1 mm x 23.8 mm
Βάρος συσκευής	86 γραμμάρια
Χρόνος λειτουργίας - Wi-Fi	5.5 ώρες
Χρόνος λειτουργίας - MicroSD	17.0 ώρες
Χρόνος λειτουργίας - USB	19.0 ώρες
Επιτροπή ταυτόχρονης διέγερσης	Ναι

5.2 Neoprene Headcap (Μάσκα ηλεκτροδίων)

Η μάσκα ηλεκτροδίων (Neoprene Headcap) είναι μια άνετη, αξιόπιστη και ευέλικτη λύση για την τοποθέτηση ηλεκτροδίων για παρακολούθηση ΗΕΓ. Είναι φτιαγμένη από υλικό νεοπρενίου και διατίθεται σε διάφορα μεγέθη. Το πλέγμα του διαθέτει του 39 προκαθορισμένες θέσεις βασίζεται σε ένα υποσύνολο του διεθνούς συστήματος EEG 10-20. Σε κάθε θέση υπάρχει και μια ονομασία ούτως ώστε να δηλώνεται σωστά στο σύστημα καταγραφής. Μπορούν να δημιουργηθούν επιπλέον θέσεις χρησιμοποιώντας το εργαλείο διάτρησης της μάσκας.

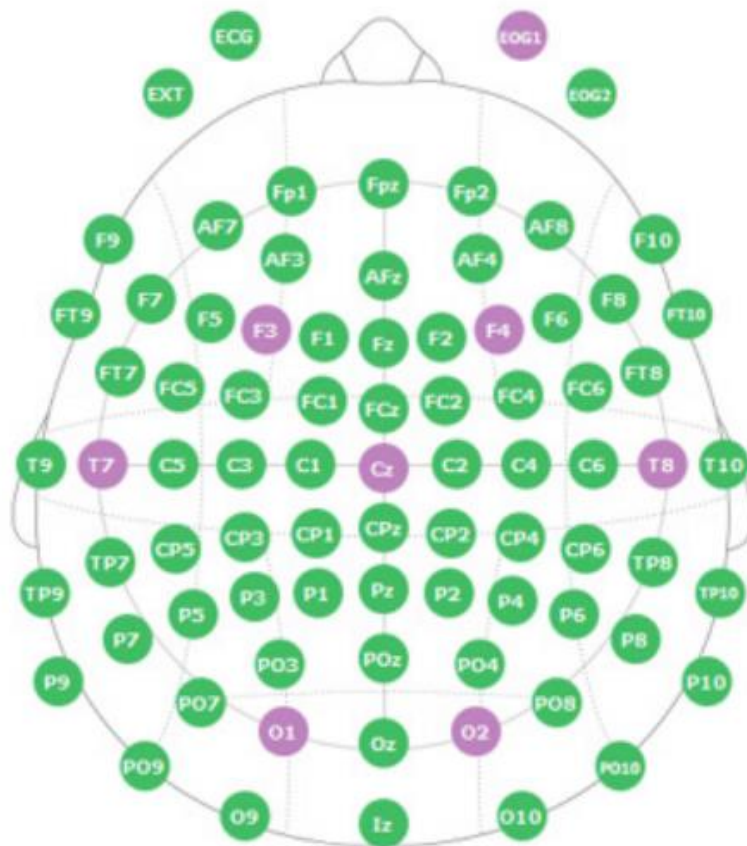


Εικόνα 34: Μάσκα τοποθέτησης ηλεκτροδίων (32).

Στην μάσκα αυτή υπάρχουν τυπωμένα αρχικά γραμμάτων που υποδηλώνουν κατηγορίες του κρανίου ώστε να αντιστοιχηθούν με τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Οι κατηγορίες αυτές έχουν ως εξής:

- Frontal-polar area (Μετωπιαία περιοχή): Fp1, Fpz, Fp2.
- Anterior-frontal area (Πρόσθια-μετωπιαία περιοχή): AF7, AF3, AF4, AF8.
- Frontal area (Εμπρόσθια περιοχή): F7, F3, Fz, F4, F8.
- Fronto-central area (Εμπρόσθια κεντρική περιοχή): FC5, FC1, FC2, FC6.
- Central area (Κεντρική περιοχή): C3, C1, Cz, C2, C4.
- Temporal area (Κροταφική περιοχή): T7 (T3), T8 (T4).
- Central-parietal area (Κεντρική βρεγματική περιοχή): CP5, CP1, CP2, CP6.
- Parietal area (Βρεγματική περιοχή): P7, P3, Pz, P4, P8.
- Parieto-occipital area (Βρεγματική - Ινιακή περιοχή): PO7, PO3, PO4, PO8.
- Occipital area (Ινιακή περιοχή): O1, Oz, O2.

Για να γίνει ευκολότερα αντιληπτό ακολουθεί η Εικόνα 35 από το λογισμικό που αναδεικνύει όλες τις προαναφερθείσες θέσεις στην περιοχή του κεφαλιού.



Εικόνα 35: Θέσεις τοποθέτησης ηλεκτροδίων Enobio 20 (32).

5.3 Ηλεκτρόδια Enobio 20

Το Enobio 20 προσφέρει τη δυνατότητα εύκολης ρύθμισης για την εγγραφή ΗΕΓ 20 καναλιών σε μόλις 3 λεπτά χρησιμοποιώντας ξηρά ηλεκτρόδια, ή σε 15-20 λεπτά χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια με τη βοήθεια gel.

Το NG Geltrode είναι ένα ηλεκτρόδιο παρακολούθησης EEG με μια καινοτόμο σχεδίαση της επόμενης γενιάς που επιτρέπει την πρόσβαση στο σκαπ του κεφαλιού μόλις η μάσκα τοποθετηθεί. Αυτό επιτρέπει την άνετη προετοιμασία του δέρματος με την παροχή του gel για να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα σήματος στο EEG. Τα ηλεκτρόδια με βάση το gel παρέχουν 1,6 τετραγωνικά εκατοστά κυκλικής περιοχής επαφής και είναι κατασκευασμένα από Ag/AgCl των 4 χιλιοστών διαμέτρου. Έχει ανθεκτικότητα που μπορεί να διαρκέσει και για 50 ώρες καταγραφής ΗΕΓ.



Εικόνα 36: Ηλεκτρόδιο με βάση το gel (NG Geltrode) (32).

Το ηλεκτρόδιο για ξηρή καταγραφή EEG (Drytrode) είναι ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη εγκατάσταση (3 λεπτά για 20 ηλεκτρόδια), κινητή εικόνα εκτός εργαστηρίου ή μια καθαρή εμπειρία χωρίς τζελ (χωρίς ταλαιπωρία με τα μαλλιά). Είναι σχεδιασμένο για εφαρμογές Enobio όπου η ευκολία χρήσης είναι πολύ σημαντική (π.χ. στο τμήμα επείγουσας φροντίδας). Τα ηλεκτρόδια ξηρής επαφής παρέχουν 10 σημεία επαφής πάνω από μια κυκλική περιοχή 1,3 τετραγωνικών εκατοστών και είναι κατασκευασμένα από Ag/AgCl coating. Έχει ανθεκτικότητα που μπορεί να διαρκέσει και για 50 ώρες καταγραφής ΗΕΓ.



Εικόνα 37: Ηλεκτρόδια ξηρής επαφής (32).

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου
ηλεκτροεγκεφαλογράφου

6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΝΟΒΙΟ 20

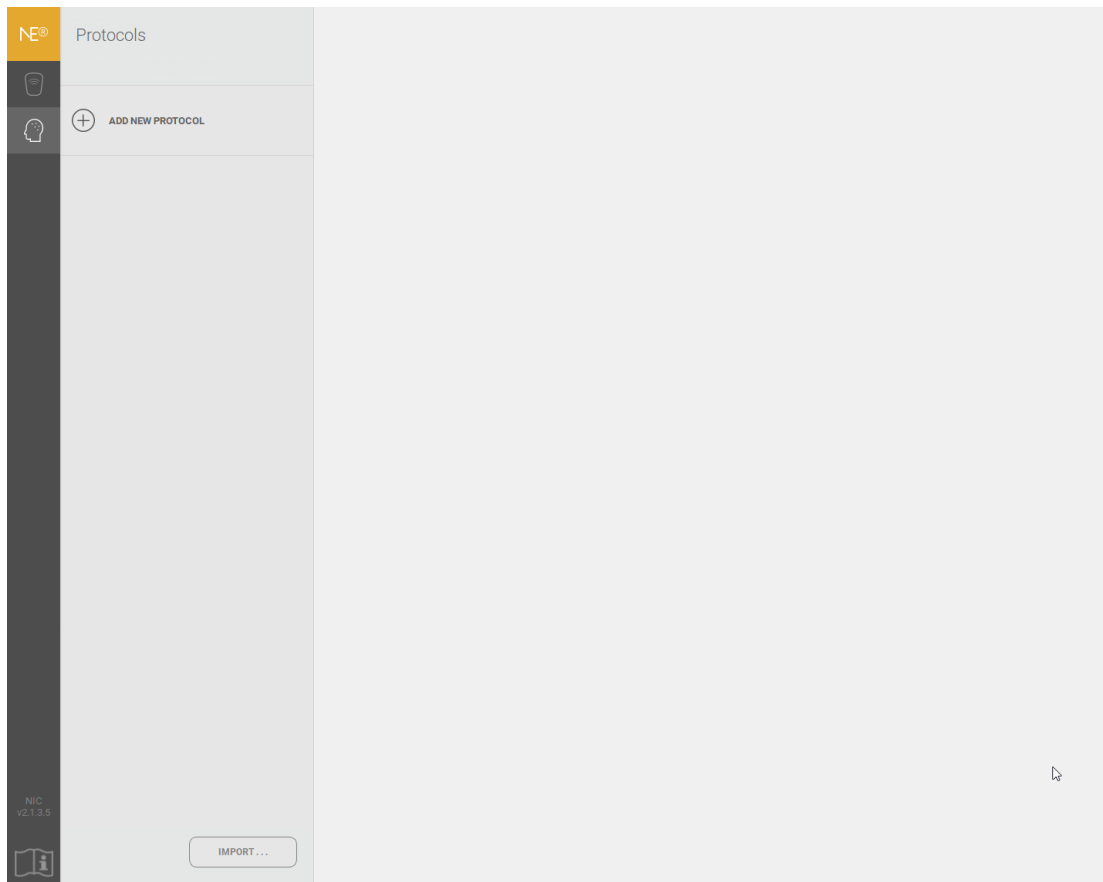
Το σύστημα EEG Ενοβίο της Neuroelectrics συνοδεύεται από ένα ισχυρό λογισμικό που ενισχύει τη λειτουργικότητα και την εμπειρία χρήσης. Αυτό το λογισμικό είναι απαραίτητο για τις δυνατότητες του συστήματος τόσο στις κλινικές όσο και στις ερευνητικές εφαρμογές. Οι κύριες δυνατότητες του λογισμικού περιλαμβάνουν:

- **Λογισμικό φιλικό προς τον χρήστη:** Το λογισμικό έχει σχεδιαστεί με μια για να είναι εύκολο στον χρήστη, καθιστώντας το προσβάσιμο τόσο για έμπειρους επαγγελματίες όσο και για όσους είναι νέοι στην ανάλυση σημάτων EEG.
- **Παρακολούθηση EEG σε πραγματικό χρόνο και οπτικοποιήσεις:** Το λογισμικό παρέχει παρακολούθηση EEG σε πραγματικό χρόνο. Περιλαμβάνει δυνατότητες για την οπτικοποίηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας, όπως η χαρτογράφηση του τριχτού της κεφαλής και της φλοιώδους απεικόνιση. Αυτό επιτρέπει τη λεπτομερή παρατήρηση και ανάλυση της λειτουργίας του εγκεφάλου σε πραγματικό χρόνο.
- **Προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων:** Προσφέρει προηγμένα εργαλεία για την ανάλυση δεδομένων, όπως φάσματα, σπεκτρογράμματα και διαγράμματα ισχύος ζώνης. Αυτά τα εργαλεία είναι ουσιώδη για την εμπάθυνση στην ανάλυση δεδομένων EEG και την κατανόηση διάφορων εγκεφαλικών δραστηριοτήτων και καταστάσεων.
- **Εξωτερικές επιλογές ενεργοποίησης:** Το λογισμικό υποστηρίζει εξωτερικές επιλογές ενεργοποίησης, επιτρέποντας τον συγχρονισμό με άλλα συστήματα ή συσκευές. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε πολύπλοκες πειραματικές διατάξεις όπου πρέπει να συντονιστούν πολλαπλές πηγές δεδομένων.
- **Ζωντανή ροή δεδομένων:** Διευκολύνει τη ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια δείγματος χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα LSL (Lab Streaming Layer) ή TCP/IP. Αυτή η λειτουργία είναι κρίσιμη για την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και για σενάρια όπου απαιτείται άμεση επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων.
- **Ενσωμάτωση με άλλα λογισμικά και συστήματα:** Το λογισμικό Ενοβίο είναι σχεδιασμένο για να ενσωματώνεται άνετα με διάφορα λογισμικά ερεθισμάτων και βιβλιοθήκες αναλύσεων EEG. Αυτή η δυνατότητα ενσωμάτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διεξαγωγή περίπλοκων πειραμάτων Σχετικών με Συμβάντα προκλητών δυναμικών (ERP).
- **Πακέτο Ανάπτυξης Λογισμικού (SDK):** Το σύστημα Ενοβίο περιλαμβάνει ένα SDK που επιτρέπει την ενσωμάτωση των ακατέργαστων σημάτων EEG σε ερευνητικές εφαρμογές. Αυτό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για τους ερευνητές και τους προγραμματιστές που επιθυμούν να δημιουργήσουν προσαρμοσμένες εφαρμογές ή ενσωματώσεις με βάση τα δεδομένα EEG.

Ακολουθεί επεξήγηση των βασικότερων οθονών του προγράμματος καταγραφής επεξεργασίας και απεικόνισης NIC2.

6.1 Πρωτόκολλα

Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής, ζητείται να δηλωθεί ο τρόπος με τον οποίο θα επικοινωνήσει το Neuro Interface Controller (NIC) με τον υπολογιστή (μέσω WiFi, Bluetooth, ή ενσύρματα). Όταν η εφαρμογή εκκινηθεί για πρώτη φορά η λίστα των πρωτοκόλλων είναι κενή όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 38: Αρχική οθόνη κατα την πρώτη εκκίνηση .).

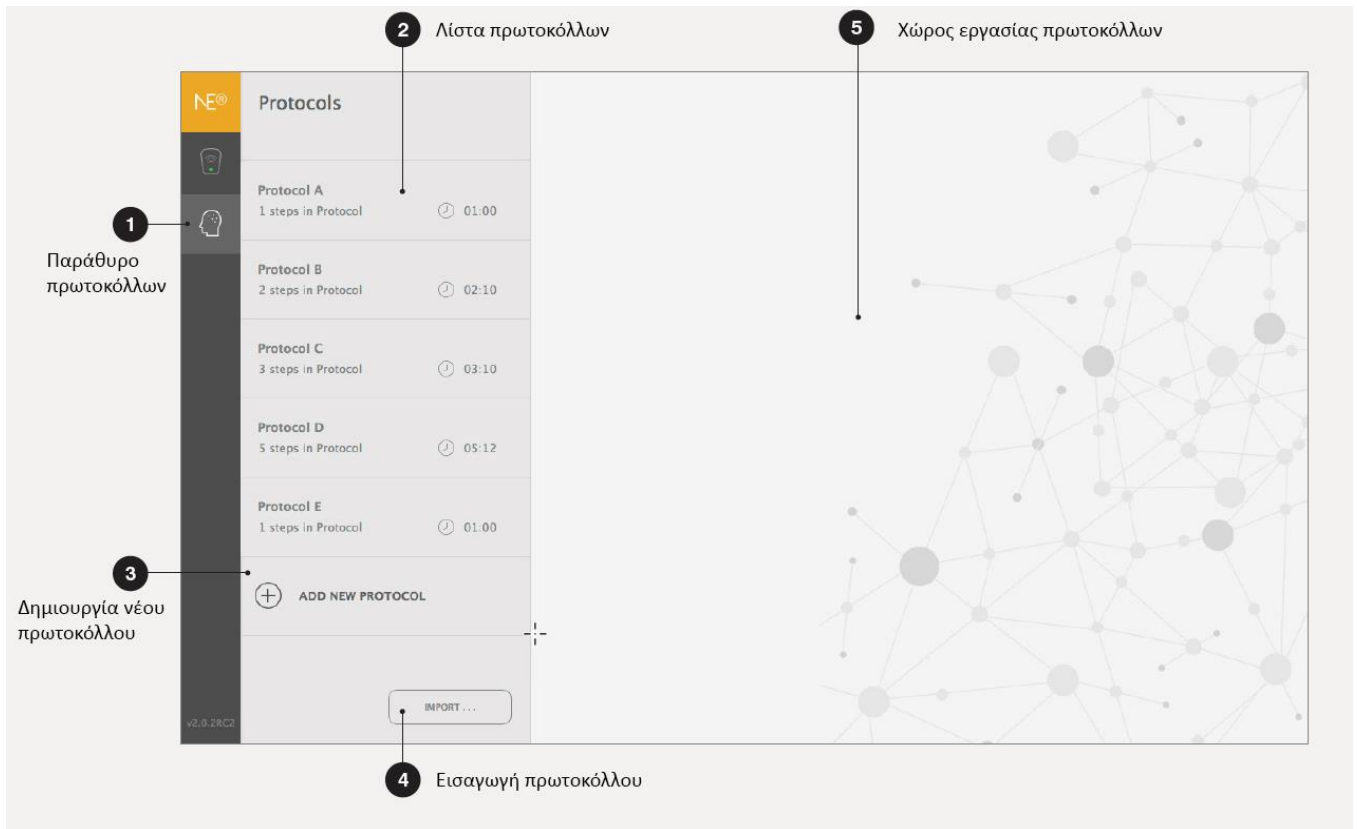


Εικόνα 38: Αρχική οθόνη κατα την πρώτη εκκίνηση (48).

