



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ- ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

---

**“Καταγραφή και ανάλυση εγκεφαλικών κυμάτων κατά τη  
μουσική ακρόαση τραγουδιών βαθμονομημένης μουσικής  
προτίμησης μέσω τεχνολογιών φορητής  
ηλεκτροεγκεφαλογραφίας”**

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΜΕΑΣ: ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ / ΜΟΥΣΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

της φοιτήτριας

**ΣΤΑΜΠΟΛΙΔΟΥ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑ**

ΑΕΜ: 1775

Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Αδάμος, Ε.ΔΙ.Π

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2018



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>6</b>
<b>1. ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΑΣ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Εισαγωγή .....	8
1.2. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα και Εγκέφαλος.....	8
1.3. Ο νευρώνας.....	10
1.3.1. Η δομή του νευρώνα .....	10
1.3.2. Ηλεκτρικές ιδιότητες των νευρώνων.....	12
1.3.3. Συναπτική διαβίβαση .....	14
<b>2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>16</b>
2.1. Εισαγωγή .....	16
2.2. Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας.....	16
2.2.1. Επεμβατικές Μέθοδοι .....	16
2.2.2. Μη-επεμβατικές Μέθοδοι .....	19
2.3. Εγκεφαλικά κύματα.....	26
<b>3. ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ- ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ.....</b>	<b>28</b>
3.1. Εισαγωγή .....	28
3.2. Κλινικές εφαρμογές.....	29
3.3. Μη κλινικές εφαρμογές .....	30
3.3.1. Brain- Computer Music Interfaces (BCMIs) .....	32
3.4. Φορετές συσκευές EEG .....	33
<b>4. ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑ .....</b>	<b>36</b>
4.1. Εισαγωγή .....	36
4.2. Η σημασία της μουσικής στη ζωή του ανθρώπου [32] .....	36
4.3. Μουσική αντίληψη.....	37

<b>4.4.</b>	<b>Μουσική και Συναίσθημα .....</b>	<b>39</b>
4.4.1.	Διακριτικό μοντέλο συναισθημάτων.....	39
4.4.2.	. Διαστατό μοντέλο συναισθημάτων.....	40
<b>4.5.</b>	<b>Φυσιολογικές μετρικές συναισθηματικών αποκρίσεων στη μουσική ακρόαση</b>	<b>41</b>
<b>4.6.</b>	<b>Εγκεφαλικές αποκρίσεις στη μουσική .....</b>	<b>44</b>
4.6.1.	EEG και αναγνώριση μουσικών συναισθημάτων.....	44
4.6.2.	EEG και υποκειμενική μουσική προτίμηση .....	45
<b>5.</b>	<b>ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.</b>	<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.</b>	<b>Προετοιμασία πειράματος.....</b>	<b>48</b>
5.2.1.	Ανοιχτή πρόσκληση .....	49
5.2.2.	Συνέντευξη.....	49
5.2.3.	Συλλογή και επεξεργασία απαντήσεων .....	49
5.2.4.	Συλλογή και επεξεργασία ηχητικού υλικού .....	50
5.2.5.	Δημιουργία υπολογιστικού πρότυπου .....	52
5.2.6.	Επαναληπτική συνέντευξη .....	54
5.2.7.	Προγραμματισμός πειραμάτων .....	55
5.2.8.	Προετοιμασία χώρου και εξοπλισμού .....	56
<b>5.3.</b>	<b>Διεξαγωγή του πειράματος.....</b>	<b>58</b>
5.3.1.	Εισαγωγή πειράματος .....	58
5.3.2.	Έναρξη- Πρώτο μέρος.....	59
5.3.3.	Διάλειμμα .....	60
5.3.4.	Δεύτερο μέρος- Ολοκλήρωση .....	60
<b>5.4.</b>	<b>Wild Sessions.....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>62</b>
<b>6.1.</b>	<b>Αποτελέσματα.....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.</b>	<b>Συζήτηση .....</b>	<b>65</b>
<b>7.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I – ΦΟΡΕΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ EEG.....</b>	<b>68</b>
<b>8.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II- ΤΙΤΛΟΙ ΤΡΑΓΟΥΔΙΩΝ .....</b>	<b>71</b>
<b>9.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III –ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ .....</b>	<b>78</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>80</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην πειραματική καταγραφή εγκεφαλικών κυμάτων μέσω τεχνολογιών φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (wearable EEG) από δέκα υγιή υποκείμενα γένους θηλυκού, κατά τη διάρκεια μουσικής ακρόασης τραγουδιών. Η επιλογή των τραγουδιών έγινε σε προσωποποιημένη βάση από τους συμμετέχοντες και συμπεριέλαβε τραγούδια ισοκατανεμημένα σε τρεις κατηγορίες βαθμονομημένης μουσικής προτίμησης (αδιάφορα, ευχάριστα και αγαπημένα).

