



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

**Εγκεφαλική Λειτουργία και Μουσική:
Καταγραφή και Επεξεργασία Δεδομένων
Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας σε Αρμονικά και
Δυσαρμονικά Ακουστικά Ερεθίσματα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουλουμπή Β. Ηλέκτρα



Επιβλέπων : Ουζούνογλου Νικόλαος
Καθηγητής Ε.Μ.Π



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

**Εγκεφαλική Λειτουργία και Μουσική:
Καταγραφή και Επεξεργασία Δεδομένων
Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας σε Αρμονικά και
Δυσαρμονικά Ακουστικά Ερεθίσματα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουλουμπή Β. Ηλέκτρα

Επιβλέπων : Ουζούνογλου Νικόλαος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10^η Ιουνίου 2008

.....
Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Κ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Ματσόπουλος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2008

.....
Ηλέκτρα Β. Κουλουμπή

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

Copyright © Ηλέκτρα Β. Κουλουμπή 2008.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

«Ήμουν πεπεισμένος -και εξακολουθώ να είμαι- ότι μπορεί κανείς να φτάσει στην ολοκλήρωση, όχι μέσω της θρησκείας, ούτε μέσω των συγκινήσεων ή της παράδοσης, αλλά μέσω των επιστημών. Μέσω του επιστημονικού τρόπου σκέψης. Ακόμη κι έτσι, όμως, δεν μπορεί να κάνει κανείς τίποτα χωρίς τις γενικές ιδέες, που χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς. Η επιστημονική σκέψη είναι μόνο το μέσον για να πραγματοποιώ τις ιδέες μου, οι οποίες δεν έχουν επιστημονική προέλευση. Αυτές οι ιδέες πηγάζουν από τη διαίσθηση, από κάποιου είδους όραμα. Τίποτα από όλα αυτά δεν ήταν ξεκάθαρο τότε, αλλά εργάστηκα ενστικτωδώς προς αυτή την κατεύθυνση».

Ιάννης Ξενάκης (1980)

Περίληψη

Ένα από τα πιο καίρια αλλά και δυσεπίλυτα ερωτήματα της σύγχρονης επιστημονικής κοινότητας αποτελεί η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Το πολυδιάστατο αυτό πρόβλημα αποτέλεσε το έναυσμα για μία γόνιμη συνεργασία της Μουσικής και της Επιστήμης και τη δημιουργία ενός πρωτοποριακού πεδίου έρευνας στον τομέα της Νευροφυσιολογίας. Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες ιατρικές πειραματικές μελέτες χρησιμοποιούν σαν εργαλείο τη μουσική για να φωτίσουν τις πολύπλοκες πτυχές των λειτουργιών του ανθρώπινου εγκεφάλου. Στην έρευνα αυτή, καθοριστικό ρόλο έχουν παίξει οι σύγχρονες λειτουργικές απεικονιστικές τεχνικές της Βιοϊατρικής τεχνολογίας.

Στο πλαίσιο αυτό, στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά στη μελέτη των λειτουργιών του εγκεφάλου με χρήση μουσικών ερεθισμάτων και πραγματοποίηση ανάλογων πειραματικών πρωτοκόλλων με την μέθοδο της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται το βιοφυσικό υπόβαθρο των λειτουργιών του ανθρώπινου εγκεφάλου και οι βασικές αρχές λειτουργίας του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία αναφορά στις σύγχρονες μεθόδους λειτουργικής απεικόνισης που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για τη μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας και λειτουργίας. Παρουσιάζεται, επίσης, μία ανασκόπηση στις πειραματικές μελέτες του πεδίου της Νευροφυσιολογίας όπου η μουσική έχει αποτελέσει εργαλείο στην προσπάθεια χαρτογράφησης του εγκεφάλου.

Σημαντικό τμήμα αυτού του καινοτόμου ερευνητικού τομέα έχει αποτελέσει και η μελέτη για την εγκεφαλική αντίληψη του χρόνου. Οι τόνοι, η διάρκειά τους και οι χρονικές παύσεις μεταξύ τους είναι τα στοιχεία που δημιουργούν την αίσθηση της μελωδίας στη μουσική. Η μελέτη της αντίληψης αυτών των επιμέρους συνιστωσών από τον ανθρώπινο εγκέφαλο αποτελεί προϋπόθεση για την περαιτέρω κατανόηση της πολυσύνθετης επίδρασης της μουσικής στις εγκεφαλικές λειτουργίες. Έτσι, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο πειραματικά πρωτόκολλα που υλοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας στα πλαίσια της ερευνητικής συνεργασίας του ΕΜΠ με το εργαστήριο ψυχοφυσιολογίας του Αιγινητείου νοσοκομείου της ιατρικής σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού πανεπιστημίου.

Τα πρωτόκολλα αυτά βασίζονταν στη μελέτη της εγκεφαλικής αντίληψης του χρόνου και της συχνότητας.

Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας αναφέρεται στην πειραματική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε για τη μελέτη των αντιδράσεων του εγκεφάλου σε αρμονικά (ευχάριστα) και δυσαρμονικά (δυσάρεστα) μουσικά κομμάτια. Παρουσιάζεται η ανάπτυξη του πειραματικού πρωτοκόλλου, η καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και η επεξεργασία των ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων. Η ανάλυση και επεξεργασία των σημάτων βασίστηκε στο πεδίο της συχνότητας και των γνωστών εγκεφαλικών ρυθμών. Συγκεκριμένα, έγινε φασματική ανάλυση των σημάτων μέσω του μετασχηματισμού Fourier και κατασκευάστηκαν εγκεφαλικοί χάρτες απεικόνισης της φασματικής πυκνότητας ισχύος. Στόχος ήταν η μελέτη της επίδρασης της μουσικής στη φασματική ισχύ των πέντε περιοχών συχνοτήτων του φάσματος ισχύος του εγκεφαλογραφήματος και πώς αυτό σχετίζεται με την επεξεργασία θετικών και αρνητικών συναισθημάτων.

Λέξεις-Κλειδιά : Νευροφυσιολογία, Ηλεκτροεγκεφαλογραφία, Λειτουργικές Μέθοδοι Εγκεφαλικής Απεικόνισης, Αρμονία, Δυσαρμονία, Εγκεφαλικοί Ρυθμοί, Φασματική Ανάλυση.

Abstract

One of the most recent and complicated scientific issues, worldwide, is the comprehension of the underlying mechanisms of brain function. This multidimensional problem motivated a fertile collaboration between Music and Science and has led to a new research field of Neurophysiology. According to this, a big number of recent experimental studies have used music as a tool to understand the complicated functions of human brain. Recent functional imaging techniques have made a significant contribution to this field.

This diploma thesis is based on brain functions' research using musical stimuli and focuses on the implementation of experiments in the related field using the EEG recording technique.

More specifically, in the first chapter the biophysical foundations of brain's functions and the basic principles of Electroencephalography are presented.

Chapter two refers to the recent methods of functional imaging that are used mainly in the scientific research for brain activity. Furthermore, a review of recent neuroimaging experimental studies that use music as stimuli in order to understand aspects of the organization of the human brain is presented.

This innovative field of research relies heavily on brain's temporal processing. Tones, their duration and time intervals between them, are the basic elements that consist melody in music. Consequently, research studies about human time perception are a prerequisite for further understanding the complex nature of music and its neurobiological substrates. In the framework of this diploma thesis, two experimental designs were developed, as a contribution to the scientific collaboration of Microwave & Fiber Optics Laboratory of NTUA with the psychophysiology laboratory of Eginitio Hospital of the Medical School of the National and Kapodistrian University of Athens. These two protocols were based on the research of time and frequency perception and are presented in the third chapter of this thesis.

Finally, the fourth chapter presents the experiment that was realised in order to study brain's reactions to consonant (pleasant) and dissonant (unpleasant) musical experts by EEG. The experimental design development, the EEG recordings and the data analysis are in detail presented in this chapter. Data were analyzed in the

frequency field with Fast Fourier Transformation. Power spectral maps for different brain rhythms were constructed. The main goal was to examine whether music affected the power spectra of the five main brain frequency bands and how this could be related to emotional processing.

Key Words: Neurophysiology, Electroencephalography (E.E.G.), Functional Brain Imaging, Temporal processing, Consonance, Dissonance, Brain Rhythms, Spectral Power Maps, FFT.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Ουζούνογλου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να κάνω αυτήν την εργασία σε ένα θέμα τόσο καινούριο και διαφορετικό. Με το ανοιχτό του μυαλό και την αγάπη του για τη Γνώση ενθάρρυνε τις ιδέες μου και με παρότρυνε με ενθουσιασμό για την πραγματοποίησή τους.

Στο γεγονός αυτό, βέβαια, καταλυτικό ρόλο έπαιξε η υπεύθυνη διδάκτορας για την διπλωματική μου κ. Ειρήνη Καρανάσιου του εργαστηρίου Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών. Θα ήθελα πραγματικά να την ευχαριστήσω για την υπομονή και την θέληση που έδειξε να με ακούσει και να με βοηθήσει να οργανώσω και να κάνω αυτή τη διπλωματική εργασία όπως την φανταζόμουν. Φυσικά, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Ελένη Τσιανάκα που καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας με βοήθησε σε όλα τα επιστημονικά και τεχνικά προβλήματα που αντιμετώπισα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον δάσκαλο μου στη μουσική κ. Τάσο Κάζαγλη, ο οποίος με πάθος μου έδειξε την μαγεία της μουσικής-που τόσο καλά γνωρίζει, όλους τους φίλους μουσικούς που με βοήθησαν με τις γνώσεις τους στα αμέτρητα ερωτήματα που προέκυπταν, καθώς και όλους αυτούς τους ποιητές-επιστήμονες, που είτε μέσα από τα βιβλία τους είτε μέσω της προσωπικής μας επαφής, με ενέπνευσαν και με συνόδευσαν σ' αυτή την μικρή προσπάθεια.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	9
Abstract	12
Ευχαριστίες	15
Πίνακας περιεχομένων	17
Υπότιτλοι Εικόνων	20
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ	33
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	34
1.2 Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ	34
1.2.1 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ	34
1.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ	36
1.2.2.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΥΡΩΝΩΝ	36
1.2.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ	38
1.2.2.3 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ	39
1.3 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ	41
1.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΕΓ	41
1.3.2 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ	43
1.3.3 ΡΥΘΜΟΙ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ	46
1.3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΕΓ	48
1.3.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΕΓ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ	57
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	58
2.2 ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	58
2.2.1 ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΟΖΙΤΡΟΝΙΟΥ (Ρ.Ε.Τ.)	59
2.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΟΝΗΡΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ (SPECT)	61

2.2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (fMRI).....	62
2.2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΕΓΓΥΣ ΕΡΥΘΡΟΥ (fNIRS).....	64
2.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ (E.E.G.).....	65
2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	65
2.3.1 ΝΟΤΕΣ, ΗΧΟΙ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	66
2.3.2 ΜΕΛΩΔΙΑ, ΑΡΜΟΝΙΑ, ΡΥΘΜΟΣ	71
2.3.3 ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΝΤΑΣΙΑ	74
2.3.4 ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ	76
2.3 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2 ^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο :ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΑ ΡΟΛΟΓΙΑ:ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ.....	87
3.1ΕΙΣΑΓΩΓΗ	88
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ	89
3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ 1 ^ο	89
3.2.1.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 1 ^{ου} ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	92
3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ 2 ^ο	96
3.2.2.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 2 ^{ου} ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	97
3.3 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.1	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.2	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3 ^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ-ΜΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	110
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	111
4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	111
4.2.1 ΚΥΜΑΤΑ ΘΗΤΑ (4-8 Hz)	112
4.2.2 ΚΥΜΑΤΑ ΑΛΦΑ (8-12 Hz).....	113
4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	114

4.4	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ	116
4.4.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	116
4.5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	120
4.6	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	121
4.6.1	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΗΕΓ	121
4.6.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	122
4.6.3	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	123
4.6.4	ΕΡΟΧΗΣ: ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ	124
4.6.5	ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ	125
4.6.6	ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ	126
4.6.7	ΧΑΡΤΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ –ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ...	127
4.6.8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.1		134
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.2		138
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.3		140
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.4		145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.5		150
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ		152

Υπότιτλοι Εικόνων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Μουσική και Επιστήμη

Σχήμα 1: Η κατάτμηση της χορδής σύμφωνα με απλούς λόγους, 1/2, 2/3 και 3/4 από τους Πυθαγόρειους. Οι λόγοι αντιστοιχούν απολύτως στη σχέση συχνότητας των αντιστοιχων φθόγων.....	27
Σχήμα 2: Το σχήμα μιας παραβολοειδούς υπερβολής αποτέλεσε την φόρμα σύνθεσης του έργου που έκανε διάσημο τον Ξενάκη, «Μεταστάσεις».....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :Ο ανθρώπινος εγκέφαλος και το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Εικ.1.1: Ο ανθρώπινος εγκέφαλος	35
Εικ.1.2: Σχηματική αναπαράσταση νευρώνων	37
Εικ.1.3: Χαρακτηριστική εικόνα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από το πρόγραμμα eeglab. Φαίνονται τα σήματα που λαμβάνονται από τα 32 ηλεκτρόδια για διάστημα 5 sec	43
Εικ.1.4: Η διάταξη των ηλεκτροδίων κατά Jaspers. Διακρίνονται και τα ηλεκτρόδια αναφοράς A1, A2 καθώς και το ηλεκτρόδιο κορυφής C2.....	44
Εικ.1.5: Οι κυματομορφές των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών όπως εμφανίζονται στο ΗΕΓ	46
Εικ.1.6: Κυματομορφές κατά τη διάρκεια διαφόρων επιπέδων εγρήγορσης	48
Εικ.1.7: Η διαδικασία εξαγωγής του μέσου όρου.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :Ο ρόλος της μουσικής στη σύγχρονη έρευνα για τη λειτουργία του εγκεφάλου

Εικ.2.1: Σχεδιάγραμμα των βασικών φυσικών αρχών και λειτουργίας του PET. Φαίνεται η εκπομπή ποζιτρονίου και εξάλωση, η ανίχνευση συμπτώσεων και η υπολογιστική απεικόνιση.....	61
Εικ.2.2: Σύγχρονος μαγνητικός τομογράφος 3T fMRI και το δωμάτιο ελέγχου με H/Y όπου λαμβάνονται οι εικόνες.....	63
Εικ. 2.3: Η φυσιολογία του εσωτερικού αυτιού. Διακρίνονται η αίθουσα, τα οστάρια και ο κοχλίας.....	68
Εικ.2.4: Οι υψηλές συχνότητες εγκλωβίζονται στην είσοδο του κοχλίου ενώ οι χαμηλές λαμβάνονται πλησιάζοντας προς το τέρμα(apex).....	69
Εικ.2.5: Χαρακτηριστική εικόνα PET που δείχνει την εξειδίκευση των ημισφαιρίων στην αντίληψη της συχνότητας και του χρόνου	71
Εικ.2.6: Χαρακτηριστικές εικόνες από PET δείχνουν διαφορετικές περιοχές να ενεργοποιούνται σε μουσικούς κατά τη διάρκεια εύρεσης μουσικών λαθών ως προς την αρμονία, τη μελωδία και το ρυθμό.....	72
Εικ.2.7: Ένας πιανίστας κατά την εκτέλεση ενός μουσικού κομματιού και την παράλληλη καταγραφή του σε PET.....	73
Εικ.2.8: Χαρακτηριστικές ροές του αίματος όταν οι πιανίστες έπαιζαν τις κλίμακες σε αντίθεση με τις εκτελέσεις του Bach	73
Εικ.2.9: Παράδειγμα μουσικού πειραματικού ερεθίσματος σε εξέταση	75
Εικ.2.10: Απεικόνιση fMRI του αριστερού εγκεφαλικού ημισφαιρίου αποδεικνύει την ενεργοποίηση του πρωτοταγή ακουστικού φλοιού, περιοχής υπεύθυνης για την λειτουργία της ακοής ακόμη και σε συνθήκες ησυχίας!.....	75
Εικ.2.11: Απεικόνιση fMRI από πείραμα σχετικό με τη μουσική και τα συναισθήματα που προκαλεί. Στο τμήμα A φαίνονται οι περιοχές που ενεργοποιήθηκαν κατά το άκουσμα ευχάριστων μουσικών κομματιών σε αντίθεση με τα δυσάρεστα. Στα B,C φαίνονται οι αντίστοιχες ενεργοποιήσεις για το δεύτερο μέρος των κομματιών.....	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Εγκεφαλικά Ρολόγια :Πειραματικά πρωτόκολλα στην έρευνα για την εγκεφαλική αντίληψη του χρόνου

Εικ.3.1.α: Σχηματική αναπαράσταση του ηχητικού ερεθίσματος σε πείραμα για την εγκεφαλική αντίληψη του χρόνου.	91
Εικ.3.1.β: Σχηματική αναπαράσταση του ηχητικού ερεθίσματος σε πείραμα για την εγκεφαλική αντίληψη της συχνότητας.....	92
Εικ.3.2: Η φόρμα, το βασικότερο αντικείμενο στη γλώσσα Delphi, αποτελεί την οπτική βάση της εφαρμογής.	94
Εικ.3.3: Απεικόνιση της φόρμας Delphi που δημιουργήθηκε για το δεύτερο πειραματικό πρωτόκολλο.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :Μουσική και Συναισθήματα : Μια ηλεκτροεγκεφαλογραφική μελέτη

Εικ.4.1: Cool Edit Pro, Πρόγραμμα ψηφιακής επεξεργασίας ήχου.....	115
Εικ. 4.2: Ένα απλό σχεδιάγραμμα της δομής του πρωτοκόλλου του πειράματος....	116
Εικ.4.3: Η φόρμα που δημιουργήσαμε στην DELPHI για την εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος.....	118
Εικ. 4.4: Η παράλληλη θύρα του Η/Υ.....	120
Εικ.4.5: Γραφική αναπαράσταση των σημάτων των 32 καναλιών του ΗΕΓ μέσω του eeglab	122
Εικ.4.6: Χαρακτηριστικό παράθυρο του eeglab για την επιλογή ηλεκτροδίων αναφοράς κατά την τεχνική του μέσου όρου.....	124
Εικ.4.7: Εικόνα του eeglab κατά τη διαδικασία δημιουργίας χρονικών διαστημάτων γύρω από κάποιες σημαντικές χρονικές στιγμές του πειράματος	125
Εικ.4.8: Εικόνα του eeglab που δείχνει όλες τις θέσεις των καναλιών. Πατώντας στο όνομα του κάθε καναλιού εμφανίζεται και ο αριθμός του.	126
Εικ.4.9.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 4 Hz στα 40-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα.....	131
Εικ.4.9.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 4 Hz στα 40-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα.....	131
Εικ.4.10.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 8 Hz στα 40-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα.....	132
Εικ.4.10.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 8 Hz στα 40-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα.....	132

Εικ.4.11.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 6 Hz στα 30-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα.....	133
Εικ.4.11.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 6 Hz στα 30-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα.....	133

Υπότιτλοι Πινάκων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :Ο ανθρώπινος εγκέφαλος και το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

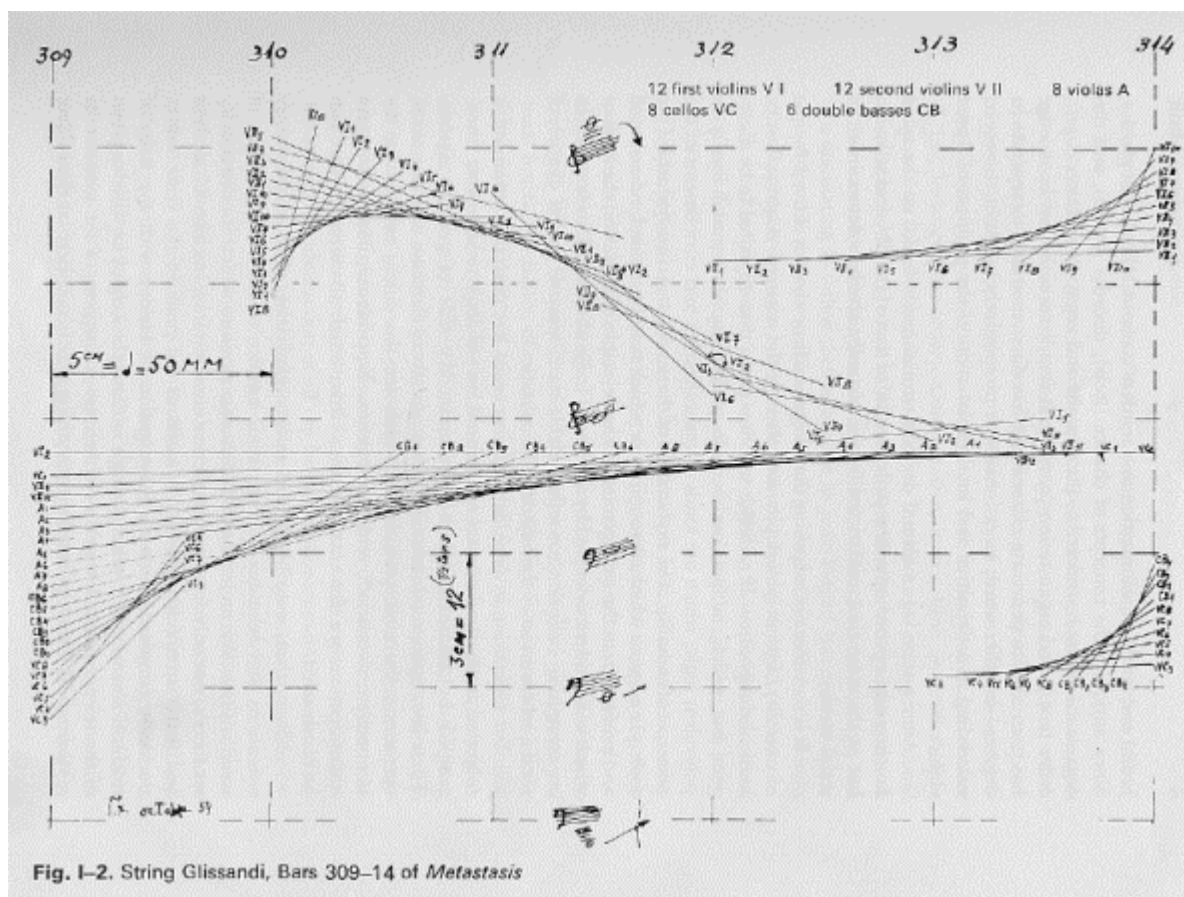
Πίνακας 1: Ρυθμοί του ΗΕΓ	46
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :Ο ρόλος της μουσικής στη σύγχρονη έρευνα για τη λειτουργία του εγκεφάλου

Πίνακας 2: Δύο κλίμακες και οι αντίστοιχες συχνότητες τους σε μια κλίμακα που έχει δημιουργηθεί με τη νότα Α4 να έχει 440Hz.....	67
---	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ



«Όταν ο κόσμος παύει να είναι ο τόπος των προσωπικών μας ελπίδων κι επιθυμιών, όταν τον κοιτάζουμε σαν ελεύθερα όντα θαυμάζοντας, ρωτώντας και παρατηρώντας, τότε μπαίνουμε στο βασίλειο της Τέχνης και της Επιστήμης.»

- Albert Einstein

Η σχέση της Τέχνης με την Επιστήμη και η αναζήτηση των νόμων της Μαγικής Αρμονίας που ορίζει τον Κόσμο απασχολούν την ανθρώπινη Σκέψη από τα πρώτα της βήματα. Στις αρχές του 1900, η ιλιγγιώδης φαντασία του Albert Einstein έσπασε το φράγμα των διαστάσεων του χώρου και του χρόνου και σήμερα πια η σύγχρονη Φυσική ψάχνει ανυπόμονα αυτή την θεωρία που θα ενώσει το μικρόκοσμο και το μεγάλοκοσμο, δηλαδή μία κβαντική θεωρία της βαρύτητας που θα εξηγήει το «Όλον».

Η αντίληψη του «Όλου» και η αναζήτηση αυτής της μυστικής κινητήριας δύναμης οδήγησε τον Πυθαγόρα, πριν από 26 ολόκληρους αιώνες, στη σύνδεση, για πρώτη φορά, της Μουσικής με την Επιστήμη. Ο φιλόσοφος, μαθηματικός και ιδρυτής της Πυθαγόρειας σχολής σκέψης ανακάλυψε την αριθμητική τάξη που καθορίζει τα μουσικά διαστήματα και δημιούργησε τον 6^ο π.Χ. αιώνα στην αρχαία Ελλάδα τη φιλοσοφική θεώρηση του κόσμου που βασιζόταν πάνω στην πίστη ότι καθετί πρέπει να ερμηνευτεί με αριθμούς. Οι Πυθαγόρειοι τεκμηρίωσαν μία γενική θεωρία κατά την οποία τα μουσικά διαστήματα εκφράζονται μέσα από τις σχέσεις λόγων θετικών ακεραίων αριθμών. Περνώντας μία χορδή τεντωμένη ανάμεσα σε δύο σταθερά σημεία, το Α και το Β, άρχισαν να τη διαιρούν σταδιακά σε δύο, τρία, τέσσερα ίσα μέρη κι έτσι ανακάλυψαν ότι σε κάθε διαίρεση προέκυπταν τα «σύμφωνα» ή «καθαρά» της 8^{ης} της 4^{ης} και της 5^{ης} βαθμίδας της κλίμακας (Σχήμα 1). Με τον όρο «σύμφωνο» εννοείται η συνήχηση δύο φθόγγων ενός διαστήματος οι οποίοι δημιουργούν ένα άκουσμα που το ανθρώπινο αυτί δέχεται ευχάριστα. Αντίθετα στις περιπτώσεις που τα διαστήματα στη χορδή δεν ήταν ακέραια οι συνηχήσεις προκαλούσαν δυσφορία στο άκουσμά τους, δηλαδή το λεγόμενο «φάλτσο». Η σχέση αυτή των διαστημάτων και των ακεραίων αριθμών αλλά και τα διαφορετικά συναισθήματα που προκαλούν τα ανάλογα ακούσματα οδήγησε τους Πυθαγόρειους στο συμπέρασμα ότι οι αριθμοί ελέγχουν όχι μόνο το άψυχο αλλά και το έμψυχο υλικό μέσω της μουσικής. Τη θεωρία αυτή συμπλήρωσε κι η παρατήρηση του Αναξίμανδρου για τις αποστάσεις των ουρανίων σωμάτων και την περιφορά των πλανητών γύρω από την τροχιά τους η οποία εξαιτίας της αένας τριβής τους με τον γαλαξιακό αιθέρα προκαλούσε ένα μουσικό βόμβο που τον ονόμασε «Μουσική» ή «Αρμονία των Σφαιρών». Είχε μάλιστα σχηματίσει μία ιδανική μουσική κλίμακα της οποίας οι φθόγγοι ήταν το τονικό ύψος του κάθε πλανήτη, ανάλογα με την απόσταση του από τη Γη.

<u>Μήκος Χορδής</u>	<u>Λόγοι σχέσης</u>	<u>Φθόγγος</u>
A ----- B	AB = 1:1	DO
A ----- Γ ----- B	ΑΓ/AB ή ΓΒ/AB = 1:2	DO 2 (8va)
A ----- Δ ----- Ε ----- B	ΑΕ/AB ή ΔΒ/AB = 2:3	SOL
A --- Ζ --- Η --- Θ --- B	ΑΘ/AB ή ΖΒ/AB = 3:4	FA

Σχήμα 1: Η κατάτμηση της χορδής σύμφωνα με απλούς λόγους, 1/2, 2/3 και 3/4 από τους Πυθαγόρειους. Οι λόγοι αντιστοιχούν απολύτως στ σχέση συχνότητας των αντίστοιχων φθόγγων.

Ο Πυθαγόρας και οι μαθητές του ήταν οι πρώτοι που κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα μαθηματικά κυβερνούν τη μουσική ή και ότι, έως ένα βαθμό, η μουσική κυβερνά τα μαθηματικά. Καθιέρωσαν, έτσι, την αντίληψη ότι η πραγματικότητα είναι σε ένα βαθύτερο επίπεδο της, μαθηματικής φύσης. Μας κληροδότησαν επίσης τη χρήση της φιλοσοφίας ως μέσου πνευματικής κάθαρσης, την ιδέα περί ουράνιου πεπρωμένου της ψυχής και της δυνατότητας ανύψωσής της σε ένωση με το θεϊκό στοιχείο του κόσμου, διαμορφώνοντας έτσι φιλοσοφικές αρχές που επηρέασαν την πλατωνική και αριστοτελική διάνοηση.

Ο Πλάτωνας, λοιπόν, επηρεασμένος από την Πυθαγόρεια φιλοσοφία εξυμνεί στο διάλογο του «Τίμαιος» την ηθική αξία της μουσικής : *«Η κίνηση του σύμπαντος και αυτή της ανθρώπινης ψυχής βασίζονται στις ίδιες αρμονικές αναλογίες αριθμών. Συνεπώς, η μουσική με την αριθμητική της αρχή αποτελεί απεικόνιση της τάξης του σύμπαντος, ασκεί όμως και αντίστροφα επίδραση στο θυμικό και το χαρακτήρα του ανθρώπου, και ως ηθικός και κοινωνικός παράγοντας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην εκπαίδευση και το δημόσιο βίο».*

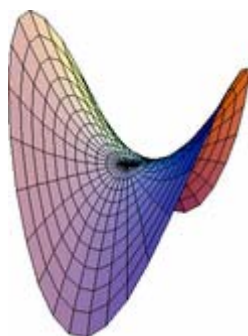
Πολλούς αιώνες αργότερα οι ιδέες αυτές επηρέασαν την Αναγέννηση και αναδημιουργία του “*homo universalis*”, του «γενικού ανθρώπου». Ο Έρωτας της Τέχνης με την Επιστήμη βρήκε την κορύφωση του στην εποχή της Αναγέννησης, φέρνοντας σαν καρπό αμέτρητους στοχαστές πολύπλευρης ευφυΐας που αναρωτήθηκαν ξανά για τη σχέση της μουσικής και των μαθηματικών. Ο Leibniz το 17^ο αιώνα χαρακτηριστικά δήλωνε « *Η μουσική είναι η ευχαρίστηση που παίρνει ένας*

ανθρώπινος εγκέφαλος ενώ κάνει μαθηματικούς υπολογισμούς χωρίς να το συνειδητοποιεί». Μερικά χρόνια αργότερα ο Euler έχοντας ήδη εισάγει πρωτοποριακές έννοιες για την μαθηματική ανάλυση, γράφει το πρώτο του βιβλίο στην προσπάθεια αναζήτησης μίας καινούριας θεωρίας για τη μουσική, χρησιμοποιώντας τα μαθηματικά και τις βασικές αρχές τις Αρμονίας. Προσπαθεί να εξηγήσει πώς κάποιοι ήχοι ακούγονται ευχάριστα και άλλοι όχι κι αναρωτιέται αν μπορούμε να αναζητούμε νόμους που υπαγορεύουν την Μουσική. «Παίζει» με τους λόγους και τις αναλογίες των αριθμών κι ορίζει βαθμούς για την «απαλότητα» ενός ήχου. Εισάγει έτσι το βαθμό $n+1$ στο λόγο $1:2^n$ όπου κάθε δύναμη του 2 ορίζει ένα βαθμό στην μαλακότητα.

Έναν αιώνα αργότερα όμως, ο Helmholtz, ο μεγάλος λάτρης αυτής της ένωσης μουσικής και επιστήμης, προσφέρει την πιο διεξοδική μελέτη μέχρι σήμερα για την μουσική από την πλευρά της Φυσιολογίας και τις Φυσικής. Το βιβλίο του “*On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*” αποτελεί τη Βίβλο για τη σύγχρονη έρευνα στην ακουστική, την φυσιολογία, την κωδικοποίηση και αναγνώριση ήχου από τον υπολογιστή αλλά και τη σύνθεση ηλεκτρονικής μουσικής. Ο Helmholtz είναι ο πρώτος που με μία πληθώρα πειραμάτων προσπαθεί να συνδέσει την ανάλυση για την αρμονία των τόνων με τις ενεργοποιήσεις των νευρώνων και τα ανάλογα συναισθήματα. Το πρώτο μέρος του βιβλίου το αφιερώνει στην ανάλυση των αρμονικών συχνοτήτων και εξετάζει την ποιότητα των τόνων με βάση τις αρμονικές τους. Εξηγώντας πώς το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται τους τόνους δημιουργεί τα μηχανικά ανάλογα που διέπουν τη σχέση του ήχου με τα νευρικά εγκεφαλικά κύτταρα. Στο δεύτερο μέρος ψάχνει τους συνδυασμούς των τόνων και τα συναισθήματα που προκαλούν θέτοντας σαν αρχή της σκέψης την Πυθαγόρεια θεωρία. Στο τελευταίο πλέον κομμάτι, περνάει περισσότερο στην περιοχή των αισθήσεων και δίνει τα αποτελέσματα της έρευνάς του για τις μουσικές κλίμακες και τους νόμους που τις διέπουν.

Ο Helmholtz δημιούργησε το χώρο για να ανθοφορήσει αυτός ο Έρωτας της Μουσικής με την Επιστήμη, αλλά στην εποχή μας δεν υπάρχει άλλος από τον Γιάννη Ξενάκη που να πραγματώνει τόσο συστηματικά αυτή τη γόνιμη συγχώνευση. Ο Ξενάκης ήταν ένας από τους σημαντικότερους συνθέτες, αρχιτέκτονες και στοχαστές αλλά και ένας αληθινός άνθρωπος με όλη του την ύπαρξη στραμμένη πάντα προς τα εμπρός, στο μέλλον-στην αναζήτηση, την επιθυμία και τη λαχτάρα για το νέο. Οι πρωτοποριακές συνθετικές μέθοδοι που ανέπτυξε συσχετιζαν τη μουσική και την

αρχιτεκτονική με τα μαθηματικά και τη φυσική, μέσω της χρησιμοποίησης μοντέλων από τη Θεωρία των Συνόλων, τη Θεωρία των Πιθανοτήτων, τη Θερμοδυναμική, τη Χρυσή Τομή και την ακολουθία Φιμπονάτσι κ.α. Πιο συγκεκριμένα, στην προσπάθειά του να ξεφύγει από αυτό που έβλεπε ως αδιέξοδο της σειραϊκής μουσικής στη δεκαετία του 1950 προσπάθησε να εφαρμόσει στη μουσική τους φυσικούς νόμους που διέπουν διάφορα φαινόμενα π.χ. το θρόισμα των φύλλων ενός δέντρου, την οχλοβοή μιας διαδήλωσης, το τερέτισμα των τζιτζικιών κ.ά., δημιουργώντας μια μουσική «ηχητικών μαζών», «συμπάντων» ή «γαλαξιών». Το πρώτο έργο που σηματοδοτεί την πρωτοποριακή αυτή κατεύθυνση, είναι οι *Μεταστάσεις* (1954) για 61 όργανα. Το έργο αυτό, με το οποίο έγινε ευρύτερα γνωστός, χρησιμοποιεί μαζικά *glissandi*, δημιουργώντας την αίσθηση κινούμενων ηχητικών μαζών και είναι βασισμένο σε μια γραφική παράσταση παραβολοειδών υπερβολών που αντιστοιχεί στα *glissandi* των εγχόρδων με άξονα χ τον χρόνο (sec) και άξονα ψ τις συχνότητες των φθόγγων (Hz) (*glissando* στη μουσική ορολογία είναι το «γλίστρημα» από ένα τονικό ύψος σε ένα άλλο). Ως αποτέλεσμα, η μελωδία εξαφανίζεται μέσα σε ένα σύνολο από κινούμενες ηχητικές επιφάνειες και οι επιμέρους φωνές των οργάνων δεν έχουν καμία σχέση με τις αντιστικτικές διαδικασίες που χρησιμοποιεί η τονική, η ατονική ή και δωδεκαφθογγική/σειραϊκή μουσική.



Σχήμα 2: Το σχήμα μιας παραβολοειδούς υπερβολής αποτέλεσε την φόρμα σύνθεσης του έργου που έκανε διάσημο τον Ξενάκη, «Μεταστάσεις»

Με αυτό το έργο και τα «Πιθοπρακτά» που ακολούθησαν ήταν η πρώτη απόπειρα του Ξενάκη να τυποποιήσει τη συνθετική τεχνική που είχε αρχίσει να εφαρμόζει με μαθηματικές θεωρίες, δημιουργώντας τη «στοχαστική μουσική». Ο όρος στοχαστικός τον γοήτευσε λόγω της διττής σημασίας του, φιλοσοφικής και μαθηματικής. Από

φιλοσοφική άποψη συνδέεται με τον φιλοσοφικό «στοχασμό», ενώ στα μαθηματικά συνδέεται με την θεωρία των πιθανοτήτων και τον χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ο Ελβετός Ζακ Μπερνούλι, αναφερόμενος στη συμπεριφορά φαινομένων «μεγάλων αριθμών». Η θεωρία των «μεγάλων αριθμών», όπως αναπτύχθηκε από μεταγενέστερους επιστήμονες, εξηγεί – με απλά λόγια – ότι όσο πιο πολλά είναι κάποια φαινόμενα, τόσο περισσότερο τείνουν σε κάποιο συγκεκριμένο στόχο. Έτσι το ηχητικό υλικό διαμορφώνεται με στατικούς μέσους όρους «προς ένα στόχο» και εισάγεται το τυχαίο στη μουσική, όχι όμως με τον τρόπο που το έκαναν άλλοι συνθέτες εκείνη την εποχή (όπως ο Αμερικανός John Cage), αλλά με βάση τη θεωρία των πιθανοτήτων και τους νόμους της στατιστικής. Έμπνευσή του Ξενάκη ήταν τα μαζικά φαινόμενα όπως οι διαδηλώσεις που έζησε ως αντιστασιακός: «Ο καθένας μας έχει παρατηρήσει το ηχητικό φαινόμενο ενός πλήθους εκατοντάδων ή χιλιάδων ανθρώπων σε μια πολιτική διαδήλωση. Το ανθρώπινο ποτάμι φωνάζει ένα σύνθημα με έναν ομοιόμορφο ρυθμό. Τότε, ένα άλλο σύνθημα ξεκινά από την κεφαλή της διαδήλωσης και εξαπλώνεται προς την ουρά αντικαθιστώντας το πρώτο [...] Τότε οι διαδηλωτές και ο εχθρός συγκρούονται. Ο τέλειος ρυθμός διασπάται σε ένα τεράστιο ορμαθό χαοτικών ήχων, ο οποίος επίσης εξαπλώνεται στην ουρά [...] Οι στατιστικοί νόμοι των γεγονότων αυτών, απομονωμένοι από το πολιτικό και ηθικό τους πλαίσιο, είναι οι νόμοι της μετάβασης από την απόλυτη τάξη στην απόλυτη αταξία με έναν συνεχή ή εκρηκτικό τρόπο. Είναι στοχαστικοί νόμοι»

Ο Ξενάκης ήταν ένα ακόμη τρανό παράδειγμα δημιουργικού παντρέματος της Μουσικής με την Επιστήμη. Πέρα όμως από την καθαρή δημιουργία, υπάρχει και μια άλλη πολύ σημαντική πλευρά αυτής της ασυνήθιστης ανάμιξης επιστημών. Έχει αρχίσει να γίνεται νοητό, τώρα περισσότερο από ποτέ, ότι πρέπει να οδηγηθούμε προς μία πιο ενιαία αντίληψη της επιστήμης, προς μία νέα σύνθεση των κλάδων της καθοδηγούμενοι από την ανάγκη ενός νέου «ανθρωπισμού» που θα βλέπει το θαυμαστό φαινόμενο του κόσμου και της ζωής σαν κάτι ουσιωδώς ενιαίο. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο θα μπορούσαμε να πούμε ότι κι η σύγχρονη επιστήμη της Ιατρικής Νευρολογίας χρησιμοποιεί τη γνώση των Μουσικών σε συνδυασμό με Μαθηματικούς αλγορίθμους για να βυθιστεί στους μυστικούς λαβύρινθους του ανθρώπινου εγκεφάλου και να γνωρίσει τη μαγεία του.