Εάν όμως το NIC έχει χρησιμοποιηθεί κι άλλες φορές, μπορεί να περιέχει προηγούμενα πρωτόκολλα που είχαν αποθηκευτεί από άλλους χρήστες. Αφού πρώτα επιλεγεί το κουμπί που ανοίγει στην εφαρμογή το παράθυρο των πρωτοκόλλων, στην συνέχεια όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 39: Λίστα αποθηκευμένων πρωτοκόλλων .) είναι ευδιάκριτες οι εξής επιλογές:

- ✓ Λίστα πρωτοκόλλων (2): Σε αυτή τη λίστα εμφανίζονται όλα τα πρωτόκολλα που έχουν αποθηκευτεί κατά τις προηγούμενες χρήσεις.

- ✓ Δημιουργία νέου πρωτοκόλλου (3): Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα νέο πρωτόκολλο με τα δικά του προς μέτρηση δεδομένα.
- ✓ Εισαγωγή πρωτοκόλλων από αρχείο (4): Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει έναν πρωτόκολλο που είχε αποθηκευμένο στον σκληρό δίσκο ή κατέβασε από άλλο υπολογιστή.
- ✓ Χώρος εργασίας πρωτοκόλλων (5): Σε αυτό το πεδίο γίνονται ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου και σύνοψη αυτού, για τα οποία θα γίνει αναφορά στη συνέχεια.



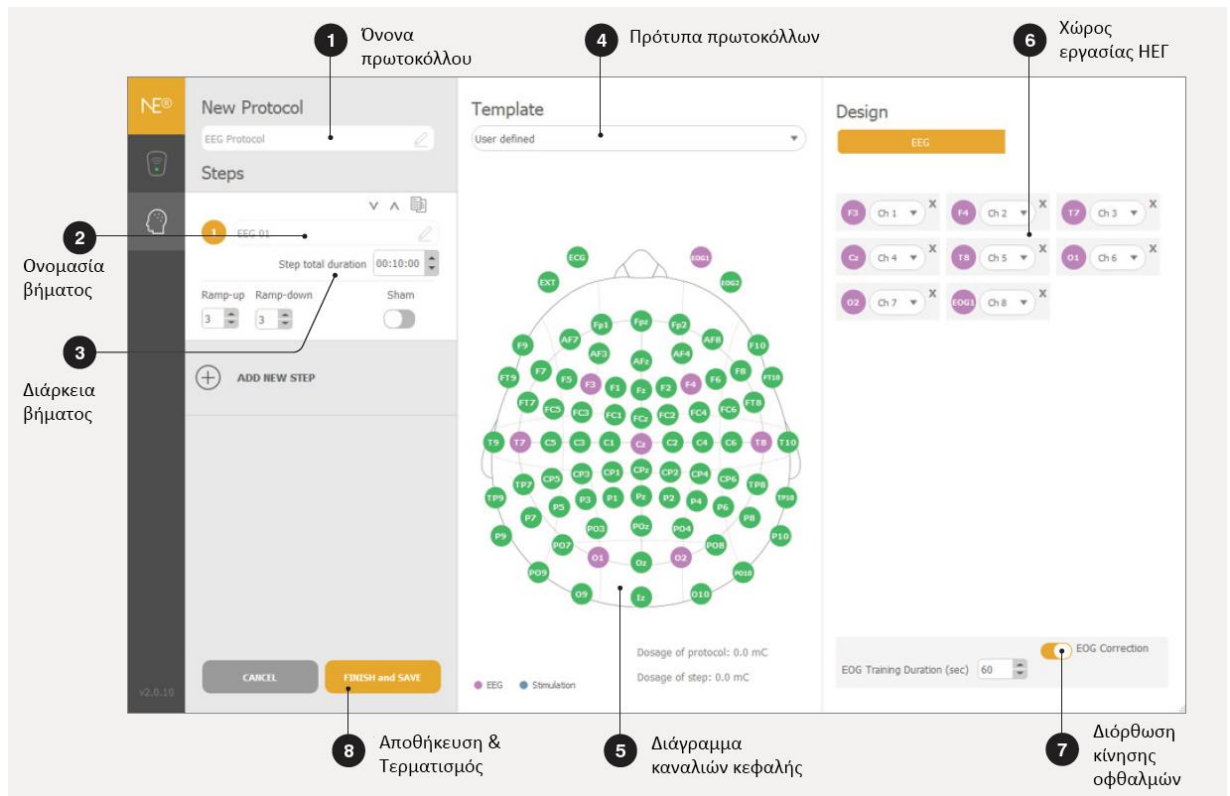
Εικόνα 39: Λίστα αποθηκευμένων πρωτοκόλλων (48).

6.2 Σχεδιασμός πρωτοκόλλου

Μόλις πατηθεί το κουμπί του παραθύρου πρωτοκόλλων, ένα νέο παράθυρο εμφανίζεται στην εφαρμογή και αφορά τον σχεδιασμό πρωτοκόλλων. Στη συγκεκριμένη λοιπόν οθόνη εντοπίζονται τα εξής σύμφωνα και με την Εικόνα 40: Παράθυρο σχεδιασμού πρωτοκόλλου .:

- Όνομα πρωτοκόλλου (1): Σε αυτό το πεδίο μπορεί να δοθεί ο τίτλος του πρωτοκόλλου ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμο σε μελλοντική χρήση. Επισημαίνεται ότι το όνομα στο πεδίο αυτό πρέπει να είναι μοναδικό.
- Ονομασία βήματος (2): Στο πεδίο αυτό δίδεται ονομασία για το συγκεκριμένο βήμα του πρωτοκόλλου.

- Διάρκεια βήματος (3): Στο πεδίο αυτό δηλώνεται ο χρόνος στον οποίο θα εκτελεστεί το συγκεκριμένο βήμα.
- Πρότυπα πρωτοκόλλων (4): Ορίζεται το πρότυπο πρωτοκόλλου. Στη συγκεκριμένη συσκευή, η επιλογή προτύπου μπορεί να οριστεί μεταξύ των επιλογών προσαρμοσμένο ορισμένο από τον χρήστη και κανονική τοποθέτηση ηλεκτροδίων. Η πρώτη επιλογή επιτρέπει στον χρήστη την ορίσει τα ηλεκτρόδιά του σε οποιασδήποτε από τις 76 θέσεις στον χάρτη του ηλεκτροεγκεφαλογράφου και στα κανάλια της συσκευής, ενώ η δεύτερη κλειδώνει τις θέσεις των ηλεκτροδίων στην προκαθορισμένη τοποθέτηση του συστήματος.
- Διάγραμμα καναλιών κεφαλής (5): Το συγκεκριμένο πεδίο δείχνει ένα σύστημα συντεταγμένων ΗΕΓ που ανταποκρίνεται στο πρότυπο 10-10. Οι χρωματικές ενδείξεις απεικονίζουν τα κανάλια και τη εκάστοτε λειτουργία τους:
 - Πράσινο: Θέσεις διαθέσιμες με το τρέχον πρότυπο.
 - Μωβ: Κανάλια που χρησιμοποιούνται στο ΗΕΓ κατά το τρέχον πρότυπο.
 - Πράσινο με κύκλο: Διαθέσιμες θέσεις που έχουν αντιστοιχηθεί στο ΗΕΓ σε άλλα βήματα του ιδίου πρωτοκόλλου.
 - Λευκό: Θέσεις μη διαθέσιμες στα πρότυπα τοποθέτησης.
- Χώρος εργασίας ΗΕΓ (6): Σε αυτό το πεδίο απεικονίζονται όλα τα ηλεκτρόδια που έχουν δηλωθεί προς χρήση και σε ποια κανάλια έχουν αντιστοιχηθεί.
- Διόρθωση κίνησης οφθαλμών (7): Ενεργοποιώντας το συγκεκριμένο πεδίο ανοίγει το μενού με τις επιλογές που αφορούν φίλτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να αποριφθεί ο θόρυβος που προκαλείται από την κίνηση των οφθαλμών.
- Αποθήκευση & τερματισμός (8): Στο συγκεκριμένο πεδίο πραγματοποιείται η αποθήκευση που αφορά το πρωτόκολλο και γίνετια τερματισμός του προγράμματος.



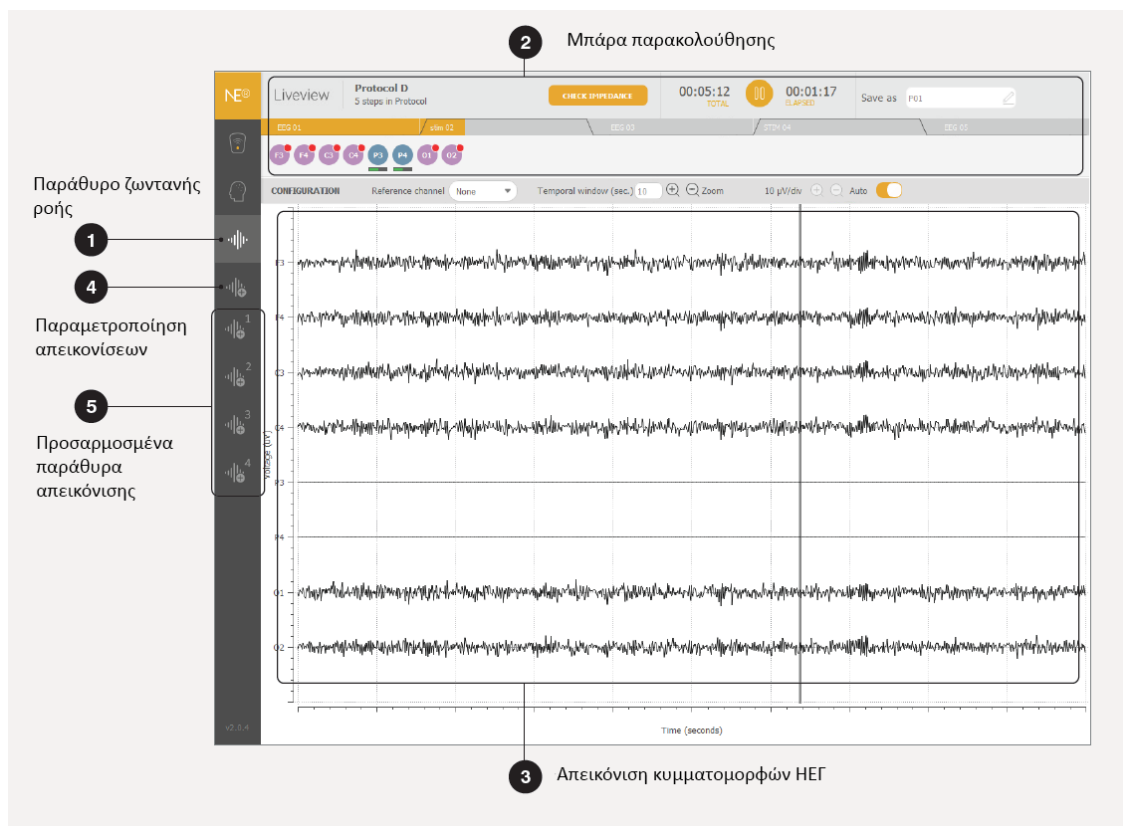
Εικόνα 40: Παράθυρο σχεδιασμού πρωτοκόλλου (48).

6.3 Παράθυρο ζωντανής ροής (Liveview)

Το παράθυρο ζωντανής ροής (Liveview) επι της ουσίας απεικονίζει την εκτέλεση του πρωτοκόλλου και αποτελείται από τις εξής κατηγορίες σύμφωνα με την Εικόνα 41: Παράθυρο Liveview ..

- ✓ Παράθυρο ζωντανής ροής (Liveview): Το συγκεκριμένο παράθυρο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μετρήσεων ΗΕΓ. Είναι το αρχικό παράθυρο που διαθέτει το πρόγραμμα NIC2 και δεν μπορεί να προσαρμοστεί από τον χρήστη.
- ✓ Μπάρα παρακολούθησης: Η συγκεκριμένη μπάρα περιλαμβάνει τις εξής εντολές:
 - Το όνομα του εκάστοτε πρωτοκόλλου και τον αριθμό των βημάτων.
 - Πληροφορίες χρονοδιαγράμματος και κουμπιά Play-Pause-Quit.
 - Ρύθμιση του ID που σχετίζεται με την αποθήκευση των αρχείων.
 - Τιμές ποιότητας σήματος ανά κανάλι.
 - Γραμμή διαμόρφωσης: Δυνατότητα επιλογής καναλιού για απεικόνιση και προσαρμογή της τάσης (μV) και του χρόνου (s). Υπάρχει η δυνατότητα επίσης η τάση να οριστεί σε Αυτόματη λειτουργία έτσι ώστε να αναπροσαρμόζεται αυτόματα στο πλάτος των σημάτων.
- ✓ Απεικόνιση κυματομορφών ΗΕΓ: Τα σήματα απεικονίζονται για όλες τις θέσεις που ορίστηκαν στο παράθυρο Σχεδιασμού Πρωτοκόλλου.

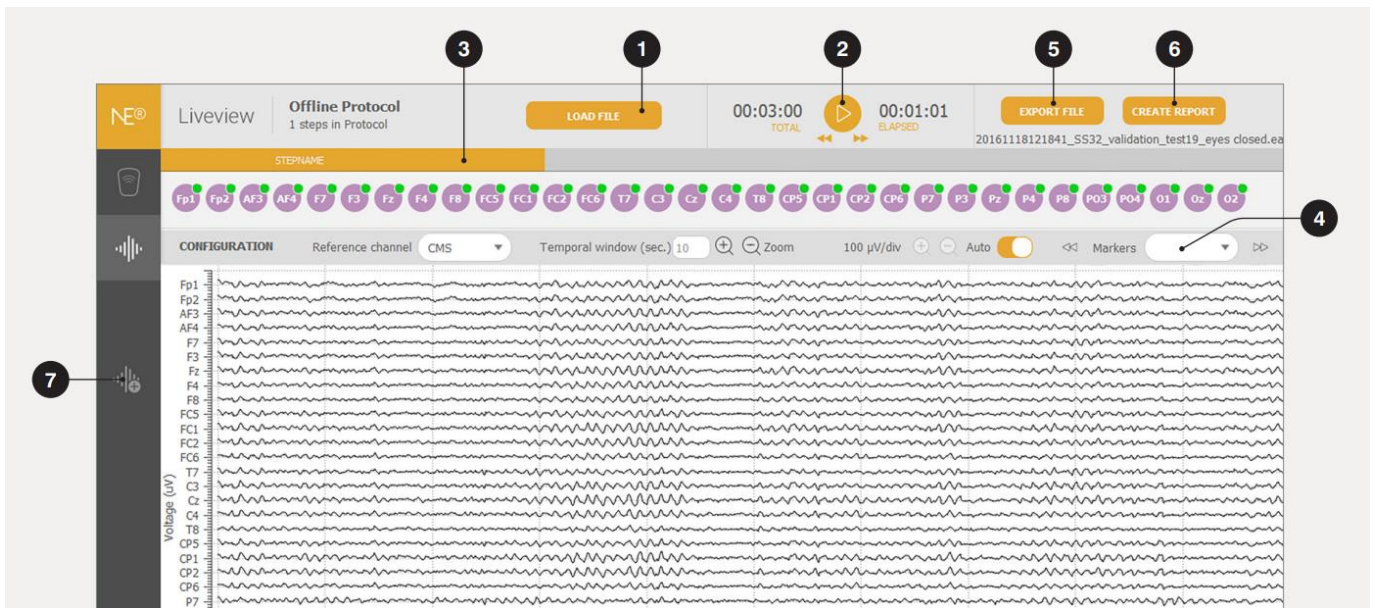
- ✓ Παραμετροποίηση απεικονίσεων: Η εφαρμογή επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει παράθυρα Ζωντανής Προβολής σύμφωνα με την προτίμησή του. Στο παράθυρο αυτό ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και να χρησιμοποιήσει διάφορα εργαλεία για την ανάλυση των δεδομένων του ΗΕΓ σε πραγματικό χρόνο.
- ✓ Προσαρμοσμένα παράθυρα απεικόνισης: Ο χρήστης μπορεί να φορτώσει και να εκτελεί έως και 4 προσαρμοσμένες ζωντανές ροές ταυτόχρονα. Οι φορτωμένες προσαρμοσμένες ζωντανές ροές προστίθενται στην μπάρα στα αριστερά του παραθύρου.



Εικόνα 41: Παράθυρο Liveview (48).

6.4 Λειτουργία εκτός σύνδεσης (Offline Mode)

Το λογισμικό υποστηρίζει την λειτουργία εκτός σύνδεσης και προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα επαναπροβολής αποθηκευμένων αρχείων από μετρήσεις του παρελθόντος. Για να γίνει αυτό εφικτό, το μόνο που χρειάζεται είναι να επιλέξει ο χρήστης κατά την εκκίνηση του λογισμικού την επιλογή «Offline Mode».



Εικόνα 42: Απεικόνιση παραθύρου εκτός σύνδεσης (48).