Ο στόχος του πειράματος είναι να συνεισφέρει στην ερευνητική δραστηριότητα του επιβλέποντος για την δημιουργία ενός συστήματος διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή που εκτιμά αυτόματα τη μουσική προτίμηση του ακροατή, αποκωδικοποιώντας τα εγκεφαλικά κύματα και μεταφράζοντας τα στην τυποποιημένη κλίμακα βαθμολογίας πέντε αστεριών. Πιο συγκεκριμένα, να επιτρέψει την ανίχνευση προτύπων χαρακτηριστικών στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα τα οποία συσχετίζονται με το βαθμονομημένο δείκτη προσωποποιημένης μουσικής προτίμησης κάθε υποκειμένου, κατά τη μουσική ακρόαση. Η συσχέτιση αυτή εξετάζεται ανεξάρτητα από τα είδη των συναισθημάτων που μπορεί να προκαλούνται από τα τραγούδια που συμμετέχουν στη μουσική ακρόαση και οι πιθανές εφαρμογές του συστήματος αφορούν τις διαδικτυακές ηλεκτρονικές μουσικές υπηρεσίες.

Η εργασία εισάγει αρχικά τον αναγνώστη στις βασικές αρχές της Νευροεπιστήμης, στις τεχνικές νευροαπεικόνισης εστιάζοντας στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG), στην έννοια και λειτουργία των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή και στο επιστημονικό υπόβαθρο της μουσική αντίληψης. Στη συνέχεια περιγράφει αναλυτικά την υλοποίηση όλων των σταδίων της προετοιμασίας και της διεξαγωγής του πειράματος. Τέλος παρατίθεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο φασματικής ανάλυσης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Λέξεις-Κλειδιά: Φορητή ηλεκτροεγκεφαλογραφία, Μουσική αξιολόγηση, Διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή.

# ABSTRACT

The present diploma thesis is about the design, preparation and orchestration of a scientific experiment, in order to record brainwaves from ten healthy female subjects during the music listening by means of wearable electroencephalography (EEG). The selection of songs was performed on a personalised basis by the subjects and included songs evenly distributed in three ranked categories of subjective music preference (OK, pleasant and favourite).

The aim of the experiment is to contribute to the supervisor's research efforts to create a brain-computer interface that would automatically assess the listener's musical preference by decoding brainwaves and translating them into the standard five star rating scale. More specifically, to enable the extraction of delicate EEG signal features that would appropriately correlate with the personalized music appreciation index of each subject during music listening. This association is examined regardless the type of emotions induced by the songs involved in the music listening task, as potential applications are sought in the domain of online music recommendation services.

The manuscript introduces basic principles of Neuroscience, neuroimaging techniques focusing on EEG and Brain-Computer Interfaces. It then presents the scientific background in music perception and describes in detail all stages of the experiment. Finally, a first round of results based on spectral analysis of the EEG signal is presented.

Key words: Wearable electroencephalography, Music evaluation, Brain-computer interfaces.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική εργασία αφορά στο σχεδιασμό, την προετοιμασία και τη διεξαγωγή επιστημονικού πειράματος για την καταγραφή μέσω φορητού ηλεκτροεγκεφαλογράφου των εγκεφαλικών κυμάτων δέκα υποκειμένων γένους θηλυκού, κατά την ακρόαση τραγουδιών που επέλεξαν και βαθμονόμησαν οι ίδιες οι συμμετέχουσες με βάση την μουσική τους προτίμηση. Ο σκοπός της εργασίας είναι να συμβάλει στο ευρύτερο ερευνητικό έργο του επιβλέποντος.