ΠΗΓΕΣ

- «Τίμαιος», Πλάτων. Β. Κάλφας. Εκδόσεις Πόλις, Αθήνα, 1995.
- «Συμπαντική Αρμονία», Ομιλία του Μίκη Θεοδωράκη στο διεθνές Συμπόσιο «Μουσική και Συμπαντική Αρμονία», Μάρτιος 2006.
- «Αρχαία Ελληνική Μουσική», Βιβλιοθήκη και Αρχεία του Ινστιτούτου Έρευνας Μουσικής & Ακουστικής, www.iema.gr
- «Πυθαγόρας και Μουσική: Η μουσική επιστήμη στην αρχαία Ελλάδα». Μήτσιος, Αλέξανδρος Χ. Εκδόσεις Γεωργιάδη, 2002.
- “The historicity of Sound and Hearing”. Patrice Bailhache, *Annals of Science*, 2005.
- “On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music”. H.L.Helmholtz Dover Publications, December 1954.
- «Συνομιλίες με τον Ιάνη Ξενάκη». Balint Andras Varga, Εκδόσεις Ποταμός, 2004.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο



Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ

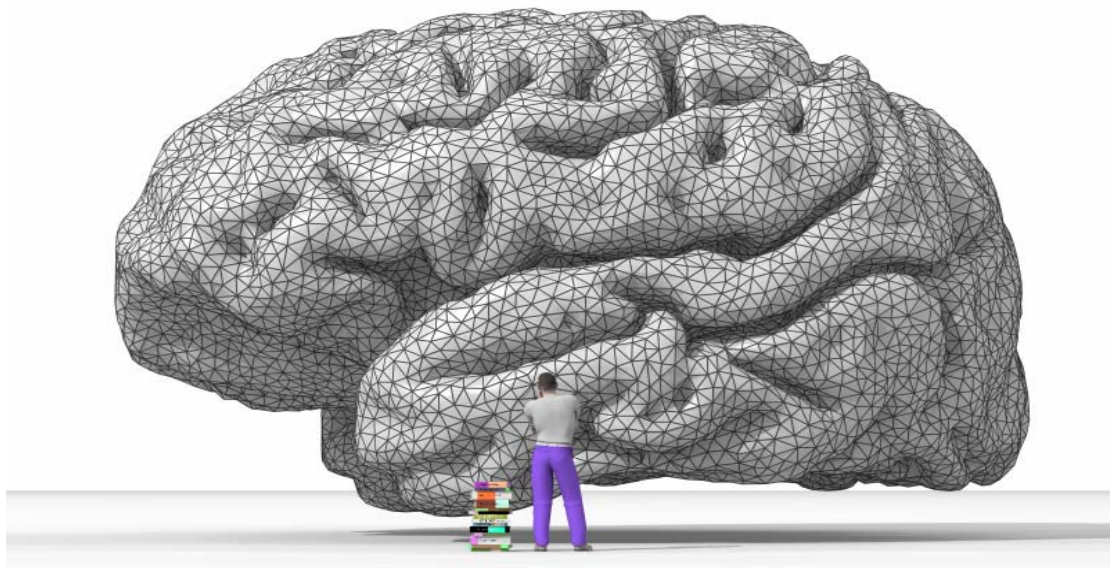
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία εισαγωγή στη φυσιολογία του ανθρώπινου εγκεφάλου και στις βασικές αρχές της μεθόδου της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

1.2 Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ

1.2.1 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος (Εικ1.1) αποτελεί χωρίς αμφιβολία το πλέον πολύπλοκο δημιούργημα της φύσης. Προϊόν βιολογικής εξέλιξης εκατομμυρίων ετών αυτή η μικρή μάζα της τάξης του 1.5kg εμπεριέχει ένα εξαιρετικά πολύ σύνθετο δίκτυο κύτταρων, οι λειτουργίες του οποίου είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία των σκέψεων, της μνήμης ,τον έλεγχο των δραστηριοτήτων του σώματος και των συναισθημάτων. Αυτό το έργο επιτελείται από τους περίπου 10^{10} νευρώνες του εγκεφάλου, οι οποίοι συναντιούνται μεταξύ τους σε 10^{14} έως 10^{15} σημεία. Η συνολική ανωτερότητα του εγκεφάλου ως προς οποιαδήποτε υπολογιστική συσκευή έχει κατασκευασθεί ως σήμερα είναι προφανής. Η έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας του αποτελεί ένα τιτάνιο έργο και μέχρι σήμερα το ποσοστό της άγνοιας μας είναι συντριπτικά μεγαλύτερο από την ποσότητα των γνώσεων που αποκτήθηκαν τα τελευταία 150 χρόνια. Χωρίς υπερβολή το πεδίο φαίνεται απέραντο και η πρόοδος των ανακαλύψεων της τελευταίας τριακονταετίας μας ωθεί συνεχώς σε νέες ανεξερεύνητες περιοχές [1].



Εικ.1.1: Ο ανθρώπινος εγκέφαλος

Στην περίπτωση του νευρικού συστήματος, στο οποίο ο εγκέφαλος ανήκει, η ιατρική έρευνα από πολύ νωρίς συνδέθηκε με την μελέτη των ηλεκτρικών φαινομένων που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία των νευρικών κυττάρων. Το 1791 ο Galvani δημοσίευσε την ιδέα ότι τα «νεύρα» περιέχουν μια εγγενή μορφή ηλεκτρισμού. Το 1848 ο Du Bois Reymond ανακάλυψε ότι η δραστηριότητα των περιφερειακών νεύρων συνοδεύεται από μετρήσιμες μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού. Αυτό έδωσε ώθηση στην επιστημονική κοινότητα να ερευνήσει μεταβολές της ηλεκτρικής δραστηριότητας οι οποίες θα οφείλονταν στο νευρικό σύστημα και θα ήταν ενδεικτικές της λειτουργίας του. Ήδη το 1877 ο R. Clayton είχε δείξει ότι υπάρχει σχέση μεταξύ εξωτερικών ερεθισμάτων και ηλεκτρικής δραστηριότητας στο εγκέφαλο κουνελιών και πιθήκων. Ανέφερε μάλιστα ότι ήταν δυνατή η καταγραφή ασθενών ρευμάτων από ηλεκτρόδια στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού τους. Η πρώτη εμπειριστατωμένη αναφορά για την μέτρηση διαφορών δυναμικού από την εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπινου κεφαλιού προέρχεται από το Hans Berger το 1929, γεγονός το οποίο οριοθετεί την έναρξη της μελέτης των λειτουργιών του εγκεφάλου μέσω Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEΓ ή EEG) [2].

1.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΕΥΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

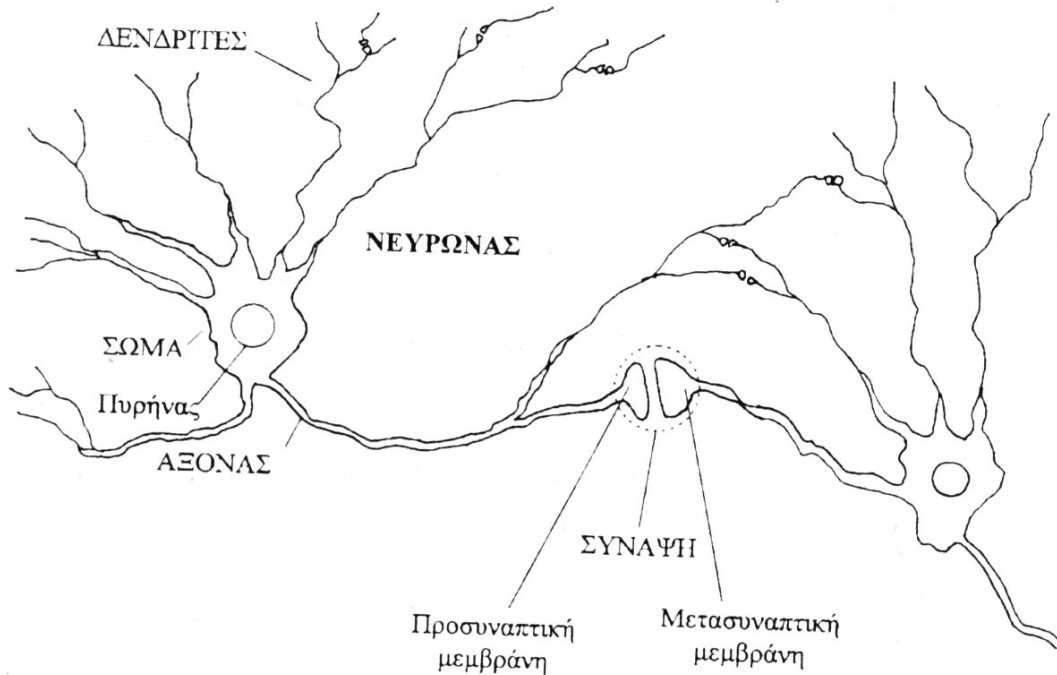
Ο εγκέφαλος βρίσκεται μέσα στο κρανίο, με το οποίο προστατεύεται. Το μεγαλύτερο κομμάτι του εγκεφάλου αμέσως κάτω από τα οστά του κρανίου είναι ο εγκεφαλικός φλοιός. Αυτός αποτελείται από νευρικά κύτταρα (νευρώνες), πολλά από τα οποία συνδέονται λειτουργικά τόσο μεταξύ τους όσο και με άλλα μέρη του εγκεφάλου.

Ας δούμε όμως λίγο πιο αναλυτικά πώς λειτουργεί ένα νευρώνας.

1.2.2.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΥΡΩΝΩΝ

Όπως είπαμε και παραπάνω το νευρικό κύτταρο ή νευρώνας είναι η βασική μονάδα του νευρικού συστήματος. Τα νευρικά κύτταρα παράγουν ηλεκτρικά σήματα που μεταδίδονται από το ένα μέρος του κυττάρου στο άλλο, ενώ ταυτόχρονα εκλύουν βιοχημικές ουσίες (αγγελιοφόρους) προκειμένου να επικοινωνήσουν με άλλα κύτταρα. Οι νευρώνες, αν και παρουσιάζουν ποικιλία μεγεθών και σχημάτων, αποτελούνται από τέσσερα μέρη [1], όπως φαίνεται και στην Εικ.2:

- Το κυρίως σώμα
- Τους δενδρίτες
- Τον άξονα και
- Τις απολήξεις του άξονα.



Εικ.1.2: Σχηματική αναπαράσταση νευρώνων

Οι δενδρίτες σχηματίζουν δομές που διακλαδίζονται από το κυρίως σώμα του κυττάρου προς τα έξω. Οι περισσότερες συνάψεις, τα σημεία δηλαδή τα οποία λαμβάνουν τα σήματα από τους άλλους νευρώνες, βρίσκονται στους δενδρίτες και το κυρίως σώμα του κυττάρου.

Ο άξονας ή νευρική ίνα, αποτελεί μια προέκταση του κυτταρικού σώματος. Το τμήμα του άξονα που βρίσκεται πλησιέστερα στο σώμα του κυττάρου, μαζί με το σημείο όπου γίνεται η σύνδεση, ονομάζεται αρχικό τμήμα. Από το σημείο αυτό, ξεκινούν τα ηλεκτρικά σήματα που διαδίδονται μακριά από το σώμα, κατά μήκος του άξονα. Ο άξονας επίσης μπορεί να έχει και άλλες εγκάρσιες διακλαδώσεις ενώ στις απολήξεις τόσο του άξονα, όσο και των διακλαδώσεων υπάρχουν περαιτέρω διακλαδώσεις. Όλες οι διακλαδώσεις καταλήγουν σε απολήξεις που είναι υπεύθυνες για την μεταβίβαση των χημικών σημάτων από τους νευρώνες.

Κατά μήκος του άξονα, μετακινούνται διάφορα οργανίδια και ουσίες, από το κυρίως σώμα προς τις απολήξεις και αντιστρόφως (αξονική μεταφορά), και έτσι τα διάφορα χημικά σήματα έχουν τη δυνατότητα να επηρεάζουν τη μορφολογία και τη βιοχημεία του νευρώνα. Με αυτό τον τρόπο κινούνται και οι τοξίνες (τετάνου, έρπητα και πολιομυελίτιδας) στο κεντρικό νευρικό σύστημα.

1.2.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΥΡΩΝΩΝ

Οι νευρώνες ανάλογα με την λειτουργία που επιτελούν, διακρίνονται σε προσαγωγούς, απαγωγούς και διανευρώνες [3],[4]. Οι προσαγωγοί νευρώνες μεταφέρουν πληροφορία από τους ιστούς και τα όργανα του κυττάρου στο κεντρικό νευρικό σύστημα, οι απαγωγοί μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα από το κεντρικό νευρικό σύστημα προς τους μύες ή τα κύτταρα αδένων και οι διανευρώνες συνδέουν τους απαγωγούς και προσαγωγούς νευρώνες.

Στα σημεία του κυττάρου που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), οι προσαγωγοί νευρώνες διαθέτουν υποδοχείς οι οποίοι μπορεί να είναι είτε εξειδικευμένες απολήξεις του νευρώνα είτε ξεχωριστά κύτταρα που όμως συνδέονται στενά με αυτόν. Οι υποδοχείς, ως απόκριση σε διάφορες φυσικές ή χημικές μεταβολές στο περιβάλλον τους προκαλούν τη δημιουργία ηλεκτρικών σημάτων μέσα στο νευρώνα, ο οποίος με τη σειρά του τα μεταδίδει στον εγκέφαλο ή το νωτιαίο μυελό.

Η εξειδικευμένη σύνδεση μεταξύ δύο νευρώνων, όπου ο ένας μεταβάλλει τη λειτουργία του άλλου, ονομάζεται σύναψη. Στις περισσότερες συνάψεις, το σήμα διαδίδεται από τον ένα νευρώνα στον άλλο μέσω χημικών αγγελιοφόρων που ονομάζονται νευροδιαβιβαστές. Ο νευροδιαβιβαστής που ελευθερώνεται από τον ένα νευρώνα μεταβάλλει το νευρώνα-δέκτη, συνδεδεμένος με έναν ειδικό μεμβρανικό υποδοχέα του τελευταίου.

Οι συνάψεις δημιουργούνται γενικώς μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή δενδρίτη ενός άλλου, αλλά μπορούν και να δημιουργηθούν μεταξύ των δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή μεταξύ των απολήξεων δύο αξόνων. Οι νευρώνες που άγουν σήματα προς τη σύναψη ονομάζονται προσυναπτικοί, ενώ αυτοί που λαμβάνουν σήματα μετασυναπτικοί [3],[4].

1.2.2.3 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Τα ηλεκτρικά σήματα που άγονται μεταξύ των νευρώνων προκαλούνται από τη διαφορά δυναμικού που υπάρχει στην εξωτερική μεμβράνη αυτών των κυττάρων. Τα δυναμικά αυτά κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες [3],[4],[5]:

α) Δυναμικό Ηρεμίας

Όλα τα κύτταρα σε συνθήκες ηρεμίας έχουν μια διαφορά δυναμικού κατά μήκος των μεμβρανών, με το εσωτερικό του κυττάρου αρνητικά φορτισμένο ως προς το εξωτερικό. Αυτό ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας της μεμβράνης. Η τιμή του κυμαίνεται από -5 έως -100 mV, ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου (για τους νευρώνες η τιμή κυμαίνεται από -40 έως -75 mV) και μπορεί να μεταβληθεί ταχύτατα από κάποια εξωτερική διέγερση. Η δυνατότητα αυτή των κυττάρων έχει κρίσιμη σημασία για τη λειτουργία τους

Το δυναμικό ηρεμίας της μεμβράνης οφείλεται στο γεγονός ότι στο εσωτερικό του κυττάρου υπάρχει περίσσεια αρνητικών φορτίων (ιόντων), ενώ στο εξωτερικό περίσσεια θετικών φορτίων. Η περίσσεια αρνητικών ιόντων στο εσωτερικό, έλκεται ηλεκτρικά από τα θετικά ιόντα στο εξωτερικό και αντιστρόφως. Με τον τρόπο αυτό, η περίσσεια των ιόντων συγκεντρώνεται σε ένα λεπτό φλοιό στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης, ενώ ο κύριος όγκος του εξωκυττάρου υγρού παραμένουν ηλεκτρικά ουδέτεροι.

β) Βαθμωτά δυναμικά και Δυναμικά Δράσης

Οι παροδικές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης προκαλούν ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να αλλάξουν τις λειτουργίες του κυττάρου. Οι αλλαγές αυτές είναι ο πιο σημαντικός τρόπος διαχείρισης και μεταφοράς ερεθισμάτων από τα νευρικά κύτταρα. Τα προαναφερθέντα ηλεκτρικά σήματα μπορούν να εμφανιστούν με 2 μορφές, τα βαθμωτά δυναμικά και τα δυναμικά δράσης.

Γενικά, μια μεμβράνη ονομάζεται αποπολωμένη όταν το δυναμικό της είναι λιγότερο αρνητικό (δηλαδή πλησιέστερο στο 0) από το δυναμικό ισορροπίας της.

Κατά σύμβαση, ο όρος αυτός περιλαμβάνει και καταστάσεις όπου το δυναμικό της μεμβράνης αντιστρέφεται.

Η μεμβράνη ονομάζεται υπερπολωμένη όταν το δυναμικό της είναι περισσότερο αρνητικό από το δυναμικό ισορροπίας, ενώ η διαδικασία κατά την οποία το δυναμικό ισορροπίας μιας μεμβράνης που έχει είτε αποπολωθεί είτε υπερπολωθεί επιστρέφει προς την τιμή ηρεμίας, ονομάζεται επαναπόλωση.

- **Βαθμωτά Δυναμικά**

Τα βαθμωτά δυναμικά μεταφέρουν ερεθίσματα σε μικρές αποστάσεις. Πρόκειται για μικρές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης που περιορίζονται σε μία μικρή περιοχή αυτής και εξασθενίζουν μετά από 1-2 mm από το σημείο διέγερσης. Τα δυναμικά αυτά παράγονται συνήθως από κάποιο ερέθισμα είτε προς την κατεύθυνση της αποπόλωσης είτε προς την κατεύθυνση της υπερπόλωσης. Ονομάζονται βαθμωτά γιατί το εύρος της αλλαγής του δυναμικού μεταβάλλεται και σχετίζεται με το μέγεθος του ερεθίσματος. Ορισμένα χαρακτηριστικά βαθμωτά δυναμικά ανάλογα με τη θέση που δημιουργούνται ή τη λειτουργία τους είναι τα δυναμικά υποδοχέων, τα συναπτικά και τα δυναμικά βηματοδότη.

- **Δυναμικά Δράσης**

Τα δυναμικά δράσης παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τα βαθμωτά δυναμικά. Είναι ταχείες μεταβολές του δυναμικού της μεμβράνης οι οποίες μπορεί να διαρκέσουν μόνο 1 ms, κατά τη διάρκεια του οποίου όμως το δυναμικό της μεμβράνης μπορεί να μεταβληθεί μέχρι και κατά 100mV, από -70 έως 40 mV και μετά να επαναπολωθεί στη τιμή του δυναμικού ηρεμίας. Μόνον οι νευρώνες, οι μύες και ορισμένα κύτταρα των αδένων, έχουν μεμβράνες ικανές να παράγουν δυναμικά δράσης. Αυτές ονομάζονται διεγερσιμες μεμβράνες και η ικανότητα τους να παράγουν δυναμικά δράσης είναι γνωστή ως διεγερσιμότητα. Η μετάδοση των δυναμικών δράσης χρησιμοποιείται από το νευρικό σύστημα για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

Αφότου δημιουργηθεί, ένα συγκεκριμένο δυναμικό δράσης δεν διαδίδεται από μόνο του κατά μήκος της μεμβράνης. Αντίθετα κάθε ενεργό δυναμικό ενεργοποιεί, μέσω δημιουργίας ενός τοπικού ρεύματος, ένα άλλο σε γειτονική περιοχή της μεμβράνης. Το νέο ενεργό δυναμικό είναι θεωρητικά ταυτόσημο με αυτό που το προξένησε και παράγει τοπικά ρεύματα από μόνο του, τα οποία αποπολώνουν την περιοχή γύρω από αυτό και δημιουργούν ένα ακόμα ενεργό δυναμικό στην γειτονική

περιοχή και αυτό συνεχίζεται κατά μήκος της μεμβράνης και το δυναμικό δράσης που φτάνει στο άκρο της μεμβράνης είναι ίδιο σε σχήμα με το αρχικό. Με άλλα λόγια, τα δυναμικά δράσης δεν εξασθενούν κατά τη διάδοση, όπως τα βαθμωτά δυναμικά.

Το σύνολο των ηλεκτροχημικών επιδράσεων από νευρώνα σε νευρώνα, αθροιζόμενο για όλες τις περιοχές του εγκεφάλου, μέσα από ένα δίκτυο ανεξερεύνητης ακόμη πολυπλοκότητας, δημιουργεί αυτό που ονομάζουμε εγκεφαλική λειτουργία, της οποίας μόνο μερικώς μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να μελετήσουμε τις διάφορες διαδικασίες και εκδηλώσεις. Ένα από τα εργαλεία για τη μελέτη αυτή όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, αποτελεί ακριβώς η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία

1.3 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ

1.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΕΓ

Η πρώτη καταγραφή του ηλεκτρικού πεδίου του ανθρώπινου εγκεφάλου έγινε από τον Γερμανό ψυχίατρο H.Berger το 1924 ο οποίος έδωσε στην καταγραφή αυτή το όνομα Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) [6]. Το ΗΕΓ στηρίζεται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού, οι οποίες παρουσιάζονται σε σημεία της εξωτερικής δερματικής επιφάνειας του ανθρώπινου κεφαλιού. Τα δυναμικά τα οποία μετρούμε μεταξύ δύο ηλεκτροδίων στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του κεφαλιού οφείλονται ουσιαστικά, όπως ειπώθηκε στην ενότητα 1.2.2.3, σε ρεύματα ιόντων διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης των νευρώνων που συμμετέχουν στην εκάστοτε εγκεφαλική διεργασία. Τα ρεύματα αυτά διαχέονται στην περιοχή από τα σημεία δημιουργία τους έως την εξωτερική δερματική επιφάνεια, διότι ο εγκεφαλικός ιστός, οι μήνιγγες το κρανίο και το δέρμα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Η παρεμβολή μεταξύ του ηλεκτροδίου και του εγκεφάλου ενός στρώματος πάχους 2-3 cm (δέρμα, κρανίο, σκληρά μήνιγγα) εξασθενεί το σήμα κατά 10 τουλάχιστον φορές. Ανακύπτει έτσι η απαίτηση ενίσχυσης των σημάτων αυτών (για καλύτερη απεικόνιση) καθώς και της πυκνότερης κάλυψης του κεφαλιού με απαγωγά ηλεκτρόδια (για μεγαλύτερη ακρίβεια και εποπτεία της εγκεφαλικής λειτουργίας) [7]. Η ενίσχυση και η

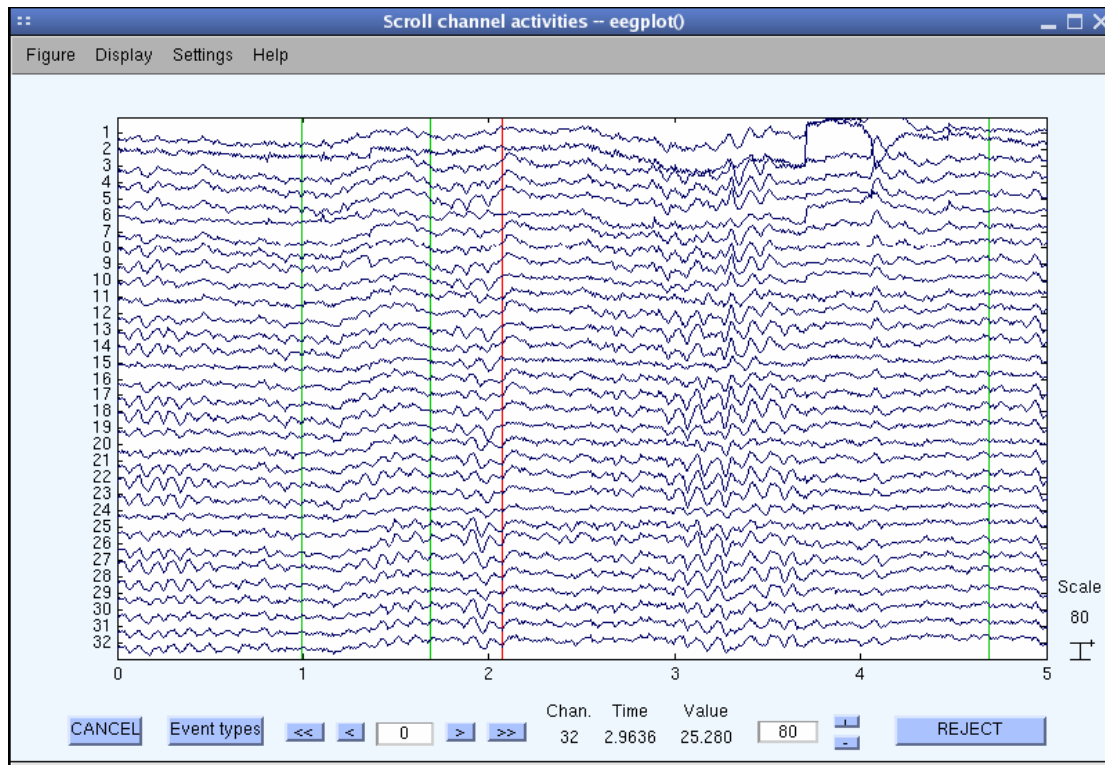
καταγραφή αυτών των κυμάτων, που αντιπροσωπεύουν ένα άθροισμα ταυτόχρονων ηλεκτρικών αλλαγών πολλών εγκεφαλικών κυττάρων αποτελεί το «ηλεκτροεγκεφαλογράφημα» (ΗΕΓ).

Επιγραμματικά περιλαμβάνει [8]:

1. Τη λήψη του βιοδυναμικού-με επιφανειακά ηλεκτρόδια.
2. Επεξεργασία του σήματος του ΗΕΓ-μετατροπή, ενίσχυση και φιλτράρισμα (0,1-100Hz)
3. Καταγραφή του σήματος του ΗΕΓ-απεικόνιση σε οθόνη και αποθήκευση σε κάποιο μέσο (δίσκο, ταινία, χαρτί)
4. Ανάλυση του σήματος του ΗΕΓ- με οπτική ή υπολογιστική ανάλυση κατεγγραμμένου ΗΕΓ

Το ΗΕΓ χρησιμοποιείται κυρίως για διάγνωση και ειδικότερα:

1. Βοηθά στην ανίχνευση και στον εντοπισμό εγκεφαλικών αλλοιώσεων (ασυμμετρίες, ανωμαλίες στο ΗΕΓ)
2. Βοηθά στη μελέτη της επιληψίας
3. Βοηθά στη διάγνωση νοητικών διαταραχών
4. Βοηθά στη μελέτη των διαφόρων προτύπων ύπνου
5. Επιτρέπει την παρατήρηση και ανάλυση αντιδράσεων του εγκεφάλου σε αισθητηριακά ερεθίσματα

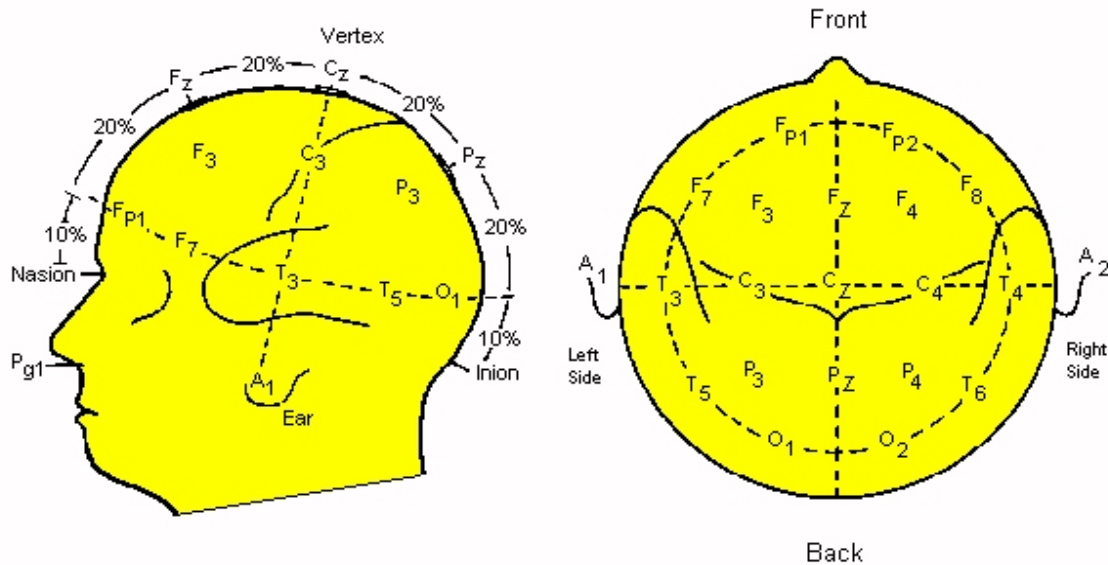


Εικ.1.3: Χαρακτηριστική εικόνα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από το πρόγραμμα eeglab. Φαίνονται τα σήματα που λαμβάνονται από τα 32 ηλεκτρόδια για διάστημα 5 sec [eeglab tutorial]

1.3.2 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ

Τα ηλεκτρόδια του ΗΕΓ μετατρέπουν το ρεύμα ιόντων των εγκεφαλικών ιστών σε ηλεκτρικό ρεύμα που οδηγείται στους προενισχυτές του συστήματος ΗΕΓ. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους καθορίζονται από το είδος του μετάλλου που χρησιμοποιείται. Ο συχνότερος τύπος είναι αυτά του αργύρου-χλωριούχου αργύρου (Ag-AgCl). Συνήθως είναι επαναχρησιμοποιούμενα επιφανειακά ηλεκτρόδια (δίσκοι ή κύπελλα) που τοποθετούνται στο κεφάλι με μια αγωγίμη κρέμα παρόμοιας σύστασης με τα σωματικά υγρά/ηλεκτρολύτες). Η τοποθεσία αρχικά καθαρίζεται με οινόπνευμα ή ασετόν για την απομάκρυνση των λιπαρών ουσιών του δέρματος. Ακόμα καλύτερα συνίσταται η μείωση (με την τοποθέτηση αγωγίμης κρέμας) της αντίστασης επαφής χαμηλότερα από τα 10 KΩ για να εξασφαλιστεί καλή καταγραφή του σήματος του ΗΕΓ [9]. Η αντίσταση μπορεί να ελεγχθεί με ένα τεστ με χρήση ενός DC ωμόμετρου (ή ακόμη καλύτερα ac ωμόμετρου για την αποφυγή πολώσεων εφαρμόζοντας μια ac τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων).

Το πλάτος, η φάση και η συχνότητα του σήματος του ΗΕΓ εξαρτώνται από την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Η τοποθέτηση αυτή βασίζεται στις μετωπικές, πλευρικές, κροταφικές και ινιακές περιοχές. Το πιο διαδεδομένο σύστημα τοποθέτησης είναι το 10-20 που καθιερώθηκε από τη διεθνή ομοσπονδία των ενώσεων ΗΕΓ[10]. (Εικ.1.3).



Εικ.1.4: Η διάταξη των ηλεκτροδίων κατά Jaspers. Διακρίνονται και τα ηλεκτρόδια αναφοράς A1, A2 καθώς και το ηλεκτρόδιο κορυφής C2 [10]

Η ονομασία του συστήματος οφείλεται στην επιλογή του 20% της απόστασεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια και στην επιλογή του 10% της απόστασεως μεταξύ των δύο αυτιών ως την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιο του [10]. Επιπρόσθετα, απαγωγές τοποθετούνται στους λοβούς των αυτιών καθώς και σε θέσεις κοντά στα μάτια. Τα ηλεκτρόδια (A1 ή A2) που τοποθετούνται στους λοβούς ή πίσω από το αυτί είναι τα ηλεκτρόδια αναφοράς και τα μετρούμενα Προκλητά Δυναμικά σε ένα σημείο της δερματικής επιφάνειας του κρανίου υπολογίζονται ως η διαφορά δυναμικού μεταξύ του σημείου αυτού και των λοβών, οι οποίοι εξαιτίας του γεγονότος ότι διαπερνούνται από μικρό αριθμό νεύρων και έχουν χαμηλή αιμάτωση, εμφανίζουν ιδιαίτερα σταθερό και χαμηλό δυναμικό. Τα ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται πάνω από εγκεφαλικές περιοχές που αναμένεται ότι θα παρουσιάσουν εγκεφαλική δραστηριότητα λέγεται πως αντιστοιχούν σε ενεργά σημεία. Αντίθετα, ηλεκτρόδια τοποθετημένα πάνω από περιοχές που θεωρείται ότι δεν έχουν σχέση με εγκεφαλική

λειτουργία, λέγεται πως αντιστοιχούν σε ανενεργά σημεία. Τέτοια σημεία, όπως ειπώθηκε και παραπάνω π.χ. είναι το αυτί ή τα ενωμένα με αγωγίμο δρόμο δύο αυτιά, σημεία του λαιμού κ.α. Όταν το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων ενεργών περιοχών τότε σύμφωνα με την ορολογία του ΗΕΓ, έχουμε «διπολική» μέτρηση. Διπολικές μετρήσεις για 15 ως 30 ηλεκτρόδια είναι η κοινή μεθοδολογία σε κλινικές νευρολογικές εξετάσεις. Αυτή η μέθοδος προσφέρει το πλεονέκτημα ότι απορρίπτει τυχόν παράσιτα τα οποία είναι κοινά στα δυο ηλεκτρόδια. Στην περίπτωση της ψυχοφυσιολογικής έρευνας όμως συνήθως το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτροδίου ενεργής περιοχής και ενός ηλεκτροδίου ανενεργής περιοχής, όποτε έχουμε «μονοπολική» μέτρηση. Το ηλεκτρόδιο ανενεργής περιοχής είναι κοινό για όλες τις μετρήσεις και αποτελεί το σημείο αναφοράς το οποίο κανονικά δεν θα πρέπει να επηρεάζεται από εγκεφαλικά ρεύματα. Επιζητούμε κατ' αυτόν τον τρόπο να έχουμε μια ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη, από όλα τα ηλεκτρόδια ενεργών περιοχών, πληροφόρηση σχετικά με κάθε εγκεφαλικό ρεύμα ιόντων το οποίο φτάνει στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του κεφαλιού.

Η ευρεία χρησιμοποίηση του συστήματος 10-20 ή αλλιώς διάταξη κατά Jaspers οφείλεται στο γεγονός ότι προσαρμόζεται σε διάφορες διαστάσεις κεφαλιών (μικρά παιδιά, ενήλικες). Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες επεκτάσεις του μοντέλου αυτού, όπως το μοντέλο 10-10 [11] και το μοντέλο 10-5 [12] στις οποίες παρεμβάλλονται ηλεκτρόδια ανάμεσα στις θέσεις του συστήματος 10-20. Οι προεκτάσεις αυτές γίνονται με σκοπό να αυξηθεί ο αριθμός των παρεχόμενων καναλιών. Το μοντέλο που έχει γίνει αποδεκτό και έχει τεκμηριωθεί από την Αμερικανική Ηλεκτροεγκεφαλογραφική Κοινότητα (American Electroencephalographic Society) [13] είναι το 10-10 το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα. Το μοντέλο 10-5 αν και είναι υποσχόμενο βρίσκεται ακόμα σε πειραματικά στάδια.

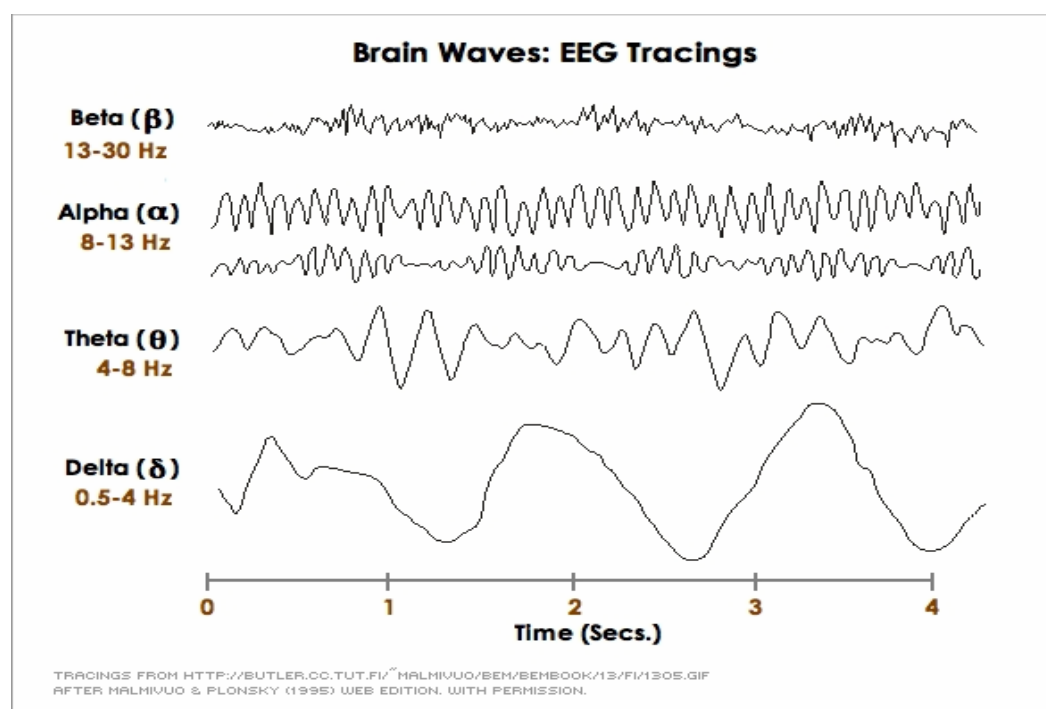
1.3.3 ΡΥΘΜΟΙ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Μία προσέγγιση στη μελέτη του κλασσικού ΗΕΓ στηρίζεται στην ύπαρξη ή μη συγκεκριμένων κυματομορφών που ονομάζονται *ρυθμοί* και των οποίων το κύριο χαρακτηριστικό είναι οι συχνότητες των αρμονικών από τις οποίες αποτελούνται δηλαδή το φασματικό τους περιεχόμενο αλλά και τα πλάτη τους. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τους κυριότερους ρυθμούς άλφα, βήτα, θήτα και δέλτα που εμφανίζονται στο ΗΕΓ και τα συνήθη πλάτη τους.

Ρυθμός	Περιοχή συχνοτήτων	Πλάτος (σε μV)
Δέλτα	0.5-4	Έως 100-200
Θήτα	4-8	<30
Άλφα	8-13	30-50
Βήτα	13-19	<20
Ταχύς Βήτα	20-30	<20

Πίνακας 1: Ρυθμοί του ΗΕΓ

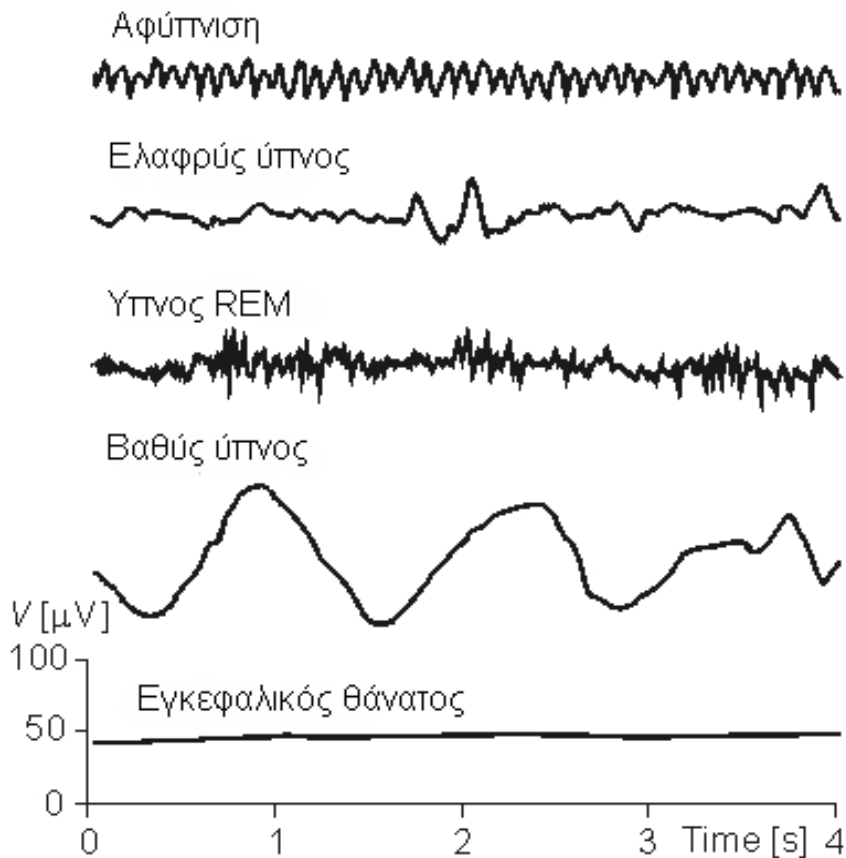
Οι κυματομορφές των ρυθμών αυτών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



Εικ.1.5: Οι κυματομορφές των βασικών εγκεφαλικών ρυθμών όπως εμφανίζονται στο ΗΕΓ [14]

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται σε περίπου 75% των ενηλίκων όπου κλείσιμο των ματιών προκαλεί αύξηση και άνοιγμα των ματιών μείωση του άλφα ρυθμού. Η μείωση του ρυθμού άλφα έχει επίσης συσχετισθεί με αισθητηριακό ερεθισμό [15], [16],[17],[18] ή πνευματική δραστηριότητα [19],[20],[21],[22]. Πήρε το όνομα άλφα γιατί ήταν ο πρώτος ρυθμός που μελετήθηκε. Ο ρυθμός βήτα έχει συσχετισθεί με την πλήρη εγρήγορση επίσης φυσιολογικού ατόμου [23]. Ο ρυθμός δέλτα έχει συσχετισθεί με τον ύπνο στον φυσιολογικό άνθρωπο [24]. Ο ρυθμός θήτα έχει συσχετισθεί με μηχανισμούς καταστολής είτε στην είσοδο σε φάση χαλάρωσης [25] αλλά γενικά παρατηρείται και σε πολλές περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή εγκεφαλική προσπάθεια [17],[25].

Όπως προκύπτει, το σήμα του ΗΕΓ συσχετίζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό με το επίπεδο εγρήγορσης του εξεταζόμενου. Όταν η ανθρώπινη δραστηριοποίηση αυξάνεται, τότε το ΗΕΓ έχει υψηλότερη επικρατούσα συχνότητα και μικρότερο πλάτος. Όταν τα μάτια είναι κλειστά, ο ρυθμός άλφα είναι κυρίαρχος. Όταν ο εξεταζόμενος κοιμάται, η επικρατούσα συχνότητα του ΗΕΓ μειώνεται. Σε μια ορισμένη φάση ύπνου, που πραγματοποιείται γρήγορο ανοιγοκλείσιμο των ματιών (REM sleep), και το άτομο ονειρεύεται μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστικό σήμα ΗΕΓ. Στο βαθύ ύπνο, το ΗΕΓ έχει μεγάλες και αργές εκτροπές δηλαδή κυματομορφές ρυθμού δέλτα. Καμία εγκεφαλική δραστηριότητα δεν μπορεί να ανιχνευθεί από έναν ασθενή σε πλήρη εγκεφαλικό θάνατο. Τα παραδείγματα των προαναφερθέντων κυματομορφών φαίνονται στην εικόνα 1.6.