Ακολουθεί η επεξήγηση των δυνατοτήτων στην λειτουργία εκτός σύνδεσης που απεικονούνται στην Εικόνα 42: Απεικόνιση παραθύρου εκτός σύνδεσης.:

- 1) Φόρτωση αρχείου: Δίδεται η δυνατότητα στον χρήστη να προβάλει αποθηκευμένες μετρήσεις και να τις επεξεργαστεί. Τα αρχεία πρέπει να έχουν την κατάληξη .easy, *.nedf, *info και *.sdeeg.
- 2) Εκκίνηση/ Πάυση: Ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει, παύσει την προβολή του αποθηκευμένου σήματος αλλά και να προχωρήσει ή να γυρίσει πίσω τον χρόνο του υπό προβολή ΗΕΓ.
- 3) Γρήγορη μεταφορά: Ο χρήστης μπορεί να σύρει και να αφήσει τον κέρσορα στην μπάρα του χρονοδιαγράμματος για να μεταβεί σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- 4) Δείκτες επισήμανσης: Αν κατά την καταγραφή ο χρήστης είχε προσθέσει δείκτες (markers), τότε είναι δυνατή η επιλογή αυτών. Αν επιθυμεί να μεταβεί απευθείας σε αυτά τα σημεία μπορεί να κάνει κλικ στα εικονίδια με τα διπλά βέλη.
- 5) Εξαγωγή αρχείου: Ο χρήστης μπορεί ανα πάσα στιγμή να αποθηκεύσει το αρχείο σε οποιονδήποτε άλλο τύπο αρχείου του επιτρέπεται από τον κατασκευαστή.
- 6) Δημιουργία αναφοράς: Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει την δική του αναφορά μετα-επεξεργασίας με τα δεδομένα που προβάλει εκείνη την στιγμή. Μόλις πατηθεί το εικονίδιο αυτό, θα προβληθεί ένα νέο παράθυρο διαλόγου όπου θα ζητηθεί από τον χρήστη να προσαρμόσει τις παραμέτρους μετα-επεξεργασίας καθώς και να δηλώσει τον χρόνο έναρξης και λήξης των δεδομένων που θα περιλαμβάνει η αναφορά.

- 7) Προσαρμοσμένα παράθυρα απεικόνισης: Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κάνει χρήση των προσαρμοσμένων παραθύρων παρακολούθησης και στην offline λειτουργία.

7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

7.1 Διαδικασία πειραματικών μετρήσεων

Πίνακας 3: Στάδια πειραματικών μετρήσεων.

Διάρκεια	Κατάσταση
0 - 60 Sec	Ηρεμία
61 Sec	Ακουστικό ερέθισμα
62 – 90 Sec	Ηρεμία
91 Sec	Ακουστικό ερέθισμα
92-120 Sec	Ηρεμία
121 Sec	Ακουστικό ερέθισμα
122-150 Sec	Ηρεμία
151 Sec	Ακουστικό ερέθισμα

Στο συγκεκριμένο πείραμα, που τα στάδιά του αναφέρονται στον Πίνακας 3, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Για την εξασφάλιση των όσο το δυνατόν καλύτερων καταγραφών του ΗΕΓ απενεργοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές συσκευές του εργαστηρίου που κατά την κρίση του συγγραφέα, προκαλούσαν παρεμβολές στο σήμα των ηλεκτροδίων. Για παράδειγμα, τέθηκαν εκτός λειτουργία υπολογιστές και περιττά φωτιστικά του χώρου. Επίσης, απενεργοποιήθηκαν οι συσκευές που λειτουργούσαν μέσω του διαύλου επικοινωνίας «Wi-Fi» αφού και η συσκευή EnoBio αποστέλλει τα δεδομένα της με την χρήση του ιδίου διαύλου. Για την καλύτερη απομόνωση του ατόμου από εξωτερικά ερεθίσματα, έκλεισαν οι πόρτες και τα παράθυρα του εργαστηρίου και επικράτησε σιγή. Τέλος, έγινε προσπάθεια ώστε οι καταγραφές να γίνουν απογευματινές ώρες, για να υπάρχει όσο το δυνατόν περισσότερη ησυχία στον χώρο του πανεπιστημίου. Πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση της κάσκας με τα ξηρά ηλεκτρόδια στο υπο μέτρηση άτομο και εξασφαλίστηκε η όσο το δυνατόν καλύτερη επαφή των ηλεκτροδίων στην κεφαλή του ατόμου μέσω της εφαρμογής NIC.

Για την διαδικασία των ερεθισμάτων δημιουργήθηκε ένα αρχείο ήχου σε μορφή mp3 το οποίο ακολουθούσε πιστά τους χρόνους του Πίνακας 3. Ταυτόχρονα ξεκινούσε η αναπαραγωγή του ήχου με την καταγραφή του ΗΕΓ ώστε οι ζητούμενες κυματομορφές να είναι όσο το δυνατόν συγχρονισμένες ώστε να αναζητηθούν και ευρεθούν πιο εύκολα. Ακολουθεί η διαδικασία της καταγραφής ΗΕΓ.

Στα πρώτα εξήντα δευτερόλεπτα καταγραφής, ζητείται από το υπό μέτρηση άτομο να κλείσει τα μάτια του και να προσπαθήσει να έρθει όσο το δυνατόν περισσότερο σε κατάσταση ηρεμίας. Στο 61^ο δευτερόλεπτο αναπαράγεται ένα ακουστικό

ερέθισμα. Αυτό δεν είναι κάτι άλλο από ένα απλό κλικ. Στη συνέχεια, μέχρι τα 90 δευτερόλεπτα ακολουθεί πάλι σιγή ώστε να εξασφαλιστεί η κατάσταση ηρεμίας. Στο 91^ο δευτερόλεπτο αναπαράγεται ξανά το κλικ. Έπειτα μέχρι τα 120 δευτερόλεπτα επικρατεί ηρεμία. Στο 121^ο δευτερόλεπτο έχουμε πάλι το ακουστικό ερέθισμα του κλικ. Μέχρι το 150^ο δευτερόλεπτο κυριαρχεί η ηρεμία και τέλος στο 151^ο ακούγεται το τελευταίο κλικ.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε σε 10 άτομα. Τους ανακοινώθηκαν τα στάδια του πειράματος και έπειτα τους επισημάνθηκε ότι η διαδικασία είναι πλήρως μη επεμβατική και δεν υπάρχει κίνδυνος κατά την συμμετοχή τους. Επίσης, έγινε γνωστό σε αυτούς ότι τα δεδομένα θα λαμβάνονται και θα αποθηκεύονται ανώνυμα καθόσον δεν έχει ερευνητικό ενδιαφέρον η αντιστοίχιση δεδομένων με τους συμμετέχοντες. Τέλος, τους αναφέρθηκε ότι δεν είναι δυνατόν να προκύψει οποιαδήποτε εύρημα που να σχετίζεται με οποιαδήποτε τυχόν παθολογία των ατόμων. Έπειτα από όλα τα παραπάνω, τους δόθηκε το έντυπο συγκατάθεσης για να υπογραφεί από τους ιδίους ότι συμφωνούν με τους αναγραφόμενους όρους.

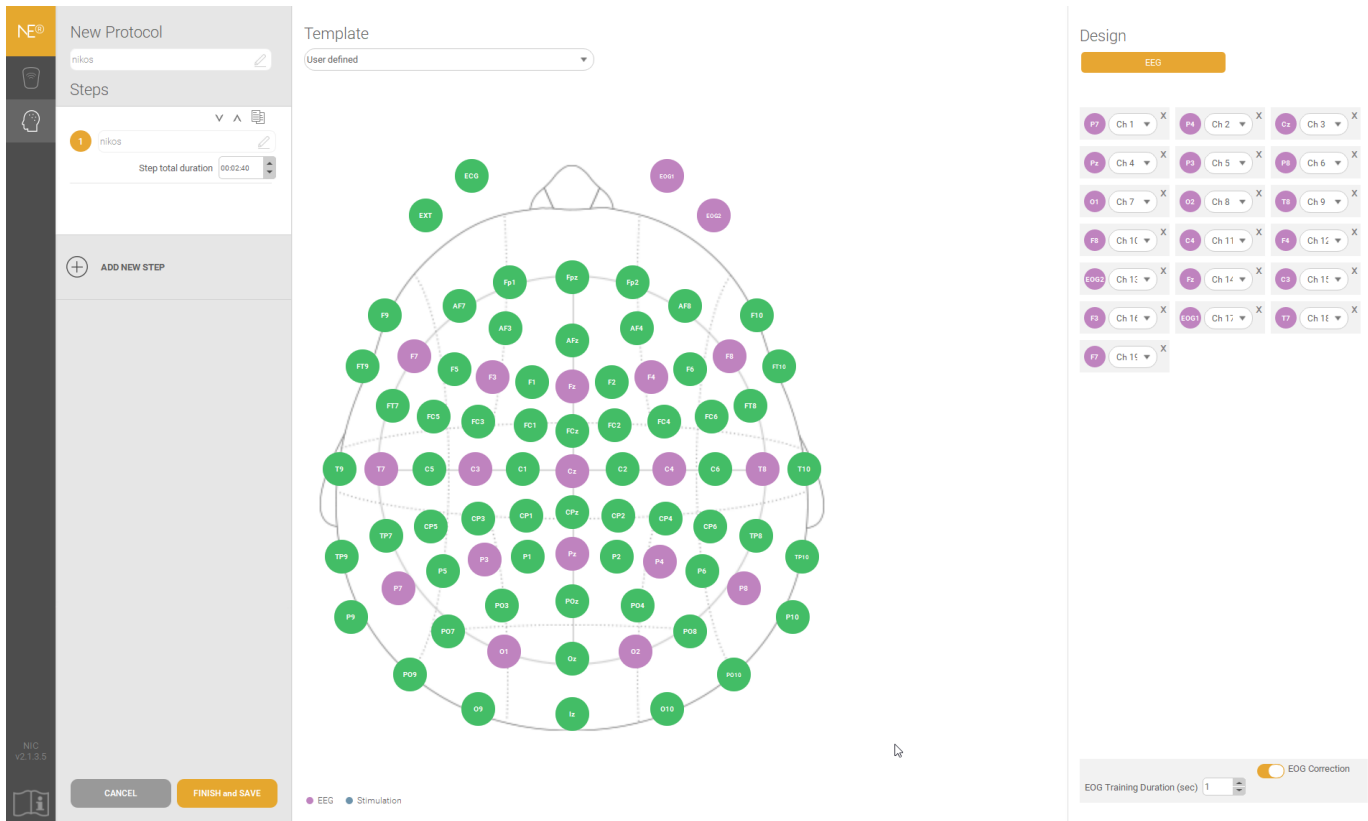
Στόχος του πειράματος είναι να καταγραφεί και να απεικονιστεί όσο το δυνατόν καλύτερα γίνεται η ανταπόκριση του εγκεφάλου στα ερεθίσματα των ακουστικών προκλητών δυναμικών της διαδικασίας που προαναφέρθηκαν με την χρήση ηλεκτροδίων ξηρού τύπου. Ιδανικά θα ήταν επιθυμητό οι μετρήσεις να τείνουν στην όψη της Εικόνα 32, γνωρίζοντας βέβαια ότι κάτι τέτοιο είναι αρκετά δύσκολο να καταγραφεί και απεικονιστεί με την χρήση τέτοιου είδους ηλεκτροδίων που έχουν αρκετό θόρυβο και όχι τόσο καλή ευαισθησία όσο των ηλεκτροδίων υγρού τύπου.

7.2 Εξοπλισμός - πρωτόκολλο καταγραφής δεδομένων

Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένας σταθερός υπολογιστής τελευταίας τεχνολογίας από το εργαστήριο του τμήματος και συνδέθηκε μέσω διαύλου Wi-Fi η συσκευή EnoBio 20 της εταιρείας Neuroelectrics. Κατά το άνοιγμα του λογισμικού NIC2, επιλέχθηκε το φίλτρο για την εξάλειψη των παρεμβολών των 50Hz. Χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο της Εικόνα 43: Πρωτόκολλο καταγραφής. και καταγράφηκαν οι διαφορές δυναμικού από όλα τα ηλεκτρόδια πλην του ηλεκτροδίου External (EXT), το οποίο δεν ήταν συνδεδεμένο. Στο πρωτόκολλο δηλώθηκαν τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται στα σημεία FP1 και FP2 που βρίσκονται στο μπροστινό σημείο της κεφαλής και δηλώθηκαν ώστε να χρησιμοποιούνται για την λειτουργία EOG Correction. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την αφαίρεση των ψευδενδείξεων, που σχετίζονται με την κίνηση των ματιών, από το σήμα EEG. Στην Εικόνα 43: Πρωτόκολλο καταγραφής. απεικονίζονται με μωβ χρώμα οι θέσεις στις οποίες τοποθετήθηκαν τα

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ηλεκτρόδια για την καταγραφή των σημάτων και στα δεξιά της εικόνας είναι εμφανής η αντιστοίχιση των θέσεων με τα κανάλια της συσκευής.

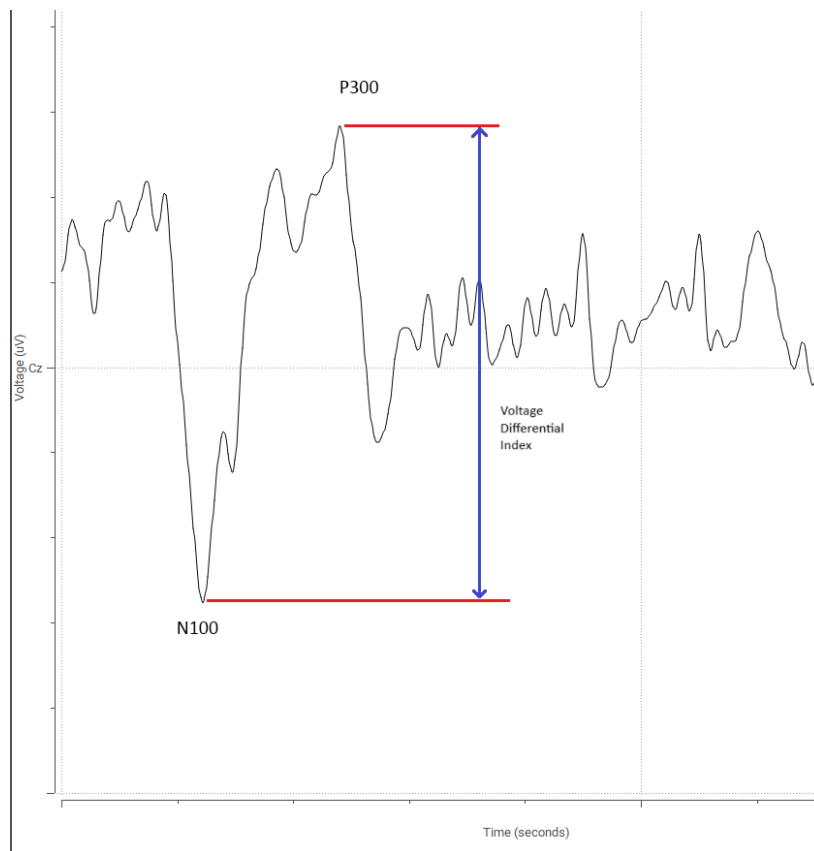


Εικόνα 43: Πρωτόκολλο καταγραφής.

7.3 Επεξεργασία

Έπειτα από την επιτυχή καταγραφή των δεδομένων ΗΕΓ, ακολούθησε η επεξεργασία αυτών. Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν τα σήματα όλων των ηλεκτροδίων, ώστε να εντοπιστεί η κυματομορφή, που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, εμφανίζεται κατά την αναπαραγωγή του ακουστικού ερεθίσματος (49), (46). Ύστερα από ενδελεχή ανάλυση όλων των σημάτων, η κυματομορφή που αντιστοιχεί στο ακουστικό ερέθισμα, εντοπίστηκε στο ηλεκτρόδιο Cz, στην οποία έγινε καταμέτρηση της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής κατά την χρονική αυτή περίοδο. Πιο συγκεκριμένα έγινε καταμέτρηση της ελάχιστης τιμής στην περιοχή N₁₀₀ και της μέγιστης τιμής στην περιοχή P₃₀₀ (Εικόνα 44) για κάθε άτομο ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές καταχωρήθηκαν σε ένα νέο πίνακα και υπολογίστηκε η διαφορά τους ανά άτομο. Ο δείκτης αυτής της αφαίρεσης αποτελεί το πλάτος από την ελάχιστη αρνητική κορυφή έως την μέγιστη θετική κορυφή και ονομάστηκε Voltage Differential Index. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή αυτή εκφράζει το μέγεθος του πλήθους των νευρώνων που ενεργοποιούνται κατά την διαδικασία του ερεθίσματος του εγκεφάλου

(50). Επίσης, υπολογίστηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των τιμών Min, Max και Voltage Differential Index.