Εικ.1.6: Κυματομορφές κατά τη διάρκεια διαφόρων επιπέδων εγρήγορης [29]

1.3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΕΓ

Η καταγραφή του ΗΕΓ γίνεται τόσο επεμβατικά, δηλαδή με τοποθέτηση μέσα στον εγκέφαλο απαγωγών υπό μορφή πολύ λεπτών βελόνων, όσο και μη-επεμβατικά, με τοποθέτηση απαγωγών στην εξωτερική επιφάνεια του κεφαλιού. Στη συγκεκριμένη εργασία, με τον όρο ΗΕΓ εννοούμε μόνο τα δυναμικά που καταγράφονται στη δερματική επιφάνεια του κρανίου. Για καλύτερη εποπτεία της εγκεφαλικής δραστηριότητας αλλά και για συγκριτική μελέτη της λειτουργίας διαφόρων περιοχών του εγκεφάλου είναι απαραίτητη η λήψη πολλών ταυτόχρονων σημάτων από διαφορετικά σημεία του ανθρώπινου κρανίου.

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα κατά την διαδικασία καταγραφής ΗΕΓ είναι ότι τα σήματα είναι ιδιαίτερα ασθενή (της τάξης μV) οπότε καθίσταται προβληματική

η καταγραφή τους παρουσία θορύβου. Ο θόρυβος προκύπτει από τρεις κυρίως πηγές [26]:

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

B) Από τον θόρυβο που μπορεί να προκαλέσει ο ίδιος ο ασθενής πχ με άνοιγμα-κλείσιμο των ματιών, κινητικότητα κατά την διάρκεια της εξέτασης κ.λ.π.

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

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών μπορούν να εφαρμοστούν οι εξής τεχνικές:

- Εξαγωγή του μέσου όρου [27],[28]: Το πείραμα επαναλαμβάνεται πολλές φορές και το σήμα που λαμβάνεται είναι ο μέσος όρος των σημάτων των επιμέρους μετρήσεων. Έστω ότι $r_i(t)$ είναι το μετρούμενο σήμα κατά την διάρκεια της επανάληψης i . Το σήμα αυτό θεωρείται ότι αποτελείται από το επιθυμητό σήμα $s_i(t)$ και τον θόρυβο $n_i(t)$ που αντιπροσωπεύει τα σήματα του εξελισσόμενου ΗΕΓ τα οποία είναι άσχετα με το εκλυτικό ερέθισμα της διαδικασίας

$$r_i(t) = s_i(t) + n_i(t) , \quad i=1, \dots, M \quad (1.1)$$

όπου M είναι ο αριθμός των επαναλήψεων.

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

$$E\{r_i(t)\} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M r_i(t) = \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M s_i(t) + \sum_{i=1}^M n_i(t) \right) \quad (1.2)$$

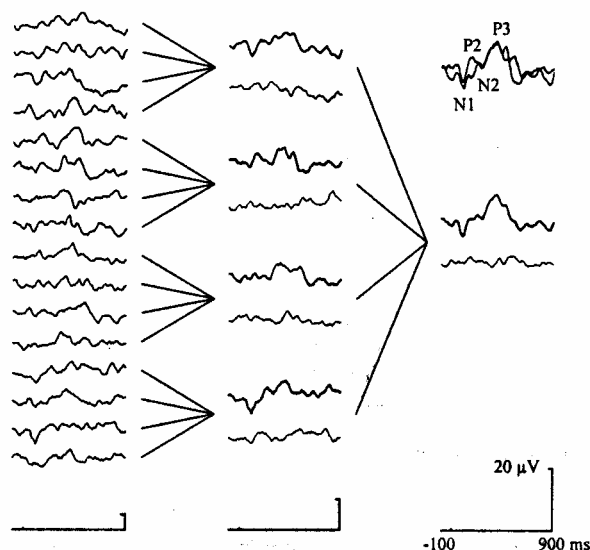
Το επιθυμητό σήμα $s_i(t)$ το οποίο προέρχεται από το εκλυτικό ερέθισμα είναι περίπου το ίδιο σε κάθε επανάληψη. Δηλαδή

$$s_i(t) = s_j(t) = s(t) \quad (1.3)$$

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

$$E\{r_i(t)\} = \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M s_i(t) + \sum_{i=1}^M n_i(t) \right) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) + 0 = \frac{1}{M} M s_i(t) \Rightarrow E\{r_i(t)\} = s_i(t) \quad (1.4)$$

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



Εικ.1.7: Η διαδικασία εξαγωγής του μέσου όρου [29]

- Μετρήσεις εντός ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένου δωματίου (κλωβός Faraday): Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζεται ο τεχνητός θόρυβος καθώς εξουδετερώνονται τα εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία δηλαδή τα πεδία δημιουργούμενα από ηλεκτροκινητήρες, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κινητά τηλέφωνα, κ.α. [1].

1.3.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΕΓ

Η καταγραφή του ΗΕΓ παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς οι οποίοι οφείλονται κυρίως στην κατάσταση του εξεταζόμενου. Πιο συγκεκριμένα, ο εξεταζόμενος ενδεχόμενα προσαρμόζεται ή εξοικειώνεται με τα ερεθίσματα όποτε τότε η καταγραφή τους δεν είναι ακριβής. Επίσης, μετά από κάποιο χρόνο ο εξεταζόμενος κουράζεται ή στρέφει αλλού την προσοχή του επηρεάζοντας τα σήματα στην ένταση

και στο χρόνο. Για αυτό το λόγο χρειάζεται να υπάρχει κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πέραν των οποίων γίνεται η παραδοχή ότι οι μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες. Παράλληλα, πρέπει να γίνεται τακτικά έλεγχος της κατάστασης του εξεταζόμενου κατά την διάρκεια της διαδικασίας καταγραφής. Τέλος, αρκετές φορές απαιτείται απεριοδικός χρονισμός αλληπάλλληλων πειραμάτων ώστε να αποφεύγεται η εξοικείωση με τα ερεθίσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1]. Δ. Κουτσούρης, «Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων», Ε.Μ.Π., 2000.
- [2]. B.E Swartz, "Timeline of the history of EEG and associated fields". *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 106: 173–176, 1998.
- [3]. Δ. Γιόβα, «Εισαγωγή στη Βιοϊατρική και Κυτταρική Μηχανική», Ε.Μ.Π., 2002.
- [4]. G. M. Shepherd “Neurobiology”, Publisher: Oxford University Press, USA, May 1994.
- [5]. O. Knudsen, “Biological Membranes: Theory of Transport, Potentials and Electric Impulses”. Cambridge University Press, September 26, 2002.
- [6]. B.E. Swartz, "Timeline of the history of EEG and associated fields". *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 106: 173–176, 1998.
- [7]. R. Srinivasan, D.M. Tucker and M. Murias , “Estimating the spatial Nyquist of the human EEG”. *Behav Res Methods Instrum Comput* pp. 8–19, 1998.
- [8]. Εμ. Κιτσώνας: «Μελέτη και Ανάπτυξη Συστήματος και Τεχνικής Εξαγωγής Χαρακτηριστικών των Προκλητών Δυναμικών του Εγκεφάλου από τις Στιγμαϊές Μετρήσεις» . Διδακτορική Διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα 2000.
- [9]. L.G. Tassinary, T.H. Geen, J.T. Cacioppo, R. Edelberg, “Issues in biometrics: offset potentials and the electrical stability of Ag/AgCl electrodes”, *Psychophysiology*, 27:236-242, 1990.
- [10]. H.H. Jasper, “The 10–20 electrode system of the International Federation”. *Electroenceph. clin. Neurophysiology*, 10, p. 370–375, 1958.

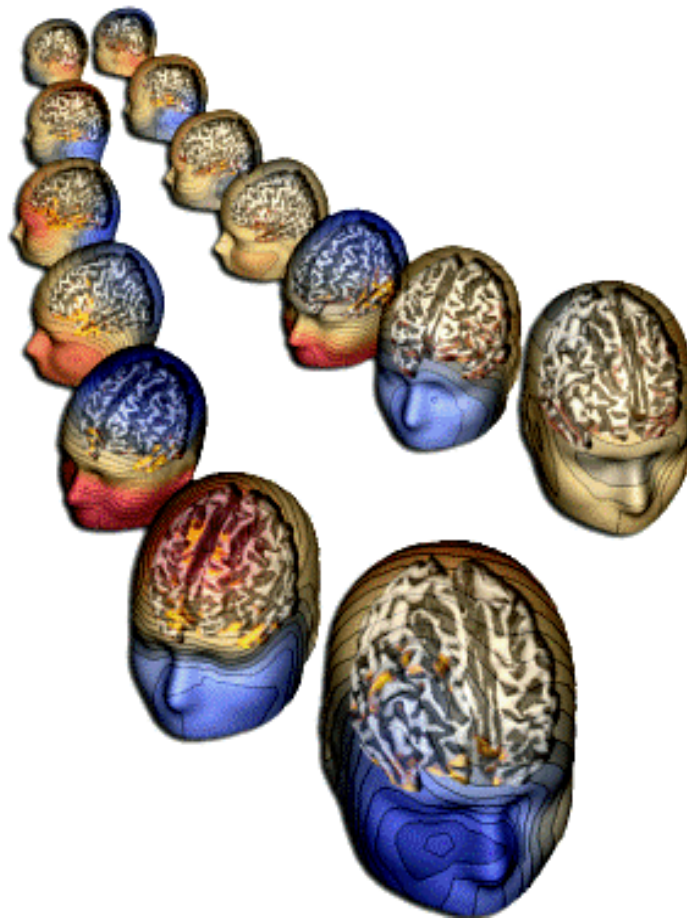
- [11]. G.E. Chatrian, E. Lettich, Nelson, “Ten percent electrode system for topographic studies of spontaneous and evoked EEG activity”, *American Journal EEG Technology* 25, p. 83–92, 1985.
- [12]. R. Oostenveld, P. Praamstra, “The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements *Clinical Neurophysiology*”, volume 112, issue 4, p. 713-719, April 2001.
- [13]. American Electroencephalographic Society. Guideline thirteen: “Guidelines for standard electrode position nomenclature”. *J Clin Neurophysiol* 11, pp. 111–113, 1994.
- [14]. J. Malmivuo & R. Plonsky, “Bioelectromagnetism: Principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields”. New York: Oxford University Press, 1995
Web edition of the book retrieved 3/5/05 from the Web site:
<http://butler.cc.tut.fi/malmivuo/bem/book/index.htm>
- [15]. L. Aftanas, V. I. Koshkarov, V. L. Pokrovskaja, N. V. Lotova, & Y. N. Mordvintsev, “Pre- and post-stimulus processes in affective task and event-related desynchronization (ERD): Do they discriminate anxiety coping styles?”, *International Journal of Psychophysiology*, 24, 197–212, 1996.
- [16]. R. J. Davidson, “Cerebral asymmetry, emotion, and affective style”, In R. J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry* (pp. 361–387). Cambridge: MIT Press, 1995.
- [17]. D. L. Schacter, “EEG theta waves and psychological phenomena: A review and analysis”, *Biological Psychology*, 5, 47–82, 1977.
- [18]. C. D. Tsang, L. J. Trainor, D. L. Santesso, S. L. Tasker, & L.A. Schmidt, “Frontal EEG responses as a function of affective musical features”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 439–442, 2001.

- [19]. E. BaSar, “Brain Function and Oscillations Volume II: Integrative Brain Function”, Neurophysiology and Cognitive Processes. Berlin:Springer, 1999.
- [20]. W. Klimesch, “EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis”. Brain Research Reviews, 29, 169–195, 1999.
- [21]. W. Klimesch, B. Schack, & P. Sauseng, “The functional significance of theta and upper alpha oscillations”. Experimental Psychology, 52, 99–108, 2005.
- [22]. L. M. Ward, “Synchronous neural oscillations and cognitive processes”, Trends in Cognitive Sciences, 7, 553–559, 2003.
- [23]. M. Steriade, “Cellular substrates of brain rhythms”. In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields, 4th ed.(pp. 28–75). Baltimore: Williams & Wilkins, 1999.
- [24]. F. Amzica, M. Steriade. “Electrophysiological correlates of sleep delta waves” Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, – Elsevier, 1998.
- [25]. K. Inanaga, “Frontal midline theta rhythm and mental activity”, Psychiatry and Clinical Neurosciences, 52, 555–566, 1998.
- [26]. Γ. Καραγιάννης, Κ. Τζιτζιράχου «Εισαγωγή στα Σήματα & Συστήματα». Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2003.
- [27]. T.W. Picton and R.F. Hink, “Evoked potentials: How? What? and Why?”, Am. J. EEG Technol., 14:9-44, 1974.
- [28]. H.G. Vaughan Jr, “The analysis of scalp recorded brain potentials”, In: Thompson RF, Patterson MM (Eds), Bioelectric Recording Techniques, Part B, Electroencephalography and Human Brain Potentials, New York, Academic Press, 4:157-207, 1974.

[29]. Χ.Ε.Βάσιος: «Ανάπτυξη Τεχνικών Επεξεργασία και Ταξινόμησης Προκλητών Δυναμικών Εγκεφάλου». Διδακτορική Διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα, 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ



2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 και με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό ως σήμερα, το ερευνητικό ενδιαφέρον της νευρολογικής επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί στη μελέτη της νευροφυσιολογίας και της λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι έρευνες μελέτης εγκεφαλικών διεργασιών με τη βοήθεια της μουσικής. Στο γεγονός αυτό έχει συμβάλλει και η συνεχής ανάπτυξη του τομέα της Βιοϊατρικής τεχνολογίας που προσφέρει όλο και πιο σύγχρονες μεθόδους απεικόνισης της λειτουργίας του εγκεφάλου. Οι σύγχρονες λειτουργικές απεικονιστικές τεχνικές όπως η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίου (P.E.T.), η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (f.M.R.I.), η Τομογραφία Εκπομπής Απλού Φωτονίου (SPECT), η Λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Υπερύθρου (fNIRS) αλλά και το παλιότερο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG), που περιλαμβάνει κι αυτό λειτουργική απεικονιστική πληροφορία, αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στην προσπάθεια κατανόησης της λειτουργίας του πολυσύνθετου συστήματος του εγκεφάλου. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη αναφορά στις βασικές τεχνικές λειτουργικής εγκεφαλικής απεικόνισης και στην έρευνα της Νευροφυσιολογίας η οποία κάνοντας χρήση της μουσικής φωτίζει κάποιες πτυχές, από τις πολύπλοκες λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου.

2.2 ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Οι διάφορες απεικονιστικές τεχνικές του τομέα της Βιοϊατρικής Τεχνολογίας διακρίνονται από το είδος της πληροφορίας που προσφέρουν σε: ανατομικές και λειτουργικές. Η απλή ακτινογραφία, η υπολογιστική τομογραφία (CT), η μαγνητική τομογραφία (MRI), οι υπέρηχοι και οι εικόνες από τις τεχνικές ενδοσκόπησης περιέχουν ανατομική πληροφορία του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος. Αντίθετα πληροφορία για τη λειτουργία και το μεταβολισμό διαφόρων εσωτερικών δομών προσφέρουν οι τεχνικές της πυρηνικής ιατρικής (PET, SPECT), η Λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Ερυθρού (fNIRS), η Λειτουργική Τομογραφία

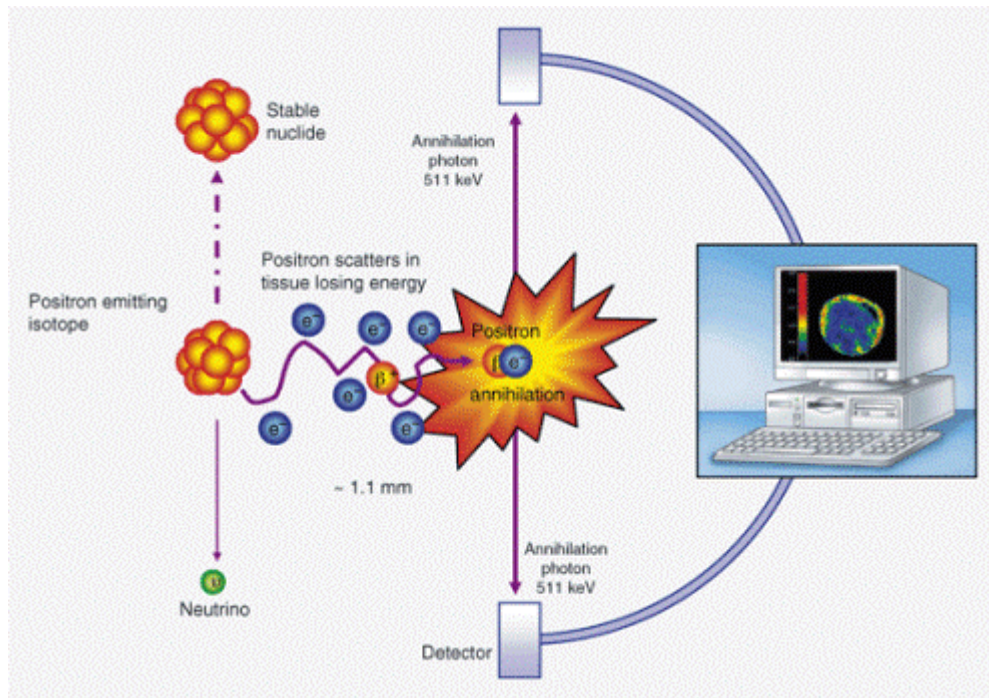
μαγνητικού συντονισμού (fMRI) αλλά και το Εγκεφαλογράφημα (E.E.G) και η Μαγνητοεγκεφαλογραφία (MEG) που δεν αποτελούν απεικονιστικές μεθόδους, περιλαμβάνουν όμως λειτουργική απεικονιστική πληροφορία μέσω της επίλυσης του αντίστροφου προβλήματος και του εντοπισμού των πηγών. Οι λειτουργικές τεχνικές αποτελούν το βασικό εργαλείο στην απεικόνιση των λειτουργιών του εγκεφάλου [1]. Οι μέθοδοι αυτές, γενικά, μετρούν διάφορες παραμέτρους χαρακτηριστικές της λειτουργίας του εγκεφάλου και συνδέουν συγκεκριμένες λειτουργίες με τις ενεργοποιήσεις των νευρώνων στις ανάλογες εγκεφαλικές περιοχές. Μία εγκεφαλική περιοχή θεωρείται ενεργοποιημένη όταν υπάρχει αυξημένη δραστηριότητα των νευρικών κυττάρων ή/και αύξηση της τοπικής αιματικής ροής, του εγκεφαλικού αιματικού όγκου, του ποσοστού οξυγόνου στο αίμα και αλλαγή σε άλλα συστατικά των ιστών [2]. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται οι βασικές λειτουργικές απεικονιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη έρευνα της νευροφυσιολογίας του εγκεφάλου.

2.2.1 ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΟΖΙΤΡΟΝΙΟΥ (P.E.T.)

Η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίου είναι μια απεικονιστική τεχνική της πυρηνικής ιατρικής που κάνει χρήση των αλγορίθμων ανακατασκευής εικόνας της υπολογιστικής τομογραφίας. Πρόκειται για μία τεχνική ραδιοιχνηθετών, στην οποία ανιχνευτικά στοιχεία που έχουν ιχνηθετηθεί με ραδιονουκλεοτίδια εκπομπής ποζιτρονίων, εγχέονται στο υπό εξέταση κάθε φορά σώμα με εισπνοή ή ενέσιμο τρόπο [3]. Μετά από την χορήγηση του ανιχνευτή το προς εξέταση άτομο τοποθετείται μέσα στο οπτικό πεδίο τα οποίο δημιουργείται από έναν αριθμό ανιχνευτών ικανών να καταγράφουν συμβάντα ακτίνων γ, γνωστοί και ως γ κάμερες. Τα ραδιονουκλεοτίδια που βρίσκονται πλέον στο σώμα είναι πλούσια σε πρωτόνια και μπορούν να εξασθενούν μέσω της εκπομπής ποζιτρονίων, κατά την οποία ένα πρωτόνιο από τον πυρήνα μεταπίπτει σε ένα νετρόνιο, ένα ποζιτρόνιο και ένα νεutrino. Τα ποζιτρόνια χάνουν την κινητική τους ενέργεια αφού διασχίσουν λίγα χιλιοστά μέσα στον εγκεφαλικό ιστό και όταν ηρεμούν έλκονται από το αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων. Τα δύο αυτά σωματίδια όταν συναντιούνται εξαϋλώνονται και η απορρέουσα ενέργεια δημιουργεί δύο ισχυρά φωτόνια που εγκαταλείπουν την

περιοχή της συνάντησης προς δύο αντιδιαμετρικές κατευθύνσεις [4],[5]. Εξαιτίας της ενέργειας τους (511 keV) τα φωτόνια εξέρχονται από το κεφάλι εύκολα με την ταχύτητα του φωτός και προσπίπτουν στους ανιχνευτές που περιβάλλουν τον εξεταζόμενο. Οι ανιχνευτές είναι ηλεκτρονικά συζευγμένοι ώστε να καταγράφουν ένα ραδιενεργό συμβάν μόνο όταν δέχονται φωτόνια ταυτόχρονα. Αυτού του είδους η διάταξη ονομάζεται κύκλωμα σύμπτωσης (*coincidence circuit*) [5]. Οι ταυτόχρονες προσκρούσεις μετρούνται και όταν η συλλογή των δεδομένων ολοκληρωθεί, γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις για την απορρόφηση των ακτίνων γ , τις τυχαίες και σκεδασμένες συμπτώσεις και τις απώλειες λόγω νεκρού χρόνου και απόδοσης ανίχνευσης [6]. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος της υπολογιστικής τομογραφίας για την ανακατασκευή της εικόνας η οποία είναι ένας χάρτης κατανομής του ραδιοφαρμάκου στο επίπεδο της τομής. Δεδομένου ότι η κατανομή του ραδιοφαρμάκου εξαρτάται από τις βιοκινητικές του ιδιότητες και τη φυσιολογική ή μη κατάσταση της περιοχής ενδιαφέροντος, η τομογραφική εικόνα PET παρέχει πληροφορίες για την ανατομία και τη λειτουργία στη συγκεκριμένη περιοχή.

Μία κάμερα PET αποτελείται από πολλούς ανιχνευτές ραδιενέργειας τοποθετημένους σε ένα δακτύλιο γύρω από το κεφάλι του εξεταζόμενου. Κάθε ανιχνευτής στο δακτύλιο είναι σε σύμπτωση με αρκετούς ανιχνευτές στην απέναντι πλευρά, μία διάταξη που αυξάνει σημαντικά τη διαθέσιμη πληροφορία για την κατασκευή μιας ακριβούς εικόνας της ραδιενέργειας στον εγκέφαλο. Οι πολλαπλοί δακτύλιοι ανιχνευτών βελτιώνουν ακόμη περισσότερο την αποδοτικότητα της ανίχνευσης καθώς ένας δακτύλιος μπορεί να δώσει δείγμα μιας μόνο τομής του εγκεφάλου πάχους περίπου 1 cm, ενώ ο εγκέφαλος από την βάση ως την κορυφή είναι περίπου 15cm. Οι σύγχρονες κάμερες μπορούν να πάρουν ταυτόχρονα μέχρι και 32 παράλληλες τομές οριζοντίου προσανατολισμού και καθιστούν εφικτή την δημιουργία τρισδιάστατων εικόνων [7].



Εικ2.1: Σχεδιάγραμμα των βασικών φυσικών αρχών και λειτουργίας του PET. Φαίνεται η εκπομπή ποζιτρονίου και εξαύλωση, η αντίγνωση συμπτώσεων και η υπολογιστική απεικόνιση.

2.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΟΝΗΡΩΝ ΦΩΤΟΝΙΩΝ (SPECT)

Η υπολογιστική τομογραφία μονήρων φωτονίων (SPECT) είναι κι αυτή όπως το PET, μία λειτουργική απεικονιστική τεχνική, που χρησιμοποιεί τις ακτίνες γάμμα για τη μελέτη της λειτουργίας εσωτερικών δομών. Η διαφορά τους όμως έγκυται ότι στο SPECT το ραδιενεργό στοιχείο διασπάται εκπέμποντας ένα ή περισσότερα φωτόνια σε αντίθεση με το PET όπου γίνεται εκπομπή ποζιτρονίων κι έτσι επιτυγχάνονται χαμηλότερα επίπεδα ενέργειας [8]. Το ραδιενεργό υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως στη μέθοδο αυτή για εγκεφαλική απεικόνιση είναι το $^{99m}\text{Tc-HMPAO}$ το οποίο εκπέμπει ακτίνες γάμμα που διαπερνούν τους ιστούς και ανιχνεύονται όπως και στο PET από μία περιστρεφόμενη γάμμα κάμερα [9]. Για τη ανακατασκευή τρισδιάστατων εγκεφαλικών εικόνων οι δισδιάστατες εικόνες λαμβάνονται κάθε 3-6 μοίρες καθώς η κάμερα κινείται γύρω από όλο το κρανίο σε διάστημα 15-20 min [10]. Στη συνέχεια με τους απαραίτητους αλγόριθμους ανακατασκευής εικόνας δημιουργείται η τρισδιάστατη τομογραφική εικόνα.

2.2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (fMRI)

Από το 1992 [11],[12],[13], όπου ανακαλύφθηκε αυτή η μέθοδος απεικόνισης μέχρι σήμερα, η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού έχει αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στη μελέτη των γνωστικών λειτουργιών του ανθρώπινου εγκεφάλου κι έχει καθιερωθεί ως μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους στην έρευνα αυτή. Όπως όλες οι απεικονιστικές τεχνικές στοχεύει στον εντοπισμό εγκεφαλικών περιοχών που έχουν ενεργοποιηθεί από ποικίλους τύπους φυσικού ερεθισμού ή δραστηριότητας. Οι εν λόγω ενεργοποιήσεις είναι άμεσα συνυφασμένες με τοπικές διακυμάνσεις της αιματικής οξυγόνωσης (αντίθεση BOLD) [14],[15],[16] και ροής του εγκεφάλου στις αντίστοιχες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού. Η μορφή ενός μέσου σήματος BOLD fMRI καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις της οξυγονωμένης και απ-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης. Η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίχθηκε στη βασική αρχή ότι η παρουσία οποιασδήποτε ουσίας εντός ενός μαγνητικού πεδίου μεταβάλλει το μαγνητικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο βαθμό. Ο βαθμός αυτής της επίδρασης αναφέρεται ως μαγνητική επιδεκτικότητα. Οι Pauling και Coryell ανακάλυψαν ότι το πλήρως απ-οξυγονωμένο αίμα έχει μαγνητική ευαισθησία περίπου 20 % υψηλότερη από το πλήρως οξυγονωμένο αίμα [17]. Κατά τη νευρωνική ενεργοποίηση αυξάνει τοπικά η εγκεφαλική αιματική ροή (CBF), ο εγκεφαλικός αιματικός όγκος (CBV) και η μεταφορά οξυγόνου. Οι αυξομειώσεις στη συγκέντρωση οξυγόνου στο αίμα κατά τη λειτουργία των νευρώνων προκαλούν μεταβολές στο τοπικό μαγνητικό πεδίο και στις χρονικές σταθερές T_1 και T_2 που περιγράφουν την επιστροφή της εγκάρσιας και διαμήκουσ μαγνήτισης. Οι σταθερές αυτές ονομάζονται χρόνοι χαλάρωσης και είναι οι παράμετροι που υπολογίζονται στις μεθόδους απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού δίνοντας πληροφορίες για τις εσωτερικές δομές [18].

Το fMRI χρησιμοποιεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο για να ευθυγραμμίσει τη μαγνήτιση των πυρήνων υδρογόνου που υπάρχουν στους ιστούς και πεδία ραδιοσυχνότητας που στρέφουν το υπάρχον πεδίο κάνοντας εφικτή την ανίχνευση του από το scanner. Το σήμα αυτό επηρεάζεται από επιπρόσθετα κεκλιμένα και ταλαντούμενα πεδία που βελτιώνουν τη χωρική ομοιογένεια και κάνουν δυνατή την ανακατασκευή της εικόνας. Ένας H/Y παρέχει τις πληροφορίες ελέγχου των πεδίων,

επεξεργάζεται τα δεδομένα και καθοδηγεί την αποθήκευση τους και την παρουσίαση των εικόνων [6],[19]. Στην εικόνα 2.2 που ακολουθεί φαίνεται μία ολοκληρωμένη εγκατάσταση fMRI με το scanner και το δωμάτιο ελέγχου με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Η μέθοδος της fMRI έχει υψηλή χρονική ανάλυση και είναι λιγότερο επεμβατική σε σχέση με άλλες μεθόδους (π.χ. PET) και παρόλο που το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα έχει υψηλότερη ανάλυση ως προς το χρόνο, η fMRI δίνει καλύτερη φασματική ανάλυση [20]. Επίσης, ο σηματοθορυβικός λόγος της fMRI είναι υψηλότερος από του PET. Παρόλα αυτά, η απεικόνιση fMRI είναι πολύ ευαίσθητη στην κίνηση και απαιτεί αλγόριθμους διόρθωσης κίνησης, οι οποίοι δεν είναι πάντα ικανοποιητικοί δίνοντας ακόμα και λανθασμένα σήματα σε κάποιες περιπτώσεις [21].



Εικ.2.2: Σύγχρονος μαγνητικός τομογράφος 3T fMRI και το δωμάτιο ελέγχου με Η/Υ όπου λαμβάνονται οι εικόνες [22]

2.2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΕΓΓΥΣ ΕΡΥΘΡΟΥ (fNIRS)

Η λειτουργική Φασματοσκοπία Εγγύς Ερυθρού είναι μία ακόμη ανερχόμενη μέθοδος απεικόνισης των λειτουργιών του εγκεφάλου που βασίζεται στη μέτρηση αλλαγών σε συστατικά του μεταβολισμού των εγκεφαλικών ιστών με τη βοήθεια της ακτινοβολίας φωτός στην περιοχή του εγγύς ερυθρού (700-900 nm) [23]. Πιο συγκεκριμένα, η εγκεφαλική δραστηριότητα σχετίζεται άμεσα με το μεταβολισμό της γλυκόζης και έτσι αύξηση της δραστηριότητας των νευρώνων έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη κατανάλωση γλυκόζης και οξυγόνου στους ιστούς της περιοχής. Η μείωση των συγκεντρώσεων αυτών των συστατικών προκαλεί τοπικά αυξημένη αγγειοσταλτική συστολή που αυξάνει την εγκεφαλική ροή του αίματος καθώς και τον συνολικό όγκο αίματος στη συγκεκριμένη περιοχή. Μέσα σε ένα διάστημα μερικών δευτερολέπτων η αυξημένη ροή του αίματος μεταφέρει γλυκόζη και οξυγόνο το οποίο μεταφέρεται μέσω μορίων οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [24]. Επειδή τα μόρια οξυγονωμένης και απ-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (oxy-Hb, deoxy-Hb) έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες στην περιοχή του ορατού και εγγύς ερυθρού, η αλλαγή στη συγκέντρωση αυτών των μορίων κατά τη διάρκεια της εγκεφαλικής δραστηριότητας, μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας οπτικές μεθόδους [25],[26]. Μια συσκευή fNIRS αποτελείται από μία πηγή φωτός είτε από διόδους LEDs είτε από δέσμες laser που μέσω οπτικών ινών εφαρμόζονται στο κεφάλι του εξεταζόμενου σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή φωτός που ανιχνεύει την ακτινοβολία αφού έχει διαπεράσει από τους ιστούς [27]. Τα περισσότερα συστατικά των ιστών δεν απορροφούν τα φωτόνια μεγάλου μήκους κύματος εκτός από τα μόρια oxy-Hb, deoxy-Hb που απορροφούν ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας η οποία συγκεντρώνεται κάτω από την επιφάνεια του δέρματος και μετριέται με τους ανιχνευτές φωτός. Μετρώντας τις διαφορές στην απορρόφηση τουλάχιστον δύο διαφορετικών μηκών κύματος στα οποία έχουν ευαισθησία τα μόρια της oxy-Hb και deoxy-Hb αντίστοιχα μετριέται η διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις του καθενός και άρα και η ανάλογη εγκεφαλική περιοχή που ενεργοποιείται [28]. Η τεχνική της λειτουργικής φασματοσκοπίας του εγγύς ερυθρού είναι μη επεμβατική και έχει το πλεονέκτημα ότι τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι φορητά. Μπορεί όμως να δώσει πληροφορίες μόνο για τον εξωτερικό εγκεφαλικό φλοιό.

2.2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ (E.E.G.)

Η μέθοδος της Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας είναι από τις παλαιότερες μεθόδους μελέτης των λειτουργιών του εγκεφάλου κι όπως έχει αναλυθεί κι εκτενέστερα σε άλλο τμήμα της διπλωματικής εργασίας (κεφάλαιο 1.3) , βασίζεται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού, οι οποίες παρουσιάζονται σε σημεία της εξωτερικής δερματικής επιφάνειας του ανθρώπινου κεφαλιού. Η τεχνική του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος έχει τη δυνατότητα να μελετάει σήματα με χρονική ανάλυση της τάξης των msec που μπορεί να συγκριθεί με τις ταχύτητες αντίδρασης των νευρώνων [10]. Παρόλο που το ΗΕΓ δεν είναι απεικονιστική μέθοδος, δίνει λειτουργική απεικονιστική πληροφορία με τη μέθοδο επίλυσης του αντιστρόφου: καταγράφοντας την ηλεκτρική δραστηριότητα στο κρανίο συμπεραίνει ποιες περιοχές στο εσωτερικό του είναι διεγερμένες. Για τον αριθμό και τα σημεία τοποθέτησης των ηλεκτροδίων που δίνουν την επιφανειακή κατανομή της εγκεφαλικής δραστηριότητας έχουν διατυπωθεί πολλές και διαφορετικές μαθηματικές προσεγγίσεις [29].

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Οι μέθοδοι της απεικόνισης του εγκεφάλου, που περιγράφηκαν παραπάνω περιληπτικά, αποτελούν σημαντικά εργαλεία στην έρευνα των νευρολόγων να απαντήσουν στα πολύπλοκα ερωτήματα σχετικά με τις εγκεφαλικές λειτουργίες. Η έρευνα της νευροφυσιολογίας προσπαθεί να χαρτογραφήσει τα διάφορα εγκεφαλικά κέντρα και να εξετάσει τις λειτουργίες τους χρησιμοποιώντας μια τεράστια ποικιλία επιστημονικών μεθόδων και προσεγγίσεων.

Στην προσπάθεια αυτή, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τα τελευταία χρόνια και τη μουσική πιστεύοντας ότι αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση της οργάνωσης του εγκεφάλου. Η σκέψη αυτή δεν ήταν τυχαία. Η μουσική όπως και η γλώσσα υπάρχει σε όλες τις ανθρώπινες κοινωνίες. Έχει κι αυτή κανόνες κι αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία που συναντάται μόνο στην ανθρώπινη φύση. Όπως συμβαίνει λοιπόν και με τη γλώσσα, η μουσική φαίνεται να συνδέεται με κάποια

συγκεκριμένα κέντρα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Από την άλλη, ενώ η αίσθηση της μουσικότητας αναπτύσσεται σε πρώιμη ηλικία στο μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού, μόνο μία μειοψηφία ανθρώπων γίνονται επαγγελματίες μουσικοί. Αυτή η ιδιαιτερότητα της διαφοράς των μουσικών δεξιοτήτων από άνθρωπο σε άνθρωπο δίνει ένα ακόμη στοιχείο για την ευπλαστότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου και προκαλεί περισσότερα ερωτήματα για αυτό το πολύπλοκο δημιούργημα της φύσης [30].

Η πολυσύνθετη φύση της μουσικής και τα διάφορα χαρακτηριστικά της οδήγησαν την έρευνα σε διαφορετικές προσεγγίσεις και πειραματικές εφαρμογές, μια σειρά από τις οποίες παρουσιάζεται παρακάτω.

2.3.1 ΝΟΤΕΣ, ΗΧΟΙ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

Το ταξίδι της μουσικής από τις δονήσεις του αέρα ως τους εγκεφαλικούς νευρώνες και την αντίληψη ενός ήχου ως μουσική είναι από τα πρώτα ερωτήματα που αναζητούν απαντήσεις.

Πώς λοιπόν το νευρικό σύστημα αναλύει και αντιλαμβάνεται την πληροφορία που έρχεται από το περιβάλλον. Στην προσπάθεια κατανόησης ενός σύνθετου φαινομένου όπως η μουσική, η έρευνα αρχικά έπρεπε να εστιαστεί στην κατανόηση των τόνων που αποτελούν τους θεμέλιους λίθους της μουσικής μελωδίας.

Μελετώντας τη μουσική με τη ματιά της Φυσικής επιστήμης αντιλαμβανόμαστε ότι πρόκειται για ηχητικά κύματα, δηλαδή μεταβολές της πίεσης του αέρα που φτάνουν στο τύμπανο του αυτιού και στη συνέχεια με την ακόλουθη φυσική και νευρολογική επεξεργασία καθώς την τελική ερμηνεία από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, αποτελούν την υποκειμενική εμπειρία που ονομάζεται ήχος. Οι περισσότεροι ήχοι που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται ως «μουσικοί» αποτελούνται κατά κύριο λόγο από περιοδικές και κανονικές ταλαντώσεις, σε αντίθεση με τους ήχους που θεωρούμε «θορύβους» όπου εκεί επικρατούν μη-περιοδικοί ήχοι.

Σε μια πολύ απλή περίπτωση, ο ήχος ενός ημιτονοειδούς κύματος το οποίο και θεωρείται ως το πιο βασικό μοντέλο ηχητικής κυματομορφής, προκαλεί περιοδικές αυξομειώσεις στα επίπεδα πίεσης του αέρα και έχει σαν αποτέλεσμα έναν «καθαρό

τόνο». Ο ρυθμός με τον οποίο αυξομειώνεται η πίεση του αέρα αποτελεί την συχνότητα του ήχου, που μετρείται σε ταλαντώσεις ανά δευτερόλεπτο δηλαδή hertz. Η συχνότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα που χαρακτηρίζει την οξύτητα (*pitch*) του ήχου ή πιο απλά την νότα [31].

C ₄	261.63	132.
C [#] ₄ /D ^b ₄	277.18	124.
D ₄	293.66	117.
D [#] ₄ /E ^b ₄	311.13	111.
E ₄	329.63	105.
F ₄	349.23	98.8
F [#] ₄ /G ^b ₄	369.99	93.2
G ₄	392.00	88.0
G [#] ₄ /A ^b ₄	415.30	83.1
A ₄	440.00	78.4
A [#] ₄ /B ^b ₄	466.16	74.0
B ₄	493.88	69.9
C ₅	523.25	65.9
C [#] ₅ /D ^b ₅	554.37	62.2
D ₅	587.33	58.7
D [#] ₅ /E ^b ₅	622.25	55.4
E ₅	659.26	52.3
F ₅	698.46	49.4
F [#] ₅ /G ^b ₅	739.99	46.6

Πίνακας 2: Δύο κλίμακες και οι αντίστοιχες συχνότητες τους σε μια κλίμακα που έχει δημιουργηθεί με τη νότα A4 να έχει 440Hz [31].

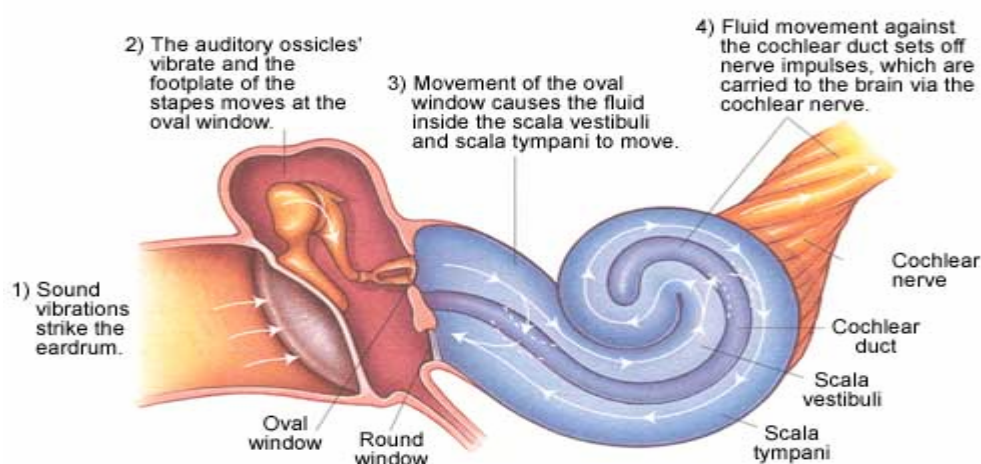
Όταν δυο ήχοι διαφορετικής οξύτητας βρίσκονται στον ίδιο χώρο τα κύματά τους αλληλεπιδρούν καθώς οι κυματομορφές προστίθενται μαθηματικά με αποτέλεσμα την

δημιουργία ενός καινούργιου κύματος που όμως εμπεριέχει τις ιδιότητες των αρχικών ήχων.

Σχεδόν το σύνολο των ηχητικών πηγών που υπάρχουν στη φύση παράγουν κυματομορφές πιο σύνθετες από αυτές των καθαρών τόνων. Με βάση την ανάλυση Fourier κάθε σύνθετη κυματομορφή μπορεί να αναλυθεί σε ένα αριθμό ημιτονοειδών κυμάτων διαφορετικής συχνότητας και πλάτους. Αυτό σημαίνει πως όσο πιο σύνθετος είναι ένας ήχος, τόσο μεγαλύτερος θα είναι και ο αριθμός των διαφορετικών ημιτονοειδών κυμάτων (*sine waves*) που τον αποτελούν και που σε τελική ανάλυση τον παράγουν μέσα από την πρόσθεσή τους στον χώρο.

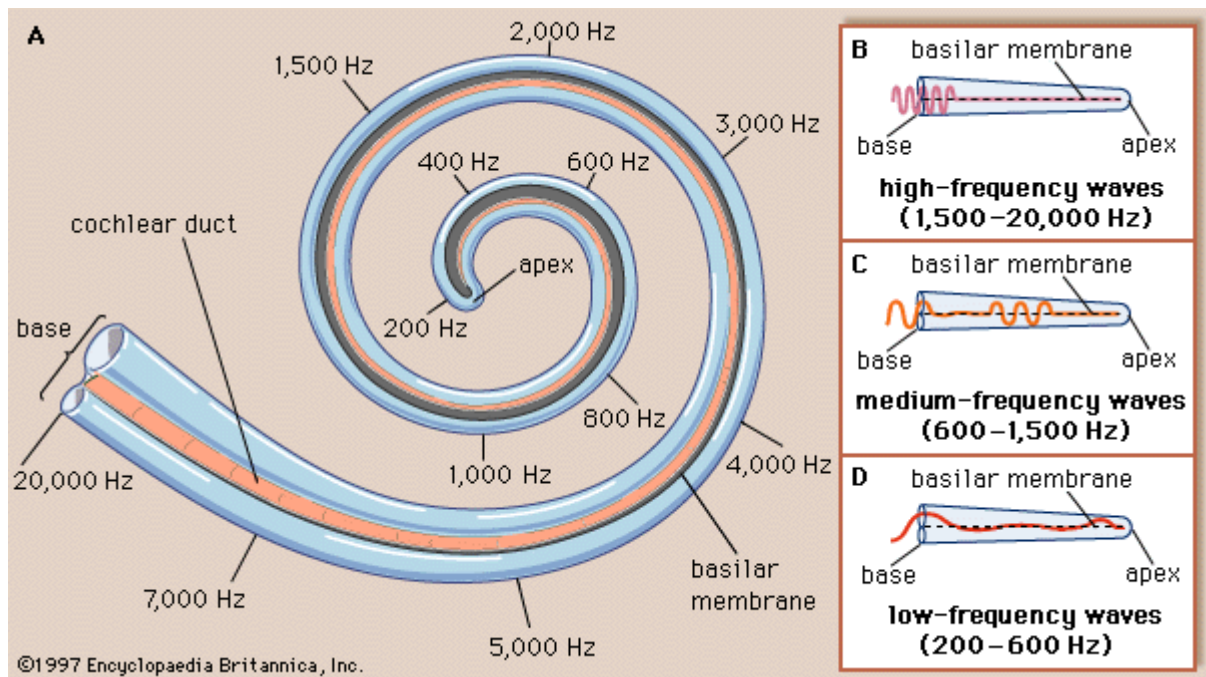
Η Φυσική, λοιπόν εξηγεί ότι οι διαφορετικές μουσικές νότες και τα διαφορετικά ηχοχρώματα βασίζονται στις διαφορετικές συχνότητες των ημιτονοειδών κυμάτων. Στην κατανόηση όμως, της λειτουργίας των ακουστικών κέντρων του εγκεφάλου συνετέλεσε και η έρευνα που έχει γίνει στον τομέα που αφορά το ταξίδι του ήχου μέχρι να φτάσει στους νευρώνες, αλλά κυρίως η μετατροπή του ήχου που συντελείται στο εσωτερικού του κοχλίου από απλές μεταβολές της πίεσης σε ηλεκτρικά σήματα αντιληπτά από τους εγκεφαλικούς νευρώνες.

Στο παρακάτω σχήμα της φυσιολογίας του ανθρώπινου αυτιού φαίνεται το ταξίδι των ηχητικών κυμάτων και η μετατροπή τους σε ηλεκτρικά σήματα που διαβιβάζονται στον εγκέφαλο. Βασικό ρόλο σε αυτή τη λειτουργία παίζει η βασιλική μεμβράνη, που απλώνεται σε ολόκληρη την σπειροειδή επιφάνεια του κοχλίου.



Εικ. 2.3: Η φυσιολογία του εσωτερικού αυτιού. Διακρίνονται η αίθουσα, τα οστάρια και ο κοχλίας [32]

Σε μηχανικό επίπεδο η βασιλική μεμβράνη μπορεί να συγκριθεί με ένα φασματογράφο.(Εικ2.2)



Εικ.2.4: Οι υψηλές συχνότητες εγκλωβίζονται στην είσοδο του κοχλίου ενώ οι χαμηλές λαμβάνονται πλησιάζοντας προς το τέρμα(apex) [32]

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα τα κύματα καθώς ταξιδεύουν στο εσωτερικό της σπείρας μέσω της κίνησης του υγρού, ανακλώνται και αλληλοαναιρούνται με τρόπο τέτοιο ώστε τα κύματα των υψηλών συχνοτήτων να παίρνουν το μέγιστο πλάτος τους στην αρχή του κοχλίου, σε αντίθεση με τα χαμηλόσυχνα που αποκτούν το μέγιστο πλάτος τους πιο κοντά στο τέλος της σπείρας όπου εκεί η βασιλική μεμβράνη είναι πιο λεπτή. Λόγω του σχήματος της σπείρας, λοιπόν, μόνο συγκεκριμένες συχνότητες «επιβιώνουν» σε κάθε περιοχή με αποτέλεσμα να μετακινούν συγκεκριμένο τμήμα τριχών κάθε φορά και άρα συγκεκριμένο τμήμα της βασιλικής μεμβράνης το οποίο είναι συνδεδεμένο με τους ανάλογους νευρώνες. Ο καθένας πλέον από αυτούς στέλνει το δικό του σήμα στα κέντρα του εγκεφάλου [33].

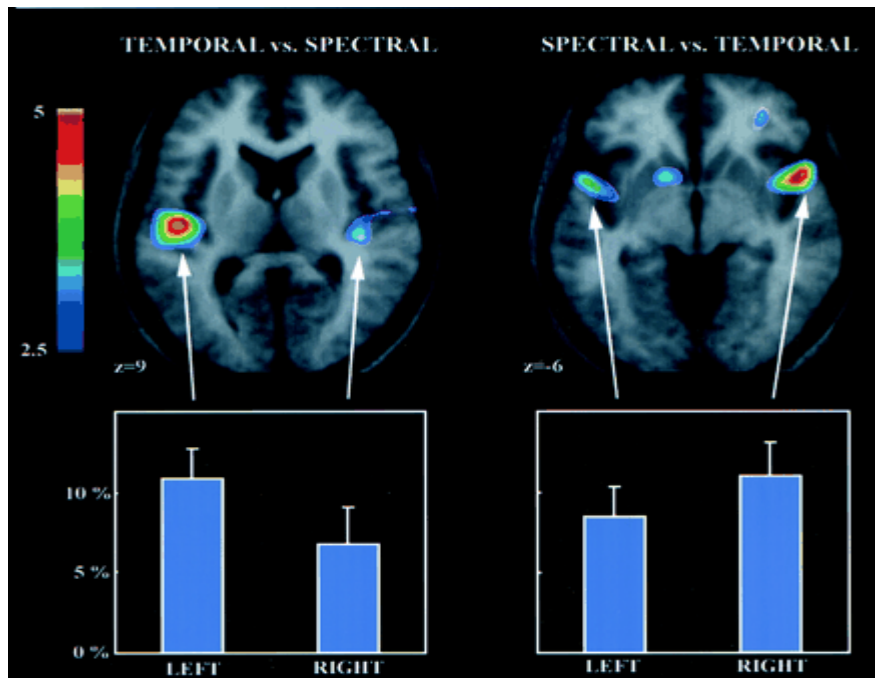
Με βάση όλα τα παραπάνω, πολλές έρευνες, αρχικά με τη χρήση του ΗΕΓ και στη συνέχεια του fMRI και του PET, βασίστηκαν στο διάκριση των τόνων από τον εγκέφαλο, σε μία διαδικασία γνωστή ως επεξεργασία τόνου (*pitch processing*). Ένα

από τα πιο απλά πειραματικά πρωτόκολλα που έχουν εφαρμοστεί απαιτούσε από τον εξεταζόμενο να αντιληφθεί τότε δύο τόνοι είχαν την ίδια συχνότητα ή διαφορετική όταν όμως η διαφορά αυτή ήταν απειροελάχιστη. Με αυτόν τον τρόπο έγιναν προσπάθειες να υπολογισθεί το ελάχιστο βήμα που χρησιμοποιεί ο εγκέφαλος για να αντιλαμβάνεται τότε μια συχνότητα είναι διαφορετική από άλλη [34]. Σε άλλο παρόμοιο πείραμα ο εξεταζόμενος άκουγε ένα ζευγάρι τόνων που απείχαν ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ τους τόσο ώστε να μην διακρίνονται καθαρά 2 τόνοι. Σε κάθε επανάληψη το διάστημα αυξανόταν έως ότου να γίνει σαφής η διάκριση από τον εξεταζόμενο [35]. Το ζητούμενο ήταν να καθοριστεί το ελάχιστο ικανό χρονικό διάστημα που πρέπει να υπάρχει ανάμεσα στους τόνους ώστε να ακούγονται ως δύο διαφορετικοί.

Τα αποτελέσματα των ερευνών έχουν δείξει ότι οι διαδικασίες αντίληψης των διαφορετικών τόνων ενεργοποιούν κυρίως την περιοχή του πρωτοταγή ακουστικού φλοιού σε αντίθεση με τον δευτεροταγή που φαίνεται να ενεργοποιείται περισσότερο με αρμονικά, μελωδικά και ρυθμικά ερεθίσματα. Ο τριτοταγής ακουστικός φλοιός υποτίθεται ότι συνδέεται με την ολοκληρωμένη αίσθηση της μουσικής εμπειρίας [36].

Σε μια άλλη σειρά πειραμάτων συγκρίθηκε η αντίληψη της συχνότητας με την αντίληψη του χρόνου, του λεγόμενου μουσικού τέμπου [37],[38],[39]. Τα ερεθίσματα ήταν μια σειρά από καθαρούς τόνους που διέφεραν ως προς τη συχνότητα και τη διάρκεια. Στη μία περίπτωση η συχνότητα των τόνων διατηρήθηκε σταθερή αλλάζοντας μόνο τα μεταξύ τους διαστήματα, επηρεάζοντας δηλαδή το τέμπο. Στη δεύτερη φάση του πειράματος ο ρυθμός διατηρήθηκε σταθερός ενώ οι συχνότητες των τόνων διέφεραν με συνεχώς μεγαλύτερη διάκριση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην πρώτη περίπτωση της διάκρισης μεταξύ των χρόνων ενεργοποιήθηκε κυρίως το αριστερό τμήμα του εγκεφαλικού ακουστικού φλοιού. Αντίθετα, στο αίτημα διάκρισης των συχνοτήτων μεγαλύτερη ενεργοποίηση παρατηρήθηκε στο δεξί τμήμα.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως η περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου έδειξε σημαντικά μεγαλύτερη δραστηριότητα στην περίπτωση των χρονικών εναλλαγών από ότι στις φασματικές διαφορές. Από την άλλη η εικόνα δεξιά δείχνει την μέγιστη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου που αντιδρούσε περισσότερο στις φασματικές διαφορές από ότι στις χρονικές [37].



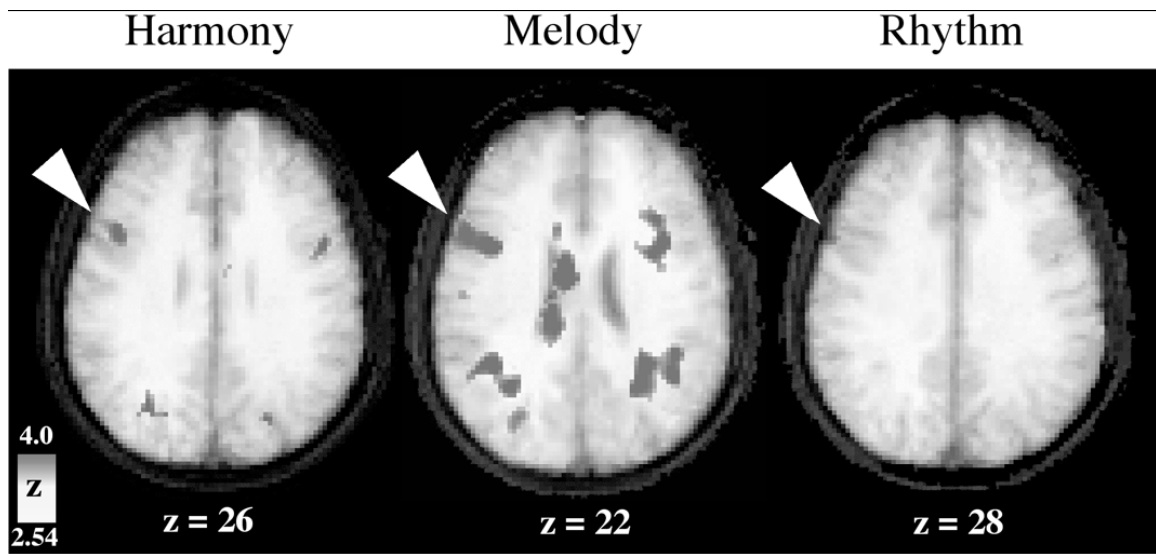
Εικ.2.5: Χαρακτηριστική εικόνα PET που δείχνει την εξειδίκευση των ημισφαιρίων στην αντίληψη της συχνότητας και του χρόνου [37]

2.3.2 ΜΕΛΩΔΙΑ, ΑΡΜΟΝΙΑ, ΡΥΘΜΟΣ

Στην προσπάθεια ανακάλυψης των αντιδράσεων του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια μουσικών ακουσμάτων, σε διάφορες έρευνες με απεικόνιση PET παρατηρήθηκε εξειδίκευση στο ρόλο των εγκεφαλικών περιοχών ως προς την αντίληψη της μελωδίας, της αρμονίας και του ρυθμού [40],[41].

Σε ένα χαρακτηριστικό πείραμα αυτής της κατηγορίας [40] μία ομάδα από εξεταζόμενους μουσικούς παρατήρησαν λάθη που είχαν τοποθετηθεί σε ηλεκτρονικά επεξεργασμένες εκτελέσεις κομματιών του J.S.Bach. Τα λάθη ήταν κατηγοριοποιημένα κάθε φορά ως προς τη μελωδία, την αρμονία ή τον ρυθμό.

Συγκεντρώνοντας κάποια βασικά συμπεράσματα η έρευνα αυτή έδειξε ότι κάθε περίπτωση ενεργοποιούσε και διαφορετικές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις της μελωδίας ενεργοποιούνταν το ίδιο και τα δύο ημισφαίρια, ενώ οι ρυθμικές και αρμονικές αλλαγές επηρέαζαν περισσότερο το αριστερό ημισφαίριο από ότι το δεξί. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει ενδεικτικά τα παραπάνω συμπεράσματα μέσω της PET απεικόνισης.



Εικ.2.6: Χαρακτηριστικές εικόνες από PET δείχνουν διαφορετικές περιοχές να ενεργοποιούνται σε μουσικούς κατά τη διάρκεια εύρεσης μουσικών λαθών ως προς την αρμονία, τη μελωδία και το ρυθμό [40].

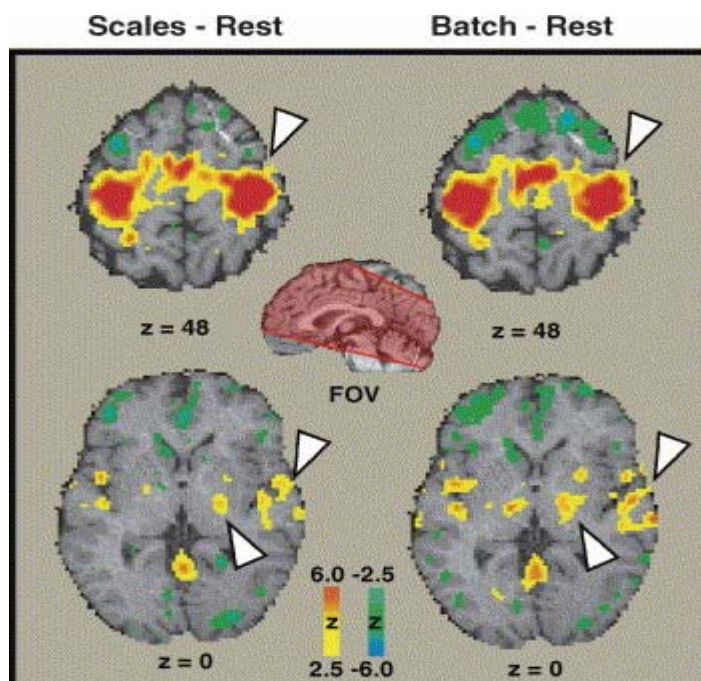
Στην προσπάθεια κατανόησης του πώς αντιλαμβάνεται ο εγκέφαλος την αίσθηση της μελωδίας, η ίδια ομάδα έκανε μία σειρά πειραμάτων σε σχέση με την εκτέλεση της μουσικής [42].

Για το πείραμα αυτό επιλέχθηκαν οκτώ μουσικοί στους οποίους εφαρμόστηκε η απεικονιστική μέθοδος PET κατά τη διάρκεια εκτέλεσης σε πιάνο ενός κομματιού του Bach (3ο μέρος του Ιταλικού Κονσέρτου) σε σύγκριση με την εκτέλεση μιας κλίμακας του Φα. Και οι δύο εκτελέσεις απαιτούσαν από τους μουσικούς κινήσεις και των δύο χεριών παρόμοιας ταχύτητας και πολυπλοκότητας. Στόχος ήταν να μελετηθεί πώς η μελωδία που μπορεί να υπάρχει σε ένα μουσικό κομμάτι και το συναίσθημα που εκφράζεται μέσα από αυτή, μπορεί να επιδράσει διαφορετικά στην ενεργοποίηση του εγκεφάλου.



Εικ.2.7: Ένας πιανίστας κατά την εκτέλεση ενός μουσικού κομματιού και την παράλληλη καταγραφή του σε PET [42]

Τα αποτελέσματα έδειξαν πράγματι διαφοροποίηση στις περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιήθηκαν.



Εικ.2.8: Χαρακτηριστικές ροές του αίματος όταν οι πιανίστες έπαιζαν τις κλίμακες σε αντίθεση με τις εκτελέσεις του Bach [42]

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα οι απεικονίσεις της πάνω σειράς δείχνουν ενεργοποιήσεις στα κινητικά κέντρα του εγκεφάλου που οφείλονται στις κινήσεις των χεριών. Στις απεικονίσεις της κάτω σειράς τα βέλη δείχνουν στις ενεργοποιήσεις των περιοχών του ακουστικού φλοιού και του θαλάμου, περιοχές που έχουν γενικά συνδεθεί με το άκουσμα της μουσικής μελωδίας. Η εγκεφαλική περιοχή κροταφικό πεδίο (planum temporale) και γενικότερα ο δεξιός ακουστικός φλοιός ενεργοποιήθηκαν περισσότερο κατά την εκτέλεση των μουσικών συνθέσεων του Bach σε αντίθεση με τις κλίμακες επιβεβαιώνοντας τις προηγούμενες μελέτες ότι αυτές οι περιοχές συνδέονται με την αντίληψη της μελωδίας και αρμονίας [43]-[48].

2.3.3 ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΝΤΑΣΙΑ

ή τι συμβαίνει όταν έχουμε ένα τραγούδι στο μυαλό μας

Πολλοί άνθρωποι βιώνουν δύο διαφορετικές αισθήσεις με τη μουσική. Ο κλασσικός τρόπος για να απολαμβάνουμε τη μουσική είναι να ακούμε μία ζωντανή ή ηχογραφημένη εκτέλεση. Από την άλλη, σχεδόν όλοι μας ενστικτωδώς καταλαβαίνουμε την έκφραση «μου έχει κολλήσει ένας ρυθμός στο μυαλό». Σχετικές έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα ακουστικά κέντρα του εγκεφάλου μπορούν να ενεργοποιηθούν και χωρίς την παρουσία ήχου κι αυτό αποδεικνύει το μοναδικό φαινόμενο που συμβαίνει απλά όταν σκεφτόμαστε ένα ρυθμό με το μυαλό μας [49]-[54].

Σε ένα νευρολογικό ινστιτούτο του Montreal η ομάδα των ερευνητών εφάρμοσε μία σειρά πειραμάτων χρησιμοποιώντας τις τεχνικές απεικόνισης εξετάζοντας την αντίδραση του εγκεφάλου όταν κάποιος σκέφτεται κάποιο οικείο του τραγούδι [49].

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, οι εξεταζόμενοι αρχικά άκουγαν μία γνωστή μουσική φράση (π.χ. τη μουσική από τη γνωστή τηλεοπτική εκπομπή “Dallas”) ενώ έπειτα άκουγαν μόνο τις αρχικές νότες κι έπρεπε με το μυαλό τους να θυμηθούν τη συνέχεια.

Theme from "Dallas"



Cue sequence

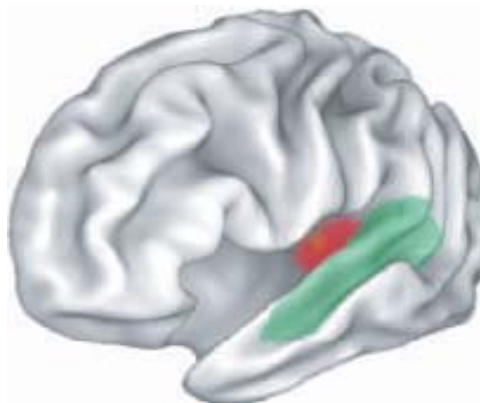


Control sequence



Εικ.2.9: Παράδειγμα μουσικού πειραματικού ερεθίσματος σε εξέταση [49]

Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα οι εγκεφαλικές περιοχές που ενεργοποιούνται όταν ακούμε μουσική ήταν επίσης διεγερμένες ακόμη και κατά τη διάρκεια ησυχίας, απλά και μόνο με τη θύμηση ενός ρυθμού στο μυαλό!

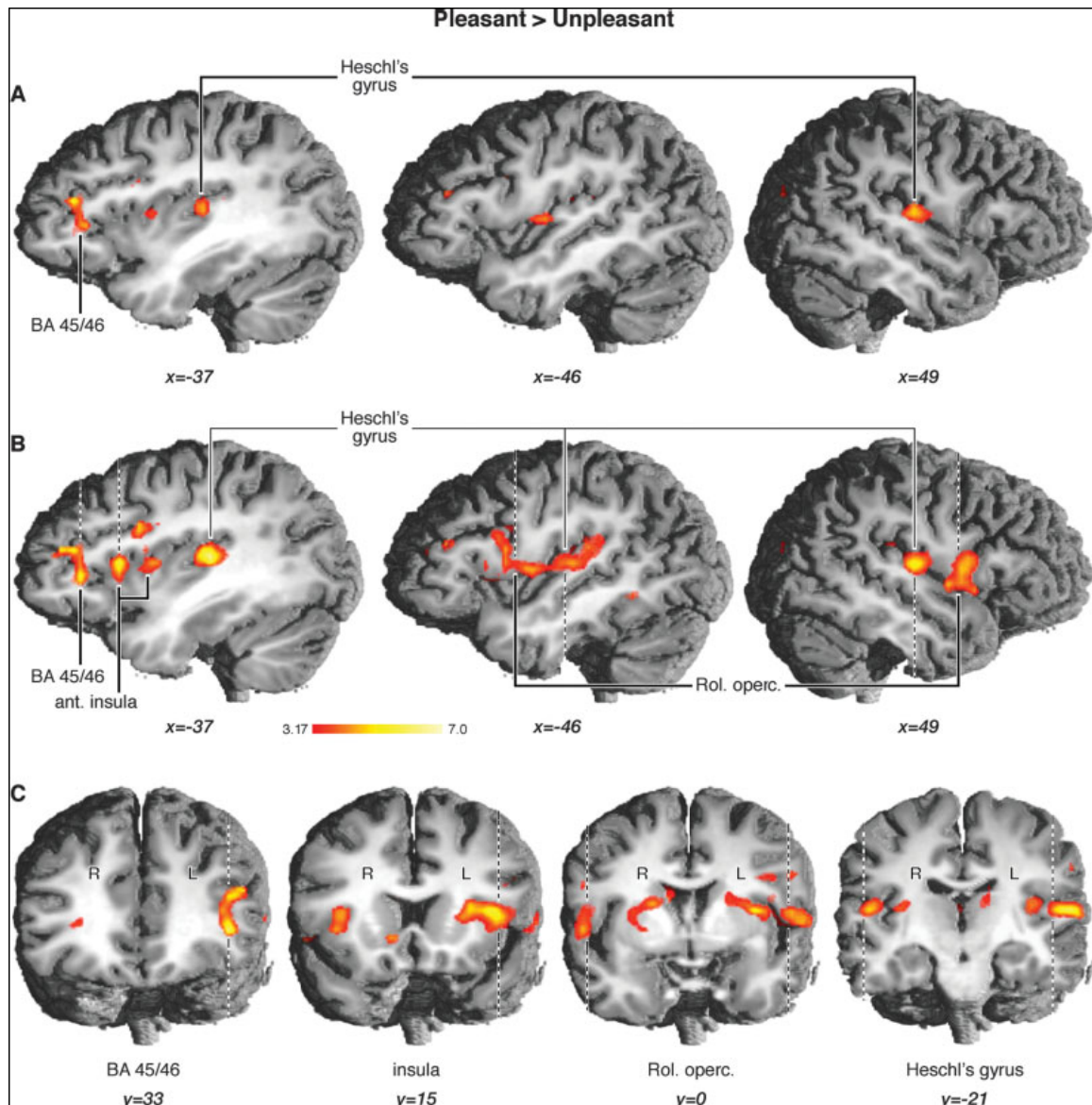


Εικ.2.10: Απεικόνιση fMRI του αριστερού εγκεφαλικού ημισφαιρίου αποδεικνύει την ενεργοποίηση του πρωτοταγή ακουστικού φλοιού, περιοχής υπεύθυνης για την λειτουργία της ακοής ακόμη και σε συνθήκες ησυχίας! [54]

2.3.4 ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ

Εκτός όμως από ηχητικά κύματα με συχνότητα, ρυθμό και μελωδία, η μουσική για όλους τους ανθρώπους αποτελεί πάνω από όλα ένα μέσο έκφρασης και βίωσης συναισθημάτων. Συχνά, ακούγοντας ένα αγαπημένο μουσικό κομμάτι, βιώνουμε την αίσθηση ενός ρίγους να μας διαπερνά. Ένα μεγάλο τμήμα της έρευνας έχει αφιερωθεί στην ανακάλυψη της πηγής των συναισθημάτων στον εγκέφαλο και πόσο διαφορετικά αυτός αντιδράει στα αρνητικά και θετικά ακούσματα [55]-[67]. Χρησιμοποιώντας μουσικά ερεθίσματα γνωστά για την πρόκληση συναισθημάτων, χαράς, ευχαρίστησης, φόβου, αγωνίας κτλ ανακαλύφθηκαν κάποιες περιοχές που φαίνονται να είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία των συναισθημάτων όπως η περιοχή των αμυγδάλων και ο ιππόκαμπος [66]. Με βάση αυτό το δεδομένο, έγιναν παρόμοια πειράματα περιπτώσεις ανθρώπων που είχαν βλάβη στα συγκεκριμένα αυτά κέντρα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά μη ασθενών [67]. Τα συμπεράσματα επιβεβαίωναν την άμεση συσχέτιση αυτών των περιοχών με τα συναισθήματα, αφού οι εξεταζόμενοι με την αντίστοιχη νευρολογική βλάβη αδυνατούσαν να νιώσουν συναισθήματα από τα μουσικά κομμάτια.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μία απεικόνιση fMRI από ένα ανάλογο πείραμα [66] όπου φαίνονται οι εγκεφαλικές περιοχές που ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια ακούσματος δυσάρεστων μουσικών κομματιών σε σύγκριση με την αντίστοιχη εγκεφαλική κατάσταση στα ευχάριστα κομμάτια.



Εικ.2.11: Απεικόνιση fMRI από πείραμα σχετικό με τη μουσική και τα συναισθήματα που προκαλεί. Στο τμήμα A φαίνονται οι περιοχές που ενεργοποιήθηκαν κατά το άκουσμα ευχάριστων μουσικών κομματιών σε αντίθεση με τα δυσάρεστα. Στα B,C φαίνονται οι αντίστοιχες ενεργοποιήσεις για το δεύτερο μέρος των κομματιών [67].

2.3 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Δίχως άλλο η έρευνα της Νευροφυσιολογίας του εγκεφάλου με τη βοήθεια της μουσικής έχει να δείξει ένα τεράστιο ιστορικό, μία ποικιλία προσεγγίσεων, μεθόδων

αλλά και συμπερασμάτων. Με κίνητρο την αγάπη για τη μουσική αλλά και το έντονο ενδιαφέρον για το πώς αυτή μπορεί να ερμηνεύεται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, είχαμε την ευκαιρία να εφαρμόσουμε με χρήση της μεθόδου της Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας κάποια ανάλογα πειράματα που θα αναλυθούν λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1]. M. D'Esposito, "Functional neuroimaging of cognition". *Seminars in Neurology* 20, 487–498, 2000.
- [2]. A. Villringer, U. Dirnagl, "Coupling of brain activity and cerebral blood flow: basis of functional neuroimaging". *Cerebrovasc Brain Metab Rev* 7,240-276, 1995.
- [3]. M.M. Ter-Pogossian, M.E. Raichle, and B.E. Sobel, "Positron-Emission Tomography," *Scientific American*, vol. 243, pp. 170-181, 1980.
- [4]. J. A. Sorenson, M. E. Phelps, "Physics in Nuclear Medicine", 2nd ed. Orlando: Grune & Stratton Inc, 1987.
- [5]. JM Ollinger, JA Fessler, "Positron-emission tomography", *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol.14, 43-55, 1997.
- [6]. Δ. Κουτσούρης, Κ. Νικήτα, «Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας». ΕΜΠ, Αθήνα, 2000.
- [7]. P.H. Jarritt, P.D. Acton, "PET imaging using gamma camera systems: a review", *Nucl Med Commun*, Vol. 17, 9, 758-766 1996.
- [8]. G.K. von Schulthess, "Clinical Molecular Anatomical Imaging: PET, PET/CT and SPECT/CT", USA: Lippincott, Williams &Wilkins, 2002.
- [9] W.G. Frankle, M. Slifstein, P.S. Talbot, M. Laruelle, "Neuroreceptor Imaging in Psychiatry: Theory and Applications", *International Review of Neurobiology*, 67: 385-440, 2005.
- [10]. B Horwitz, KJ Friston, JG Taylor "Neural modeling and functional brain imaging: an overview", *Neural Networks, Elsevier*, vol. 13, 8-9, 829-846, 2000.

- [11]. P.A. Bandettini, E.C. Wong, R.S. Hinks, R.S. Tikofsky, J.S. Hyde,. “Time course EPI of human brain function during task activation”. *Magn. Reson. Med.* 25:390–97, 1992.
- [12]. K.K. Kwong, J.W. Belliveau, D.A. Chesler, I.E. Goldberg, R.M. Weisskoff, et al., “Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation”. *Proc. Natl. Acad. Sci.USA* 89:5675–79, 1992.
- [13]. S. Ogawa, D.W. Tank, R. Menon, J.M. Ellermann, S-G. Kim, et al., “Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging”. *Proc.Natl.Acad. Sci. USA* 89:5951–55, 1992.
- [14]. K. K. Kwong, J. W. Belliveau, D. A. Chesler, I. E. Goldberg, R. M. Weisskoff, B. P. Poncelet, D. N. Kennedy, B. E. Hoppel, M. S. Cohen, R. Turner , et al., “Dynamic magnetic resonance Imaging of human brain activity during primary sensory stimulation”. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.,89(12): 5675-5679*, 1992.
- [15]. S. Ogawa, T. M. Lee., A. R. Kay, D. W. Tank, “Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation”. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.,87(24): 9868-9872*, 1990.
- [16]. S. Ogawa, D. W. Tank, R. Menon, J. M. Ellermann, S. G. Kim, H. Merkle, K. Ugurbil, “Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging.” *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.,89(13): 5951-5955*, 1992.
- [17]. L. Pauling, C.D. Coryell “The Magnetic Properties and Structure of Hemoglobin, Oxyhemoglobin and Carbonmonoxyhemoglobin”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1936.
- [18]. D. W. Tank, S. Ogawa, K. Ugurbil, “Mapping the brain with MRI”, *Brain Imaging*, 2(10), 525-528, 1992.

- [19]. E.M. Haacke, R.W. Brown, M.L. Thompson, R. Venkatesan. “Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design”, John Wiley, ISBN 0471351288, 1999.
- [20]. M.E. Moseley, G.H. Glover, “Functional MR imaging. Capabilities and limitations”, *Neuroimaging Clinics of North America* 5, 161-191, 1995.
- [21]. J. E. Desmond, S. H. A. Chen, “Ethical issues in the clinical application of fMRI: Factors affecting the validity and interpretation of activations”, *Brain and Cognition* 50, 482–497, 2002.
- [22]. Brain and Emotions Research. University of Wisconsin-Madison www.news.wisc.edu/packages/emotion/media.html
- [23]. M. Izzetoglu, K. Izzetoglu, S. Bunce, H. Ayaz, A. Devaraj, B. Onaral, K. Pourrezaei, “Functional near-infrared neuroimaging”, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Vol. 13, no. 2, pp. 153-159, June 2005.
- [24]. P.T. Fox, M.E. Raichle, M.A. Mintun, C. Dence, “Nonoxidative glucose consumption during focal physiologic neural activity,” *Science*, vol. 241, pp. 462–464, 1988.
- [25]. B. Chance, E. Anday, S. Nioka, S. Zhou, L. Hong, K. Worden, C. Li, T. Murray, Y. Ovetsky, D. Pidikiti, and R. Thomas, “A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light,” *Opt. Express*, vol. 2, no. 10, 1998.
- [26]. A. Villringer and B. Chance, “Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function,” *Trends Neurosci.*, vol. 20, pp. 435–442, 1997.
- [27]. B. Chance J.S. Leigh, H. Miyake, D.S. Smith, S. Nioka, R. Greenfeld, M. Finander, K. Kaufmann, W. Levy, M. Young, P. Choen, H. Yoshioka, and R. Boretsky, “Comparison of time-resolved and -unresolved measurements of deoxyhemoglobin in brain,” *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 85, pp. 4971–4975, 1988.

[28]. Villringer, J. Planck, C. Hock, L. Schleinkofer, and U. Dirnagl, "Near infrared spectroscopy (NIRS): A new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults," *Neurosci. Lett.*, vol. 154, pp. 101–104, 1993.

[29]. P. L. Nunez, "Physical principles and neurophysiological mechanisms underlying event-related potentials." In J. W. Rohrbaugh, R. Parasuraman & R. Johnson Jr, *Event-related brain potentials* (pp. 19–36). New York: Oxford University Press, 1990.

[30]. R.J. Zatorre, I. Peretz, "The Biological Foundations of Music". *Annals of the New York Academy of Sciences*, April 2001.

[31]. D.R. Raichel "The science and applications of acoustics", New York: Springer-Verlang ,2000.

[32]. www.hearingcentral.com

[33]. M.C. Martin, I.R. Summers "Dictionary of hearing", London : Whurr Publishers, c1999, 2001.

[34]. D.L. Rao, S. M. Mayer, A.R. Harrington, "The evolution of brain activation during temporal processing", *Nature Neuroscience*, vol 4, 3, 317-323, 2001.

[35]. J. Artieda, M.A. Pastor, F. Lacruz, J.A. Obeso, "Temporal discrimination is abnormal in Parkinson's disease". *Brain*, Oxford Univ Press, 1992.

[36]. A. Abbott, "Music, maestro, please!", *Nature*, Volume 416, Issue 6876, pp. 12-14, 2002.

[37]. R.J. Zatorre, P. Belin, "Spectral and Temporal Processing in Human Auditory Cortex", *Cerebral Cortex*, Oxford Univ Press, vol 11, 10, 946-953, 2001.

- [38]. R.J. Zatorre, J.R. Binder, “Functional and structural imaging of the human auditory system”, *Brain Mapping: The Systems*, 2000.
- [39]. I.S. Johnsrude, V.B. Penhune, R. Zatorre, “Functional specificity in right human auditory cortex for perceiving pitch direction”, *Brain.Oxf.Univ.Press*, vol 123, 1, 155-163, 2000.
- [40]. L.M. Parsons, “Exploring the functional Neuroanatomy of Music Performance, Perception and Comprehension”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol 930, 2001.
- [41]. H.Platel, C.Price, J.C.Baron, R.Wise, J.Lambert, et al., “The structural components of music perception”, *Brain*, vol 120, 2, 229-244, 1997.
- [42]. L.M. Parsons, J. Sergent, D.A. Hodges, P.T. Fox, “The brain basis of piano performance”, *Neuropsychologia*, Elsevier, 2005.
- [43]. R.J. Zatorre, “Pitch perception of complex tones and human temporal-lobe function.”, *J. Acoust. Soc. Am.* 84: 566–572, 1988.
- [44]. R.J Zatorre, S. Samson, “Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory”, *Brain* 114: 2403–2417, 1991.
- [45]. R.J Zatorre, A.C. Evans, E. Meyer, et al “Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing.”, *Science* 256: 846–849, 1992.
- [46]. R.J. Zatorre, A.C. Evans, E. Meyer, “Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch.”, *J. Neurosci.* 14: 1908–1919, 1994.
- [47]. T.D. Griffiths, C. Buchel, R.S.J. Frackowiak, et al., “Analysis of temporal structure in sound by the human brain.” *Nature Neurosci.* 1: 422–427, 1998.
- [48]. D.W. Perry, R.J. Zatorre, M. Petrides, et al., “Localization of cerebral activity during simple singing.” 1999. *NeuroReport* 10: 3979–3984, 1999.

[49]. A.R. Halpern, R.J. Zatorre, “When That Tune Runs Through Your Head: A PET Investigation of Auditory Imagery for Familiar Melodies”, *Cerebral Cortex*, New York, Oxford University Press, vol 9, 7, 697-704, 1999.

[50]. A.R.Halpern, “Cerebral Substrates of Musical Imagery”. *The Biological Foundations Of Music*, *Annals of New York Academy Of Science*, vol 930, 179-192, 2001.

[51]. A.R Halpern, “Mental scanning in auditory imagery for songs”, *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 14(3):434-43, 1988.

[52]. R.J. Zatorre, A.R. Halpern, D.W. Perry, E. Meyer, A.C. Evans, “Hearing in the Mind's Ear: A PET Investigation of Musical Imagery and Perception”, *Journal Of Cognitive Neuroscience*, vol 8, 1, 29-46, 1996.

[53]. R.J.Zatorre, A.R. Halpern, “Mental Concerts: Musical Imagery and Auditory Cortex”, *Neuron*, Elsevier, 2005.

[54]. D.J.M. Kraemer, C.N. Macrae, A.E. Green, W.M. Kelley, “Musical imagery: Sound of silence activates auditory cortex”, *Nature*, vol 434,158, 2005.

[55]. J.Morris, S.Scott, R.Dolan, “Saying it with feeling: neural responses to emotional vocalizations”, *Neuropsychologia* 37:1155–1163, 1999.

[56]. M.L. Phillips, A.W. Young, S.K. Scott, A.J. Calder, C. Andrew, V. Giampietro, S.C.R. Williams, E. Bullmore, M. Brammer, J.A. Gray, “Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust.” *Proc R Soc Lond B* 265:1809 –1817, 1998.

[57]. K.Sander, H. Scheich: “Auditory perception of laughing and crying activates human amygdala regardless of attentional state”. *Cogn Brain Res* 12:181–198, 2001.

- [58]. A. Blood, R.J. Zatorre, “Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion”, *Proc Natl Acad Sci U S A* 98:11818–11823, 2001.
- [59]. A.J. Blood, R. Zatorre, P. Bermudez, A.C. Evans, “Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions”, *Nat Neurosci* 2:382–387, 1999.
- [60]. E.G. Schellenberg, S.E. Trehub, “Frequency ratios and the perception of tone patterns”, *Psychonom Bull Rev* 1:191–201, 1994.
- [61]. L.J. Trainor, B.M. Heinmiller, “The development of evaluative responses to music: infants prefer to listen to consonance over dissonance”, *Infant Behav Dev* 21:77–88, 1998.
- [62]. J. Van de Geer, W. Levelt, R. Plomp, “The connotation of musical consonance.” *Acta Psychol* 20:308–319, 1962.
- [63]. L. Wedin, “A multidimensional study of perceptual-emotional qualities in music”. *Scand J Psychol* 13:241–257, 1972.
- [64]. M.R. Zentner, J. Kagan, “Infants’ perception of consonance and dissonance in music”. *Infant Behav Dev* 21:483–492, 1998.
- [65]. A.J. Blood, R.J. Zatorre, “Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion”, *Proceedings-National Academy of Sciences, USA*, vol 98, 20, 11818-11823, 2001.
- [66]. S. Koelsch, T. Fritz, “Investigating Emotion With Music: An fMRI Study”, *Human Brain Mapping* 27:239–250, 2006.
- [67]. N. Gosselin, I. Peretz et al., “Amygdala damage impairs emotion recognition from music.” *Neuropsychologia*, Elsevier, 2007.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο



ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΑ ΡΟΛΟΓΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΣΤΗΝ
ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ
ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ**

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό τμήμα της μελέτης των λειτουργιών του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια μουσικών ακουσμάτων, έχει συνδυαστεί με την έρευνα για την εγκεφαλική αντίληψη του χρόνου. Οι τόνοι, η διάρκειά τους και οι χρονικές παύσεις μεταξύ τους είναι τα στοιχεία που δημιουργούν την αίσθηση της μελωδίας στη μουσική. Στην ουσία ο ρυθμός και η μελωδία βασίζονται στη χρονική απόσταση μεταξύ των τόνων και τη συχνότητα τους. Επομένως, η ανθρώπινη αίσθηση της μουσικής είναι άμεσα συνυφασμένη με την έννοια του χρόνου και πώς αυτός γίνεται αντιληπτός από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η μελέτη της αντίληψης του χρόνου από τον ανθρώπινο εγκέφαλο αποτελεί προϋπόθεση για την περαιτέρω κατανόηση της πολυσύνθετης επίδρασης της μουσικής στις εγκεφαλικές λειτουργίες.