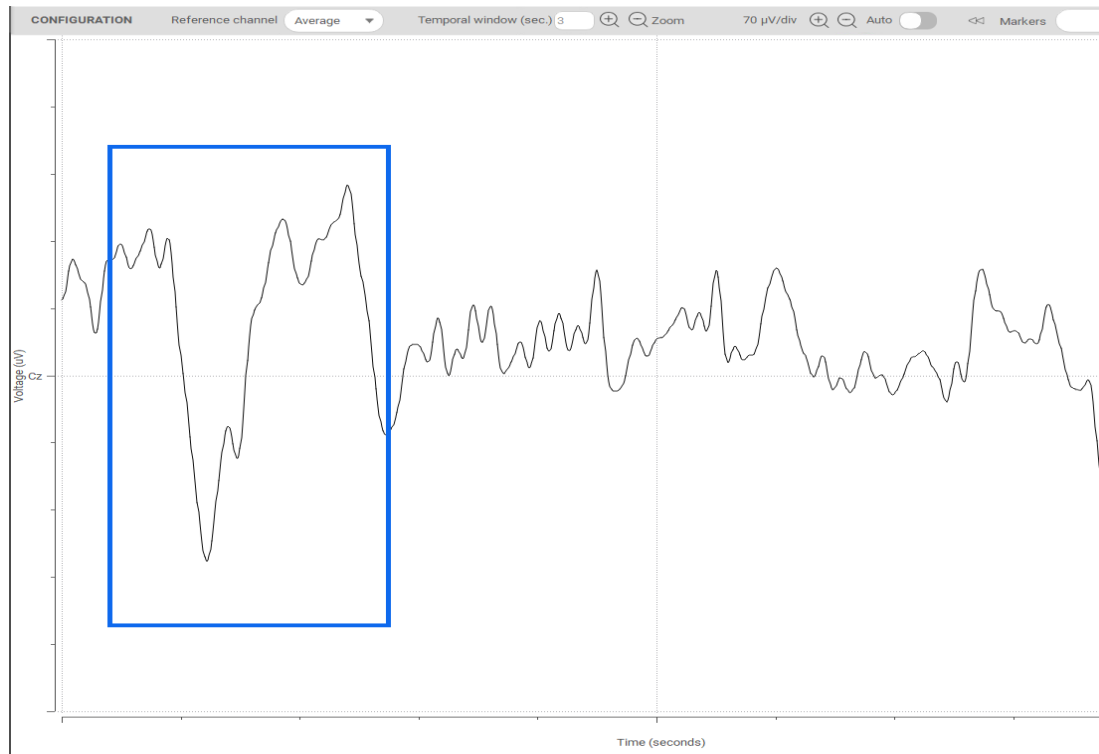
Εικόνα 44: Υπολογισμός δείκτη Differential Index.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

7.4 Αποτελέσματα

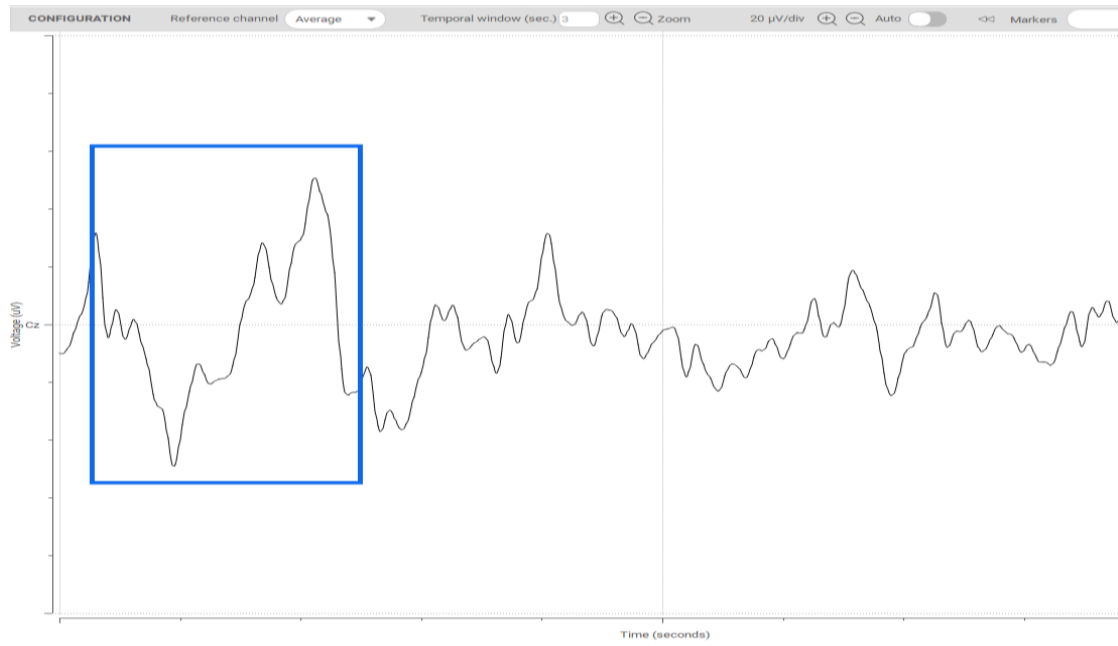
7.4.1 Εντοπισμός σήματος ερεθίσματος

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται ενδεικτικά οι κυματομορφές που καταγράφηκαν με την χρήση ηλεκτροδίων ξηρού τύπου, με τον λιγότερο δυνατό θόρυβο κατά την χρονική περίοδο του ακουστικού ερεθίσματος. Οι χρονικές στιγμές αυτές εντοπίζονται στα αριστερά κάθε εικόνας εντός του τετραγώνου.

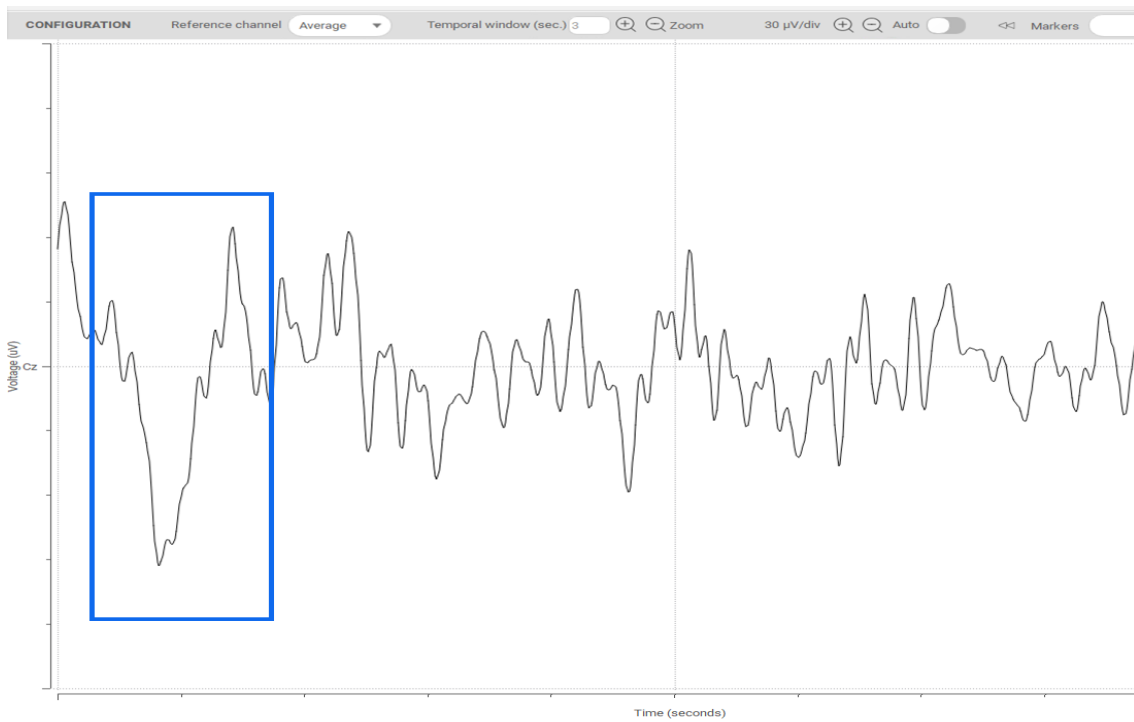


Εικόνα 45: Απεικόνιση ερεθίσματος 1ου ατόμου.

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

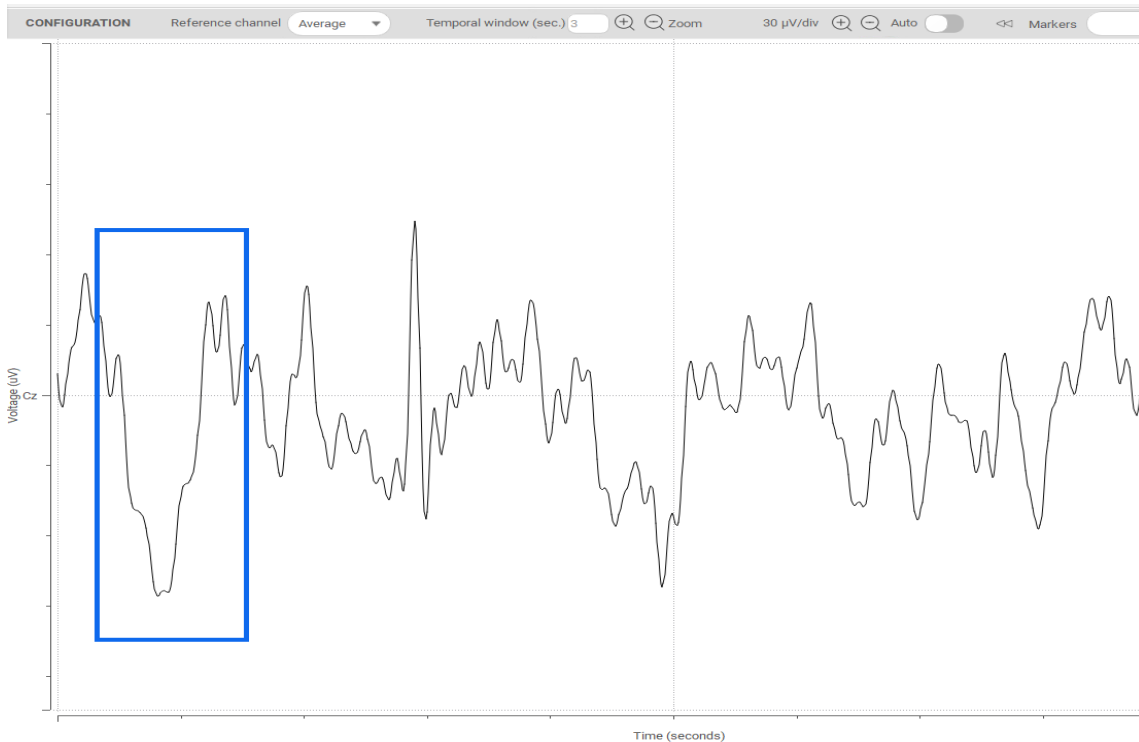


Εικόνα 46: Απεικόνιση ερεθίσματος 2ου ατόμου.



Εικόνα 47: Απεικόνιση ερεθίσματος 3ου ατόμου.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



Εικόνα 48: Απεικόνιση ερεθίσματος 4ου ατόμου.

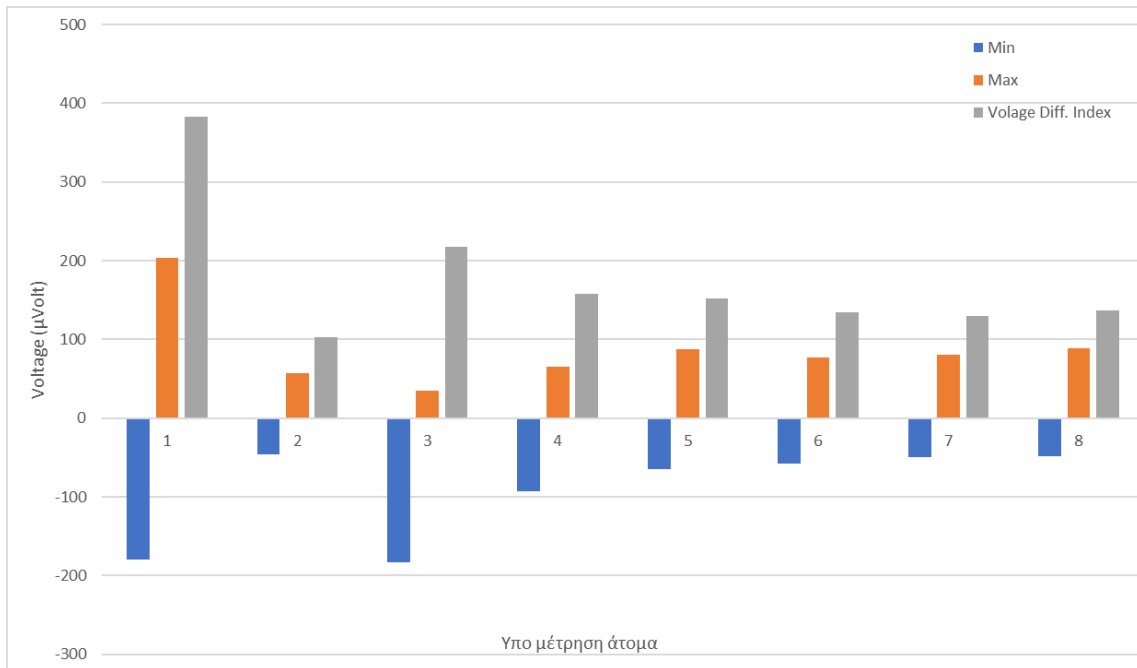
Όπως προαναφέρθηκε, έπειτα από την επεξεργασία του σήματος καταχωρήθηκαν σε ένα πίνακα οι τιμές που αντιστοιχούσαν στην αρνητική κορυφή N_{100} και ονομάστηκε Min και οι τιμές που αντιστοιχούσαν στην θετική κορυφή P_{300} και ονομάστηκε Max, για κάθε άτομο έκανε το πείραμα. Επίσης υπολογίστηκε η διαφορά των δυο αυτών τιμών και ονομάστηκε Voltage Differential Index. Υπολογίστηκε επίσης η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για όλες αυτές τις τιμές. Ακολουθεί ο Πίνακας 4 με όλες αυτές τις πληροφορίες, καθώς και η γραφική τους απεικόνιση Εικόνα 49. Στην Εικόνα 50 απεικονίζεται το θηκογράμμα του Voltage Differential Index. Η πλειοψηφία των τιμών είναι σε γειτονικές περιοχές ενώ μια τιμή (outlier) βρίσκεται εκτός των υπολοίπων.

Πίνακας 4: Πίνακας μέγιστων, ελάχιστων τιμών και Voltage Differential Index ανά άτομο, καθώς και μέση τιμή και τυπική απόκλιση αυτών.

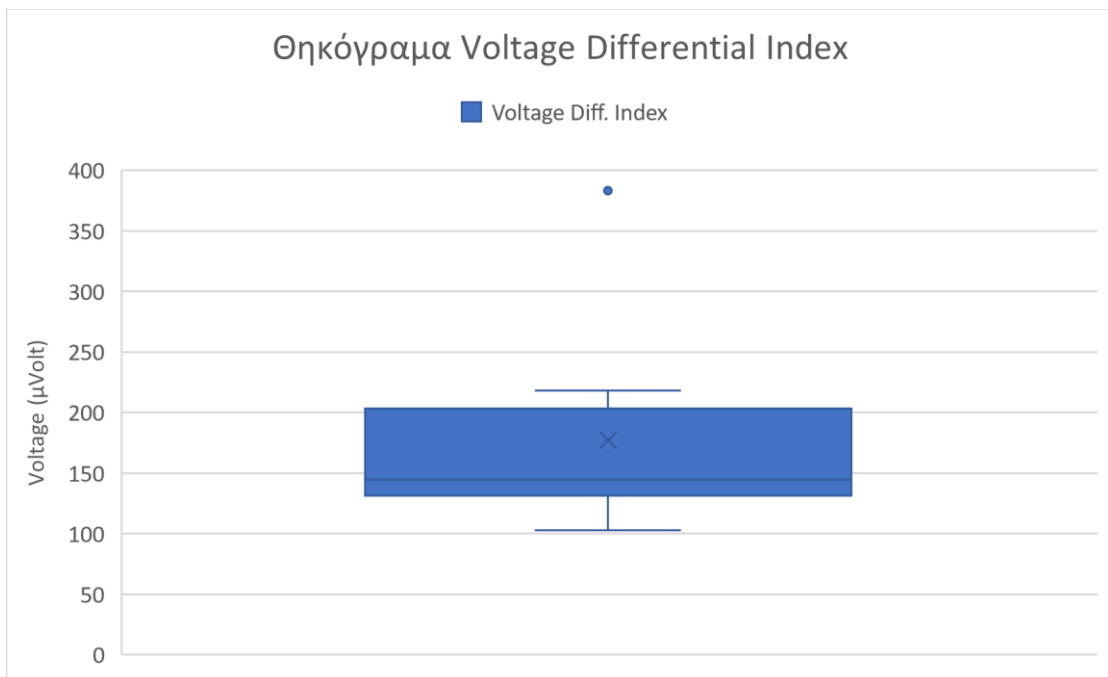
	Άτομα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Min	-180	-46	-183	-93	-65	-58	-50	-48
Mean Min	-90,38							
Std Min	58,19							
Max	203	57	35	65	87	77	80	89
Mean Max	86,63							
Std Max	50,28							
Voltage Differential Index	383	103	218	158	152	135	130	137
Mean VDI	177,00							

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

Std VDI	89,56
---------	-------



Εικόνα 49: Ραβδόγραμμα μέγιστων, ελάχιστων και Voltage Differential Index ανά άτομο.

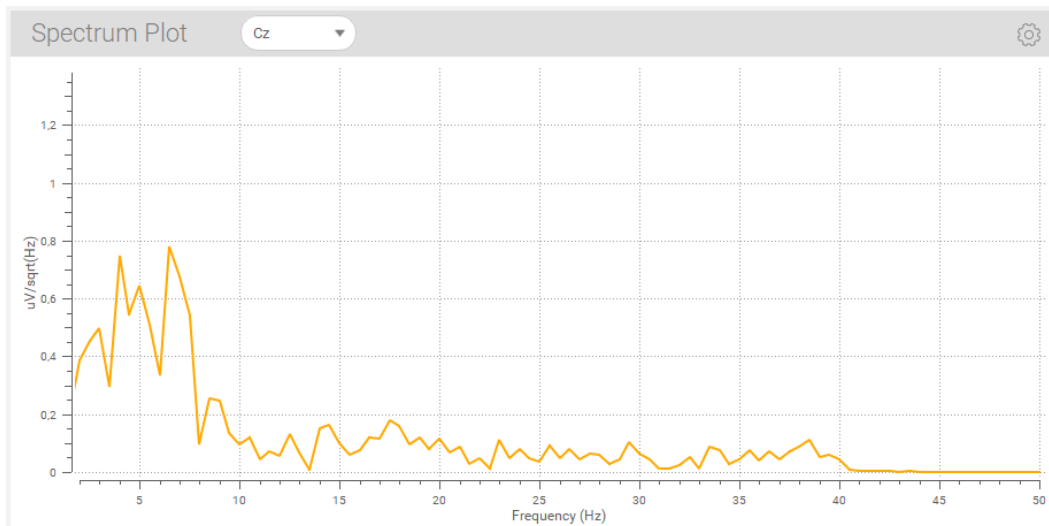


Εικόνα 50: Θηκογράμα Voltage Differential Index.