Ο άνθρωπος έχει την σπουδαία ικανότητα να αντιλαμβάνεται το πέρασμα του χρόνου και να δημιουργεί συμπεριφορές που προγραμματίζονται χρονικά. Για το σκοπό αυτό φαίνεται να επιστρατεύεται ένα τεράστιο δίκτυο νευρώνων που είναι υπεύθυνο για την υποκειμενική αντίληψη του χρόνου, τεμαχίζοντας τον σε διαστήματα που διαρκούν από ελάχιστα msec έως ολόκληρα δευτερόλεπτα. Οι περισσότερες θεωρίες για τους ανθρώπινους μηχανισμούς για το χρόνο αναφέρονται στο λεγόμενο εσωτερικό ρολόι, στη μνήμη και στην προσοχή [1],[2],[3],[4]. Το εσωτερικό βιολογικό ρολόι αποτελεί μία έκφραση που εξηγεί μεταφορικά την υποκειμενική αντίληψη του χρόνου κι είναι γνωστό ως “*Circadian Rhythm*” από τις λατινικές λέξεις *circa* (περί) και *diem* ή *dies* (ημέρα), εννοώντας «περίπου μία ημέρα». Το ρολόι αυτό ρυθμίζεται από γονίδια που είναι γενετικά υπεύθυνα για την παραγωγή πρωτεϊνών. Το επίπεδο αυτών των πρωτεϊνών ανεβαίνει και κατεβαίνει με συγκεκριμένους ρυθμούς. Αυτά τα ταλαντούμενα βιοχημικά κύματα ελέγχουν διαφορές λειτουργίες σε φάσεις δραστηριότητας αλλά και κατά τη διάρκεια του ύπνου [5]. Παρόλα αυτά, η αντίληψή μας για το χρόνο είναι απόλυτα συνδεδεμένη και με την έννοια της προσοχής. Όταν η προσοχή αποσπάται τα χρονικά διαστήματα φαίνονται μικρότερα, υπονοώντας ότι κάποιες βιοχημικές ταλαντώσεις πρέπει να χάνονται [6]. Έτσι η αίσθηση του χρόνου φαίνεται να είναι ένας συνδυασμός του εσωτερικού χρονιστή και των μηχανισμών της προσοχής. Σίγουρα ένα μεγάλο ρόλο παίζει κι η λειτουργία της μνήμης όπου τα μικρά χρονικά διαστήματα αποθηκεύονται προκειμένου να επεξεργαστούν αναλόγως όπως π.χ. η σύγκριση μεταξύ τους για να υπολογιστεί πιο είναι μικρότερο και μεγαλύτερο [7]. Ο συνδυασμός όλων των

παραπάνω μηχανισμών αποδεικνύει την υποκειμενικότητα στην αίσθηση του χρόνου και θέτει σαφές το ερώτημα για το ποιες διαδρομές νευρώνων ακολουθεί ο χρόνος για να γίνει αισθητός από τον εγκέφαλο.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Ένα κομμάτι αυτής της διπλωματικής εργασίας αφιερώθηκε στη δημιουργία πειραματικών πρωτοκόλλων στα πλαίσια της έρευνας με ΗΕΓ σε συνεργασία με με το εργαστήριο ψυχοφυσιολογίας του Αιγινήτειου νοσοκομείου της ιατρικής σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού πανεπιστημίου. Τα πειραματικά πρωτόκολλα θα χρησιμοποιηθούν πιθανόν για την εξέταση της επιρροής συγκεκριμένης φαρμακευτικής αγωγής σε ασθενείς καθώς και με εφαρμογή σε ειδικές κατηγορίες ατόμων ώστε να μελετηθεί η αίσθηση τους για το χρόνο σε σύγκριση με υγιή άτομα.

3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ 1^ο

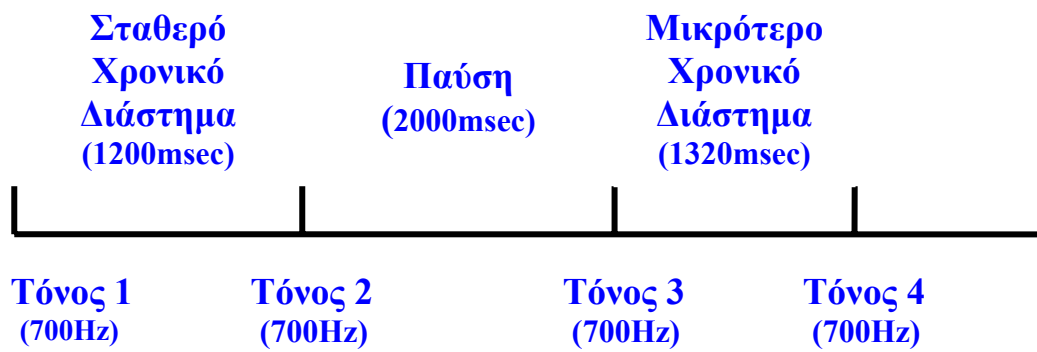
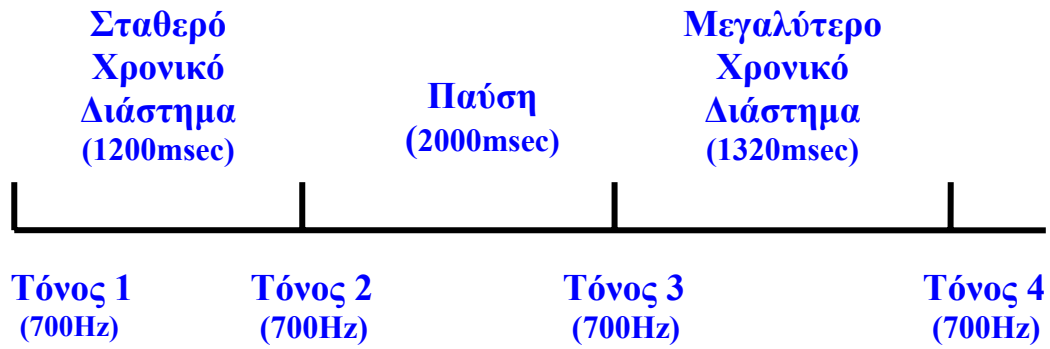
Το πρώτο πειραματικό πρωτόκολλο που υλοποιήσαμε θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια ενός πειράματος που θα μελετήσει την αντίληψη του εγκεφάλου για τη συχνότητα και το χρόνο. Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό τμήμα του κεφαλαίου (3.1), έχει διαπιστωθεί ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται το χρόνο τεμαχίζοντάς τον σε πολύ μικρά διαστήματα της τάξης του msec [1]. Σκοπός αυτού του πειράματος είναι να μετρηθούν τα ελάχιστα αυτά διαστήματα-κατώφλια με τη βοήθεια των απλών μουσικών τόνων. Ομοίως, στο δεύτερο τμήμα του πειράματος θα ερευνηθεί το κατώφλι της συχνότητας, δηλαδή η ελάχιστη διαφορά σε Hertz που κάνει τον εγκέφαλο να διακρίνει δύο διαφορετικές συχνότητες.

Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα αυτό οι εξεταζόμενοι θα ακούσουν και θα συγκρίνουν ζεύγη απλών τόνων. Ως απλός ή καθαρός τόνος ορίζεται ο ήχος ενός ημιτονοειδούς σήματος. Η διάκριση αυτή γίνεται γιατί το σύνολο όλων σχεδόν των ηχητικών πηγών που υπάρχουν στη φύση παράγουν κυματομορφές πιο σύνθετες από

αυτές των καθαρών τόνων [8]. Στο συγκεκριμένο πείραμα όπου θα ανιχνευθούν αντιδράσεις των εγκεφαλικών νευρώνων σε διαστήματα χιλιοστών του δευτερολέπτου και σε ελάχιστα Hertz επιλέγονται ως ερέθισμα οι καθαροί τόνοι κι όχι σύνθετοι ήχοι που αποτελούνται από προστιθέμενα ημιτονοειδή κύματα διαφορετικών συχνοτήτων. Για να μετρηθεί, λοιπόν, η διακριτική ικανότητα του εγκεφάλου ως προς το χρόνο οι εξεταζόμενοι θα ακούν ζεύγη απλών τόνων που θα απέχουν χρονικά μεταξύ τους λίγα msec. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1.α., αρχικά θα ακούγεται ένας απλός τόνος και μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα θα ακούγεται ένας δεύτερος ίδιος τόνος. Στη συνέχεια ο εξεταζόμενος θα ακούει το δεύτερο ζευγάρι τόνων, όμοιο με το αρχικό, με τη μόνη διαφορά ότι το χρονικό διάστημα που θα απέχουν μεταξύ τους θα είναι κατά κάποια msec μικρότερο ή μεγαλύτερο. Στόχος θα είναι η καταγραφή της συνολικής αντίληψης του ατόμου σε αυτές τις μικρές αλλαγές στα χρονικά διαστήματα. Καθώς το πείραμα θα εφαρμοσθεί σε ασθενείς και υγιή άτομα οι απαντήσεις των δύο ομάδων θα συγκριθούν προκειμένου να διεξαχθούν γενικά συμπεράσματα χαρακτηριστικά για το κάθε σύνολο.

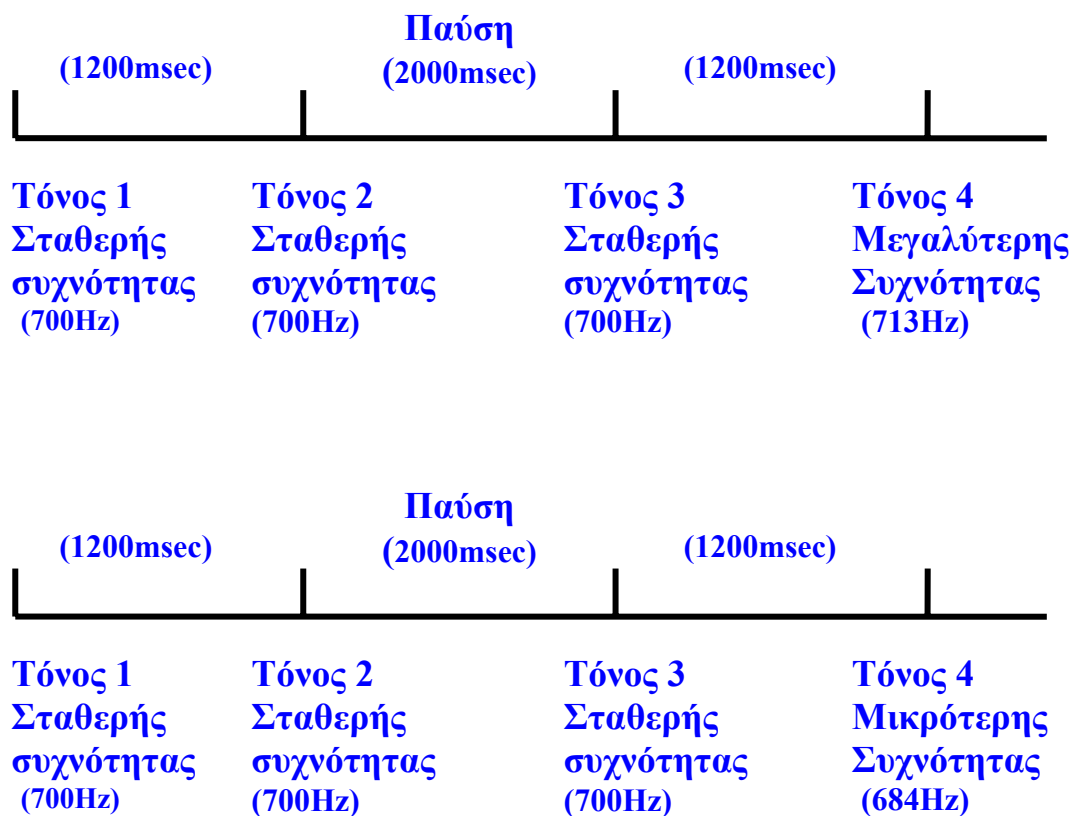
Στο δεύτερο τμήμα του πειράματος με παρόμοιο τρόπο θα μελετηθεί η διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου να αντιλαμβάνεται μικρές διαφορές στη συχνότητα. Το ηχητικό ερέθισμα παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 3.1.β. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή θα ακουστεί ένα ζευγάρι τόνων της ίδιας συχνότητας (Hertz). Μετά από μικρή παύση ο εξεταζόμενος θα ακούσει το δεύτερο ζευγάρι απλών τόνων, όμοιων με τους αρχικούς ως προς τη διάρκεια και το μεταξύ τους χρονικό διάστημα, αλλά η συχνότητα του δεύτερου τόνου θα είναι λίγο διαφορετική (π.χ. από 700Hz-713Hz). Η διαφορά αυτή, όπως και στο πρώτο τμήμα, θα είναι μικρή, της τάξης των λίγων Hertz. Τα άτομα θα πρέπει να αντιληφθούν αν η συχνότητα του δεύτερου τόνου ήταν υψηλότερη ή χαμηλότερη.

α) Χρόνος



Εικ.3.1.α: Σχηματική αναπαράσταση του ηχητικού ερεθίσματος σε πείραμα για την εγκεφαλική αντίληψη του χρόνου.

β) Συχνότητα



Εικ.3.1.β: Σχηματική αναπαράσταση του ηχητικού ερεθίσματος σε πείραμα για την εγκεφαλική αντίληψη της συχνότητας.

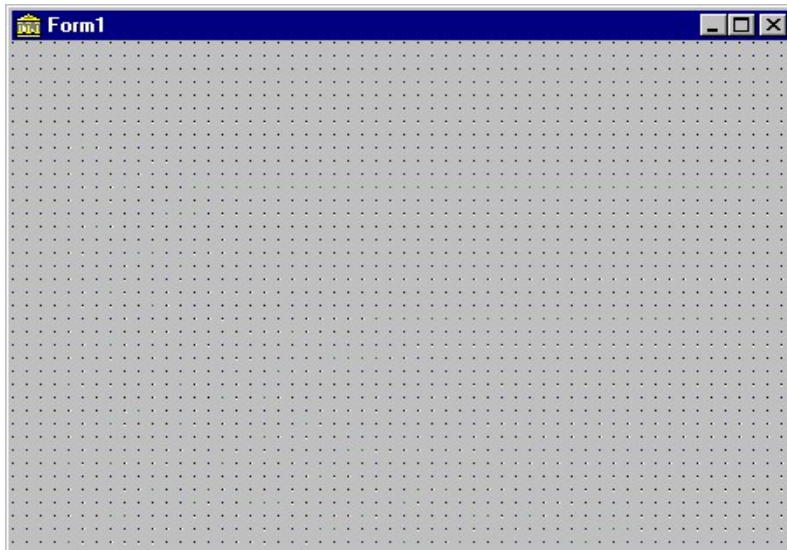
3.2.1.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 1^{ου} ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η διάκριση των τόνων σε κάθε επανάληψη του ηχητικού ερεθίσματος βασίζεται σε πολύ μικρές διαφορές στο χρόνο και στη συχνότητα, της τάξης των msec και κάποιων λίγων Hz. Στη συγκεκριμένη πειραματική εφαρμογή κρίθηκε απαραίτητο όλα τα χαρακτηριστικά των ηχητικών

ερεθισμάτων (συχνότητα και διάρκεια των τόνων, διάρκεια της παύσης κτλ) να ορίζονται στην αρχή της διαδικασίας παραμετρικά

Για τον προγραμματισμό του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα **Delphi**. Η **Delphi** είναι ένα εργαλείο οπτικού προγραμματισμού που χρησιμοποιεί σαν βάση του την Object Pascal, δηλαδή αντικειμενοστραφή προγραμματισμό-Object Oriented Programming. Αυτό που ξεχωρίζει την **Delphi** από τα άλλα περιβάλλοντα είναι η τεχνική της προσέγγιση, που είναι βασισμένη στις φόρμες, και τα οπτικά εργαλεία. Διαθέτει δηλαδή μία λίστα από οπτικά συστατικά που έχουν έτοιμες κάποιες βασικές λειτουργίες και μπορούν είτε να χρησιμοποιηθούν αυτούσια ή κατόπιν παρεμβολής στον κώδικά τους να προσαρμοστούν σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Οι γλώσσες οπτικού προγραμματισμού, δηλαδή, δε διαθέτουν όπως οι παλαιότερες γλώσσες μόνο περιβάλλοντα κειμένου, πληρώντας έτσι την απαίτηση ότι τα σύγχρονα προγράμματα (σε λειτουργικά συστήματα όπως τα Windows) πρέπει επικοινωνούν με την οθόνη, το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και τον εκτυπωτή με γραφικό τρόπο.

Για τη δημιουργία ενός προγράμματος στην Delphi το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας γίνεται στο παράθυρο της φόρμας (Form). Το αντικείμενο φόρμα είναι το βασικότερο αντικείμενο στη γλώσσα αυτή. Γιατί αποτελεί την οπτική βάση της εφαρμογής. Είναι στην ουσία το παράθυρο που θα βλέπει ο χρήστης όταν θα εκτελεί την εφαρμογή και σε αυτό θα προστεθούν τα κατάλληλα στοιχεία που θα του επιτρέπουν να επικοινωνεί με τον υπολογιστή. Η αρχική του μορφή φαίνεται στην εικόνα 3.2. Η φόρμα αυτή μπορεί να τροποποιηθεί ως προς το μέγεθος, τη λεζάντα και παράλληλα φέρει τα χαρακτηριστικά ενός κλασσικού παράθυρου (κουμπιά κλεισίματος, μεγιστοποίησης/ελαχιστοποίησης). Παράλληλα με το παράθυρο της φόρμας εμφανίζεται και το παράθυρο Unit που αποτελεί το παράθυρο του κλασσικού κώδικα κειμένου του προγράμματος. Προσθέτοντας ένα στοιχείο στη φόρμα συμπληρώνεται αυτόματα στο παράθυρο αυτό ο απαραίτητος κώδικας που καθορίζει τις λειτουργίες του. Εκεί ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να προσθέσει τις εντολές που χρειάζεται και να δομήσει τη συνολική εφαρμογή.



Εικ.3.2: Η φόρμα, το βασικότερο αντικείμενο στη γλώσσα Delphi, αποτελεί την οπτική βάση της εφαρμογής.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου πειραματικού πρωτοκόλλου έπρεπε, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.2.1 , να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα που θα επιτρέπει την αναπαραγωγή καθαρών τόνων και θα δέχεται ως παραμέτρους τη συχνότητα, τη διάρκεια και το μεταξύ τους χρονικό διάστημα πριν την έναρξη της διαδικασίας. Για την επίλυση αυτής της βασικής πρακτικής απαίτησης χρησιμοποιήθηκε ένα εξωτερικό αρχείο. Έτσι, οι υπεύθυνοι για το πείραμα θα έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν το ηχητικό ερέθισμα πριν την εφαρμογή σε κάθε εξεταζόμενο απλά ορίζοντας σε ένα αρχείο τις τιμές της συχνότητας, της διάρκειας των τόνων και του μεταξύ τους διαστήματος σε στήλες όπως φαίνεται ενδεικτικά παρακάτω. Η μορφή του αρχείου σε λίστες εξυπηρετεί το διάβασμα των τιμών από την αντίστοιχη εντολή και εξηγείται αναλυτικά στη συνέχεια.

1.	700	100	1200
2.	700	100	2000
3.	700	100	1320
4.	700	100	3000
5.	700	100	1200
6.	700	100	2000
7.	700	100	1080
8.	700	100	3000

Στην πρώτη στήλη ορίζεται η συχνότητα του κάθε τόνου με τη σειρά που ακούγεται. Στη δεύτερη στήλη δίνεται η διάρκεια του τόνου και στην τελευταία στήλη δίνεται το διάστημα ανάμεσα στους δύο διαδοχικούς τόνους. Η συχνότητα ορίζεται σε Hertz, ενώ ο χρόνος σε msec. Αντίστοιχα με την εικόνα 3.1.α, σε αυτό το παράδειγμα αρχείου, το πρώτο ζευγάρι τόνων (γραμμές 1,2) έχει συχνότητα 700Hz, διάρκεια 100 msec και απέχουν μεταξύ τους διάστημα 1200 msec. Αντίθετα, το δεύτερο ζευγάρι τόνων (γραμμές 3,4) έχουν την ίδια συχνότητα και διάρκεια με το αρχικό αλλά απέχουν μεταξύ τους 1320 msec. Το διάστημα των 2000 msec είναι η διάρκεια της παύσης ανάμεσα στα ζευγή τόνων, ενώ αυτό των 3000 msec εξυπηρετεί ενδεικτικά ως χρόνος απάντησης του εξεταζόμενου. Το αρχείο αυτό είναι ενδεικτικό για την πρώτη συνθήκη που αφορά την αντίληψη του χρόνου. Ομοίως, στην περίπτωση της συχνότητας μπορούν να μεταβληθούν οι αντίστοιχες τιμές.

Επιστρέφοντας στην αρχική φόρμα του προγράμματος, το αντικείμενο που προστέθηκε ήταν ένα κουμπί. Ένα αντικείμενο είναι ένα στοιχείο προγράμματος της Delphi όπως π.χ. ένας μηχανισμός, μία φόρμα ή μία ρουτίνα κώδικα η οποία περιέχει εντολές προγραμματισμού. Η οπτική φύση της γλώσσας απαιτεί αυτά τα είδη των μηχανισμών να ανταποκρίνονται σε συμβάντα (*events*). Ένα συμβάν είναι μία δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενός προγράμματος, όπως π.χ. το click με το ποντίκι ή το πάτημα ενός πλήκτρου του πληκτρολογίου. Το πιο χαρακτηριστικό συμβάν για το μηχανισμό ενός κουμπιού είναι το συμβάν Click. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα το πάτημα του κουμπιού σηματοδοτεί την έναρξη αναπαραγωγής του ηχητικού ερεθίσματος. Η διαδικασία (*procedure*) Button1Click που ορίστηκε να εκτελείται, παρουσιάζεται στις γραμμές 20-72 και στην ουσία περιλαμβάνει όλες τις εντολές για το διάβασμα των απαραίτητων τιμών από το αρχείο και την αναπαραγωγή των τόνων.

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στις γραμμές 21-25 ορίζονται οι μεταβλητές της procedure, δηλαδή f: το αρχείο κειμένου, freq: η συχνότητα των τόνων, dur: η διάρκεια τους και del: το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών τόνων. Έπειτα, με την εντολή Assignfile ορίζεται το αρχείο και η θέση του ενώ η εντολή Reset(f) το ανοίγει. Με την εντολή Readln(f,freq,dur,del) επιτυγχάνεται το διάβασμα του αρχείου γραμμή-γραμμή και η ανάθεση των τιμών κάθε λίστας στις αντίστοιχες παραμέτρους freq, dur, del. Η εντολή Readln και η σύνταξη της ήταν αυτή που όρισε τη συγκεκριμένη μορφή του αρχείου.

Για την αναπαραγωγή καθαρών τόνων χρησιμοποιήσαμε την έτοιμη διαδικασία Windows.Beep από την βιβλιοθήκη DLL των Windows. Οι βιβλιοθήκες DLL περιέχουν έτοιμες και εύχρηστες διαδικασίες που εκτελούν χαρακτηριστικές λειτουργίες του υπολογιστικού περιβάλλοντος. Οι προγραμματιστές έχουν το δικαίωμα να προσθέτουν στις βιβλιοθήκες καινούριες διαδικασίες που εξυπηρετούν διάφορες εργασίες δημιουργώντας έτσι πλούσιες βάσεις στις οποίες έχουν όλοι πρόσβαση. Η συγκεκριμένη εντολή αποτελεί τμήμα του περιβάλλοντος των Windows κι έτσι στον ορισμό των βιβλιοθηκών στη γραμμή 4 του κώδικα δεν χρειάστηκε να προστεθεί κάποια βιβλιοθήκη ακόμη πέρα από τις βασικές που ορίζει αυτόματα η Delphi με την έναρξη κάθε καινούριου προγράμματος. Η Windows.Beep(freq,dur), όπως ορίστηκε στον κώδικα, αναπαράγει τον ήχο ενός καθαρού τόνου με συχνότητα (freq) και διάρκεια (dur) αυτές που ορίστηκαν από το αρχείο f.

Για τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ των διαδοχικών τόνων (del) δημιουργήθηκε η διαδικασία Delay που δημιουργεί μία παύση τόσων msec όσα έχουν οριστεί από την παράμετρο del μέσα στο αρχείο. Η διαδικασία delay όπως φαίνεται κι από τον κώδικά της στις γραμμές 73-83, χρησιμοποιεί την συνάρτηση GetTickCount η οποία επιστρέφει τον αριθμό των msec που έχουν περάσει από τη στιγμή που ξεκίνησε το σύστημα. Αποθηκεύοντας σε κάθε επανάληψη τις τιμές αυτές σε μεταβλητές τύπου DWORD (λέξεις μήκους 32 bit), κάνει παύση κάθε λειτουργίας με την Application.Process Messages μέχρι να φτάσει στο σημείο όπου το χρονικό διάστημα που έχει περάσει είναι τόσο όσο έχει οριστεί από την μεταβλητή del.

Η διαδικασία Button1Click ολοκληρώνεται όταν διαβαστούν όλες οι τιμές του αρχείου όπου και κλείνει με την εντολή Closefile(f) και ολοκληρώνεται και η αναπαραγωγή του ηχητικού ερεθίσματος. Στο παράρτημα 3.1 παρουσιάζεται ολόκληρος ο κώδικας αυτού του προγράμματος.

3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑ 2^ο

Το δεύτερο πειραματικό πρωτόκολλο που υλοποιήθηκε αφορούσε πάλι την μελέτη της αντίληψης του χρόνου από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Μία σειρά τέτοιων πειραμάτων έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια σε ασθενείς με Parkinson προκειμένου να εξακριβωθούν οι διαταραχές στην αντίληψη πέρα από τα γνωστά

προβλήματα στην κίνηση [9],[10],[11]. Οι νευροφυσιολογικές αυτές μελέτες για την αντίληψη του χρόνου είναι γνωστές διεθνώς με την ορολογία “*Temporal Discrimination*”. Πρόκειται για τη μέτρηση του ελάχιστου χρονικού διαστήματος που πρέπει να απέχουν δύο ακουστικά, οπτικά ή σωματοαισθητικά ερεθίσματα για να μπορούν να γίνουν αντιληπτά ως δύο ξεχωριστά [9]. Στο συγκεκριμένο πείραμα το ηχητικό ερέθισμα βασίζεται στη «μέθοδο των ορίων» όπως εισηγήθηκε από το Γερμανό πατέρα της ψυχολογίας Wilhelm Wundt [12]. Με βάση αυτή τη μέθοδο το ερέθισμα ξεκινά από ένα επίπεδο τόσο χαμηλό σε σημείο που να μην γίνεται αντιληπτό και σταδιακά αυξάνεται καταλήγοντας σε ένα βαθμό όπου ο εξεταζόμενος μπορεί να το καταλάβει (*ascending method of limits*). Βάσει λοιπόν αυτών, στο συγκεκριμένο πείραμα, οι εξεταζόμενοι θα ακούν ζευγάρια απλών τόνων που στην αρχή θα έχουν παύση μεταξύ τους το ελάχιστο χρονικό διάστημα των 8 msec και σε κάθε επανάληψη το διάστημα θα αυξάνεται κατά 1 msec μέχρι το σημείο που το άτομο θα μπορεί να αντιληφθεί δύο ξεχωριστούς τόνους. Σε κάθε επανάληψη ο εξεταζόμενος θα πρέπει να απαντά αν ακούει έναν ή δύο τόνους. Η ίδια διαδικασία γίνεται και αντιστρόφως. Λαμβάνοντας ως αρχικό χρονικό διάστημα την απόσταση μεταξύ των τόνων που ήταν αρκετή ώστε ο εξεταζόμενος να τους αντιληφθεί ως δύο, σε κάθε επανάληψη το διάστημα μεταξύ των τόνων θα μειώνεται έως ότου να ακούγεται μόνο ένας (*descending method of limits*).

3.2.2.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ 2^{ου} ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

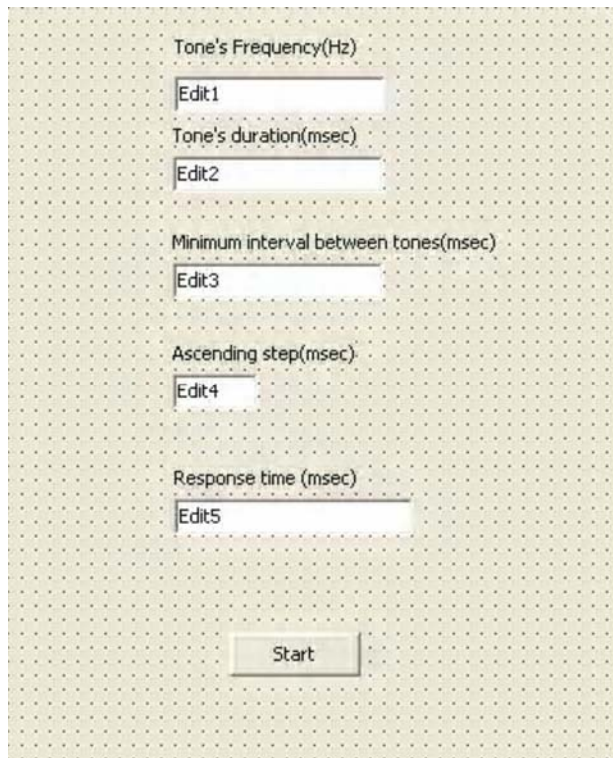
Όπως και στο πρώτο πειραματικό πρωτόκολλο η εφαρμογή που υλοποιήθηκε έπρεπε να επιτρέπει στους χρήστες να ορίζουν τα χρονικά διαστήματα και τα χαρακτηριστικά των τόνων πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας και να μπορούν να τα αλλάζουν με βάση τα αποτελέσματα ικανού δείγματος. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε ήταν πάλι η Delphi. Για την ικανοποίηση της απαίτησης μη προκαθορισμένων τιμών για τα χρονικά διαστήματα και τη συχνότητα και διάρκεια των τόνων χρησιμοποιήθηκαν οι μηχανισμοί πλαισίου κειμένου, ετικέτας και κουμπιού εντολής. Οι μηχανισμοί πλαισίου κειμένου (Tedit)

χρησιμοποιούνται συνήθως για να δέχονται είσοδο από τον χρήστη ή για εισαγωγή δεδομένων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν πέντε μηχανισμοί Tedit στους οποίους οι υπεύθυνοι του πειράματος έθεταν πριν την έναρξη της διαδικασίας τις τιμές για:

1. Τη συχνότητα των τόνων σε Hertz
2. Τη διάρκεια των τόνων σε msec
3. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ των τόνων
4. Το βήμα με το οποίο θα αυξάνεται το διάστημα μεταξύ των τόνων σε κάθε επανάληψη
5. Το χρόνο που διατίθεται στον εξεταζόμενο για να απαντήσει

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν και πέντε μηχανισμοί ετικέτας (Tlabel). Ένας μηχανισμός Tlabel είναι παρόμοιος με ένα μηχανισμό πλαισίου κειμένου κατά το ότι και οι δύο εμφανίζουν κείμενο. Η κύρια διαφορά όμως, είναι ότι η ετικέτα εμφανίζει κείμενο μόνο ανάγνωσης σε ότι αφορά το χρήστη. Χρησιμοποιούνται συχνά για παροχή πληροφοριών που μπορεί να είναι στην μορφή ενός μηνύματος που εμφανίζεται στην ίδια τη φόρμα ή σαν μια ένδειξη. Η ένδειξη συνήθως συνδυάζεται με ένα πλαίσιο κειμένου ή άλλο μηχανισμό. Δίνει στο χρήστη μια ιδέα για τη φύση του αναφερόμενο μηχανισμού. Στο συγκεκριμένο κώδικα οι πέντε μηχανισμοί ετικέτας τοποθετήθηκαν στη φόρμα πάνω από κάθε μηχανισμό πλαισίου κειμένου σαν τίτλο. Στην εικόνα 3.3 που αποτυπώνει το αντικείμενο της φόρμας που υλοποιήθηκε για την πραγματοποίηση του δεύτερου πειράματος. Στο κάτω μέρος της φόρμας φαίνεται και ένας μηχανισμός κουμπιού με την ένδειξη *Start* που, όπως και στο πρώτο πρωτόκολλο, το πάτημα του σηματοδοτεί την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.

Όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί και το αντικείμενο της φόρμας ορίζονται στον κώδικα στις γραμμές 7-18 όπου φαίνεται το όνομα που τους δόθηκε για εσωτερική χρήση στο πρόγραμμα και ο τύπος τους.



Εικ.3.3: Απεικόνιση της φόρμας Delphi που δημιουργήθηκε για το δεύτερο πειραματικό πρωτόκολλο.

Παρόμοια με τον πρώτο κώδικα της ενότητας 3.2.1.2, χρησιμοποιήσαμε και σε αυτό το πρωτόκολλο δύο διαδικασίες που είχαμε δημιουργήσει εκεί :

- την Delay για τη δημιουργία της παύσης μεταξύ των τόνων που φαίνεται στις γραμμές 32-42
- και την Button1Click που περιλαμβάνει όλες τις εντολές και τις συναρτήσεις που εκτελούνται με το πάτημα (click) του κουμπιού, δηλαδή με την έναρξη του πειράματος (γραμμές 53-81).

Συγχρόνως, δημιουργήσαμε μία ακόμη διαδικασία την FormMouseDown η οποία είναι υπεύθυνη για τις απαντήσεις του εξεταζόμενου μετά από κάθε επανάληψη. Η διαδικασία αυτή καλείται μετά την αναπαραγωγή των τόνων, στο χρονικό διάστημα που έχει οριστεί στο πέμπτο πλαίσιο κειμένου και φαίνεται στις γραμμές 43-52. Βάσει αυτής της διαδικασίας, ο χρήστης θα πατά το αριστερό πλήκτρο του mouse για να δηλώσει ότι άκουσε έναν τόνο, εμφανίζοντας στην οθόνη το μήνυμα “one tone” ενώ αντίθετα στην περίπτωση που αντιλαμβάνεται δύο τόνους θα πατά το δεξί πλήκτρο και θα εμφανίζεται το αντίστοιχο μήνυμα. Με το πάτημα του μεσαίου κουμπιού απλά θα εμφανίζεται το μήνυμα “WRONG Button”.

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η έναρξη του ηχητικού ερεθίσματος σηματοδοτείται με την πάτημα του κουμπιού *Start* από το χρήστη και το ξεκίνημα της procedure *Button1Click* στη γραμμή 53. Αρχικά ορίζονται οι μεταβλητές : *freq* για τη συχνότητα των τόνων, *dur* για τη διάρκεια τους, *interval* για την παύση μεταξύ τους, *step* για το χρονικό βήμα με το οποίο θα αυξάνεται κάθε φορά το *interval* και *response time* για το χρόνο που θα δίνεται στον εξεταζόμενο για να απαντήσει. Όλες οι μεταβλητές ορίζονται σαν ακέραιοι αριθμοί. Οι τιμές όμως, αυτών των μεταβλητών ορίζονται από το χρήστη με εισαγωγή στο αντίστοιχο πλαίσιο κειμένου κι έτσι είναι τύπου *string* αφού αυτή είναι η μορφή των δεδομένων που αποθηκεύονται στα *Tedit*. Η μετατροπή τους σε ακέραιους γίνεται μέσω της εντολής *StrToInt()* και φαίνεται στις γραμμές 62-66. Με ορισμένες πλέον τις παραμέτρους για τους τόνους και τις παύσεις μεταξύ τους το πρόγραμμα καλεί την *Windows.Beep*, υπεύθυνη για την παραγωγή των τόνων, την *Delay* για τις παύσεις και την *FormMouseDown* για τις απαντήσεις του εξεταζόμενου. Ενδεικτικά, ορίστηκε στην μεταβλητή *i* να γίνουν δέκα επαναλήψεις και σε κάθε επανάληψη το διάστημα (*interval*) που ορίστηκε ως το αρχικό μεταξύ των δύο τόνων θα αυξάνεται κατά το διάστημα *step* που θα έχει οριστεί στο τέταρτο πλαίσιο κειμένου. Ο ίδιος κώδικας, σαφώς, θα χρησιμοποιείται και στην περίπτωση του *descending method of limits* όπου αρχικά θα ακούγονται δύο τόνοι και σε κάθε επανάληψη θα μειώνεται το διάστημα μεταξύ τους μέχρι να ακουστεί ένας. Η μόνη αλλαγή θα έγγυται ότι στη γραμμή 74 του κώδικα το διάστημα θα ορίζεται ως *interval:=interval-step*.

Ο ολοκληρωμένος κώδικας αυτού του πειραματικού πρωτοκόλλου παρουσιάζεται στο παράρτημα 3.2.