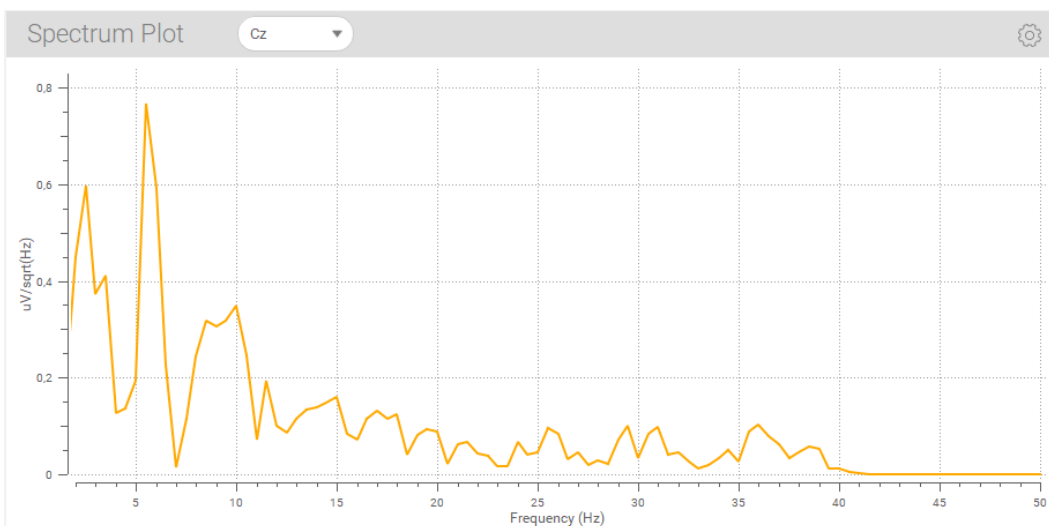
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

7.4.2 Παραγωγή διαγραμμάτων φάσματος χαλάρωσης

Στη συνέχεια, μέσω της εφαρμογής NIC που καταγράφει τα σήματα, εντοπίστηκαν οι οι συχνοτικές ζώνες (μπάντες) κατά την διάρκεια που το άτομο βρισκόταν σε σχετική χαλάρωση. Ακολουθούν οι αντίστοιχες εικόνες διαγραμμάτων φάσματος που απεικονίζουν το φαινόμενο αυτό. Είναι φανερό ότι οι υπάρχει δραστηριότητα στις συχνότητες μεταξύ 5 εως 12 Hz και αφορούν τους ρυθμούς Θήτα και Άλφα, οι οποίοι σύμφωνα και με την βιβλιογραφία αντιστοιχούν σε στιγμές χαλάρωσης και κλειστών ματιών.

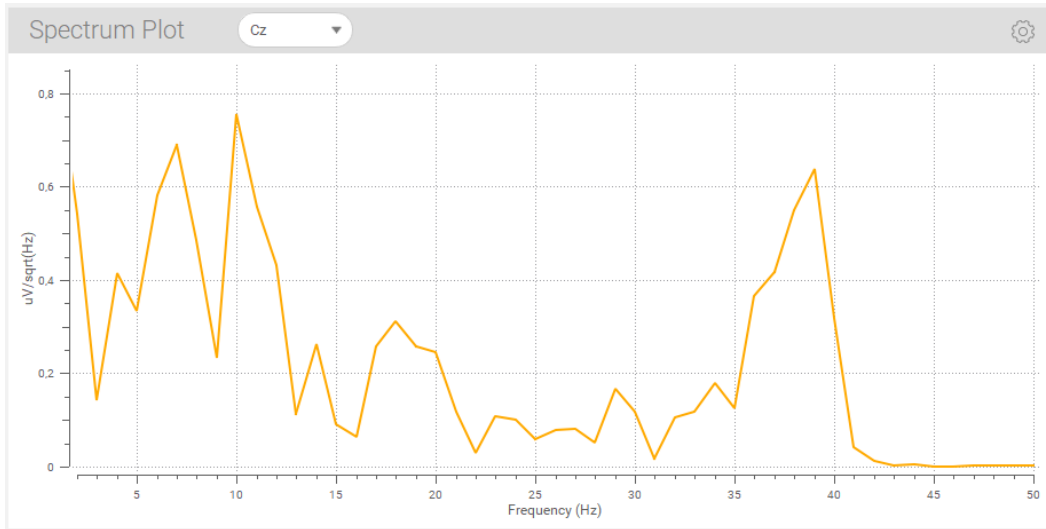


Εικόνα 51: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 1ου ατόμου.

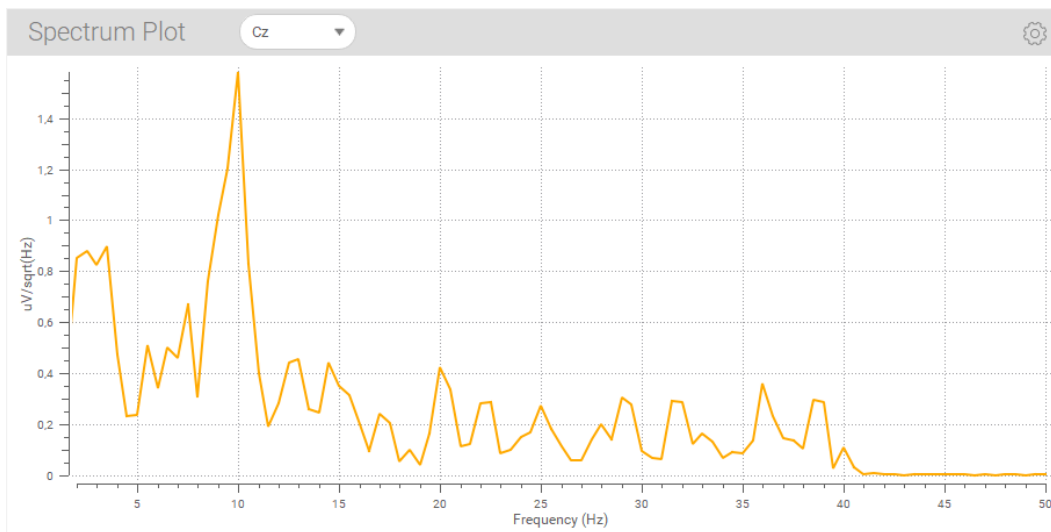


Εικόνα 52: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 2ου ατόμου.

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

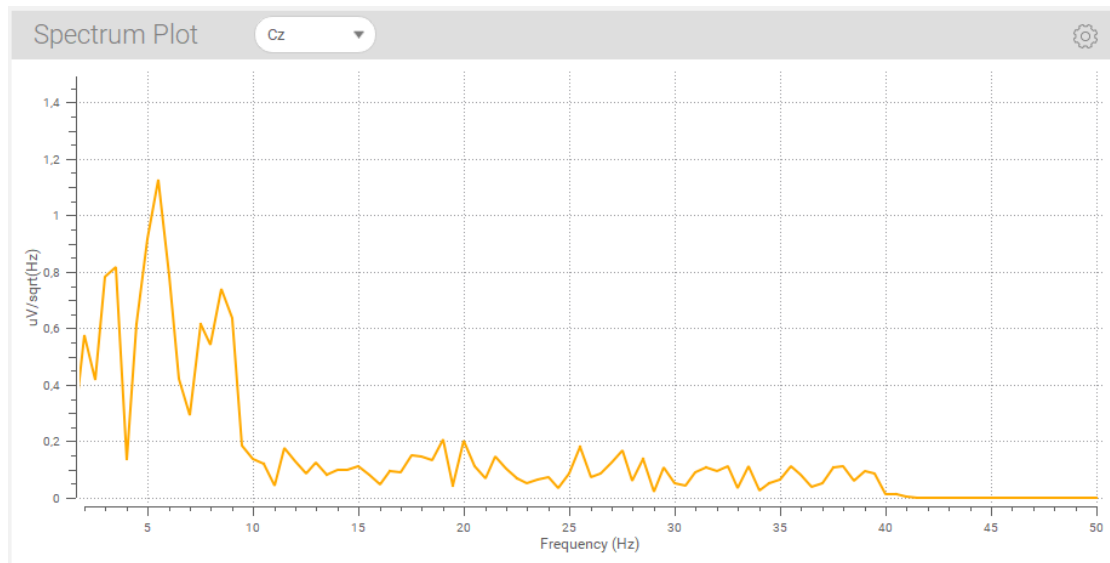


Εικόνα 53: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 3ου ατόμου.

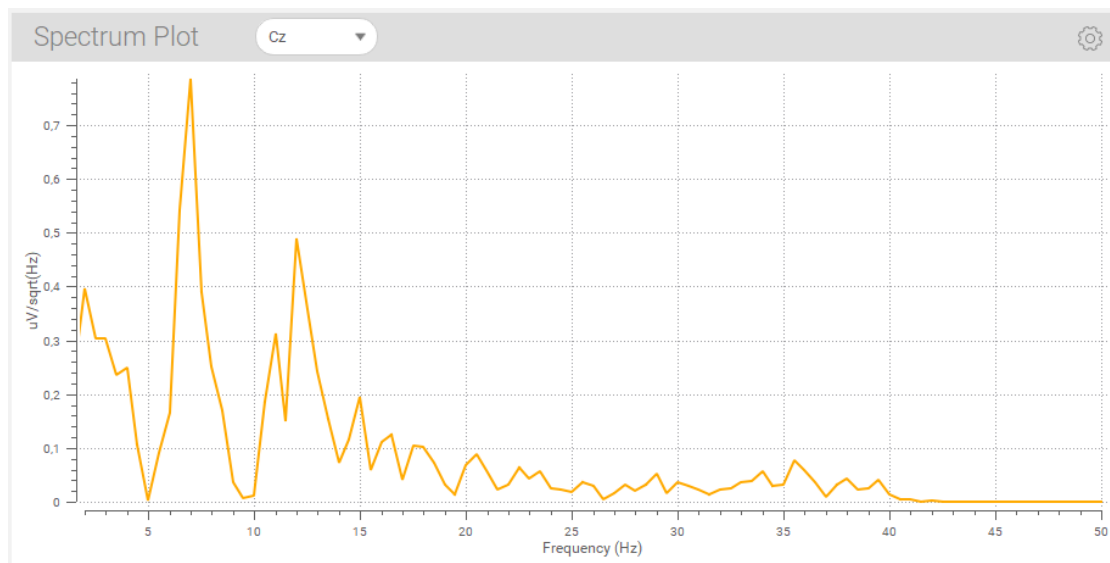


Εικόνα 54: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 4ου ατόμου.

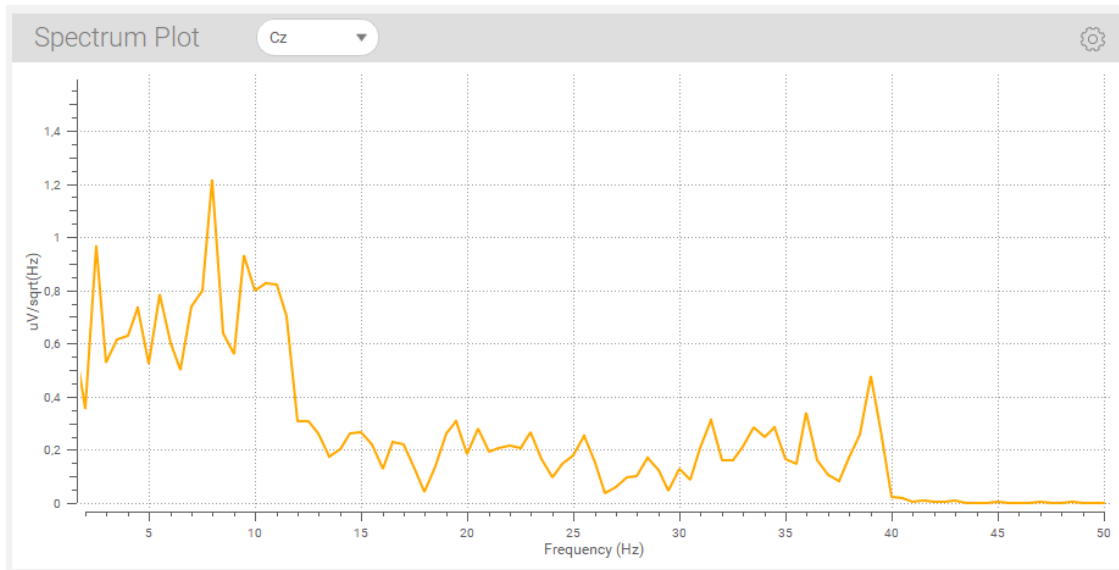
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



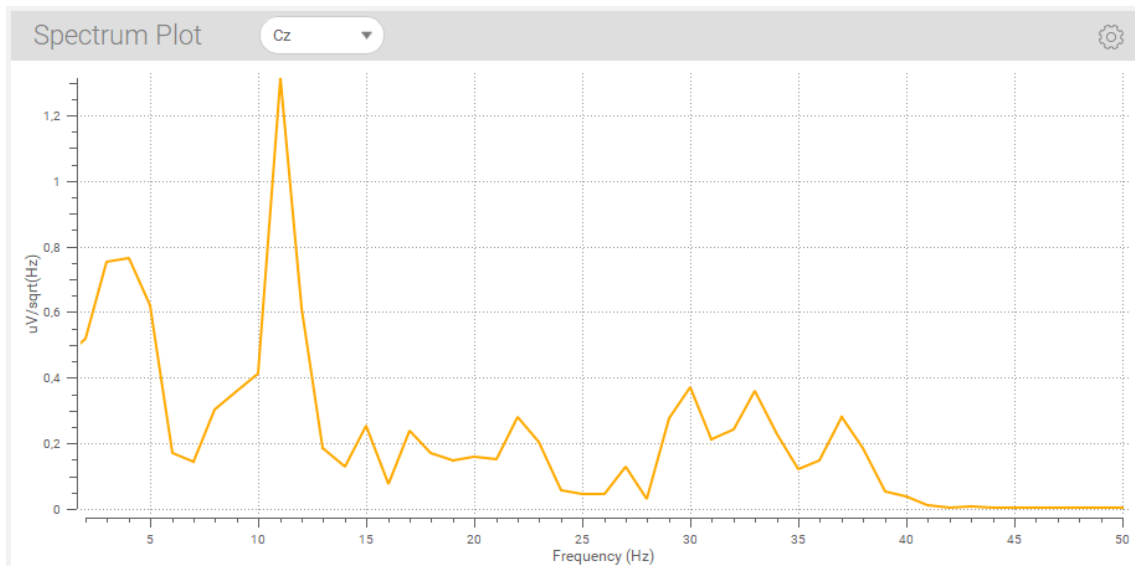
Εικόνα 55: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 5ου ατόμου.



Εικόνα 56: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 6ου ατόμου.



Εικόνα 57: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 7ου ατόμου.



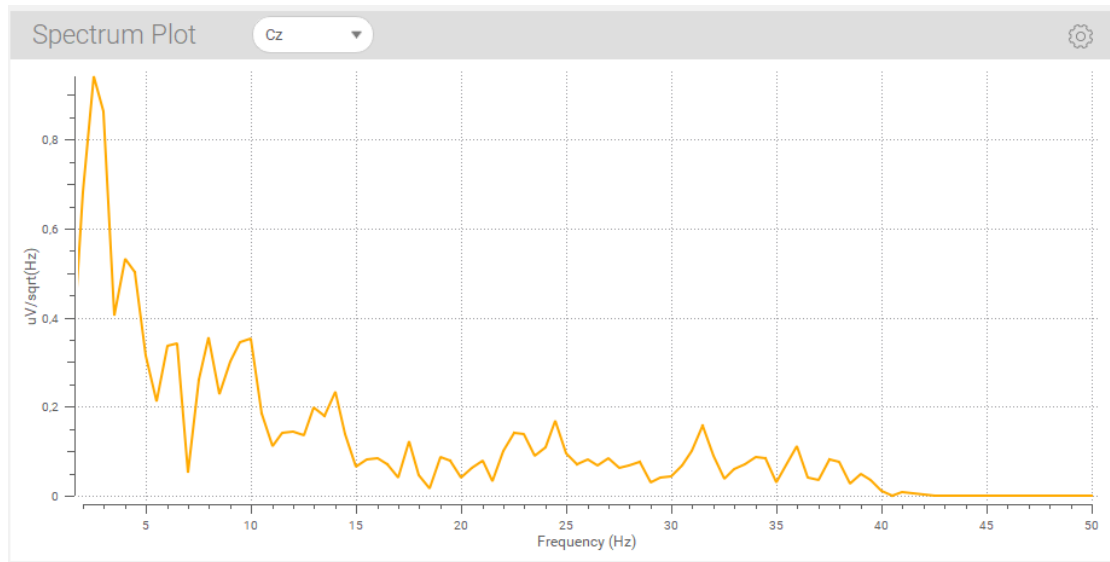
Εικόνα 58: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 8ου ατόμου.

7.4.3 Εντοπισμός διαγραμμάτων φάσματος ερεθίσματος.