3.3 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Τα πειραματικά αυτά πρωτόκολλα υλοποιήθηκαν στα πλαίσια έρευνας με ηλεκτροεγκεφαλογράφο που πρόκειται να πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο ψυχοφυσιολογίας του Αιγινήτειου νοσοκομείου της ιατρικής σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου. Παρόλο που η μορφή τους είναι ολοκληρωμένη, πρόκειται για την πρώτη προσέγγιση υλοποίησης. Σαφώς, κατά τη διάρκεια

εφαρμογής κάθε ανάλογου πειράματος, προκύπτουν νέες απαιτήσεις και κατόπιν υποδείξεων των γιατρών οι κώδικες θα πρέπει να αναπροσαρμόζονται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.1

ΚΩΔΙΚΑΣ 1^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

```
1. unit 1;

2. interface

3. uses
4. Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
5. Dialogs, StdCtrls;

6. type
7. TForm1 = class(TForm)
8.   Button1: TButton;

9.   procedure Button1Click(Sender: TObject);
10.  procedure Delay(dwMilliseconds: Longint);

11. private
12.   { Private declarations }
13. public
14.   { Public declarations }
15. end;

16. var
17.   Form1: TForm1;

18. implementation

19. {$R *.dfm}
20. procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);

21. var
22.   f:textfile;
23.   freq:integer;
24.   dur:integer;
25.   del:integer;

26. begin
```

```
27. Assignfile(f, 'c:\folder.txt'); {Assigns the Filename}
28. Reset(f); {Opens the file for reading}
29. while not Eof(f) do
30. begin
40. Readln(f,freq,dur,del);
50. Windows.Beep(freq,dur);
60. Delay(del);
70. end;
71. Closefile(f); {Closes file F}
```

```
72. end;
```

```
73. procedure TForm1.Delay(dwMilliseconds: Longint);
74. var
75. iStart, iStop: DWORD;
76. begin
77. iStart := GetTickCount;
78. repeat
79. iStop := GetTickCount;
80. Application.ProcessMessages;
81. Sleep(1); {addition to avoid high CPU last}
82. until (iStop - iStart) >= dwMilliseconds;
83. end;
```

```
84. end.
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.2

ΚΩΔΙΚΑΣ 2^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

```
1.unit Unit1;

2.interface

3.uses
4 .Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
5. Dialogs, StdCtrls;

6.type
7. TForm1 = class(TForm)
8. Edit1: TEdit;
9. Edit2: TEdit;
10. Edit3: TEdit;
11. Edit4: TEdit;
12 Button1: TButton;
13. Label1: TLabel;
14. Label2: TLabel;
15. Label3: TLabel;
16. Label4: TLabel;
17. Label5: TLabel;
18. Edit5: TEdit;

19. procedure Button1Click(Sender: TObject);
20. procedure Delay(dwMilliseconds: Longint);
21. procedure FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
22. Shift: TShiftState; X, Y: Integer);

23. private
24. { Private declarations }
25. public
26. { Public declarations }
27. end;

28.var
29. Form1: TForm1;

30.implementation
```


31. {\$R *.dfm}

```
32. procedure TForm1.Delay(dwMilliseconds: Longint);
33. var
34. iStart, iStop: DWORD;
35. begin
36. iStart := GetTickCount;
37. repeat
38. iStop := GetTickCount;
39. Application.ProcessMessages;
40. Sleep(1); // addition to avoid high CPU last
41. until (iStop - iStart) >= dwMilliseconds;
42. end;
```

```
43. procedure TForm1.FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
44. Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
45. begin
46. if Button = mbLeft then
47. ShowMessage('One tone')
48. else if Button = mbRight then
49. ShowMessage('Two tones')
50. else
51. ShowMessage('WRONG button');
52. end;
```

```
53. procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
54. Var
55. freq: integer;
56. dur: integer;
57. interval: integer;
58. step: integer;
59. responsetime: integer;
60. i: integer;
```

```
61. begin
62. freq:=StrToInt(Edit1.Text);
63. dur:=StrToInt(Edit2.Text);
64. interval:=StrToInt(Edit3.Text);
```

```
65. step:=StrToInt(Edit4.text);
66. responsetime:=StrToInt(Edit5.text);
```

```
67. Windows.Beep(freq,dur);
68. Delay(interval);
69. Windows.Beep(freq,dur);
70. Delay(responsetime);
71. FormMouseDown;
```

```
72. for i := 0 to 10 do
73. begin
74. interval:=interval+step;
75. Windows.Beep(freq,dur);
76. Delay(interval);
77. Windows.beep(freq,dur);
78. Delay(responsetime);
79. FormMouseDown;
80. end;
```

```
81. end;
```

```
82. end.
```

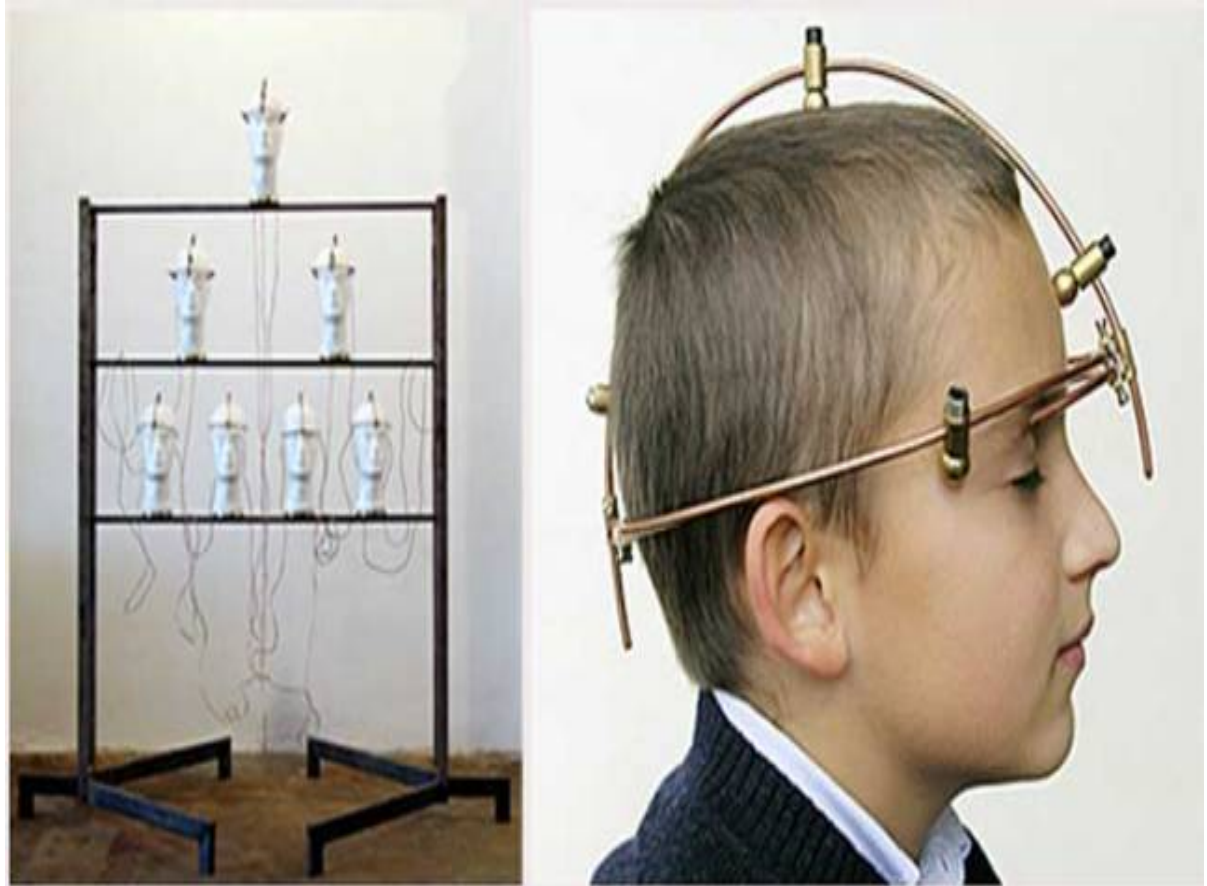
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1]. J.H. Wearden, “Beyond the fields we know...: Exploring and developing scalar timing theory”. Behavioural Processes 45,3-21, 1999.
- [2]. J. Gibbon, R.M. Church, W.H. Meck, “Scalar timing in memory”. Ann. NY Acad. Sci. 423, 52–77, 1984.
- [3]. M.S. Matell, W.H. Meck, “Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior”. Bioessays 22, 94–103, 2000.
- [4]. S. Rao, A.R. Mayer, D.L Harrington, “The evolution of brain activation during temporal processing”..Nature Publishing Group, 2001.
- [5]. Learn. Genetics, Genetic Science Learning Center at the University of UTAH
<http://learn.genetics.utah.edu>
- [6]. S.W. Brown, “Time perception and attention: the effects of Prospective versus retrospective paradigms and task demands on perceived duration”. Percept.Psychophys.38, 115-124, 1985.
- [7]. A.Baddeley, “Working Memory”, Clarendon, Oxford Univ. Press, Oxford, 1986.
- [8]. D.R. Raichel, “The science and applications of acoustics”, New York: Springer-Verlang, 2000.
- [9]. J. Artieda, M.A. Pastor, F. Lacruz, J.A. Obeso, “Temporal discrimination is abnormal in Parkinson's disease.”, Brain, 1992
- [10]. F. Lacruz, J. Artieda, M.A. Pastor, J.A. Obeso “The anatomical basis of somaesthetic temporal discrimination in humans”, Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 1991.

[11]. J.A. Obeso, F. Lacruz, J. Artieda, M.A. Pastor et al., “Temporal discrimination of paired electrical stimuli is abnormal in Parkinson’s disease”, *Neurology*, Cleveland, Supplement, 1987.

[12]. H.R. Blackwell, “Psychophysical thresholds: experimental studies and measurements”, *Bulletin Department of Engineering Research*, University of Michigan, 1953.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο



**ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ-
ΜΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΜΕΛΕΤΗ**

***ΑΡΜΟΝΙΚΑ Ή ΔΥΣΑΡΜΟΝΙΚΑ ΜΟΥΣΙΚΑ
ΑΚΟΥΣΜΑΤΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ
ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ***

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο πυρήνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας που ήταν η πραγματοποίηση πειραματικών μετρήσεων με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογράφου κατά την παρουσίαση μουσικών ακουστικών ερεθισμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη επικεντρώθηκε στην επίδραση αρμονικών και δυσαρμονικών μουσικών κομματιών. Στόχος ήταν η συσχέτιση της εγκεφαλικής δραστηριοποίησης με το συναίσθημα ευχαρίστησης που προκαλείται από τη μουσική και την αρμονία σε αντίθεση με την ενόχληση που δημιουργεί ένα παράφωνο μουσικό ερέθισμα. Στις παρακάτω ενότητες του κεφαλαίου ακολουθούν α) το θεωρητικό υπόβαθρο του πειράματος, β) το ακριβές πειραματικό πρωτόκολλο εφαρμογής, γ) η υλοποίηση των πρωτοκόλλων μέσω προγραμματισμού, δ) η επεξεργασία των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και ε) η ανάλυση των αποτελεσμάτων.

4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε βασίστηκε σε μία από τις πρόσφατες μελέτες για τη νευροφυσιολογία του εγκεφάλου και τη δραστηριότητά του σε σχέση με μουσικά ερεθίσματα και η αντίστοιχη έρευνα δημοσιεύτηκε το 2007 στο επιστημονικό περιοδικό “*Psychophysiology*” από μια ομάδα του ινστιτούτου Max Planck Institute for Cognitive and Brain Sciences, Leipzig, Germany [1]. Σκοπός ήταν να μελετηθεί πόσο τα ευχάριστα και δυσάρεστα συναισθήματα που προκαλούνται από το άκουσμα της μουσικής μπορούν να επηρεάσουν το φάσμα των εγκεφαλικών ηλεκτρικών σημάτων.

Η ίδια μελέτη είχε προηγηθεί παλαιότερα με την χρήση λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας (fMRI) [2]. Η επανάληψη όμως με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα προσέφερε, πέρα από μία απλή επιβεβαίωση των μέχρι τότε αποτελεσμάτων, καταγραφές με καλύτερη χρονική ανάλυση.

Οι πειραματικές μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη μελέτη των νευροφυσιολογικών συνιστωσών που σχετίζονται με την επεξεργασία των

συναισθημάτων. Τα αποτελέσματα των δυο μελετών ανέδειξαν μεγαλύτερες τιμές φασματικής ισχύος στη συχνότητα θ (4-8 Hz) με εντοπισμό στην πρόσθια μετωπιαία και κεντρική κρανιακή περιοχή. Με βάση τις προαναφερθείσες μελέτες, στο αντίστοιχο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο των Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών του ΕΜΠ στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στόχος ήταν η μελέτη της επίδρασης της μουσικής στη φασματική ισχύ των 5 περιοχών συχνοτήτων του φάσματος ισχύος του εγκεφαλογραφήματος και πως αυτό σχετίζεται με την επεξεργασία θετικών και αρνητικών συναισθημάτων.

4.2.1 ΚΥΜΑΤΑ ΘΗΤΑ (4-8 Hz)

Όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας, το φάσμα συχνοτήτων του ΗΕΓ χωρίζεται σε τουλάχιστον 5 εύρη ζώνης : δέλτα, άλφα, θήτα, βήτα και γάμμα [3].

Συγκεκριμένα, τα κύματα θήτα έχουν 2 τουλάχιστον βασικές εκδηλώσεις [4]. Στη μία περίπτωση εμφανίζονται σε όλο το κρανίο σε φάσεις έλλειψης ύπνου και χαμηλού επιπέδου εγρήγορσης. Η δεύτερη περίπτωση συχνά αναφέρεται σαν μπροστινό κεντρικό θήτα (*Frontal midline theta-Fm theta*) λόγω τοπογραφίας κι είναι τα κύματα που μελετήθηκαν κυρίως στο συγκεκριμένο πείραμα . Τα κύματα αυτά έχουν παρατηρηθεί σε μία μεγάλη ποικιλία από δράσεις όπως:

- εγκεφαλικούς υπολογισμούς [5],[6],
- δραστηριότητες μάθησης και μνήμης [7],[8],[9],[10],[11],[12]
- εύρεσης λάθους [13],[14],[15]
- φάσεις διαλογισμού [16],[17]

Συνολικά, τα Fm theta κύματα είναι συνδεδεμένα με υψηλή εγκεφαλική προσπάθεια και αμείωτη προσοχή κατά τη διάρκεια πληθώρας εργασιών.

Ωστόσο πιο πρόσφατες έρευνες έχουν συνδέσει την προέλευση των Fm theta με την περιοχή του φλοιού πρόσθιας αύλακας του προσαγωγίου (ACC) η οποία είναι ευρέως υπεύθυνη για την δημιουργία συναισθημάτων [18]. Παράλληλα, μελέτες που έχουν γίνει από τους Zatorre & Blood, γνωστούς ερευνητές για το έργο τους στην

έρευνα του εγκεφάλου και των συναισθημάτων με τη βοήθεια της μουσικής, αναφέρουν σταθερά την ενεργοποίηση της ACC περιοχής στις περιπτώσεις θετικών συναισθημάτων [19]. Οι παραπάνω διαπιστώσεις έχουν οδηγήσει εύλογα στο ερώτημα κατά πόσο πλέον μπορεί να συνδεθεί η μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος των κυμάτων θήτα με ευχάριστες συναισθηματικές καταστάσεις ενώ αντίθετα η απουσία τους με δυσάρεστες και σε ποια εγκεφαλικά κέντρα εντοπίζεται.

4.2.2 ΚΥΜΑΤΑ ΑΛΦΑ (8-12 Hz)

Τα κύματα άλφα αποτέλεσαν κι αυτά, σε μικρότερο βαθμό, αντικείμενο μελέτης του πειράματος. Γενικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η φασματική ισχύς των κυμάτων άλφα συνδέεται αντιστρόφως ανάλογα με την εγκεφαλική δραστηριότητα. Δηλαδή, έντονη εγκεφαλική δραστηριότητα ισοδυναμεί με μείωση της πυκνότητας ισχύος των κυμάτων άλφα [1]. Όσον αφορά τα συναισθήματα και τη σχέση τους με την παρουσία των κυμάτων άλφα, η έρευνα των τελευταίων ετών έχει οδηγηθεί σε μια βασική υπόθεση που στηρίζει ότι θετικά συναισθήματα ενεργοποιούν κυρίως τις αριστερά πρόσθιες εγκεφαλικές περιοχές, ενώ αντίθετα αρνητικά συναισθήματα περισσότερο τα δεξιά εγκεφαλικά τμήματα [20],[21]. Αυτό στο ΗΕΓ ισοδυναμεί με μία ασύμμετρη μείωση της έντασης των κυμάτων άλφα ανάλογα με το λαμβανόμενο συναίσθημα, δηλαδή μείωση της ισχύς των άλφα κυμάτων στην αριστερά μπροστινή περιοχή στα θετικά συναισθήματα και μείωση των άλφα στην δεξιά μπροστινή περιοχή κατά τα αρνητικά συναισθήματα. Οι παραπάνω παρατηρήσεις επιβεβαιώθηκαν σε έρευνες που έγιναν με *allegro* (χαρούμενες) και *adagio* (λυπητερές) μουσικές συνθέσεις [1],[2],[22],[23].

4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Στην προσπάθεια κατανόησης των λειτουργιών του εγκέφαλου κατά τη διάρκεια κάποιας συναισθηματικής διέγερσης, οι νευρολόγοι οδηγήθηκαν στην επιλογή της μουσικής ως ένα ισχυρό μέσο πρόκλησης συναισθημάτων. Ένα βασικό όμως πρόβλημα που παρουσιάζεται στην έρευνα αυτή είναι η διασφάλιση της αντικειμενικότητας, πράγμα πολύ δύσκολο όταν πρόκειται για συναισθήματα και μουσική. Ο κάθε άνθρωπος αντιλαμβάνεται διαφορετικά το ευχάριστο και δυσάρεστο και παράλληλα έχει διαφορετικές μουσικές προτιμήσεις. Επομένως, στην προσπάθεια παρατήρησης των κέντρων του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται με διαφορετικά συναισθήματα χαράς, λύπης, φόβου κ.τ.λ. πρέπει να απομονωθεί ο υποκειμενικός παράγοντας και ο παράγοντας της μνήμης (τα μουσικά αποσπάσματα δεν πρέπει να είναι οικεία στον εξεταζόμενο) έτσι ώστε τα δεδομένα της καταγραφής να δίνουν όσο το δυνατόν πιο γενικό συμπέρασμα.

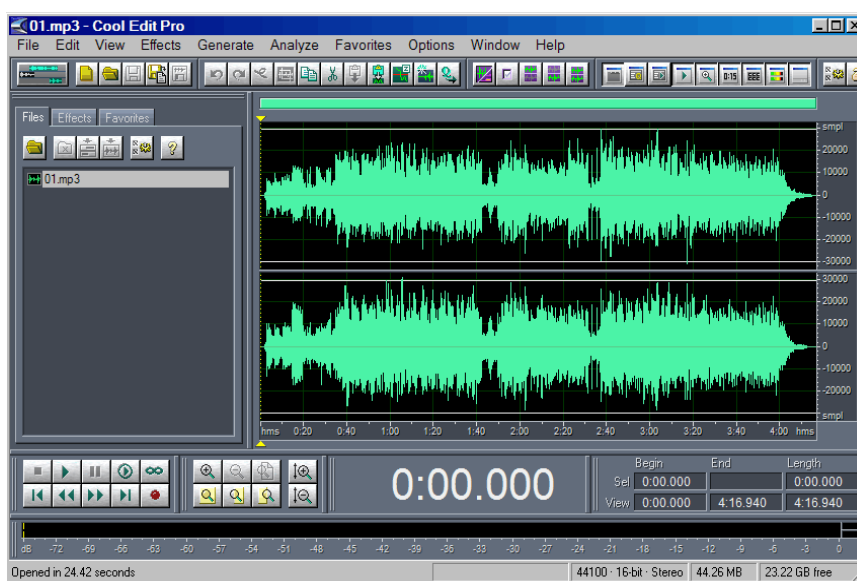
Στη συγκεκριμένη πειραματική εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών, χρησιμοποιήθηκαν αποσπάσματα από μουσικά κομμάτια κατά βάση αρμονικά που κατόπιν στατιστικής έρευνας έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν ευχάριστα συναισθήματα. Οι μουσικές συνθέσεις που επιλέχθηκαν ήταν οι παρακάτω:

- *Brandenburgh concerts IV, Bach (1:01)*
- *Baladas & Impromptus, Pista de audio 08, Chopin (1:08)*
- *Gymnopédies I, Lent et douloureux, Erik Satie (0:57)*

Ωστόσο για τη δημιουργία αρνητικών συναισθημάτων στο εξεταζόμενο δε χρησιμοποιήθηκαν άλλες διαφορετικές συνθέσεις αλλά εφαρμόστηκε η παρακάτω τεχνική: χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μουσικά κομμάτια επεξεργασμένα όμως ηλεκτρονικά με τέτοιο τρόπο ώστε να χαθεί τελείως η αρμονία τους με αποτέλεσμα να ακούγονται πλέον παράφωνα. Η σκέψη αυτή βασίστηκε στην γενικά αποδεδειγμένη αντίληψη ότι η «δυσαρμονία» θεωρείται δυσάρεστη [25] ακόμη κι από 4 και 6 μηνών βρέφη [26]. Με αυτό τον τρόπο έγινε εφικτή η διαφοροποίηση ανάμεσα σε ευχάριστα και δυσάρεστα μουσικά ακούσματα και η μελέτη των

αντίστοιχων συναισθημάτων που προκαλούν ανεξάρτητα από προσωπικές μουσικές προτιμήσεις.

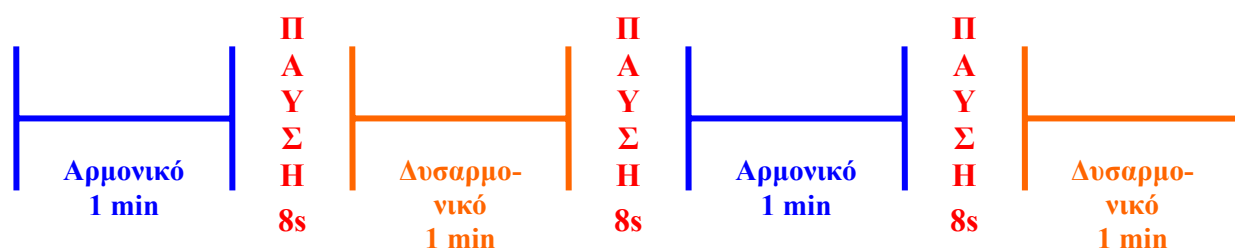
Για τη δημιουργία των κομματιών με δυσαρμονία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό COOL EDIT PRO. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου, γνωστό στο χώρο της ηλεκτρονικής μουσικής, που χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία μουσικής με χρήση κυματομορφών αλλά και για την επεξεργασία και μίξη ήχων.



Εικ.4.1: Cool Edit Pro, Πρόγραμμα ψηφιακής επεξεργασίας ήχου.

Στο πρόγραμμα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν λοιπόν τα αυθεντικά κομμάτια και αλλάζοντας τη συχνότητα τους δημιουργήθηκαν παρόμοιες συνθέσεις από τις οποίες απουσίαζε τελείως η αρχική αρμονία. Συγκεκριμένα, για το κάθε κομμάτι δημιουργήθηκαν δύο καινούρια μουσικά αρχεία. Το πρώτο αρχείο ήταν το αρχικό κομμάτι με αυξημένη τη συχνότητα κάθε νότας κατά ένα μουσικό τόνο ενώ στο δεύτερο αρχείο οι συχνότητες ήταν μειωμένες κατά ένα μουσικό τριτόνιο. Βάζοντας αυτές τις δύο εκδοχές του αρχικού κομματιού να ακουστούν ταυτόχρονα το αποτέλεσμα ήταν μία δυσαρμονική και εντελώς παράφωνα εκτέλεση που θύμιζε σαφώς στην αρχική σύνθεση αλλά είχε χάσει εντελώς την αρμονία της και την «απαλότητα» των τόνων. Παρόλα αυτά, δόθηκε προσοχή ώστε τα ευχάριστα και δυσάρεστα μουσικά αποσπάσματα να μη διαφέρουν καθόλου ως προς το ρυθμό, το «τέμπο» και τη μελωδία παρά μόνο στη συχνότητα των τόνων.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος, ο εξεταζόμενος άκουγε το ευχάριστο και το δυσάρεστο απόσπασμα με εναλλαγή και παύση μεταξύ τους 8 δευτερολέπτων. Αυτό επαναλήφθηκε τρεις φορές για το κάθε διαφορετικό ζευγάρι αρμονικών-δυσαρμονικών κομματιών έτσι ώστε το αποτέλεσμα των μετρήσεων να είναι πιο αξιόπιστο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα απλό σχεδιάγραμμα της δομής του πειραματικού ερεθίσματος.



Εικ. 4.2: Ένα απλό σχεδιάγραμμα της δομής του πρωτοκόλλου του πειράματος

4.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

4.4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

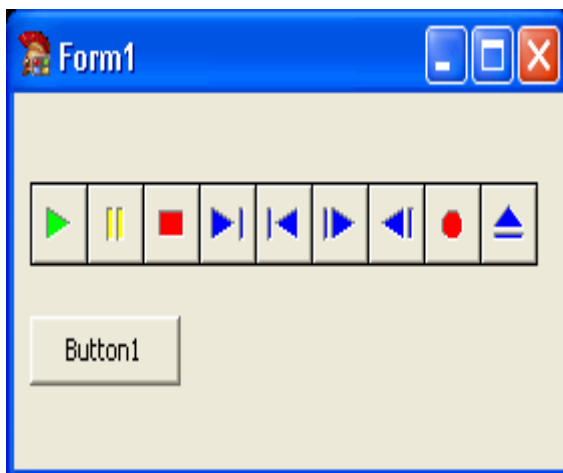
Το βασικό κομμάτι της εργασίας που απαιτείται για τη δημιουργία ενός πειραματικού πρωτοκόλλου στην έρευνα για την εγκέφαλο είναι ο χρονικός συνδυασμός του ερεθίσματος με τις αντίστοιχες αντιδράσεις του εγκεφάλου, δηλαδή τα σήματα που καταγράφονται από τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο. Όπως γίνεται κατανοητό, στο συγκεκριμένο πείραμα, δεν αρκούσε απλά ο εξεταζόμενος να ακούει από κάποια εξωτερική πηγή ήχου τη μουσική και παράλληλα να γίνεται η καταγραφή. Είναι αναγκαίο τα σήματα του προς εξέταση εγκεφαλογραφήματος να συντονίζονται χρονικά με τις αλλαγές στη μουσική και να γίνεται σύγχρονη καταγραφή κι έτσι να μπορεί να συγκριθούν οι διαφορετικές συχνότητες των κυμάτων του εγκεφάλου για τα αρμονικά και τα δυσαρμονικά κομμάτια.

Ο Η/Υ επικοινωνεί με τον ΗΕΓ μέσω της παράλληλης θύρας του. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για να εγκατασταθεί η επικοινωνία αυτή ήταν ,όπως και στα άλλα πρωτόκολλα, η Borland Delphi. Η Delphi, όπως έχει αναλυθεί και εκτενέστερα στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας είναι μία αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού επέκταση της Pascal. Διαθέτοντας ένα εύχρηστο οπτικό περιβάλλον προγραμματισμού επιτρέπει το σχεδιασμό λειτουργικών εφαρμογών.

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο του προγράμματος που υλοποιήθηκε, με αναφορές στον τελικό κώδικα που ακολουθεί στο παράρτημα Α.

Το πειραματικό πρωτόκολλο έπρεπε αρχικά να ικανοποιεί την απαίτηση αναπαραγωγής των ηχητικών ερεθισμάτων. Μέσω της γλώσσας Delphi αυτό έγινε εφικτό με την επιλογή του μηχανισμού TMediaPlayer από τη λίστα των έτοιμων εργαλείων του υπολογιστικού περιβάλλοντος, Tool Palette. Ο μηχανισμός, που στις γλώσσες οπτικού προγραμματισμού ονομάζεται και αντικείμενο (*object*) , είναι ένα εργαλείο με οπτικά χαρακτηριστικά και συνοδεύεται από υπάρχοντα κώδικα για τις βασικές του λειτουργίες. Προστίθεται στο αντικείμενο φόρμα, που όπως έχει αναλυθεί εκτενέστερα στην ενότητα 3.2.1.1 του προηγούμενο κεφαλαίου αποτελεί τη βάση κάθε εφαρμογής στη γλώσσα Delphi. Το συγκεκριμένο αντικείμενο TMediaPlayer φαίνεται στην εικόνα 4.3. Πρόκειται για ένα τυπικό εργαλείο αναπαραγωγής μουσικής και διαθέτει τα χαρακτηριστικά πλήκτρα *Play*, *Stop*, *Forward*, *Rewind* κ.λ.π. Η χρήση του μηχανισμού αυτού από κάποιο πρόγραμμα της Delphi προϋποθέτει την ενσωμάτωση της βιβλιοθήκης MPlayer στη λίστα των βιβλιοθηκών που ορίζεται στην αρχή του προγράμματος (Γρ.5). Το αντικείμενο TMediaPlayer δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να χειριστεί το μουσικό αρχείο σταματώντας το ή προχωρώντας στο επόμενο με τα ανάλογα πλήκτρα. Στην περίπτωση όμως αυτής της πειραματικής εφαρμογής αρκούσε η απλή αναπαραγωγή των μουσικών αποσπασμάτων με τη σειρά που είχε οριστεί από το πρωτόκολλο. Έτσι, όπως φαίνεται και στον κώδικα στο παράρτημα Α, στις γραμμές 26, 27, 28 και 34 ο μηχανισμός βρίσκει το ηχητικό αρχείο κωδικοποίησης mp3 στη διεύθυνση αποθήκευσης που έχει οριστεί και το ανοίγει. Στη διεύθυνση αυτή αποθηκεύτηκαν τα 3 αποσπάσματα διάρκειας ενός λεπτού που επιλέχθηκαν για την πρόκληση των ευχάριστων αισθημάτων και τα αντίστοιχα δυσαρμονικά τους παράγωγα που κατασκευάστηκαν με το Cool Edit Pro. Σε κάθε επανάληψη της πειραματικής

διαδικασίας επιλεγόταν και το αντίστοιχο ζευγάρι αρμονικών και δυσαρμονικών κομματιών. Με την εντολή MediaPlayer1.Play της γραμμής 34, ορίστηκε η άμεση αναπαραγωγή του ήχου την κατάλληλη χρονική στιγμή κάνοντας περιττή την χρήση των πλήκτρων που φαίνονται στην εικόνα του μηχανισμού. Όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα του ηχητικού ερεθίσματος της εικόνας 4.2, σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας ακουγόταν το αρμονικό και το αντίστοιχο δυσαρμονικό απόσπασμα εναλλάξ με μία παύση 8 δευτερολέπτων μεταξύ τους. Για τη δημιουργία αυτής της παύσης κατασκευάστηκε με το Cool Edit Pro ένα απλό αρχείο σιωπής, δηλαδή δίχως κάποια κυματομορφή και προστέθηκε στη ίδια διεύθυνση μνήμης με τα άλλα μουσικά αποσπάσματα. Με τις ίδιες εντολές το TMediaPlayer άνοιξε και αναπαρήγαγε αυτό το αρχείο στις παύσεις ενδιάμεσα των κομματιών. Σημειώνεται ότι, για να αποκλειστεί η χρήση των διαθέσιμων πλήκτρων του TMediaPlayer και να γίνει άμεση αναπαραγωγή των ήχων την κατάλληλη χρονική στιγμή έναρξης της διαδικασίας, ο μηχανισμός έπρεπε αρχικά να είναι ανενεργός. Αυτό επετεύχθη με χρήση της εντολής MediaPlayer1.Close .



Εικ.4.3: Η φόρμα που δημιουργήσαμε στην DELPHI για την εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος

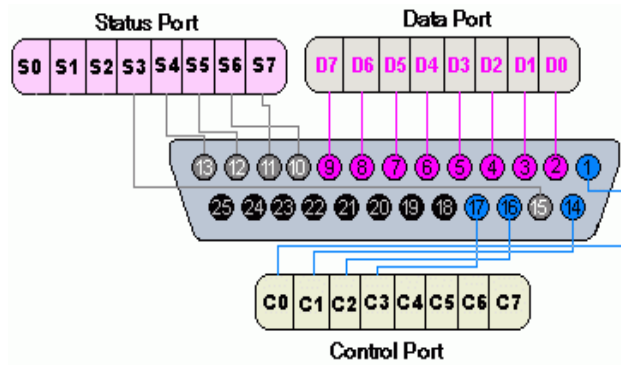
Όπως και στην υλοποίηση των πρωτοκόλλων του κεφαλαίου 3, η έναρξη της αναπαραγωγής του ηχητικού ερεθίσματος καθορίστηκε από το μηχανισμό ενός κουμπιού που φαίνεται και στην εικόνα 4.3 (Button1). Η διαδικασία (*procedure*) Button1Click που ορίστηκε να εκτελείται, παρουσιάζεται στις γραμμές 22-131 και στην ουσία περιλαμβάνει όλες τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση αυτού του πρωτοκόλλου. Με το πάτημα (click) του κουμπιού από τον υπεύθυνο της

πειραματικής διαδικασίας ξεκινούσε η αναπαραγωγή του μουσικού ερεθίσματος μέσω της χρήσης του μηχανισμού TMediaPlayer και η επικοινωνία με τον Ηλεκτροεγκεφαλογράφο που έκανε την καταγραφή.

Για την επικοινωνία με τον Ηλεκτροεγκεφαλογράφο και το συγχρονισμό του μουσικού ερεθίσματος με τα σήματα που καταγράφονταν χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι δείκτες, οι λεγόμενοι markers. Οι δείκτες αυτοί εμφανίζονται στο σήμα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος σαν μία κάθετη γραμμή στο πεδίο του χρόνου ορίζοντας τη χρονική στιγμή όπου συμβαίνει κάποια αλλαγή στο ερέθισμα. Στο συγκεκριμένο πείραμα οι δείκτες ορίστηκαν με αριθμούς και σηματοδοτούσαν ο καθένας την έναρξη ή τη λήξη κάθε κομματιού ως εξής:

- Marker 1 : Έναρξη του αρμονικού αποσπάσματος
- Marker 2 : Λήξη του αρμονικού αποσπάσματος
- Marker 3 : Έναρξη της ενδιάμεσης παύσης των 8 sec
- Marker 4 : Λήξη της ενδιάμεσης παύσης των 8 sec
- Marker 5 : Έναρξη του δυσαρμονικού αποσπάσματος
- Marker 6 : Λήξη του δυσαρμονικού αποσπάσματος

Οι δείκτες αυτοί, αποστέλλονται στον ηλεκτροεγκεφαλογράφο με τη συνάρτηση Out32(\$378,a) που υπάρχει σε βιβλιοθήκη DLL. Η χρήση των βιβλιοθηκών δυναμικής διασύνδεσης (DLL) είναι συχνή σε εφαρμογές της γλώσσας Delphi. Η συγκεκριμένη συνάρτηση Out32 επιτρέπει την αποστολή bytes στις διευθύνσεις που αντιστοιχούν στην παράλληλη θύρα του H/Y. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα η παράλληλη θύρα έχει 3 πύλες ελέγχου. Η πύλη data port που είναι υπεύθυνη για τα δεδομένα έχει 8 pins κι αντιστοιχεί στη διεύθυνση μνήμης 378. Έτσι με το κάλεσμα αυτής της συνάρτησης αποστέλλουμε κάθε φορά την αντίστοιχη τιμή του marker a στην παράλληλη θύρα και στη συνέχεια ο αριθμός του δείκτη εμφανίζεται στην αναπαράσταση του σήματος.



Εικ. 4.4: Η παράλληλη θύρα του H/Y

Όπως φαίνεται και στον κώδικα η συνάρτηση Out32 καλείται κάθε φορά πριν την έναρξη ή αμέσως μετά τη λήξη ενός αποσπάσματος και στέλνει την κατάλληλη τιμή του marker a αφού πρώτα έχει οριστεί ανάλογα με τη χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, μετά από κάποια καθυστέρηση αποστέλλεται η τιμή 0 στον marker a, προκειμένου να μπορεί δεχτεί την επόμενη τιμή που θα ακολουθήσει.

Για τη δημιουργία αυτής της καθυστέρησης χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία Delay όπως αυτή είχε κατασκευαστεί και για τα πρωτόκολλα του προηγούμενου κεφαλαίου. Όπως φαίνεται κι από τη σύνταξη της στον κώδικα, η Delay(dwMilliseconds: Longint), παίρνει σαν όρισμα διάρκεια σε msec.

Στο παράρτημα 4.1 ακολουθεί ο ολοκληρωμένος κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική εφαρμογή.

4.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στη συγκεκριμένη πειραματική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών του Ε.Μ.Π οι ηλεκτροεγκεφαλικές μετρήσεις έγιναν σε άτομο 25 ετών, δεξιόχειρα που δεν είχε κάποια ιδιαίτερη εκπαίδευση στη μουσική. Ο εξεταζόμενος βρισκόταν στο δωμάτιο του ΗΕΓ, ένα ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένο χώρο, απομονωμένος από άλλους θορύβους. Άκουγε τη μουσική μέσω φορητών ακουστικών και ήταν καθισμένος με κλειστά μάτια για να αποφευχθεί ο θόρυβος που προκαλείται στα λαμβανόμενα σήματα από την οφθαλμική κίνηση. Τα

μουσικά αποσπάσματα που επιλέχθηκαν είχαν τη διάρκεια ενός λεπτού και φυσικά το ίδιο και τα αντίστοιχα δυσαρμονικά τους παράγωγα που είχαν κατασκευαστεί με τη βοήθεια του υπολογιστή.

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το επόμενο στάδιο στην πειραματική αυτή μελέτη ήταν η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος του εξεταζόμενου ατόμου. Για την επεξεργασία των σημάτων του ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό περιβάλλον του Matlab και συγκεκριμένα το πακέτο **EEGLAB**. Το EEGLAB είναι ένα πακέτο εργαλείων (toolbox) ειδικά σχεδιασμένο για την ανάλυση και αναπαράσταση ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων. Διαθέτει μία εύχρηστη σχεδιαστική διεπαφή (interface) και επιτρέπει στο χρήστη να αναλύσει ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα και άλλα δυναμικά εγκεφαλικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την ανάλυση ICA (Independent Component Analysis), ανάλυση ως προς το χρόνο και τη συχνότητα, όπως επίσης και μεθόδους απόρριψης σημάτων θορύβου. Παρέχει επίσης μία πληθώρα από εφαρμογές οπτικών σχημάτων και χαρτών του εγκεφάλου σε διάφορες στιγμές της εγκεφαλικής καταγραφής και δίνει έτσι τη δυνατότητα μιας πλήρους μελέτης των λειτουργιών του εγκεφάλου.

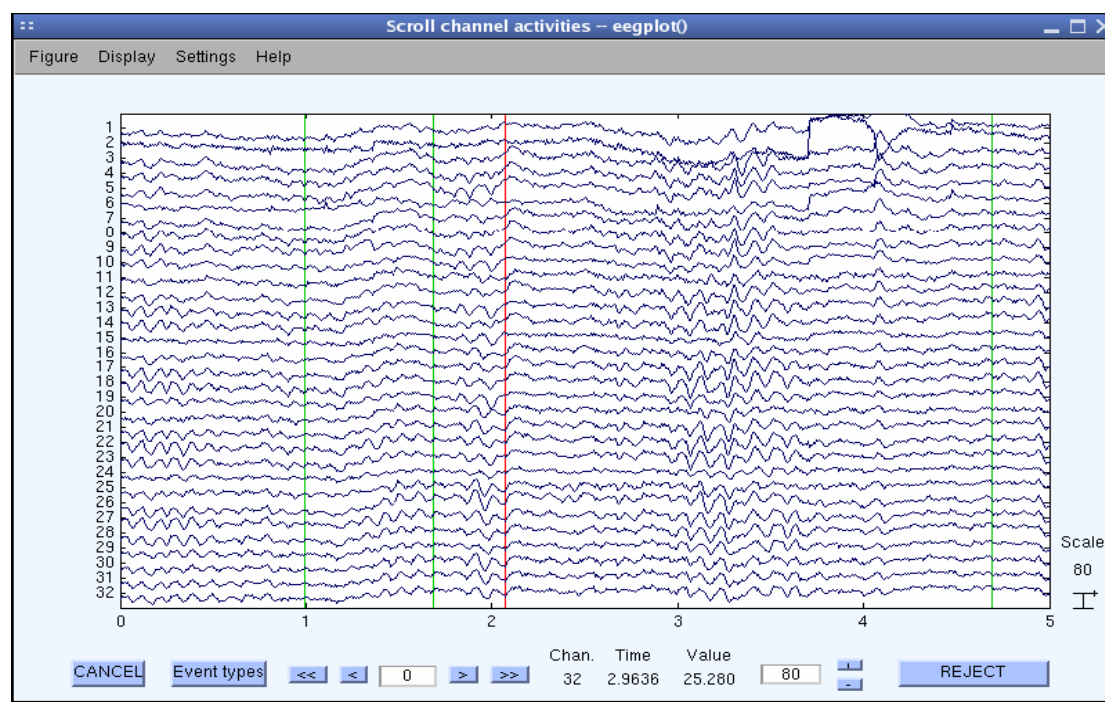
4.6.1 ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΗΕΓ

Στο εργαστήριο των Οπτικών Ινών του ΕΜΠ όπου και πραγματοποιήθηκε το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιείται η τεχνολογία της Biosemi. Έτσι, τα αρχεία από την καταγραφή του ΗΕΓ ήταν της μορφής BDF (Biosemi Data Format) και για να αναγνωστούν έπρεπε να εισαχθούν στο περιβάλλον του Matlab Δίνοντας όνομα σε αυτό το αρχείο το πρόγραμμα δημιούργησε μία καινούρια ομάδα στοιχείων (dataset) έτοιμη για επεξεργασία. Το αρχείο από την καταγραφή του πειράματος περιείχε και τις τρεις επαναλήψεις, δηλαδή είχε γίνει μία συνολική καταγραφή που

περιλάμβανε τα ζεύγη των αρμονικών και δυσαρμονικών αποσπασμάτων από καθεμία από τις συνθέσεις των Bach, Chopin και Satie.

4.6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Ξεκινώντας την επεξεργασία του αρχείου αρχικά επιλέχθηκαν τα δεδομένα που επρόκειτο να μελετηθούν. Με βάση τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκαν να μελετηθούν τα 32 πρώτα κανάλια. Μετά από αυτό το βήμα ήταν εφικτή και η δημιουργία των γραφικών παραστάσεων των σημάτων στο πεδίο του χρόνου. Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζεται η πρώτη εικόνα των σημάτων των 32 προεπιλεγμένων καναλιών.



Εικ.4.5: Γραφική αναπαράσταση των σημάτων των 32 καναλιών του ΗΕΓ μέσω του eeglab

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα πρώτα 5 sec από την καταγραφή. Μέσω της κλίμακας του άξονα του χρόνου επιλέχθηκε να απεικονίζονται πιο αραιά τα σήματα

σε κάθε παράθυρο για να μελετηθούν λεπτομέρειες προκλητών δυναμικών. Αντίστοιχα, ορίστηκε και από τον κάθετο άξονα, στην κάθε εικόνα να απεικονίζονται μόνο τα μισά κανάλια έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η παρατήρηση λεπτομερειών των σημάτων.

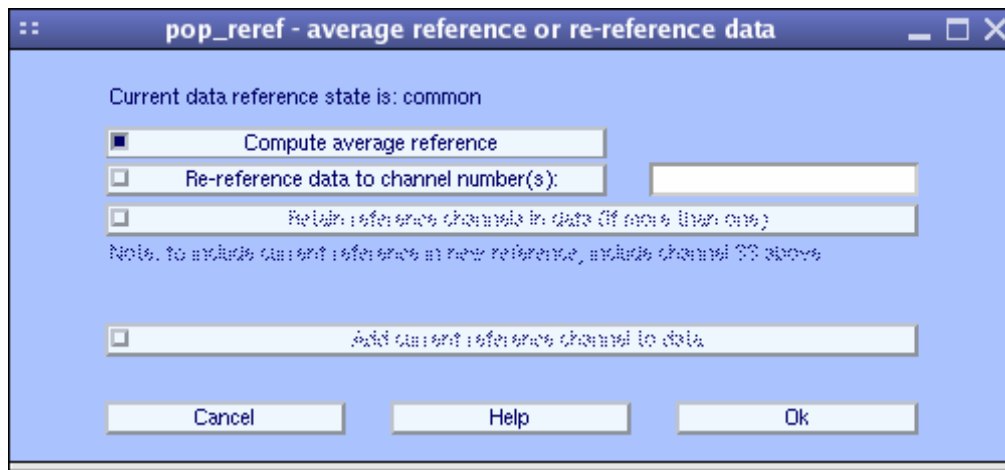
Κατά την επεξεργασία σημάτων του Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος ένα βασικό και αρχικό βήμα αποτελεί το φιλτράρισμα των δεδομένων. Λόγω του θορύβου που εισάγεται μέσω του δικτύου της ΔΕΗ στα υπό επεξεργασία σήματα επιλέχθηκε βαθυπερατό φίλτρο FIR με κάτω όριο 1 και πάνω 35 Hz. Το FIR φίλτρο είναι ένα πεπερασμένο ψηφιακό φίλτρο που δίνει την κρουστική απόκριση του σήματος.

Είναι σημαντικό να γίνεται αυτή η διαδικασία πριν δημιουργηθούν τα epochs (μικρά χρονικά διαστήματα γύρω από κάποιο γεγονός), για να αποφεύγεται η εισαγωγή θορύβων σε αυτά.

4.6.3 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Όπως έχει αναφερθεί και στην εκτενή ανάλυση για το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα στο πρώτο κεφάλαιο, το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτροδίου «ενεργής» περιοχής κι ενός ηλεκτροδίου «ανεργής» περιοχής. Ενεργές περιοχές είναι οι εγκεφαλικές περιοχές που αναμένεται να παρουσιάσουν εγκεφαλική λειτουργία ενώ ανεργές περιοχές μπορεί να είναι το αυτί ή τα ενωμένα με αγωγίμο δρόμο δύο αυτιά, σημεία του λαιμού κ.α. Το ηλεκτρόδιο ανεργής περιοχής είναι κοινό για όλες τις μετρήσεις και αποτελεί το σημείο αναφοράς.

Στο eeglab χρησιμοποιείται η αναφορά μέσου όρου (*“average reference”*). Έτσι και για τα συγκεκριμένα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά ο μέσος όρος των σημάτων όλων των ηλεκτροδίων.



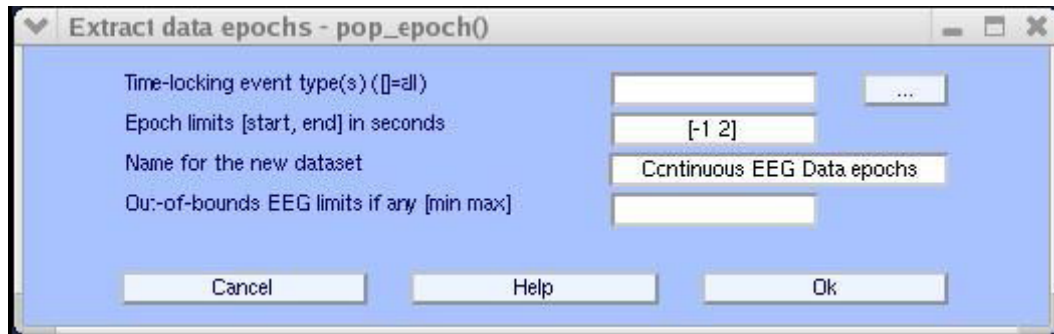
Εικ.4.6: Χαρακτηριστικό παράθυρο του eeglab για την επιλογή ηλεκτροδίων αναφοράς κατά την τεχνική του μέσου όρου

4.6.4 EPOCHS: ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Για να μελετηθεί και να αναλυθεί ένα συνεχές ΗΕΓ πρέπει να τεμαχιστεί σε μικρά χρονικά διαστήματα (epochs) γύρω από κάποια συγκεκριμένα γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταγραφής του πειράματος. Στη διαδικασία αυτή σημαντικό ρόλο παίζουν οι λεγόμενοι δείκτες–“markers”. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.4.1 στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε οι δείκτες όριζαν την αρχή και το τέλος των μουσικών κομματιών και των μεταξύ τους παύσεων.

Δημιουργώντας epochs γύρω από κάποιο δείκτη εντοπίστηκαν τα χρονικά διαστήματα που συνδυάστηκαν με κάποια από τις αλλαγές στο ερέθισμα και απομονώθηκαν έτσι τα εγκεφαλικά σήματα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της αλλαγής.

Μέσω της εντολής **Tools > Extract epochs** επιλέχθηκε αρχικά ο κάθε marker γύρω από τον οποίο δημιουργήθηκε το διάστημα ψάχνοντας στη λίστα των διαθέσιμων marker.



Εικ.4.7: Εικόνα του eeglab κατά τη διαδικασία δημιουργίας χρονικών διαστημάτων γύρω από κάποιες σημαντικές χρονικές στιγμές του πειράματος

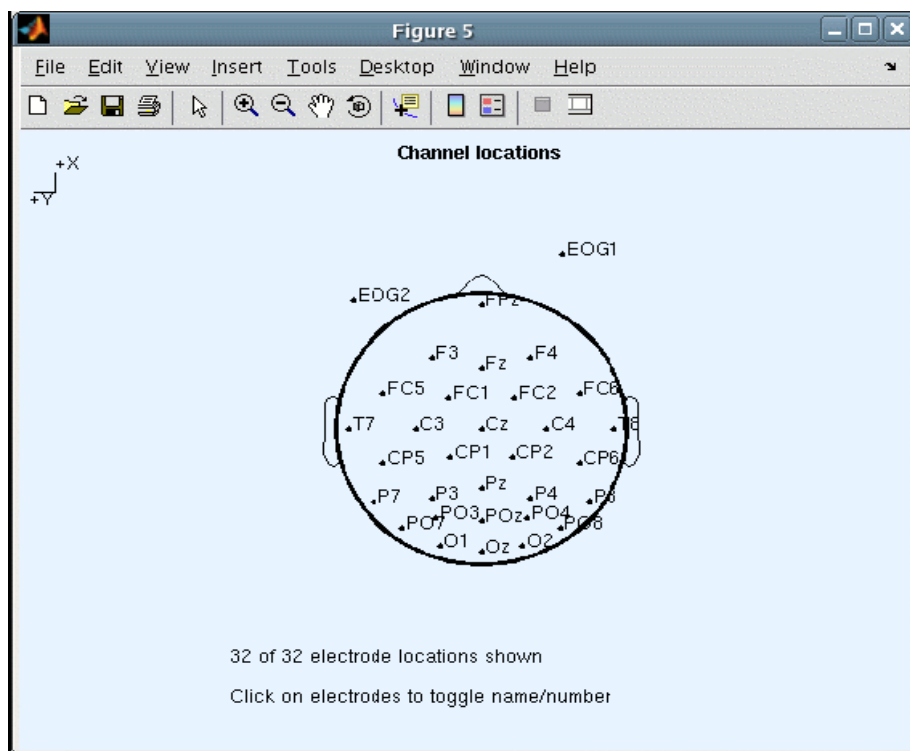
Στη συνέχεια ορίστηκε το χρονικό διάστημα του epoch, δηλαδή το δευτερόλεπτο έναρξης και τέλους. Συνήθως το epoch ξεκινά λίγο πριν εμφανιστεί ο δείκτης (100msec) και σηματοδοτήσει την αλλαγή γι' αυτό και ορίζεται ως αρχή του διαστήματος -0.1 sec πριν την εμφάνιση του δείκτη. Για τη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη επιλέχθηκαν διαστήματα των 20 και 30 sec γύρω από το δείκτη 1 για τα αρμονικά αποσπάσματα και το δείκτη 5 για τα δυσαρμονικά. Τα σήματα επομένως που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του ενός λεπτού των αρμονικών και δυσαρμονικών κομματιών μελετήθηκαν σε διαστήματα των 20 sec ή απλά σε δύο μέρη των 30 sec και έγιναν συγκρίσεις μεταξύ τους.

Αφού επιλέχθηκαν τα διαστήματα των epochs, ορίστηκε η χρονική στιγμή της οποίας η τιμή του σήματος χρησιμοποιήθηκε ως τιμή αναφοράς για όλο το διάστημα (baseline). Θέτοντας ως τιμή αναφοράς 100msec πριν ξεκινήσει το epoch το πρόγραμμα καθόρισε τις τιμές κάθε κορύφωσης του σήματος μέσα στο epoch χρησιμοποιώντας ως αναφορά/βάση το εγκεφαλικό σήμα που υπήρχε 0.1 sec πριν την έναρξη του epoch.

4.6.5 ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Το πρόγραμμα του eeglab έχει τη δυνατότητα δημιουργίας δυσδιάστατων ή τρισδιάστατων εγκεφαλικών χαρτών ως απεικονίσεις των εγκεφαλικών σημάτων στις διάφορες χρονικές στιγμές. Για τη δημιουργία αυτών των γραφικών χαρτών ήταν

απαραίτητο να καθοριστεί οι συντεταγμένες των θέσεων των ηλεκτροδίων πάνω στο κρανίο. Για την πληροφορία αυτή χρησιμοποιήθηκε το υπάρχον αρχείο του προγράμματος που όριζε τις θέσεις των 32 καναλιών στις εικόνες που δημιουργούνταν βάσει του διεθνούς συστήματος 10-20. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκε ο εγκεφαλικός χάρτης της εικόνας 4.9. Για καλύτερη ανάλυση οι χάρτες κατασκευάστηκαν έτσι ώστε να περιλαμβάνουν και τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται εκτός του κρανίου (ηλεκτρόδια ματιών) προκειμένου να μην αποκλείεται κανένα σήμα. στη δημιουργία του συνολικού φάσματος ισχύος..



Εικ.4.8: Εικόνα του eeglab που δείχνει όλες τις θέσεις των καναλιών. Πατώντας στο όνομα του κάθε καναλιού εμφανίζεται και ο αριθμός του.

4.6.6 ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ

Κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των σημάτων ενός ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος χρειάζεται να απορριφθούν κάποια σήματα που συχνά αποτελούν θόρυβο στο τελικό ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και καθιστούν μη έγκυρα τα αποτελέσματα της

καταγραφής. Ο θόρυβος αυτός προκαλείται κυρίως από την κίνηση των ματιών (eyes artifacts). Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές από το ηλεκτροοφθαλμογράφημα πραγματοποιήθηκε απόρριψη σημάτων θορύβου. Στην συγκεκριμένη καταγραφή, παρατηρήθηκαν όμως και υψηλές τιμές θορύβου στα κανάλια T₈, CP₆, CP₅, P₇ λόγω παρεμβολών (πιθανώς από τα ακουστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαραγωγή του μουσικού ερεθίσματος). Για την εξάλειψη όλων των σημάτων θορύβου επιλέχθηκε να αφαιρεθούν από όλα τα κανάλια τιμές μεγαλύτερες από 80 μ V και σήματα μικρότερα από -80 μ V.

4.6.7 ΧΑΡΤΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

Ο βασικός σκοπός αυτής της πειραματικής δοκιμής ήταν η ανάλυση των σημάτων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος ως προς το πεδίο της συχνότητας για να μελετηθεί πώς επηρεάζονται οι εγκεφαλικοί ρυθμοί από τα ευχάριστα και δυσάρεστα μουσικά ερεθίσματα.

Η ανάλυση των σημάτων ως προς τη συχνότητα γίνεται μέσω το eeglab με χρήση του μετασχηματισμού Fourier όπου δημιουργούνται χάρτες απεικόνισης της φασματικής ισχύος. Δεδομένου ότι το ενδιαφέρον της μελέτης επικεντρώθηκε στην επίδραση των μουσικών ερεθισμάτων στους εγκεφαλικούς ρυθμούς θήτα (4-8 Hz) και άλφα (8-12 Hz), οι εγκεφαλικοί χάρτες κατασκευάστηκαν σε όλα τα διαστήματα (epochs) των 20 και 30 sec στις συχνότητες των 4, 6, 8, 10 και 12 Hz. Για τη μελέτη και σύγκριση των εγκεφαλικών χαρτών μεταξύ των αρμονικών και δυσαρμονικών κομματιών οι εικόνες κατασκευάστηκαν με κοινή χρωματική κλίμακα που ορίστηκε από τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές φασματικής ισχύος που σημειώθηκαν. Η έντονη κόκκινη απόχρωση αποδίδει τη μέγιστη φασματική ισχύ ενώ το σκούρο μπλε αποδίδει τις ελάχιστες τιμές. Οι ενδιάμεσες τιμές προσαρμόζονται ανάλογα στους ενδιάμεσους χρωματισμούς. Οι εικόνες που κατασκευάστηκαν για τη συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζονται στα παραρτήματα 4.2, 4.3, 4.4 και 4.5.

Συγκεκριμένα, στο παράρτημα 4.2 δίνονται ενδεικτικά κάποια από τα αρχικά διαγράμματα της φασματικής ισχύος των σημάτων που κατασκευάστηκαν για τα χρονικά διαστήματα των 20 sec στα αρμονικά και δυσαρμονικά ηχητικά ερεθίσματα.

Στο παράρτημα 4.3 παρουσιάζονται οι φασματικοί χάρτες στις συχνότητες των 4,6,8,10,12 Hz σε όλα τα διαστήματα των 20 sec και στο παράρτημα 4.4 οι αντίστοιχοι χάρτες στα 0-30 sec και 30-60 sec των αρμονικών και δυσαρμονικών μουσικών αποσπασμάτων.

Τέλος, στο παράρτημα 4.5 παρουσιάζονται εικόνες χαρακτηριστικών διαγραμμάτων συχνότητας-χρόνου που κατασκευάζονται συχνά για την επεξεργασία δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Η συγκεκριμένη ανάλυση συχνότητας-χρόνου γίνεται μέσω του μετασχηματισμού Fourier σε κάθε κανάλι ξεχωριστά. Πρόκειται για διαγράμματα που αποτυπώνουν απότομες αλλαγές και αποκλίσεις μέγιστων και ελάχιστων τιμών στο φάσμα ισχύος των δεδομένων σημάτων του καναλιού. Στον άξονα των x απεικονίζεται ο χρόνος ($\text{msec} \cdot 10^4$) και στον άξονα των y η συχνότητα (Hz). Τα δύο διαγράμματα που παρατίθενται στο παράρτημα 4.5 απεικονίζουν το φάσμα ισχύος στο κανάλι Cz με τη μέγιστη τιμή φασματικής ισχύος στο δεύτερο μισό μέρος (30-60 sec) των αρμονικών και δυσαρμονικών κομματιών αντίστοιχα. Αντίστοιχα με τους άλλους χάρτες ο κόκκινος χρωματισμός αποδίδει υψηλή τιμή της πυκνότητας ισχύος ενώ ο μπλε χαμηλή.

Τα κυριότερα αποτελέσματα από τη συγκεκριμένη μελέτη και τα ανάλογα συμπεράσματα που διεξάχθηκαν παρουσιάζονται στην ενότητα που ακολουθεί.

4.6.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τη μελέτη της επίδρασης ευχάριστων και δυσάρεστων ηχητικών ερεθισμάτων στις συχνότητες των εγκεφαλικών κυμάτων συγκρίθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες φάσματος ισχύος που κατασκευάστηκαν στα χρονικά διαστήματα των αρμονικών και δυσαρμονικών αποσπασμάτων. Όπως έχει προαναφερθεί, η έρευνα επικεντρώθηκε στα κύματα θήτα και άλφα. Βάσει της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας [1], τα

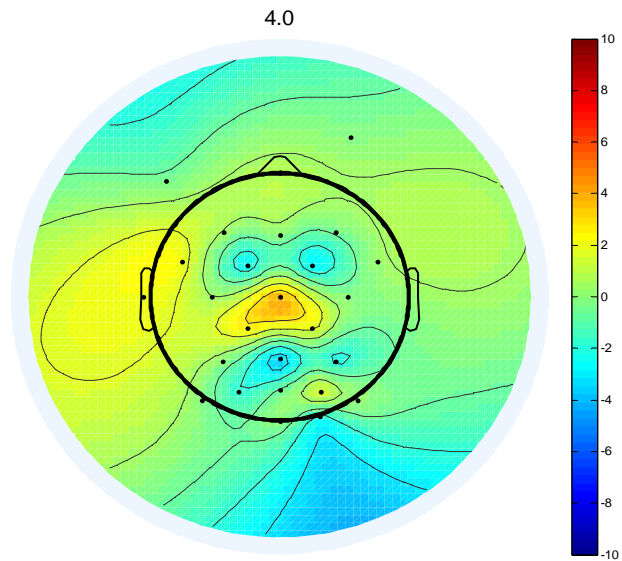
ευχάριστα συναισθήματα συνοδεύονται από εντονότερη πυκνότητα ισχύος των κυμάτων θήτα και μειωμένη φασματική ισχύ στον άλφα ρυθμό στην αριστερά πρόσθια κρανιακή περιοχή. Η μελέτη, λοιπόν, των εικόνων που κατασκευάστηκαν επικεντρώθηκε στην παρατήρηση της ισχύος των κυμάτων θήτα κατά τη διάρκεια των αρμονικών κομματιών, που προκαλούσαν ευχάριστα συναισθήματα και τη σύγκριση τους με τα αντίστοιχα δυσαρμονικά ακούσματα (δυσάρεστα συναισθήματα).

Πράγματι, κάποιες από τις εικόνες των εγκεφαλικών χαρτών που κατασκευάστηκαν με βάση τη διαδικασία που αναλύθηκε σε όλες τις προηγούμενες ενότητες, επιβεβαίωσαν τις παραπάνω διαπιστώσεις. Κατά τη διάρκεια των αρμονικών-ευχάριστων ηχητικών ερεθισμάτων, οι εγκεφαλικές απεικονίσεις έδειξαν μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος των κυμάτων θήτα στις πρόσθιες και κεντρικές κρανιακές περιοχές (γύρω από το κανάλι Cz), σε σύγκριση με τις αντίστοιχες εικόνες κατά τη διάρκεια των δυσαρμονικών-δυσάρεστων μουσικών αποσπασμάτων. Παράλληλα, η διαφοροποίηση αυτή γινόταν εντονότερη είτε κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού των κομματιών (30-60 sec) είτε στα τελευταία 20 δευτερόλεπτα (40-60 sec), με βάση τα διαστήματα που είχαν επιλεγεί για τη μελέτη των δεδομένων. Η παραπάνω παρατήρηση οδηγεί στη διαπίστωση ότι η αύξηση της ισχύος των θήτα κυμάτων δε βασίζεται μόνο στον παράγοντα της ευχαρίστησης αλλά πιθανότατα απαιτεί κι ένα συγκεκριμένο βαθμό εγρήγορσης [27],[28],[29]. Συνάμα, οι συγκεκριμένες ενεργοποιήσεις των κυμάτων θήτα μπορεί να σχετίζονται με την προσοχή: ένα έντονο από συναισθηματικής πλευράς κομμάτι αυτόματα τραβάει την προσοχή [29] επομένως είναι λογικό, λόγω των θετικών συναισθημάτων που προκαλούσαν τα αρμονικά μουσικά αποσπάσματα, ο εξεταζόμενος να τα άκουγε με μεγαλύτερη προσοχή. Από την άλλη, τα δυσαρμονικά ερεθίσματα προκαλούσαν την έλλειψη συγκέντρωσης [2].

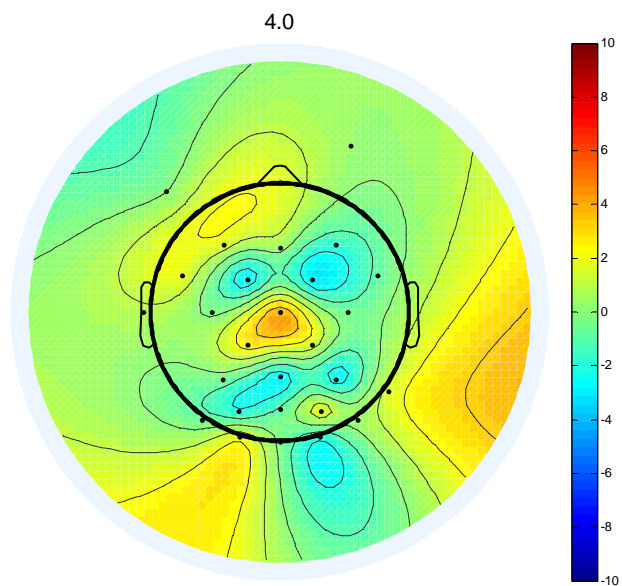
Στις εικόνες 4.9.α, 4.9.β, 4.10.α, 4.10.β, παρουσιάζονται τα πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της συγκεκριμένη μελέτης. Πρόκειται για τους εγκεφαλικούς χάρτες που κατασκευάστηκαν για τις συχνότητες των 4 και 8 Hz αντίστοιχα, στα 40-60 sec όλων των αρμονικών και δυσαρμονικών κομματιών. Επίσης, στις εικόνες 4.11.α, 4.11.β παρουσιάζονται οι εγκεφαλικοί χάρτες που κατασκευάστηκαν για τα κύματα συχνότητας 6 Hz κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού μέρους (30-60 sec) των αρμονικών και δυσαρμονικών αντίστοιχα κομματιών. Οι απεικονίσεις αυτές επελέγησαν ως οι πιο ενδεικτικές και σύμφωνες με τις

πρόσφατες δημοσιεύσεις για τη σύνδεση των κυμάτων θήτα με τα ευχάριστα συναισθήματα. Είναι εμφανές ότι στις εικόνες που αφορούν τα αρμονικά κομμάτια υπάρχει πιο έντονη ενεργοποίηση (έντονο κόκκινο χρώμα) στην κεντρική εγκεφαλική περιοχή και συγκεκριμένα γύρω από το κανάλι 14, Cz σε σύγκριση με τους αντίστοιχους χάρτες των δυσαρμονικών κομματιών. Παράλληλα, η έντονη αυτή διαφοροποίηση παρουσιάστηκε όπως φαίνεται κι από τις συγκεκριμένες εικόνες στα τελευταία 20 sec των μουσικών αποσπασμάτων ή στο δεύτερο μισό τους, 30-60 sec, παρατήρηση σύμφωνη με τη διεθνή βιβλιογραφία.

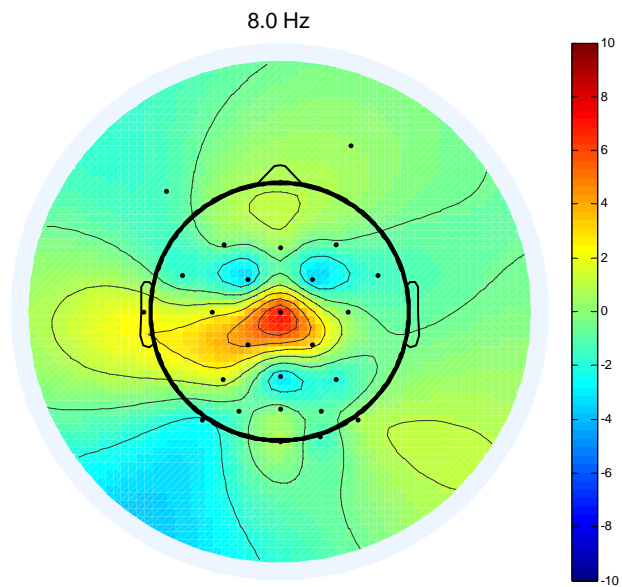
Για τη μελέτη των κυμάτων άλφα έγινε η σύγκριση των χαρτών που κατασκευάστηκαν στις συχνότητες των 10 και 12 Hz αλλά οι απεικονίσεις όπως προέκυψαν από τον ένα μάρτυρα που έλαβε μέρος στο πείραμα δεν επιβεβαίωσαν την πρόσφατη διεθνή βιβλιογραφία. Πρέπει να σημειωθεί, άλλωστε, ότι η συγκεκριμένη πειραματική δοκιμή εφαρμόστηκε μόνο σε ένα άτομο. Για τη διεξαγωγή ολοκληρωμένης μελέτης και συνολικών συμπερασμάτων είναι απαραίτητη η εφαρμογή σε ένα σύνολο ατόμων και η περαιτέρω στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.



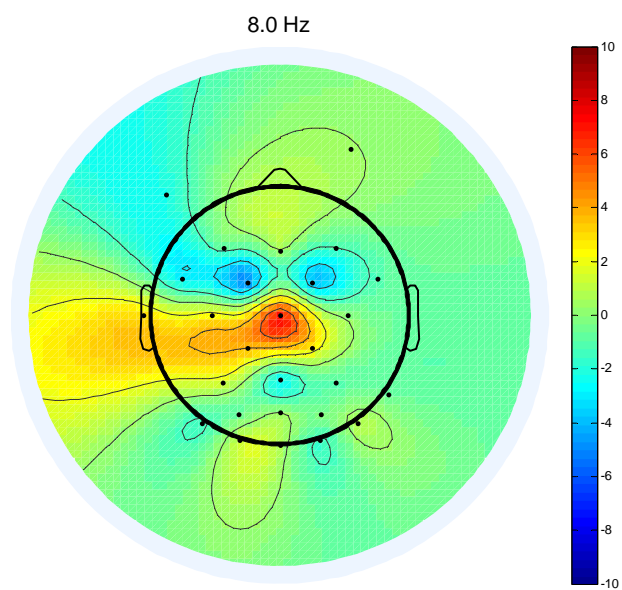
Εικ.4.9.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 4 Hz στα 40-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα



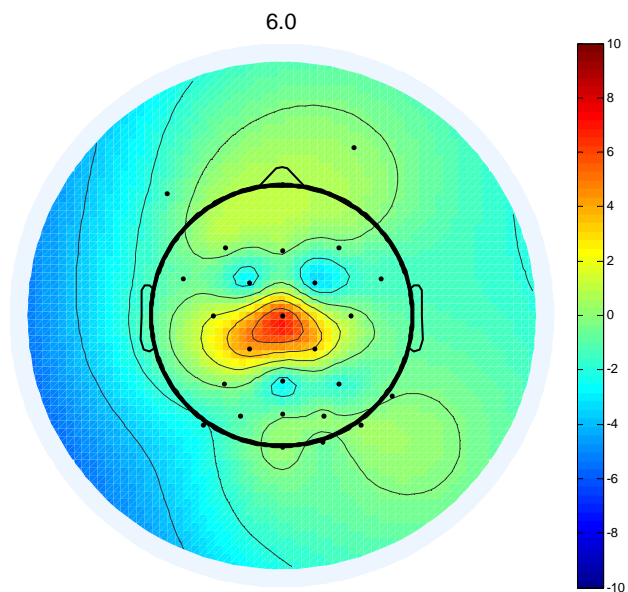
Εικ.4.9.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 4 Hz στα 40-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα



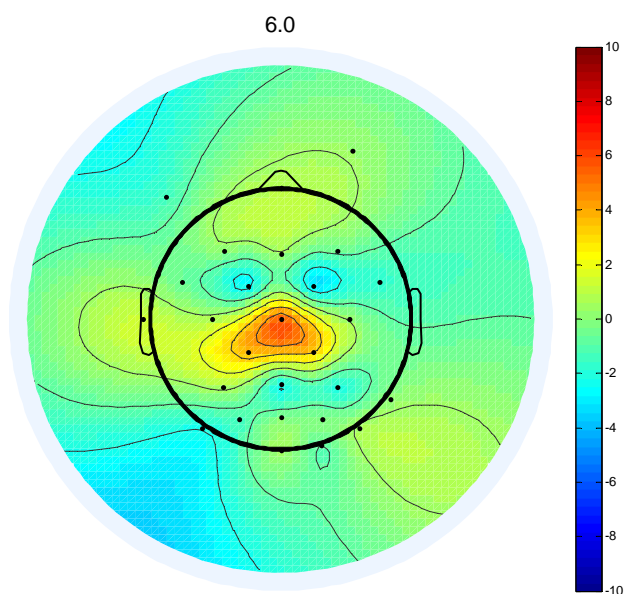
Εικ.4.10.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 8 Hz στα 40-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα



Εικ.4.10.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 8 Hz στα 40-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα



Εικ.4.11.α: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 6 Hz στα 30-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα



Εικ.4.11.β: Χάρτης Φασματικής Ισχύος Εγκεφαλικών Κυμάτων των 6 Hz στα 30-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.1

ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ

```
1.unit Satietest;

2. interface

3. uses
4. Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
5. Dialogs, MPlayer, StdCtrls;
6. function Out32(wAddr:word;bOut:byte):byte; stdcall; external 'inpout32.dll';

7. type
8. TForm1 = class(TForm)
9. Button1: TButton;
10. MediaPlayer1: TMediaPlayer;
11. procedure Button1Click(Sender: TObject);
12. procedure Delay(dwMilliseconds: Longint);
13. private
14. { Private declarations }
15. public
16. { Public declarations }
17. end;

18. var
19. Form1: TForm1;

20. implementation

21. {$R *.dfm}

22. procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
23. var
24. a:byte;

25. begin
26. MediaPlayer1.Close;
27. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\Satie_cos.wav');
28. MediaPlayer1.Open;
29. a:=1;
30. Out32($378,a);
31. delay(50);
32. a:=0;
33. Out32($378,a);
34. MediaPlayer1.Play;

35. Delay(61050);
```

36. a:=2;
37. Out32(\$378,a);
38. delay(50);
39. a:=0;
40. Out32(\$378,a);
41. MediaPlayer1.Close;
42. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\delay_8sec.wav');
43. MediaPlayer1.Open;
44. a:=3;
45. Out32(\$378,a);
46. delay(50);
47. a:=0;
48. Out32(\$378,a);
49. MediaPlayer1.Play;

50. Delay(8050);
51. a:=4;
52. Out32(\$378,a);
53. delay(50);
54. a:=0;
55. Out32(\$378,a);
56. MediaPlayer1.Close;
57. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\Satie_dis.wav');
58. MediaPlayer1.Open;
59. a:=5;
60. delay(50);
61. a:=0;
62. Out32(\$378,a);
63. Out32(\$378,a);
64. MediaPlayer1.Play;

65. Delay(61050);

66. a:=6;
67. Out32(\$378,a);
68. delay(50);
69. a:=0;
70. Out32(\$378,a);
71. MediaPlayer1.Close;
72. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\delay_8sec.wav');
73. MediaPlayer1.Open;
74. a:=3;
75. Out32(\$378,a);
76. delay(50);
77. a:=0;
78. Out32(\$378,a);
79. MediaPlayer1.Play;

80. Delay(8050);
81. a:=4;
82. Out32(\$378,a);
83. delay(50);
84. a:=0;
85. Out32(\$378,a);
86. MediaPlayer1.Close;

```
87. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\Satie_dis.wav');
88. MediaPlayer1.Open;
89. a:=5;
90. Out32($378,a);
91. delay(50);
92. a:=0;
93. Out32($378,a);
94. MediaPlayer1.Play;

95. Delay(61050);

96. a:=6;
97. Out32($378,a);
98. delay(50);
99. a:=0;
100. Out32($378,a);
101. MediaPlayer1.Close;
102. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\delay_8sec.wav');
103. MediaPlayer1.Open;
104. a:=3;
105. Out32($378,a);
106. delay(50);
107. a:=0;
108. Out32($378,a);
109. MediaPlayer1.Play;

110. Delay(8050);
111. a:=4;
112. Out32($378,a);
113. delay(50);
114. a:=0;
115. Out32($378,a);
116. MediaPlayer1.Close;
117. MediaPlayer1.FileName:=('C:\chopin\Satie_cos.wav');
118. MediaPlayer1.Open;
119. a:=1;
120. Out32($378,a);
121. delay(50);
122. a:=0;
123. Out32($378,a);
124. MediaPlayer1.Play;

125. Delay(61050);

126. a:=2;
127. Out32($378,a);
128. delay(50);
129. a:=0;
130. Out32($378,a);
131. end;

132. procedure TForm1.Delay(dwMilliseconds: Longint);
```

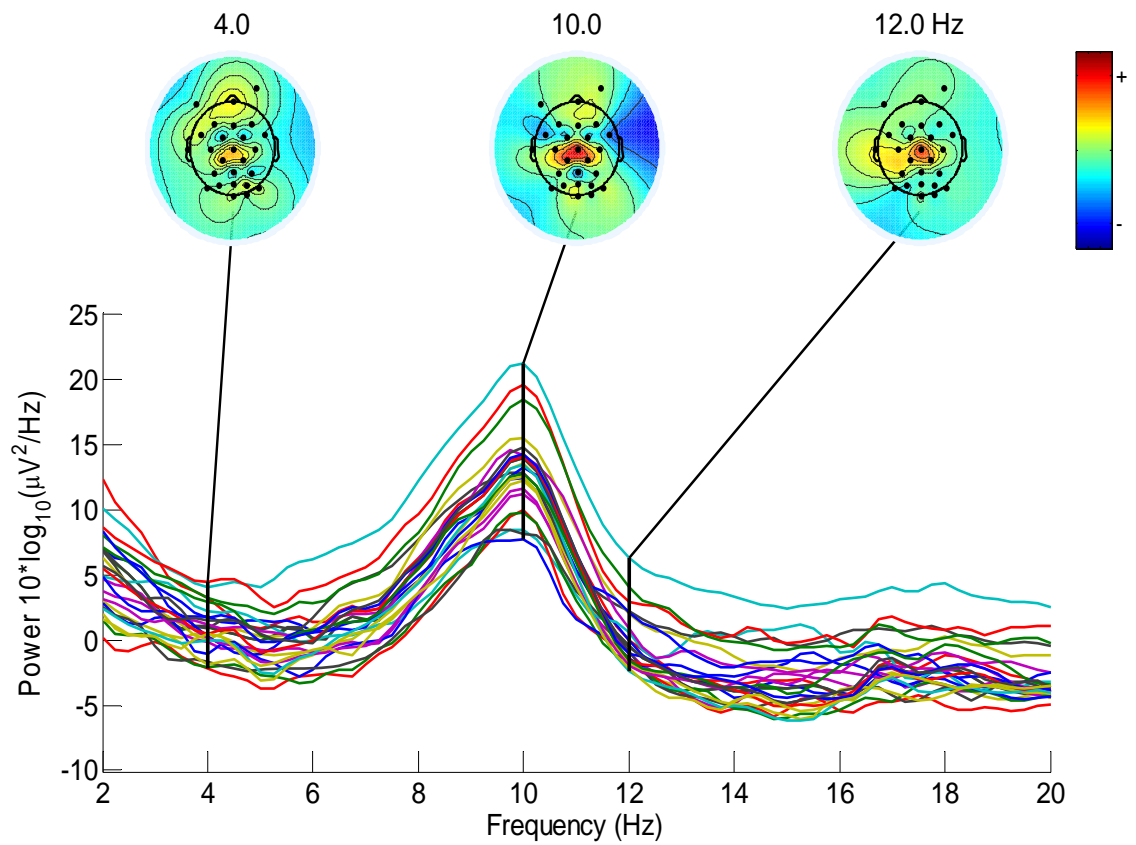


```
133. var
134. iStart, iStop: DWORD;
135. begin
136. iStart := GetTickCount;
137. repeat
138. iStop := GetTickCount;
139. Application.ProcessMessages;
140. Sleep(1);
141. until (iStop - iStart) >= dwMilliseconds;
142. end;

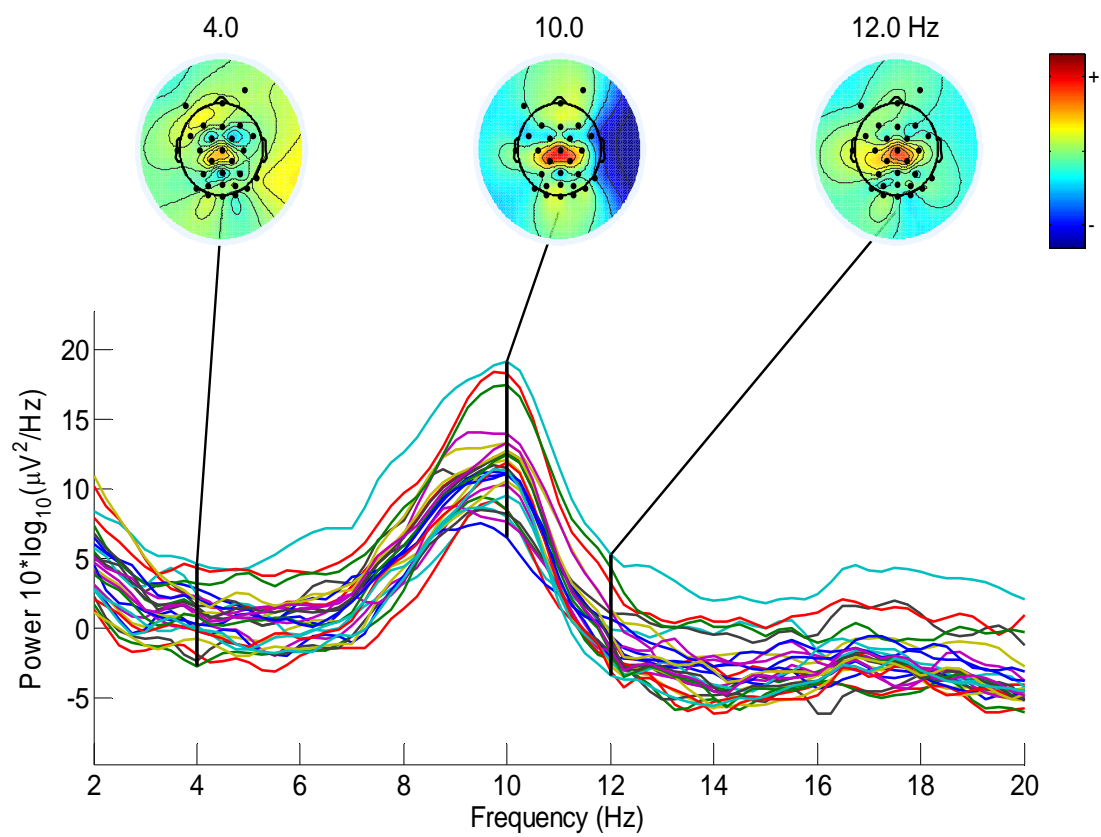
143. end.
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.2

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ



Χαρακτηριστικό Διάγραμμα φάσματος ισχύος στα 20-40 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα. Η μέγιστη τιμή της ισχύος παρατηρείται κοντά στα 10 Hz γύρω από το κανάλι Cz.



Χαρακτηριστικό Διάγραμμα φάσματος ισχύος στα 20-40 sec από όλα δυσαρμονικά αποσπάσματα. Η μέγιστη τιμή της ισχύος παρατηρείται κοντά στα 10 Hz γύρω από το κανάλι Cz.