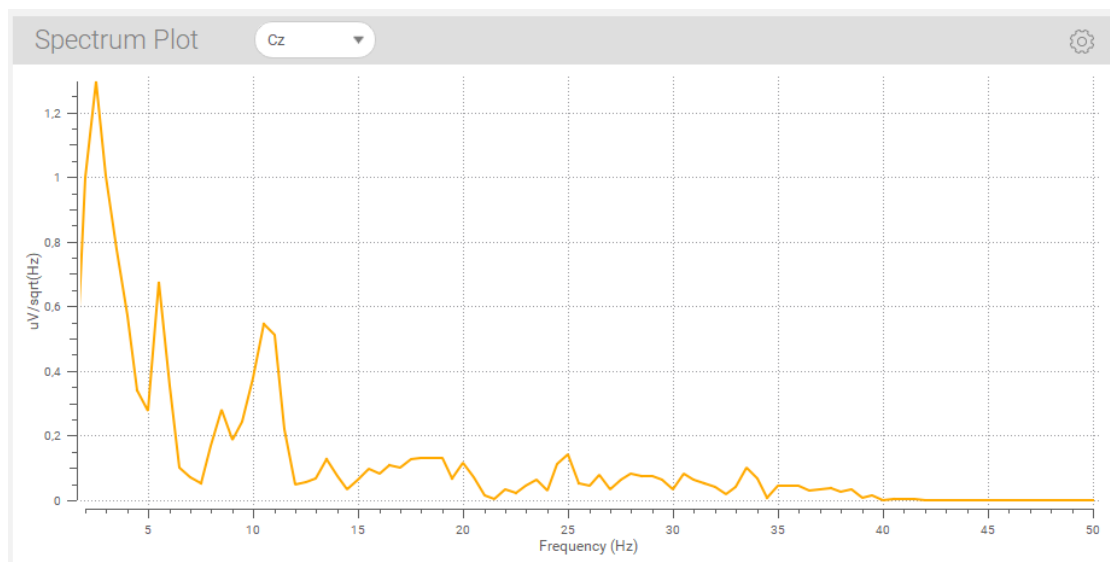
Έπειτα, εντοπίστηκαν οι συχνοτικές ζώνες (μπάντες) την στιγμή που το ακουστικό ερέθισμα βρίσκονταν σε πλήρη εξέλιξη. Ακολουθούν οι αντίστοιχες εικόνες διαγραμμάτων φάσματος που απεικονίζουν το φαινόμενο αυτό. Είναι φανερό ότι οι υπάρχει δραστηριότητα στις συχνότητες μεταξύ 0 εως 4 Hz οι οποίες αντιστοιχούν στο ρυθμό Δέλτα. Στον ρυθμό αυτό σύμφωνα με την βιβλιογραφία αντιστοιχούν σε

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

στιγμές εγκεφαλικής δραστηριότητας καθώς εκείνη την ώρα ο εγκέφαλος δέχεται και προσπαθεί να κατανοήσει το ακουστικό ερέθισμα.

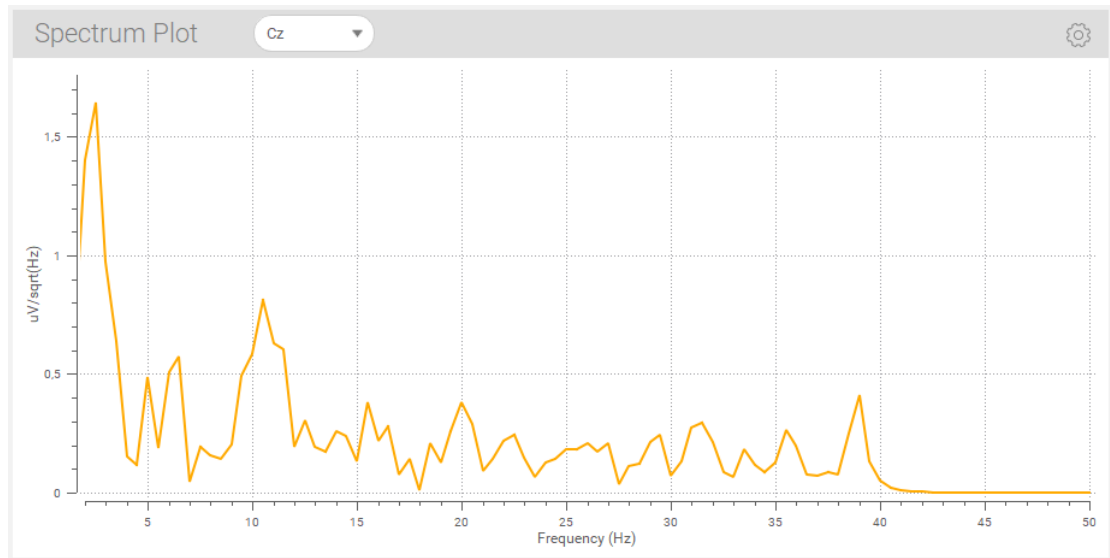


Εικόνα 59: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 1ου ατόμου.

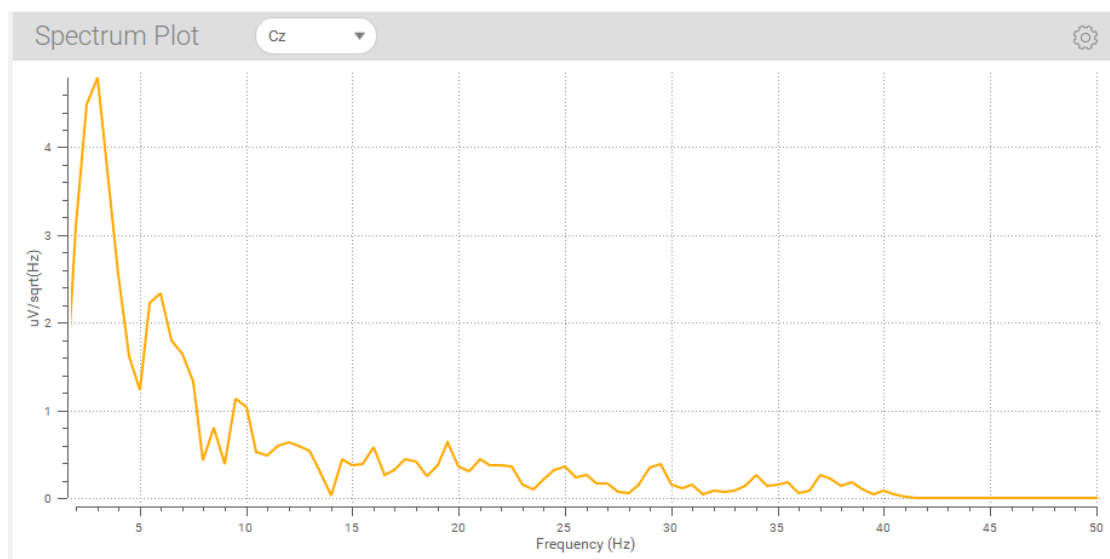


Εικόνα 60: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 2ου ατόμου.

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

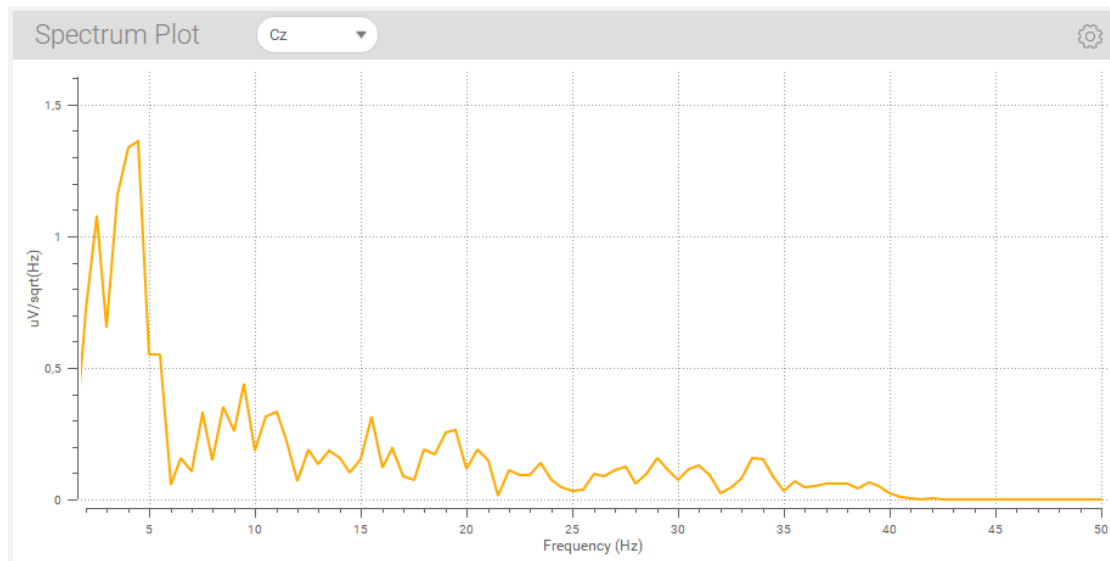


Εικόνα 61: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 3ου ατόμου.

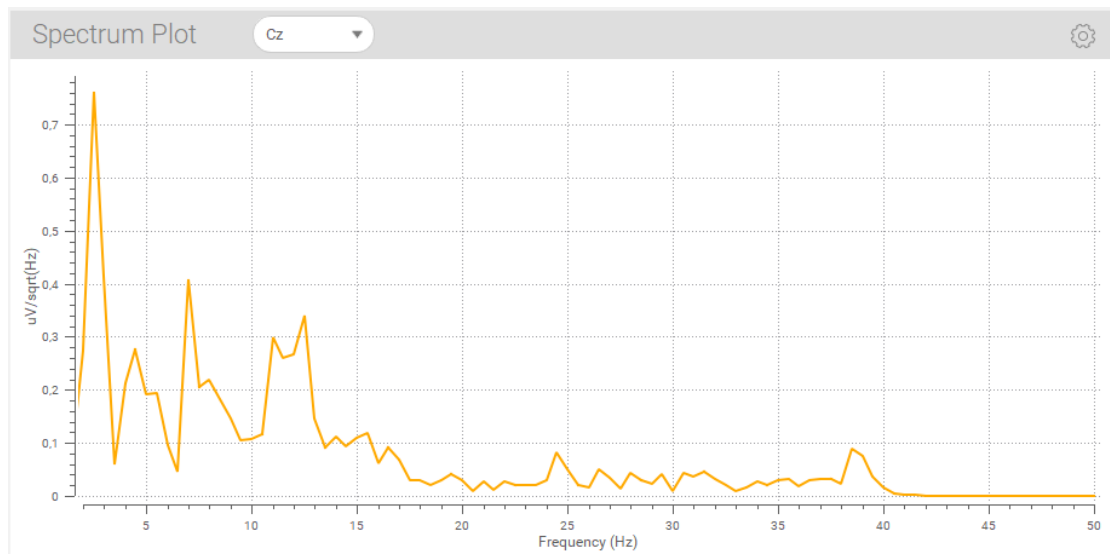


Εικόνα 62: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 4ου ατόμου.

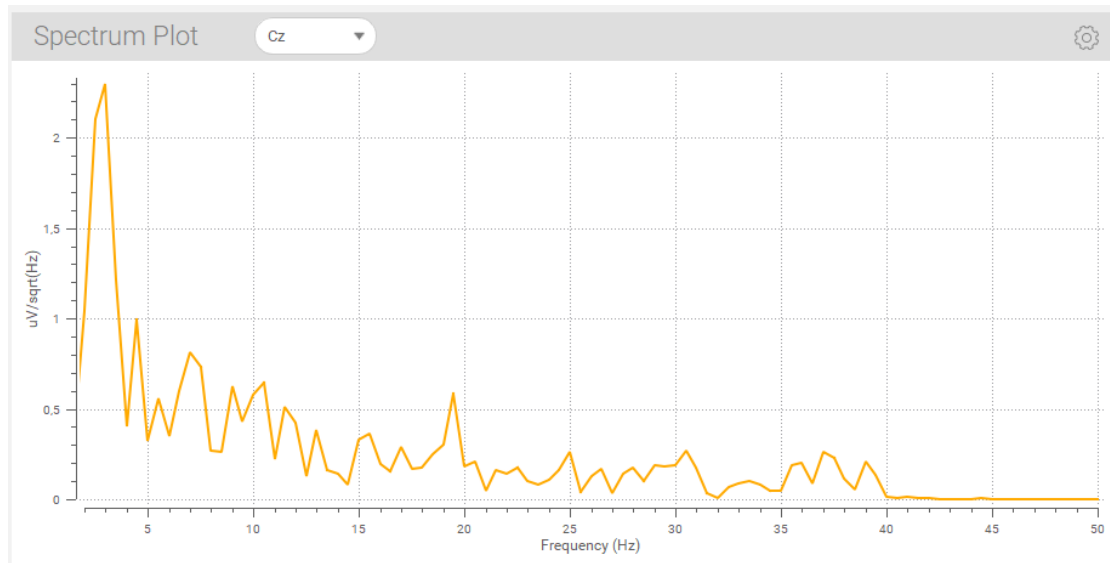
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



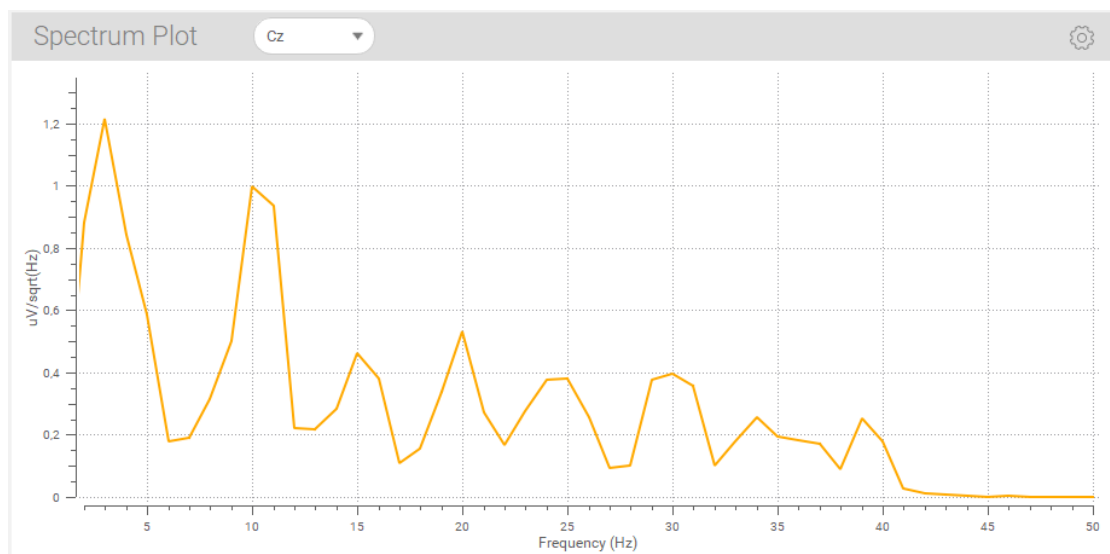
Εικόνα 63: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 5ου ατόμου.



Εικόνα 64: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 6ου ατόμου.



Εικόνα 65: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 7ου ατόμου.



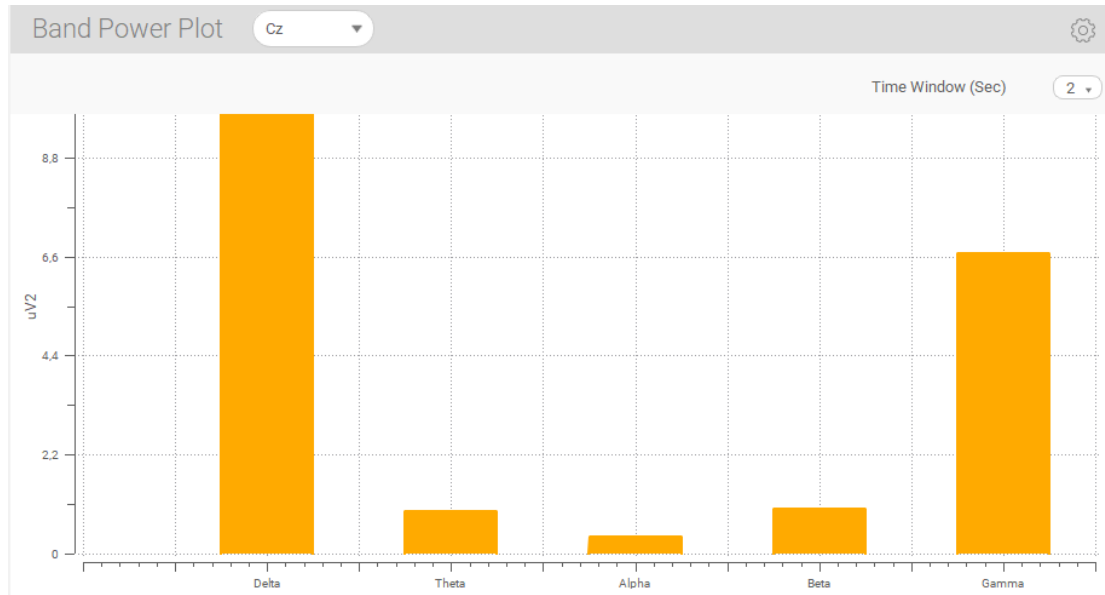
Εικόνα 66: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 8ου ατόμου.