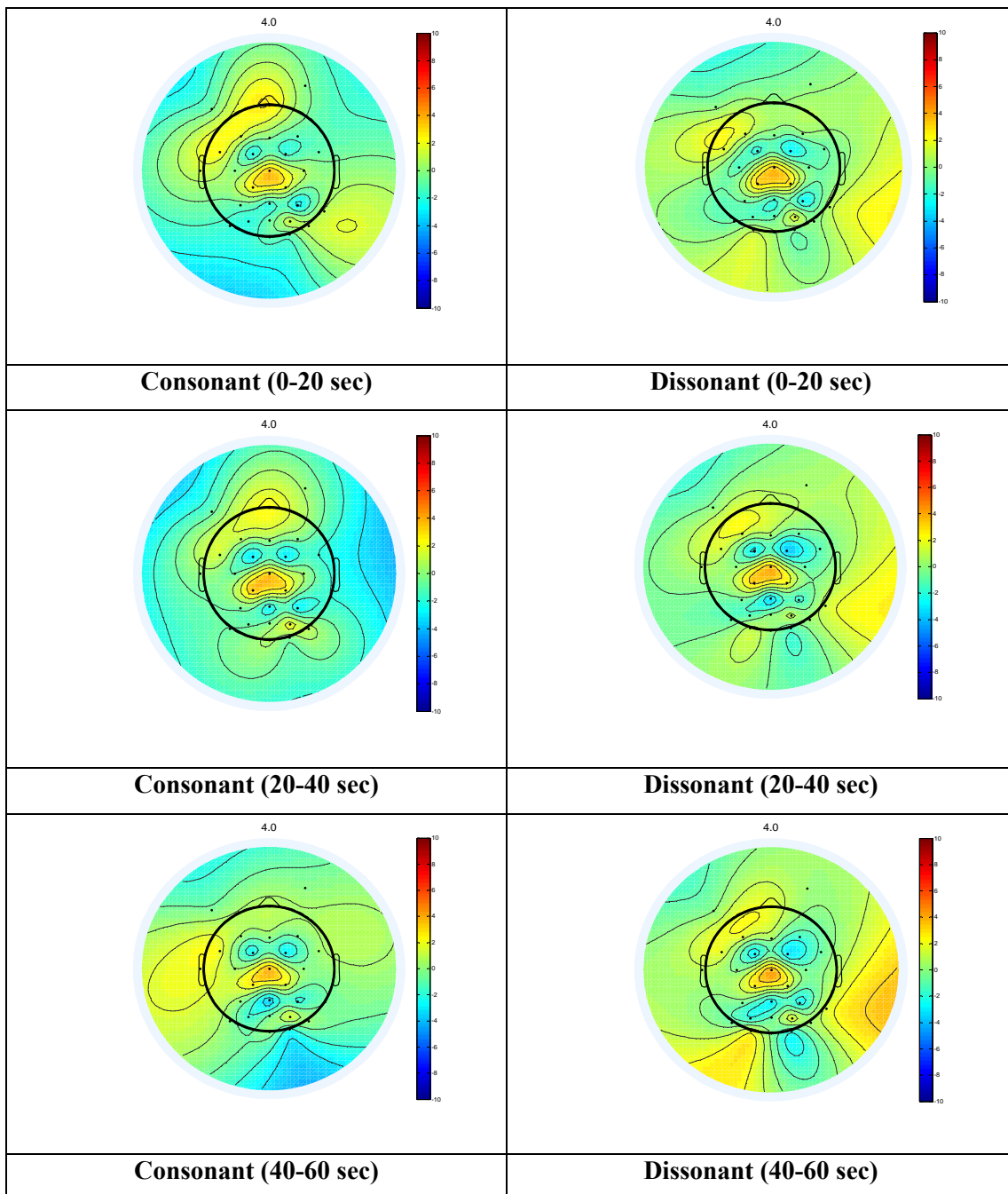
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.3

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑ ΧΡΟΝΙΚΑ

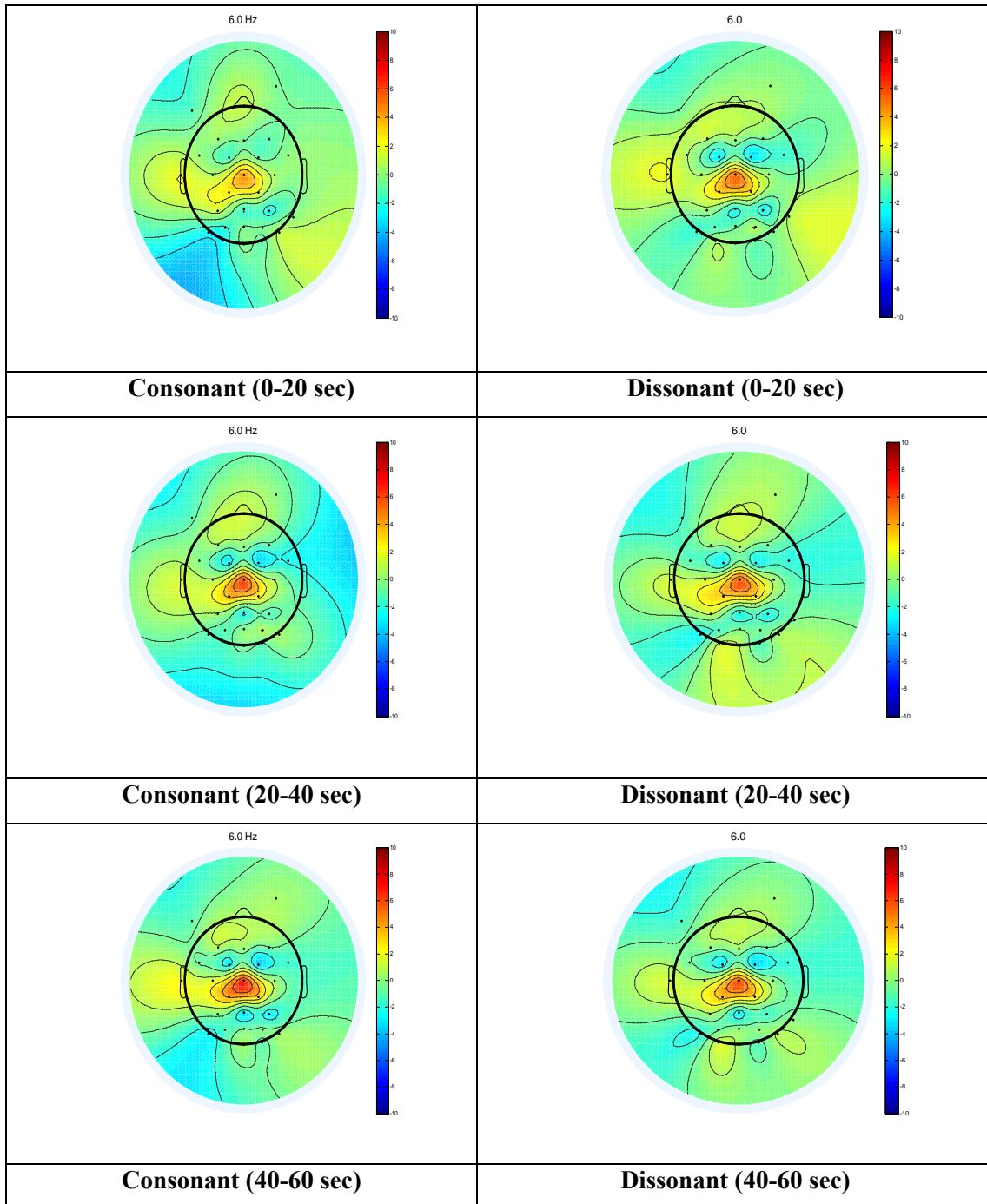
ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ

(0-20 sec), (20-40 sec) & (40-60 sec)

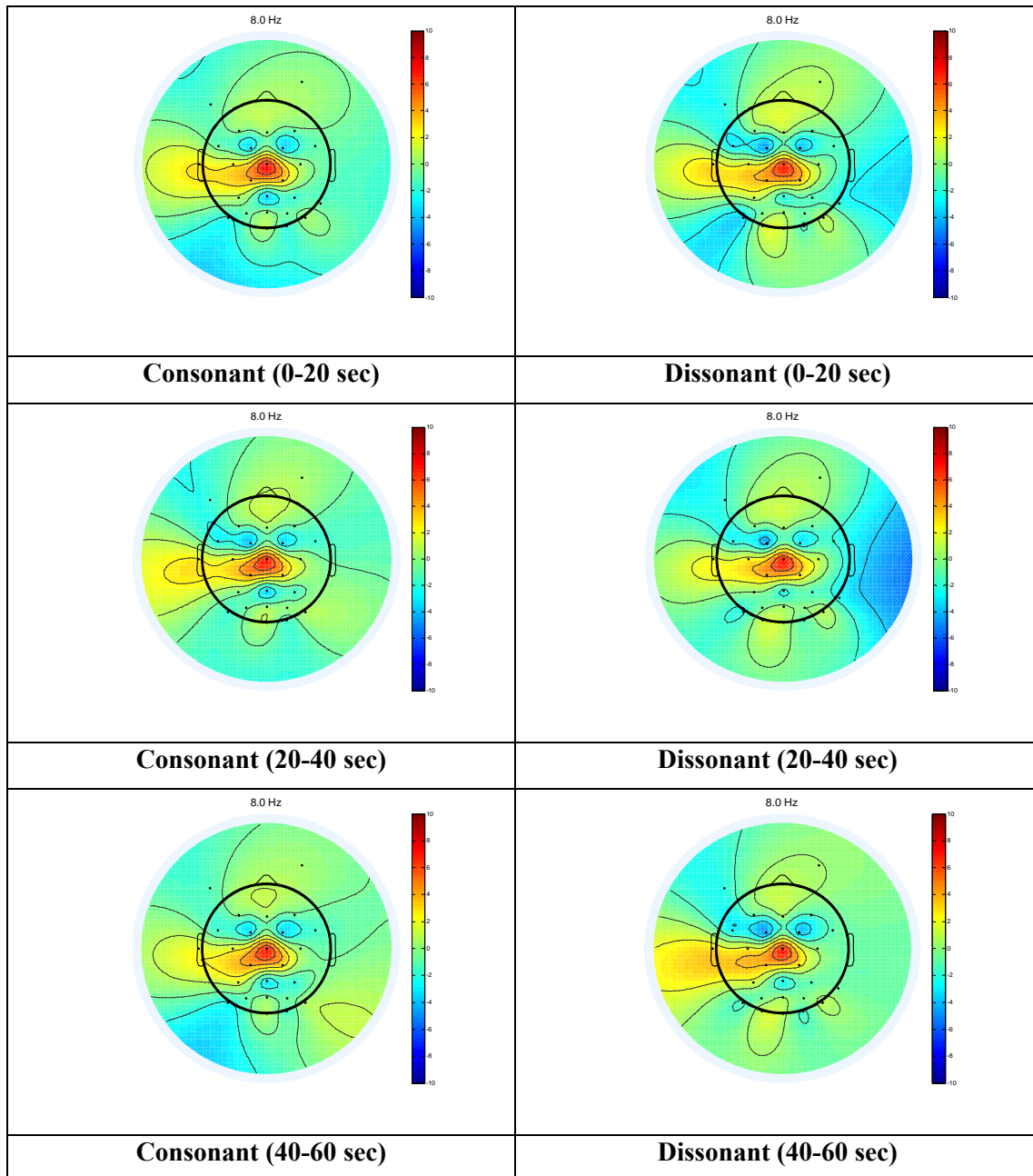
I. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 4Hz



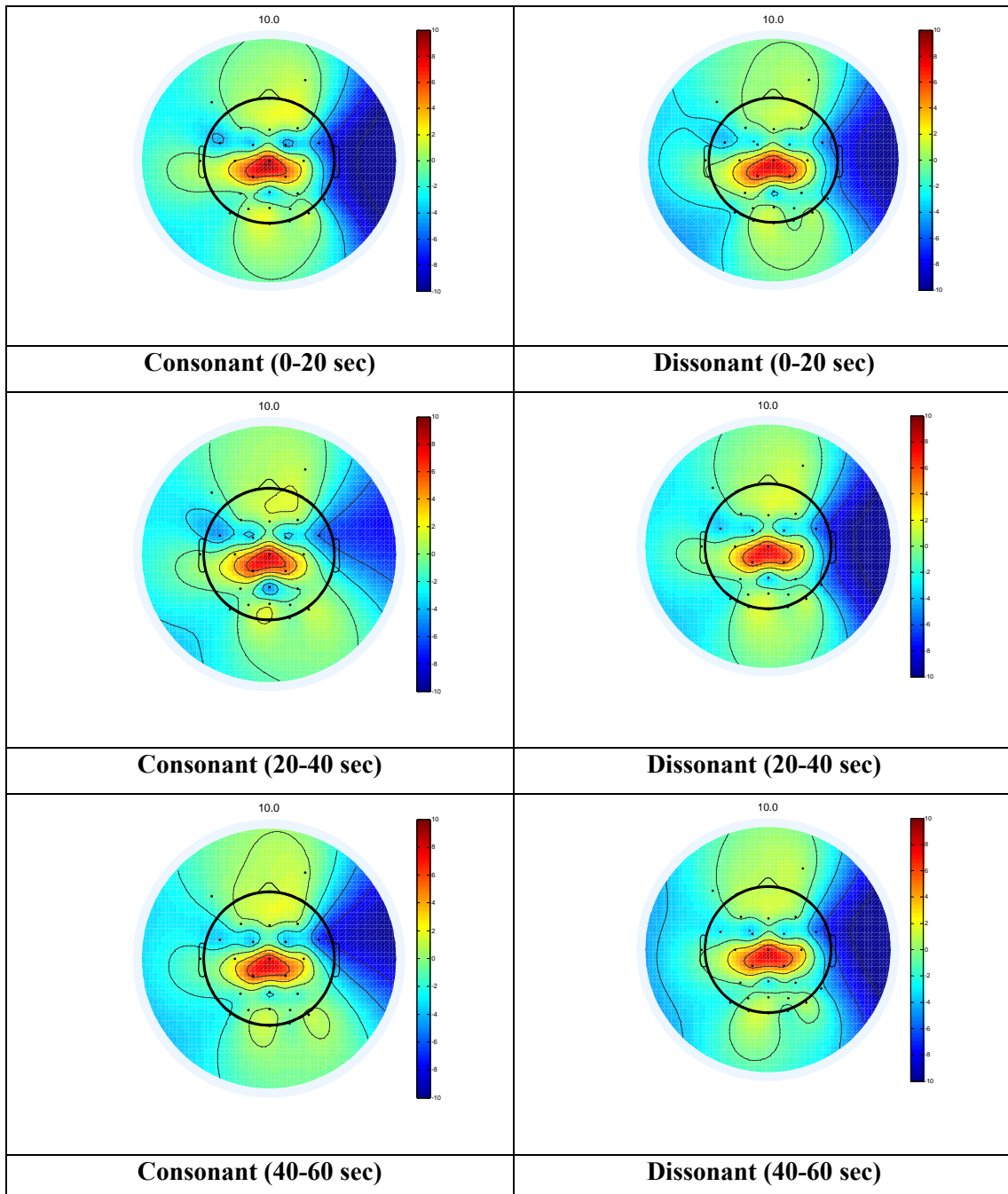
II. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 6Hz



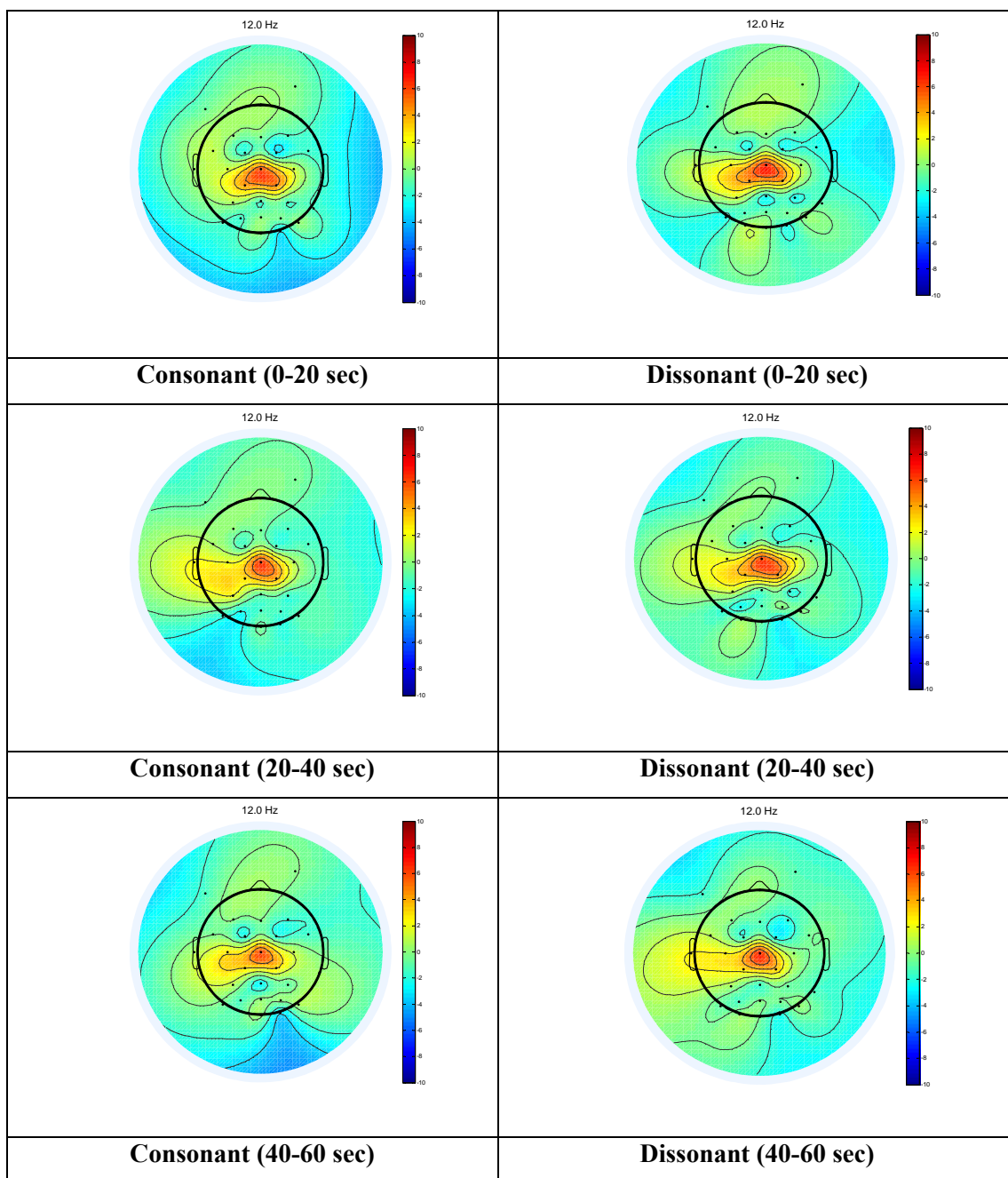
III. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 8Hz



IV. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 10Hz



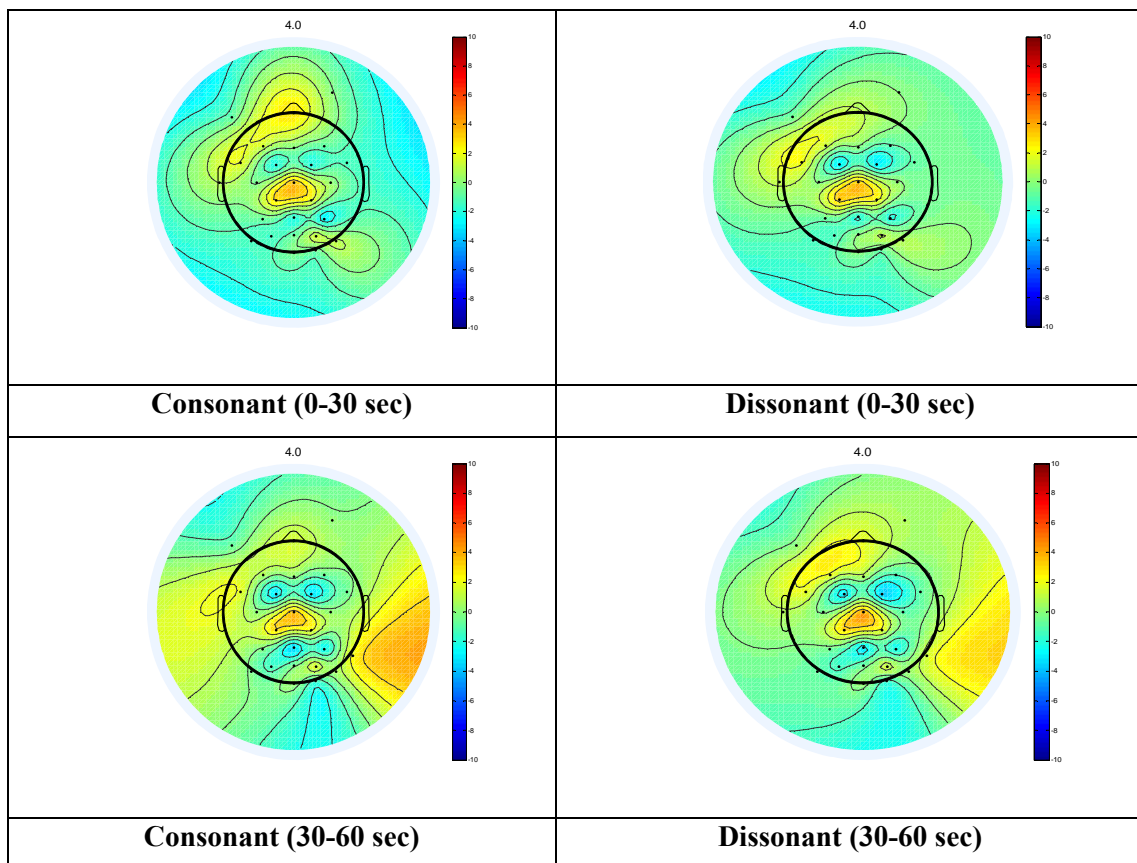
V. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 12Hz



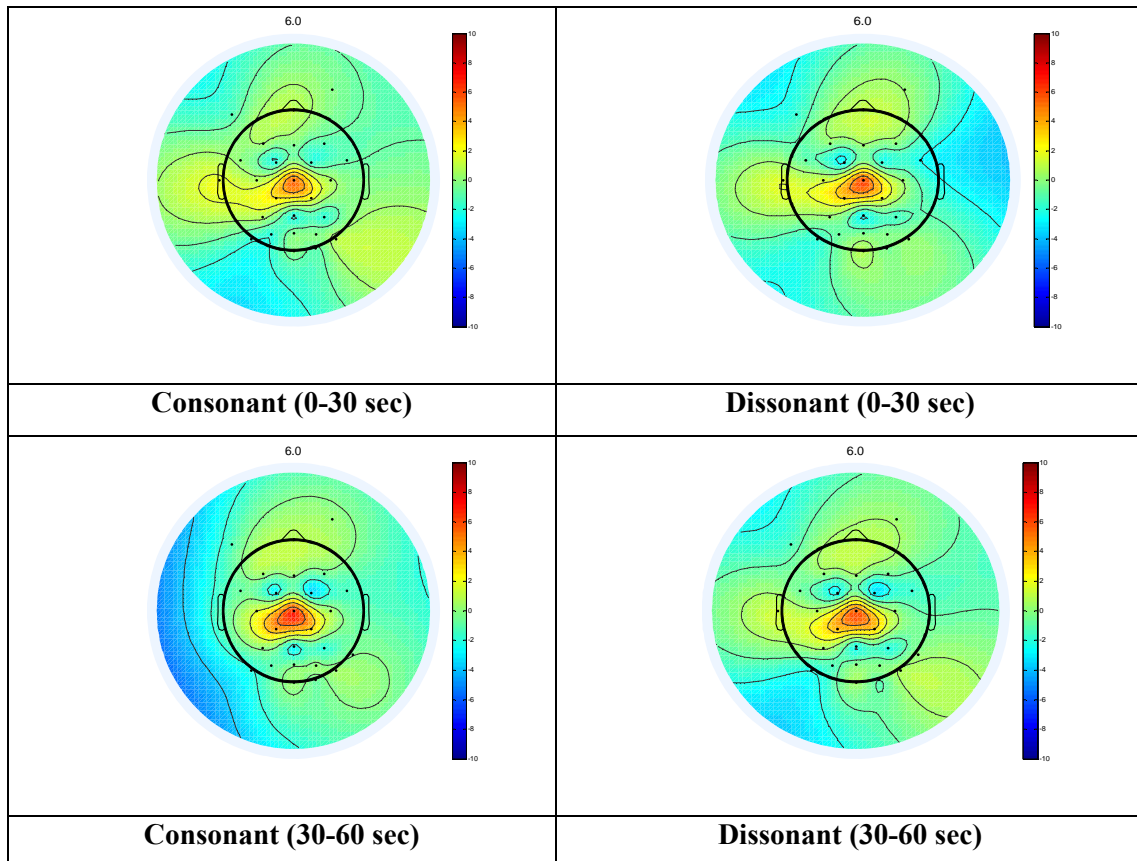
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.4

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ (0-30 sec) & (30-60 sec)

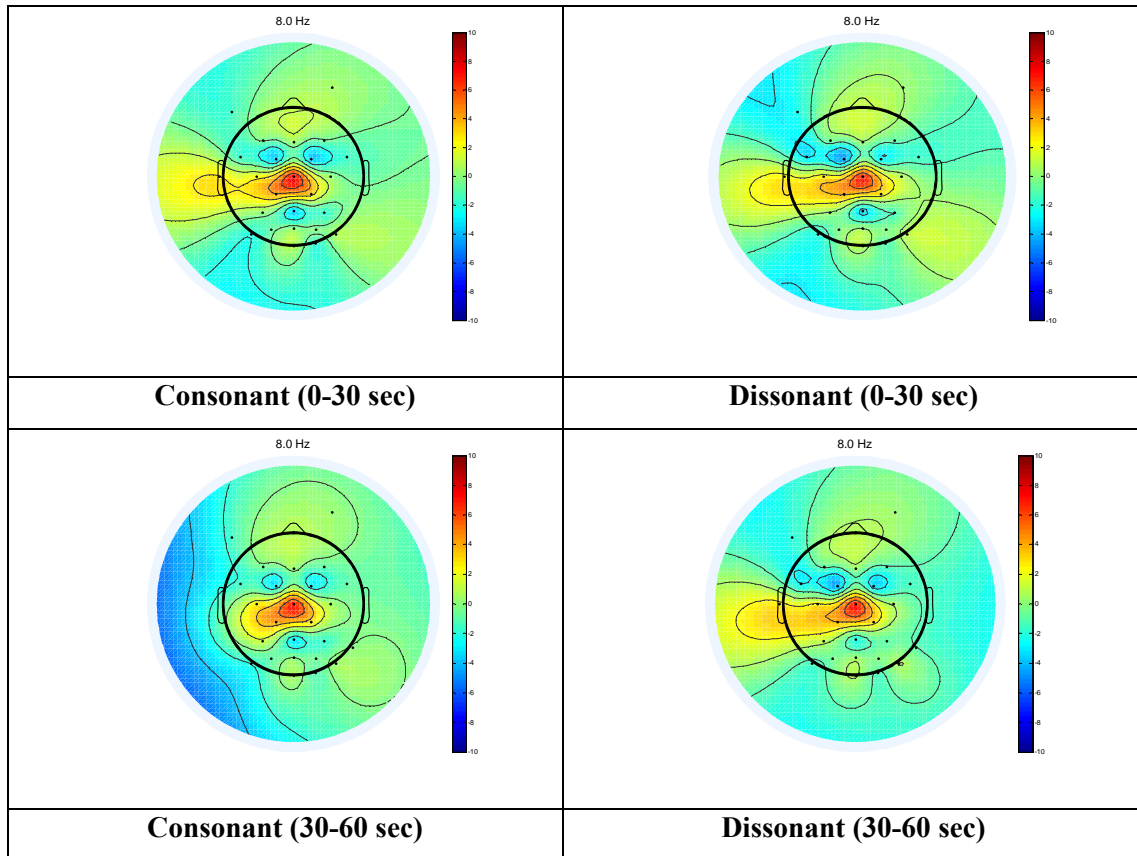
I. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 4Hz



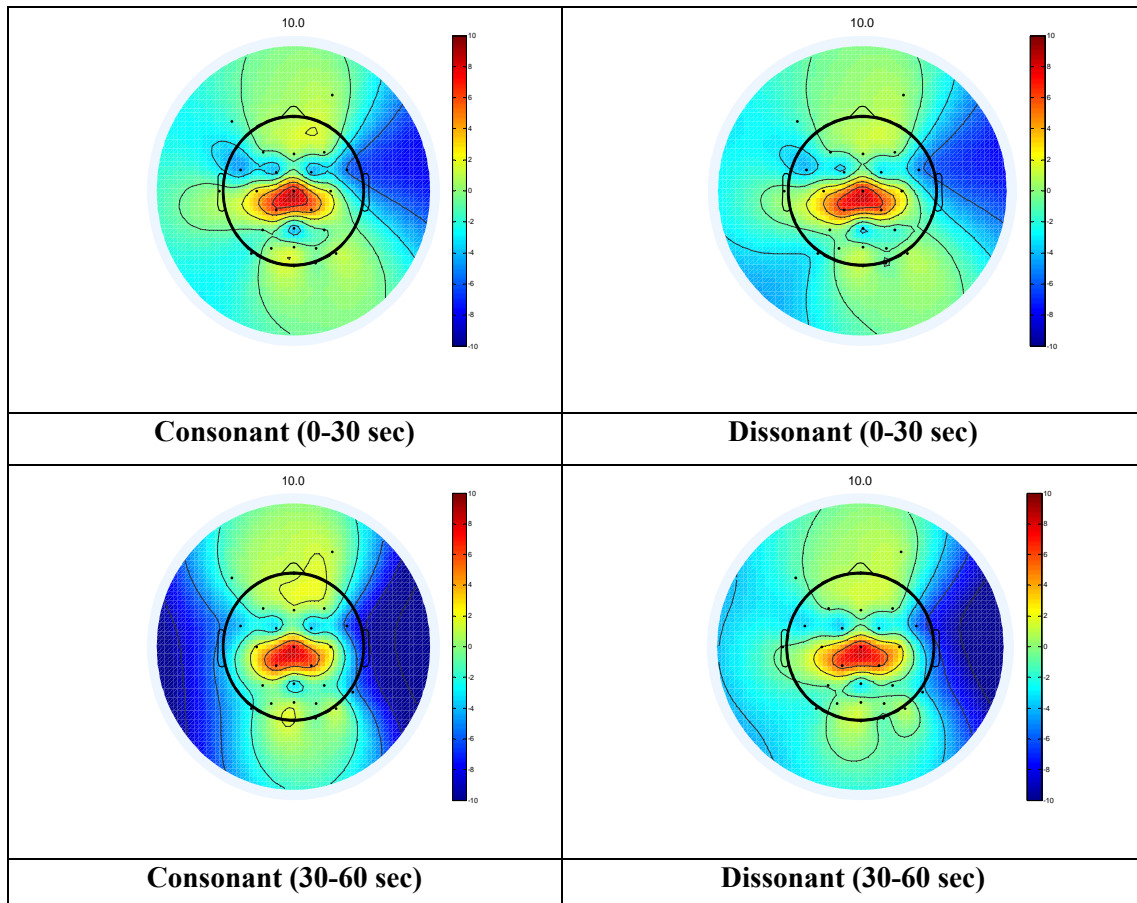
II. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 6Hz



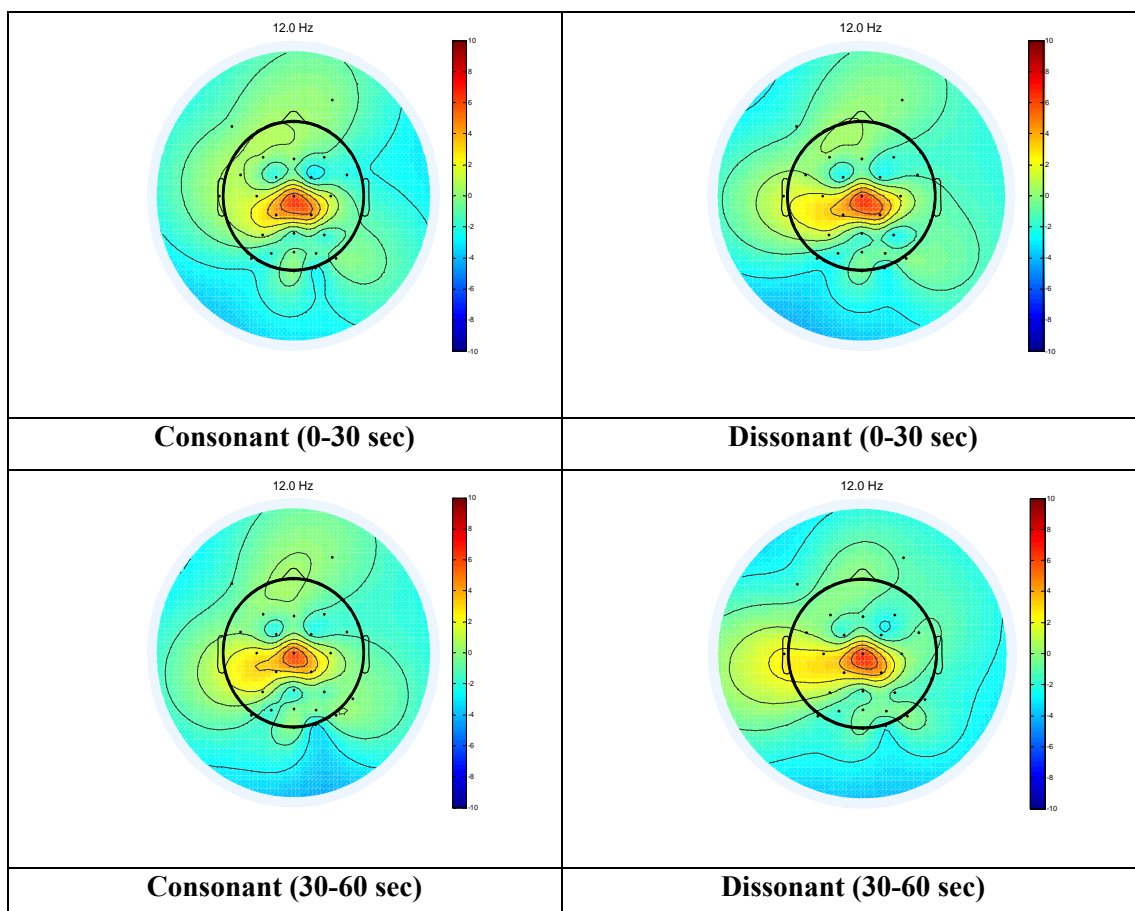
III. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 8Hz



IV. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 10Hz

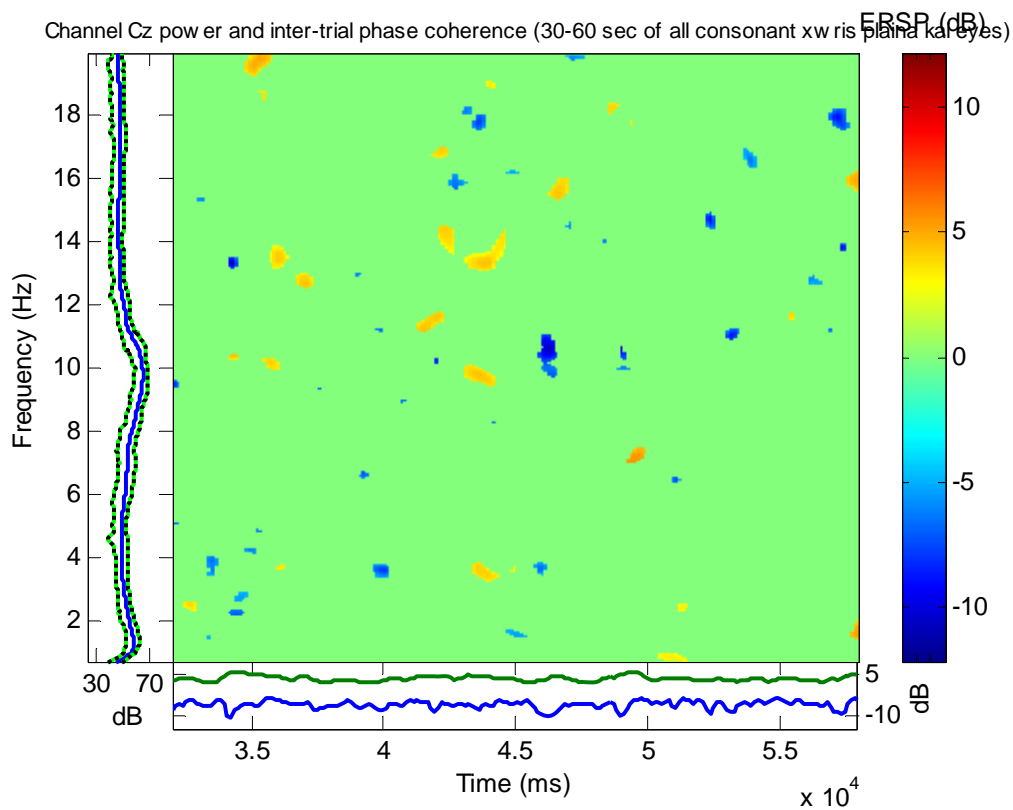


V. Χάρτες Ισχύος για εγκεφαλικά κύματα των 12Hz

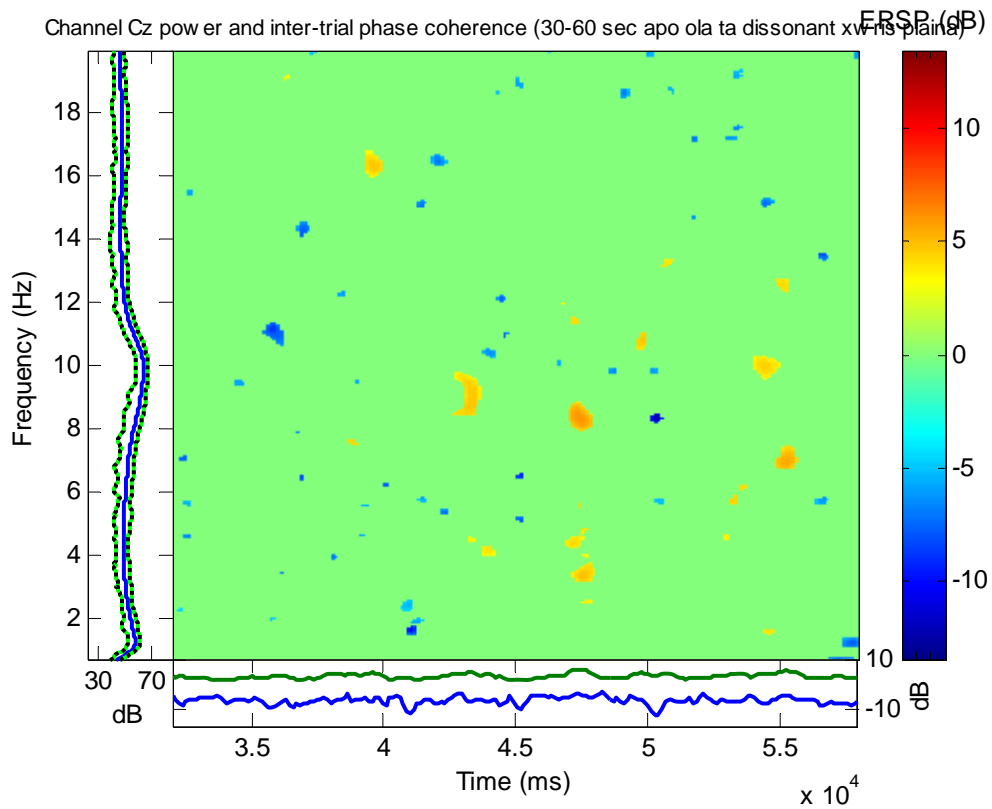


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.5

Συγκριτικά Διαγράμματα Χρόνου-Συχνότητας στο κανάλι μέγιστης ενεργοποίησης Cz



Εικ.1: Διάγραμμα Χρόνου-Συχνότητας στο κανάλι μέγιστης ενεργοποίησης Cz
στα 30-60 sec από όλα τα αρμονικά αποσπάσματα



Εικ.2: Διάγραμμα Χρόνου-Συχνότητας στο κανάλι μέγιστης ενεργοποίησης Cz στα 30-60 sec από όλα τα δυσαρμονικά αποσπάσματα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1]. D. Sammler, M. Grigutsch, T. Fritz, S. Koelsch, “Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music”, *Psychophysiology*, 2007, vol 44; number 2, pages 293-304, 2007.
- [2]. S. Koelsch, T. Fritz, D.Y von Cramon, K. Muller, A.D. Friederici, “Investigating emotion with music: An fMRI study.” *Human Brain Mapping*, 27,239-250, 2006.
- [3]. E. Niedermeyer, “The Normal EEG of the Waking Mult. In”, E. Niedermeyer & F. Lopes da Silv4 eds, *Electroencephalography:Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore MD, pp. 149-173, 1999.
- [4]. D. L. Schacter, “EEG theta waves and physiological phenomena: A review and analysis”, *Biological Psychology*, 5,47-82, 1977.
- [5]. H. Asada, Y. Fukuda, S. Tsunoda, M. Yamaguchi, M.Tonoike, “Frontal modline theta rhythms reflect alternative activation of prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in humans”. *Neuroscience Letters*,274,29-32, 1999.
- [6]. K. Sasaki, T. Tsujimoto, A. Nambu, R. Matsuzaki, S. Kyuhou, “Dynamic activities of the frontal association cortex in calculating and thinking”. *Neuroscience Research*, 19, 229–233, 1994.
- [7]. M. Gabriel, S.P. Sparenborg, N. Stolar “An executive function of the hippocampus: Pathway selection for thalamic neuronal significance code”. In R. L. Isaacson & K. H. Pribram (Eds.), *The hippocampus* (pp. 1–39). New York: Plenum, 1986
- [8]. A. Gevins, M.E. Smith, L. McEvoy, D. Yu, “High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice”, *Cerebral Cortex*, 7, 374–385, 1997.

- [9]. O. Jensen, C. D. Tesche, “Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task”, *European Journal of Neuroscience*, 15, 1395–1399, 2002.
- [10]. W. Klimesch, B. Schack, P. Sauseng, “The functional significance of theta and upper alpha oscillations”, *Experimental Psychology*, 52, 99–108, 2005.
- [11]. L.K. McEvoy, E. Pellouchoud, M.E. Smith, A. Gevins, “Neurophysiological signals of working memory in normal aging”, *Cognitive Brain Research*, 11, 363–376, 2001.
- [12]. J. Onton, A. Delorme, S. Makeig, “Frontal midline EEG dynamics during working memory”, *Neuroimage*, 27, 341–356, 2005.
- [13]. P. Luu, D. M. Tucker, “Regulating action: Alternating activation of midline frontal and motor cortical networks”, *Clinical Neurophysiology*, 112, 1295–1306, 2001.
- [14]. P. Luu, D.M. Tucker, D. Derryberry, M. Reed, C. Poulsen, “Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation”. *Psychological Science*, 14, 47–53, 2003.
- [15]. P. Luu, D. M. Tucker, S. Makeig, “Frontal midline theta and the error-related negativity: Neurophysiological mechanisms of action regulation”, *Clinical Neurophysiology*, 115, 1821–1835, 2004.
- [16]. L.I. Aftanas, S.A. Golocheikine, “Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: High-resolution EEG investigation of meditation”. *Neuroscience Letters*, 310, 57–60, 2001.
- [17]. L.I. Aftanas, S.A. Golocheikine, “Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: High-resolution EEG investigation of meditation”. *Neuroscience Letters*, 310, 57–60, 2001.

- [18]. G. Bush, P. Luu, M.I. Posner, “Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex”. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 215–222, 2000.
- [19]. A.J. Blood, R.J. Zatorre, P. Bermudez, A.C. Evans, “Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions”, *Nature Neuroscience*, 2,382–387, 1999.
- [20]. R.J. Davidson, “Cerebral asymmetry, emotion, and affective style”. In R. J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry* (pp. 361–387). Cambridge: MIT Press, 1995.
- [21]. K.M. Heilman, “The neurobiology of emotional experience”, *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 9, 439–448, 1997.
- [22]. L.A Schmidt, L. J. Trainor, “Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions”, *Cognition and Emotion*, 15, 487–500, 2001.
- [23]. C.D. Tsang, L.J. Trainor, D.L. Santesso, S. L Tasker, L.A.Schmidt, “Frontal EEG responses as a function of affective musical features”. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 439–442, 2001.
- [24]. D. Sammler, M. Grigutsch, T. Fritz, S. Koelsch, “Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music”, *Psychophysiology*, 44 (2007), 293–304.
- [25]. L.J Trainor, B.M. Heinmiller, “The development of evaluative responses to music: Infants prefer to listen to consonance over dissonance”, *Infant Behavior & Development*, 21, 77–88, 1998.
- [26]. A.J. Blood, R.J. Zatorre, P. Bermudez, A.C. Evans, “Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions”. *Nature Neuroscience*, 2,382–387, 1999.

[27]. M.M. Bradley, P.J. Lang, “Measuring emotion: Behavior, feeling, and physiology”. In R. D. Lane & L. Nadel (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 242–276). Oxford: Oxford University Press, 2000.

[28]. B.N Cuthbert, M.M. Bradley, P.J Lang, “Probing picture perception: Activation and emotion”, *Psychophysiology*, 33, 103–111, 1996.

[29]. P. J.Lang, M.M Bradley, B.N. Cuthbert, “Motivated attention: Affect, activation, and action.” In P. J. Lang, R. F. Simons, & M. T. Balaban (Eds.), *Attention and orienting: Sensory and motivational processes* (pp. 97–135). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1997.