7.4.4 Διαγράμματα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ

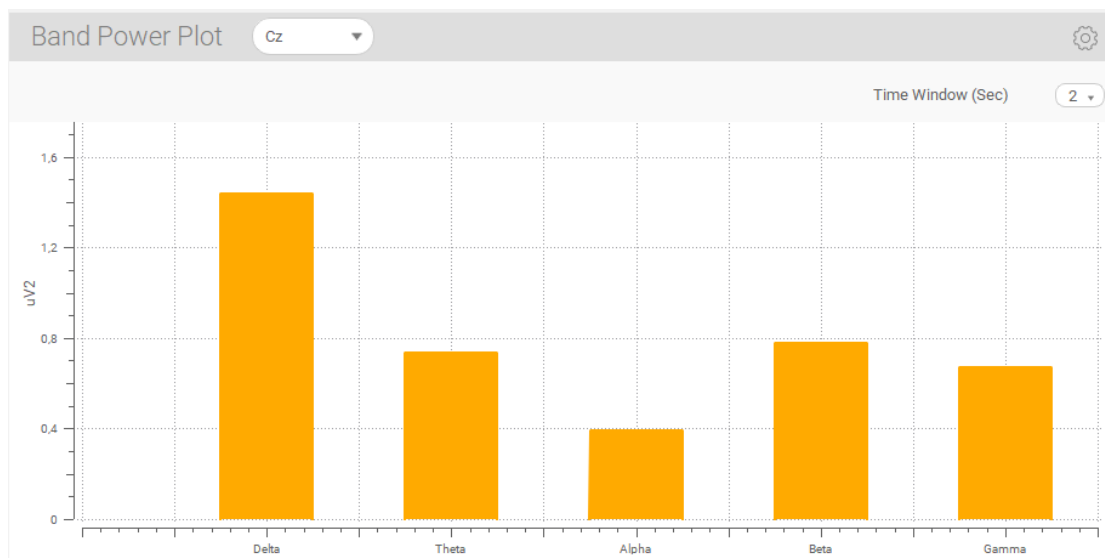
Μέσω της εφαρμογής NIC πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση της ισχύος για όλους τους ρυθμούς του ΗΕΓ κατά την χρονική περίοδο που βρίσκονταν σε εξέλιξη το ακουστικό ερέθισμα. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία μας κατά την διάρκεια του ερεθίσματος θα

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

πρέπει να υπάρχει ενεργός δραστηριότητα στο εύρος των συχνοτήτων 0,5 έως 4,5 Hz. Το συγκεκριμένο εύρος εντάσσεται στον ρυθμό Δέλτα. Οι επόμενες εικόνες παρουσιάζουν τα διαγράμματα ισχύος των ρυθμών ΗΕΓ για κάθε άτομο ξεχωριστά κατά την διάρκεια του ερεθίσματος.

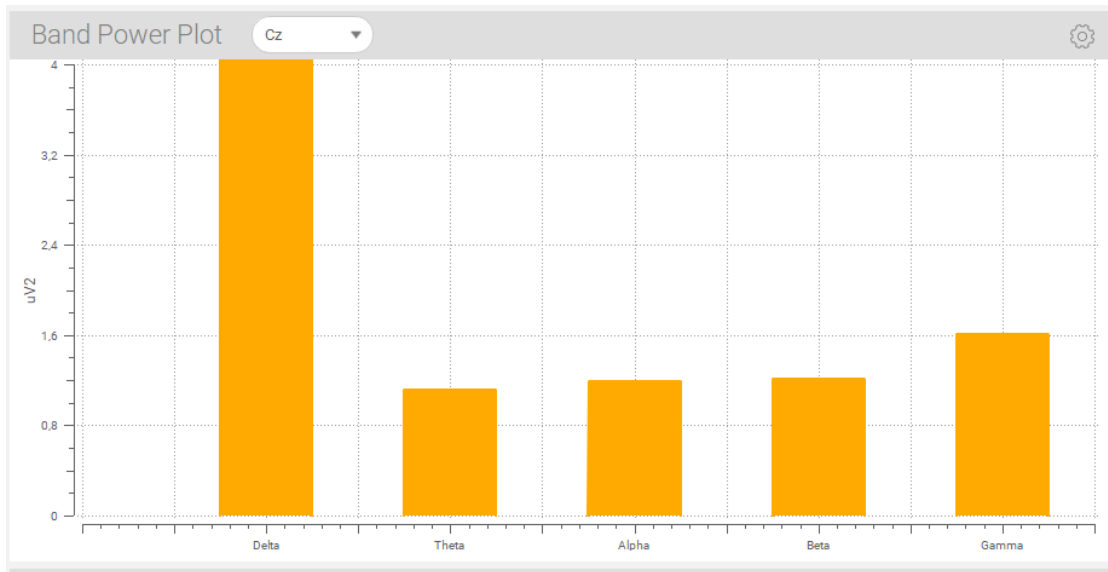


Εικόνα 67: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 1ου ατόμου.

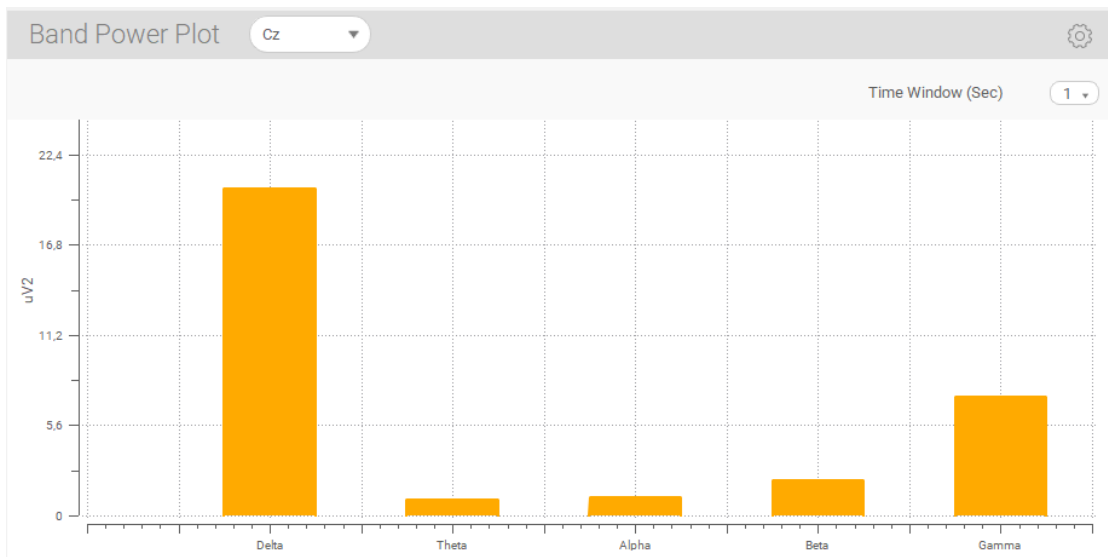


Εικόνα 68: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 2ου ατόμου.

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

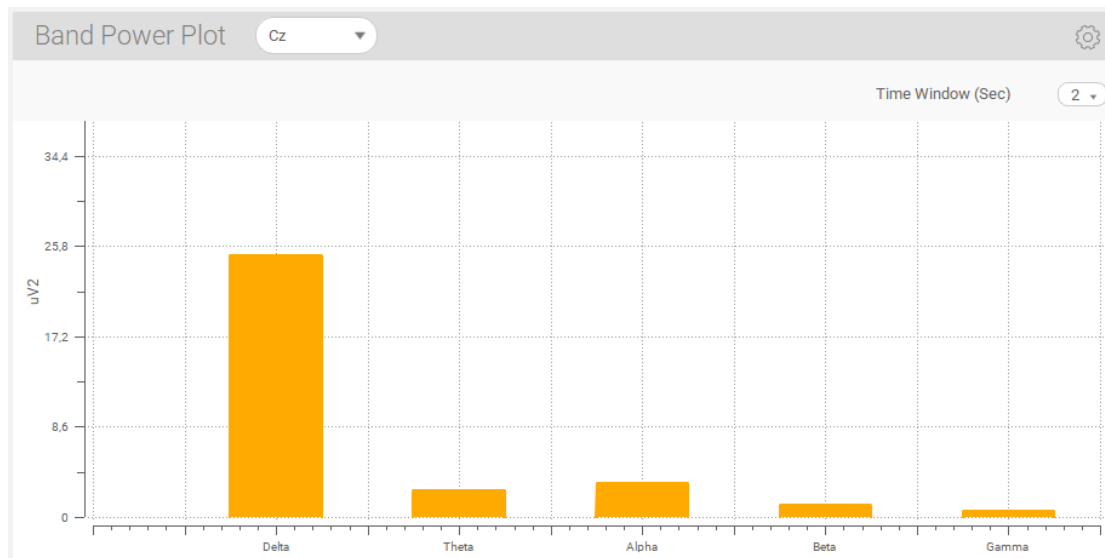


Εικόνα 69: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 3ου ατόμου.

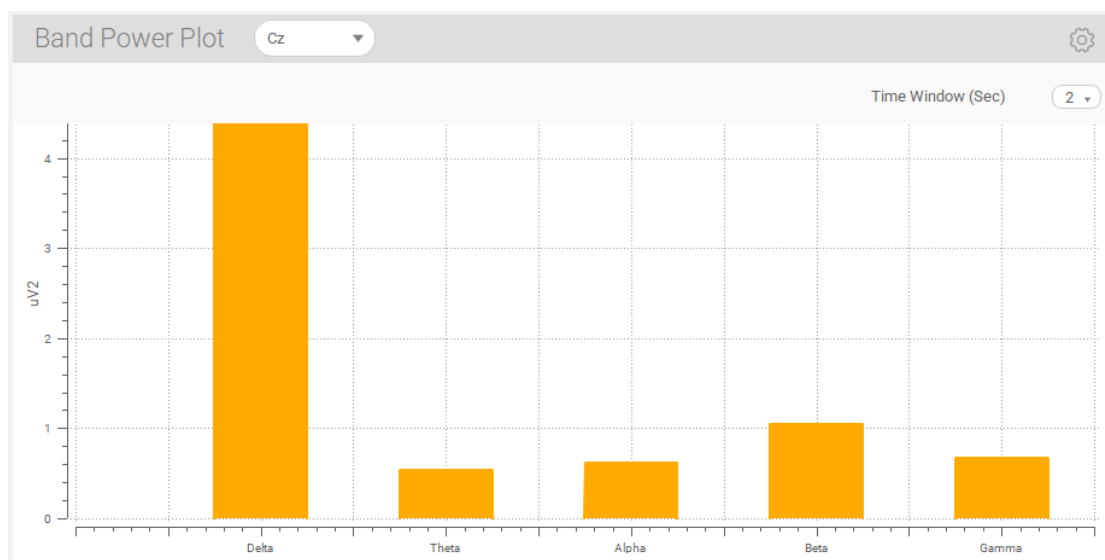


Εικόνα 70: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 4ου ατόμου.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

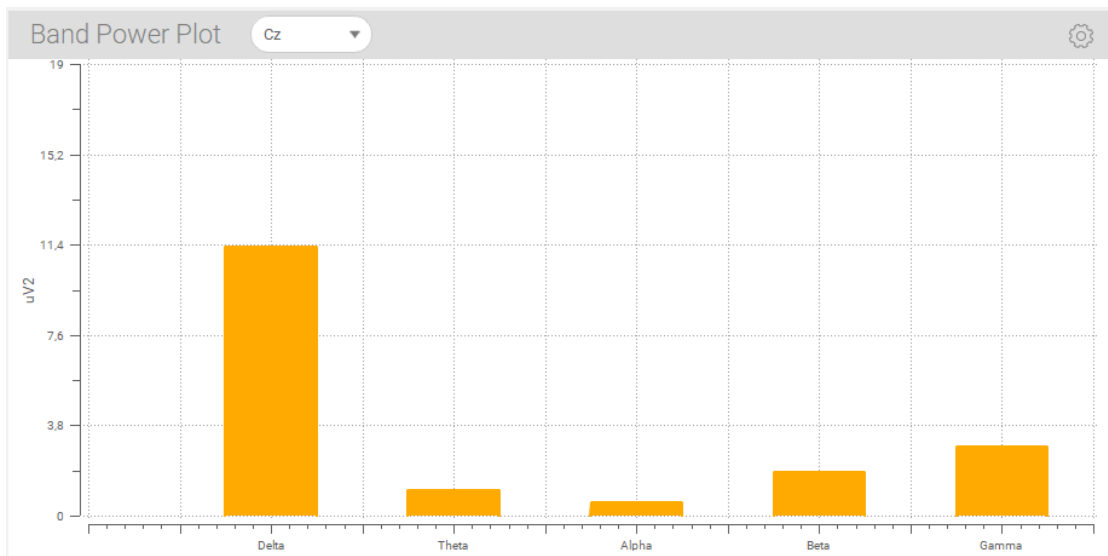


Εικόνα 71: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 5ου ατόμου.

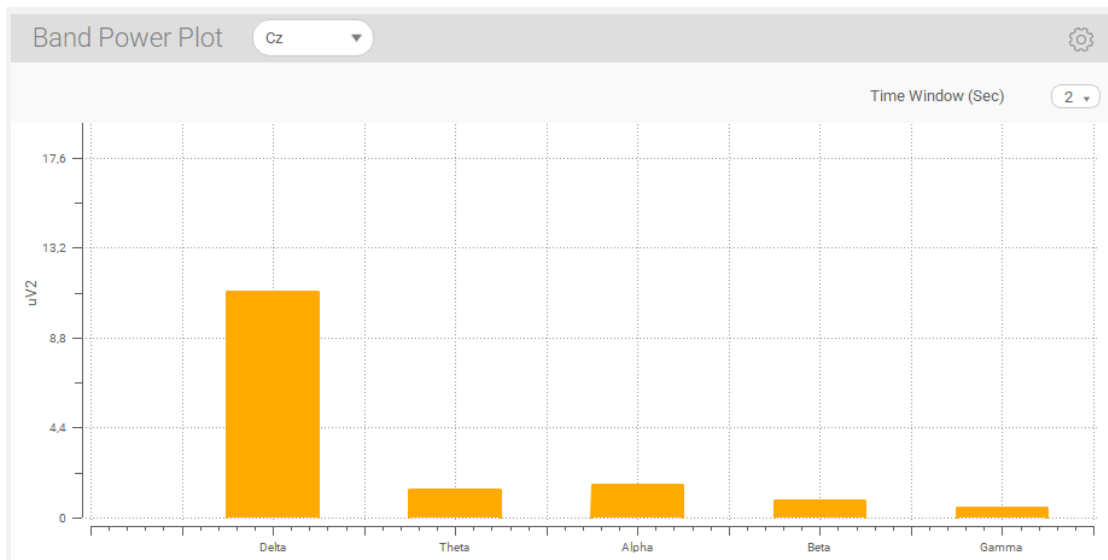


Εικόνα 72: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 6ου ατόμου.

Ν. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου



Εικόνα 73: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 7ου ατόμου.



Εικόνα 74: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 8ου ατόμου.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΧΟΛΙΑ

- Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν να ερευνηθεί αν ο Ηλεκτροεγκεφαλογράφος Enobio 20 με την χρήση ηλεκτροδίων ξηρού τύπου μπορεί να ανιχνεύσει και να καταγράψει προκλητά δυναμικά μέσω ακουστικών ερεθισμάτων. Η επιθυμητή κυματομορφή λόγω του ακουστικού ερεθίσματος καταγράφηκε και απεικονίστηκε στο πείραμα, χωρίς την επεξεργασία των δεδομένων από υπολογιστικό πρόγραμμα πέραν του ίδιου προγράμματος του κατασκευαστή.
- Κατά το ακουστικό ερέθισμα η κυματομορφή ενδιαφέροντος εντοπίζεται στο ηλεκτρόδιο Cz, γεγονός που αναδεικνύει πως η περιοχή του εγκεφάλου που ενεργοποιείται την δεδομένη χρονική στιγμή είναι ο βρεγματικός λοβός.
- Η κυματομορφή ενδιαφέροντος ήταν διαφορετική για κάθε άτομο, όπως και οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των κορυφών τους, κάτι το οποίο φανερώνει πως το κάθε άτομο αντιλαμβάνεται διαφορετικά το ακουστικό ερέθισμα.
- Επίσης, το πλάτος Voltage Differential Index έδειξε πως στα άτομα με μεγάλες τιμές σε αυτόν τον δείκτη, ενεργοποιείται μεγαλύτερο πλήθος νευρώνων κατά το ερέθισμα από ότι στα άτομα με μικρότερες τιμές.
- Κατά το ακουστικό ερέθισμα οι συχνότητες που λειτουργεί ο εγκέφαλος εμπίπτουν στον ρυθμό Δέλτα, γεγονός που επιβεβαιώνει την βιβλιογραφία. Ο ρυθμός δέλτα αναφέρεται σε δραστηριότητες που απαιτούν συγκέντρωση, όπως ισχύει κατά την διαδικασία του πειράματος, την χρονική δηλαδή στιγμή του ερεθίσματος.
- Στο διάγραμμα φάσματος (Spectrum) απεικονίζεται η κατάσταση ηρεμίας του συμμετέχοντα στο πείραμα, με εύρος συχνοτήτων 7-12 Hz, που ανήκει στον ρυθμό Άλφα και επιβεβαιώνεται επίσης από την βιβλιογραφία.
- Αντίστοιχα στο διάγραμμα φάσματος απεικονίζεται και το ερέθισμα του πειράματος με εύρος συχνοτήτων 0-4 Hz, που ανήκει στον ρυθμό Δέλτα, το οποίο επίσης επιβεβαιώνεται από τη βιβλιογραφία.
- Κατά το πείραμα παρατηρήθηκε ότι τα ηλεκτρόδια ξηρού τύπου είναι αρκετά ευαίσθητα και προκαλούν αρκετό θόρυβο.
- Τα ηλεκτρόδια λόγω της ευαισθησίας τους προκαλούσαν θόρυβο ακόμα και κατά την κατάποση του ατόμου.
- Οι μετρήσεις έγιναν σε 3 διαφορετικές ημέρες κατά τις απογευματινές ώρες. Σε κάποιες από αυτές τις ημέρες οι μετρήσεις καταγράφονταν με περισσότερο θόρυβο. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι υπήρχε κόσμος που παρακολουθούσε μάθημα στα διπλανά εργαστήρια και γενικότερα υπήρχε φασαρία εκτός του χώρου μετρήσεων. Και αυτό με τη σειρά του δεν βοηθούσε τον άτομο που έκανε το πείραμα να έρχεται σε κατάσταση πλήρους χαλάρωσης εξαιτίας των εξωτερικών παραγόντων που προαναφέρθηκαν.

N. ΚΑΛΤΣΑΣ - Ανάλυση γνωστικών λειτουργιών μέσω συστήματος φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

- Τέλος, ενώ ο αρχικός στόχος ήταν να γίνει το πείραμα σε τουλάχιστον 10 άτομα, λόγω τεχνικού προβλήματος στο Module καταγραφής ΗΕΓ κατέστη δυνατή η καταγραφή σε 8 άτομα.

9 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. **Coenen, Anton, Fine, Edward και Zayachkivska, Oksana.** *Adolf Beck: A Forgotten Pioneer in Electroencephalography.* s.l. : Journal of the History of the Neurosciences, 2014. 23:276–286.
2. **Wikipedia.** Wikipedia. [Ηλεκτρονικό]
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/1st-eeg.png/440px-1st-eeg.png>.
3. **Kevin, Staley και Dudek, Edward.** Interictal Spikes and Epileptogenesis. 2006.
4. **Gibbs, F.A., Davis, H. και Lennox, W. G.** *The Electro-Encephalogram in Epilepsy and in Conditions of Impaired Consciousness.* Boston : Department of Physiology and the Department of Neurology of the Harvard Medical School, 1935.
5. *Beckman Instruments Supplying Medical Flight Monitoring Equipment.* s.l. : **Space News Roundup, 1965.**
6. **Specialties, Northern Neurology.** Northern Neurology Specialties. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.neurologyspecialties.com/test-procedures/electroencephalogram-eeg/>.
7. **NeuroScan.** NeuroScan About Us. [Ηλεκτρονικό]
<https://compumedicsneuroscan.com/about/>.
8. —. **Neuvo 256-channel Amplifier.** [Ηλεκτρονικό]
<https://compumedicsneuroscan.com/product/neuvo-256-channel-eeg-erp-ep-amplifier/>.
9. —. **256-channels Quik-Cap Neo Net – SynAmps 2/RT and Neuvo.** [Ηλεκτρονικό]
<https://compumedicsneuroscan.com/product/256-channels-quick-cap-neo-net-synamps-2-rt-and-neuvo/>.
10. **Products, Brain.** Brain Products About us. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.brainproducts.com/about-us/>.
11. —. **actiCHamp series.** [Ηλεκτρονικό]
<https://www.brainproducts.com/solutions/actichamp/>.
12. **BioSemi.** BioSemi About Us. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.biosemi.com/company.htm>.
13. —. **BioSemi Products.** [Ηλεκτρονικό] <https://www.biosemi.com/products.htm>.
14. **Δημήτριος, Βαρθαλίτης.** Pediatric Neurosurgery. [Ηλεκτρονικό]
<https://pediatric-neurosurgery.com/anatomy>.

15. Μαστοράκη, Βάλια. [Ηλεκτρονικό]
<https://www.slideshare.net/valiamastoraki/ss-39666708>.
16. Science Wiki. *Νωτιαίος Μυελός*. [Ηλεκτρονικό]
https://science.fandom.com/el/wiki/%CE%9D%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82_%CE%9C%CF%85%CE%B5%CE%BB%CF%8C%CF%82.
17. Wikipedia. Wikipedia. *Νευρώνας*. [Ηλεκτρονικό]
<https://el.wikipedia.org/wiki/Νευρώνας>.
18. ΓκέληςΛεξικό, Δημήτριος. Ελληνο-Αγγλικό Ιατρικό λεξικό. [Ηλεκτρονικό]
<https://gkelismedicallexicon.gr/word.php?search=μικρογλοία>.
19. wikipedia. Wikipedia. *Αστρογλοιακό κύτταρο*. [Ηλεκτρονικό]
https://el.wikipedia.org/wiki/Αστρογλοιακό_κύτταρο.
20. Τηνιακού, Ντ. Εργαστήριο Ιστολογίας & Εμβρυολογίας "Νευρικό Σύστημα". *Eclass Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών*. [Ηλεκτρονικό]
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED133/%CE%99%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF%20%CE%99%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%BF%>.
21. —. Ηλεκτρονικό Βιβλίο Ιστολογίας- Εμβρυολογίας1 "Νευρικό Σύστημα". [Ηλεκτρονικό]
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=MED133&openDir=/10301223o0hzm/10301223ikd37>.
22. Ρήγας, Παύλος. e-class University of Patras Μοριακή Φυσιολογία Μοριακή Φυσιολογία-ΝευροβιολογίαΝευροβιολογία. *e-class University of Patras Μοριακή Φυσιολογία Μοριακή Φυσιολογία-ΝευροβιολογίαΝευροβιολογία*. [Ηλεκτρονικό]
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/BIO355/Μοριακή%20Φυσιολογία-Νευροβιολογία-Μάθημα%203.pdf>.
23. Βεντούρας, Ερρίκος. *Τεχνολογία της in-vitro διαγνωστικής - Διατάξεις απαγωγής βιοηλεκτρικών σημάτων*. 2015.
24. Technology, Okinawa Institute of Science and. Diagram of synaptic transmission. *Okinawa Institute of Science and Technology*. [Ηλεκτρονικό] 2020.
<https://www.oist.jp/image/diagram-synaptic-transmission>.
25. *What is the Source of the EEG*. Kohling, Tim0 Kirschstein and Rudiger. s.l. : CLINICAL EEG and NEUROSCIENCE, 2009.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

26. Wikipedia. Wikipedia. *Δυναμικό ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό] https://el.wikipedia.org/wiki/Δυναμικό_ενέργειας.
27. Wright, Stephen H. Generation of resting membrane potential. *Advances in Physiology Education*. 2004, 28: 139–142.
28. Παπαματθαίου, Χαρίλαος (2019). Διπλωματική Εργασία Ανάλυση Σήματος ERP/EEG Με Χρήση του Προγράμματος Loreta. Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου.
29. *Wearable EEG headband using printed electrodes and powered by energy harvesting for emotion monitoring in ambient assisted living*. Joseph W Matiko, Yang Wei, Russel Torah, Neil Grabham, Gordon Paul. 2015.
30. Ασβεστάς, Παντελής. *Ιατρικά Ηλεκτρονικά*. Αθήνα: s.n., <http://medisp.bme.teiath.gr/eclass/courses/TIO127/>.
31. Eiggins, Brian R. *Chemical Sensors and Biosensors*. Northern Ireland, UK : JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002.
32. Neuroelectrics Enobio 20. *Neuroelectrics Enobio 20*. [Ηλεκτρονικό] <https://www.neuroelectrics.com/solutions/enobio/20>.
33. Usakli, Ali Bulent. Improvement of EEG Signal Acquisition: An Electrical Aspect for State of the Art of Front End. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2010, 630649 .
34. Louis G. Tassinary, Thomas R. Geen, John T. Cacioppo, Robert Edelberg. Issues in Biometrics: Offset Potentials and the Electrical Stability of Ag/AgCl Electrode. 1990.
35. George H. Klem), Hans Otto Lüders, H.H. Jasper. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology*:. 1999.
36. Wikipedia. Wikipedia. *10–20 system (EEG)*. [Ηλεκτρονικό] [https://en.wikipedia.org/wiki/10–20_system_\(EEG\)](https://en.wikipedia.org/wiki/10–20_system_(EEG)).
37. Sofía Ahufinger, Paloma Balugo, María Mercedes González, Elías Pequeño, Henar González, Pilar Herrero. A User-centered Smartphone Application for Wireless EEG and its Role in Epilepsy. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2019.
38. Human skull side simplified (bones). *Wikimedia Commons*. [Ηλεκτρονικό] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_skull_side_simplified_\(bones\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_skull_side_simplified_(bones).svg).

39. Jones, Morgan. *Building Valve Amplifiers*. s.l. : Newnes, 2004.
40. Electronics Tutorials Amplifier Distortion. *Electronics Tutorials Amplifier Distortion*. [Ηλεκτρονικό] https://www.electronicstutorials.ws/amplifier/amp_4.html.
41. Neuper C, Pfurtscheller G. Evidence for distinct beta resonance frequencies in human EEG related to specific sensorimotor cortical areas. 2001, *Clinical Neurophysiology* 112 (2001) 2084–2097.
42. *Beta activity: a carrier for visual attention*. A, Wrobel. *Acta Neurobiol. Exp.* 60 247–260, 2000.
43. *EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory*. Klimesch, Wolfgang. *Brain Research Reviews* 29 169–195, 1999.
44. *Lennox-Gastaut Syndrome (Childhood Epileptic Encephalopathy)*. Markand, Omkar N. *Journal of Clinical Neurophysiology* 20(6):p 426-441, 2003.
45. Priyanka A. Abhang, Bharti W. Gawali and Suresh C. Mehrotra. *Introduction to EEG- and Speech-Based Emotion Recognition*. 2016. ISBN: 978-0-12-804490-2, P: 19-50.
46. *Ανάπτυξη μεθοδολογίας μελέτης και αξιολόγησης της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου*. Ελένη, Νάνου Δ. Αθήνα : s.n., 2007.
47. (neuroscience), Wikipedia P50. Wikipedia P50 (neuroscience). *Wikipedia P50 (neuroscience)*. [Ηλεκτρονικό] [https://en.wikipedia.org/wiki/P50_\(neuroscience\)](https://en.wikipedia.org/wiki/P50_(neuroscience)).
48. Neuroelectrics®. *Neuroelectrics® Enobio Instructions for use*. 2022.
49. Deborah L. Green, Lisa Payne, Robi Polikar, Paul J. Moberg, David A. Wolk, John Kounios. P50: A candidate ERP biomarker of prodromal Alzheimer’s disease. 2016.
50. Lab, McGill University Physiology Virtual. McGill University Physiology Virtual Lab. [Ηλεκτρονικό] https://www.medicine.mcgill.ca/physio/vlab/biomed_signals/eeg_erp.htm.
51. Επίσημη ιστοσελίδα παγκόσμιου οργανισμού υγείας (WHO). [Ηλεκτρονικό] <http://www.who.int/en/>.
52. Suryadevara και Mukhopadhyay. Wireless Sensor Network Based Home Monitoring System for Wellness Determination of Elderly. *IEEE SENSORS JOURNAL*. Ιούνιος 2012, σσ. 1965-1972.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

53. *Βιολογία Α' Γενικού Λυκείου*. s.l. : Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών Και Εκδόσεων "Διόφαντος".

54. C Neuper, G Pfurtscheller. Evidence for distinct beta resonance frequencies in human EEG related to specific sensorimotor cortical areas. *Clinical Neurophysiology*. 2001, 112.

55. Dhrasti Shah a, Verner Knott a b c, Ashley Baddeley c, Hayley Bowers d, Nicola Wright b, Allen Labelle b, Dylan Smith a, Charles Collin a. Impairments of emotional face processing in schizophrenia patients: Evidence from P100, N170 and P300 ERP components in a sample of auditory hallucinators. *International Journal of Psychophysiology*. 2018, 134.

56. Φραγκίσκος Ι. Χανιώτης, Δημήτριος Ι. Χανιώτης. *Φυσιολογία*. s.l. : Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας, 2009. 9603721239.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η πρώτη καταγραφή από ΗΕΓ ανθρώπου από τον Hans Berger το 1924 (2).	1
Εικόνα 2: Βαθμίδα συλλογής σημάτων και ενίσχυσης (8).....	4
Εικόνα 3: Κάσκα τοποθέτησης στο κρανίο με 256 αισθητήρες (9).....	5
Εικόνα 4: Σύστημα ΗΕΓ 180 αισθητήρων (11).....	5
Εικόνα 5: Συσκευή ΗΕΓ 264 ηλεκτροδίων (13).....	6
Εικόνα 6: Οι μήνιγγες του εγκεφάλου (14).....	8
Εικόνα 7: Οι λοβοί του εγκεφάλου (15).....	9
Εικόνα 8: Δομή νωτιαίου μυελού (16).....	10
Εικόνα 9: Η δομή του νευρώνα (17).....	11
Εικόνα 10: Γεφύρωση ολιγοδενδροκυττάρου και νευράξωνα (21).....	14
Εικόνα 11: Τα νευρογλοιακά κύτταρα του κεντρικού νευρικού συστήματος (22).....	14
Εικόνα 12: Διάγραμμα συναπτικής μετάδοσης (24).....	17
Εικόνα 13: Απεικόνιση μιας αρνητικής (ανοδικής) απόκλισης (25).....	18
Εικόνα 14: Απεικόνιση μιας θετικής (καθοδικής) απόκλισης (25).....	19
Εικόνα 15: Δυναμικά μεμβράνης (26).....	20
Εικόνα 16: Σχηματικό διάγραμμα ενός ΗΕΓ 2 καναλιών (29).....	23
Εικόνα 17: Υψιπερατό φίλτρο (30).....	24
Εικόνα 18: Βαθυπερατό φίλτρο (30).....	25
Εικόνα 19: Ζωνοπερατό φίλτρο (30).....	26
Εικόνα 20: Ηλεκτρόδιο Gel (32).....	28
Εικόνα 21: Σχεδιάγραμμα ηλεκτροδίου επαφής με χρήση γέλης (33).....	29
Εικόνα 22: Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτροδίου επαφής (33).....	30
Εικόνα 23: Απλοποιημένο κύκλωμα βιοδυναμικής πηγής και διεπαφής ηλεκτροδίου- ιστού (33).....	30
Εικόνα 24: Ηλεκτρόδια ξηρού τύπου (32).....	31
Εικόνα 25: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10-20 (37).....	32
Εικόνα 26: Οστά του κρανίου (38).....	32
Εικόνα 27: Αρχή Λειτουργίας ΗΕΓ.....	35
Εικόνα 28: Αναλογικό & Ψηφιακό σήμα.....	37
Εικόνα 29: Αποκοπή πλεονάζοντος σήματος (40).....	38
Εικόνα 30: Απεικόνιση ρυθμών ΗΕΓ (45).....	41
Εικόνα 31: Σήματα επαναληπτικής διαδικασίας και εμφάνιση του μέσου όρου αυτών (46).....	44
Εικόνα 32: Κυματομορφή καταγραφής των πιο βασικών προκλητών δυναμικών (46).	45
Εικόνα 33: Συσκευή Necbox (32).....	47
Εικόνα 34: Μάσκα τοποθέτησης ηλεκτροδίων (32).....	48
Εικόνα 35: Θέσεις τοποθέτησης ηλεκτροδίων EnoBio 20 (32).....	49

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Εικόνα 36: Ηλεκτρόδιο μέ βάση το gel (NG Geltrode) (32).....	50
Εικόνα 37: Ηλεκτρόδια ξηρής επαφής (32).....	50
Εικόνα 38: Αρχική οθόνη κατα την πρώτη εκκίνηση (48).....	53
Εικόνα 39: Λίστα αποθηκευμένων πρωτοκόλλων (48).....	54
Εικόνα 40: Παράθυρο σχεδιασμού πρωτοκόλλου (48).....	56
Εικόνα 41: Παράθυρο Liveview (48).....	57
Εικόνα 42: Απεικόνιση παραθύρου εκτός σύνδεσης (48).....	58
Εικόνα 43: Πρωτόκολλο καταγραφής.....	62
Εικόνα 44: Υπολογισμός δείκτη Differential Index.....	63
Εικόνα 45: Απεικόνιση ερεθίσματος 1ου ατόμου.....	64
Εικόνα 46: Απεικόνιση ερεθίσματος 2ου ατόμου.....	65
Εικόνα 47: Απεικόνιση ερεθίσματος 3ου ατόμου.....	65
Εικόνα 48: Απεικόνιση ερεθίσματος 4ου ατόμου.....	66
Εικόνα 49: Ραβδόγραμματα μέγιστων, ελάχιστων και Voltage Differential Index ανά άτομο.....	67
Εικόνα 50: Θηκογράμμα Voltage Differential Index.....	67
Εικόνα 51: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 1ου ατόμου.....	68
Εικόνα 52: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 2ου ατόμου.....	68
Εικόνα 53: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 3ου ατόμου.....	69
Εικόνα 54: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 4ου ατόμου.....	69
Εικόνα 55: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 5ου ατόμου.....	70
Εικόνα 56: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 6ου ατόμου.....	70
Εικόνα 57: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 7ου ατόμου.....	71
Εικόνα 58: Διάγραμμα φάσματος χαλάρωσης 8ου ατόμου.....	71
Εικόνα 59: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 1ου ατόμου.....	72
Εικόνα 60: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 2ου ατόμου.....	72
Εικόνα 61: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 3ου ατόμου.....	73
Εικόνα 62: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 4ου ατόμου.....	73
Εικόνα 63: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 5ου ατόμου.....	74
Εικόνα 64: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 6ου ατόμου.....	74
Εικόνα 65: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 7ου ατόμου.....	75
Εικόνα 66: Διάγραμμα φάσματος ακουστικού ερεθίσματος 8ου ατόμου.....	75
Εικόνα 67: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 1ου ατόμου..	76
Εικόνα 68: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 2ου ατόμου..	76
Εικόνα 69: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 3ου ατόμου..	77
Εικόνα 70: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 4ου ατόμου..	77
Εικόνα 71: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 5ου ατόμου..	78
Εικόνα 72: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 6ου ατόμου..	78
Εικόνα 73: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 7ου ατόμου..	79
Εικόνα 74: Διάγραμμα ισχύος ρυθμού ΗΕΓ ακουστικού ερεθίσματος 8ου ατόμου..	79