Τα εγκεφαλικά κύματα καταγράφονται μέσω φορητού εξοπλισμού ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (EEG). Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία είναι μία μη-επεμβατική μέθοδος νευροαπεικόνισης, εύκολη στη χρήση σε σχέση με άλλες μεθόδους. Πραγματοποιείται με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής, υπολογίζοντας το ηλεκτρικό δυναμικό του κάθε ηλεκτροδίου σε σύγκριση με «ουδέτερα» ηλεκτρόδια αναφοράς.

Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία είναι μια καθιερωμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως στο κλινικό περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια βέβαια έχει εισχωρήσει στο «φυσικό περιβάλλον» κυρίως λόγω της διάθεσης στον καταναλωτικό χώρο πολύ διακριτικών και φιλικών στη χρήση φορητών και «φορητών» (wearable) συσκευών EEG. Αυτή η μεγάλη ευκολία στη χρήση των συσκευών ηλεκτροεγκεφαλογραφίας επέκτεινε παράλληλα και τα όρια του επιστημονικού πεδίου των «διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή» (Brain-Computer Interfaces - BCIs) στο φυσικό περιβάλλον και σε εφαρμογές ψυχαγωγικής και καλλιτεχνικής φύσης.

Το ερευνητικό πεδίο στο οποίο συνεισφέρει η παρούσα διπλωματική εργασία, έχει ως απώτερο στόχο την δημιουργία ενός συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή που να αποκωδικοποιεί τα εγκεφαλικά κύματα και να προβλέπει τις μουσικές προτιμήσεις των ακροατών, στέλνοντας τες συνδεδεμένες διαδικτυακές μουσικές υπηρεσίες με τη μορφή βαθμολογίας στην τυποποιημένη κλίμακα των πέντε αστεριών.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων δημιουργία ενός μοντέλου μουσικών προτιμήσεων του ακροατή, με στόχο την

συσχέτιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας τους κατά την ακρόαση με τις αντίστοιχες αξιολογήσεις τους. Για την δημιουργία του μοντέλου και την διεξαγωγή των πειραμάτων της ακρόασης, προηγήθηκε μια περίοδος προετοιμασίας. Η προετοιμασία συμπεριλάμβανε τα εξής βήματα:

- Ανοιχτή πρόσκληση: εύρεση των υποκειμένων.
- Συνέντευξη: ενημέρωση των υποκειμένων σχετικά για το σκοπό του πειράματος, τη διαδικασία και τις υποχρεώσεις τους.
- Συλλογή και επεξεργασία απαντήσεων: έλεγχος των τραγουδιών που επιλέχτηκαν για τυχόν μη-επεξεργάσιμες μορφές, και διορθώσεις.
- Συλλογή και επεξεργασία ηχητικού υλικού: επιλογή του πιο χαρακτηριστικού αποσπάσματος των τραγουδιών, και κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό την ομοιομορφία και την ομαλή εναλλαγή των τραγουδιών.
- Δημιουργία υπολογιστικού πρότυπου: χτίσιμο της ροής του πειράματος στο σχετικό λογισμικό (experiment builder).
- Επαναληπτική συνέντευξη: επιβεβαίωση των επιλογών των υποκειμένων.
- Προγραμματισμός πειραμάτων: ηλεκτρονική οργάνωση του προγράμματος.
- Προετοιμασία χώρου και εξοπλισμού: εγκατάσταση του εξοπλισμού για την διεξαγωγή του πειράματος στο χώρο.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων αφορούσε α) στην εισαγωγή και περιγραφή της διαδικασίας στην συμμετέχουσα και β) σε δύο τμήματα ακρόασης δεκαπέντε τραγουδιών στο καθένα.

Η παρούσα εργασία πέραν της αναλυτικής καταγραφής των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν για την προετοιμασία και την διεξαγωγή των πειραμάτων, συμπεριλαμβάνει και το απαραίτητο υλικό για την ομαλή εισαγωγή του αναγνώστη α) στη λειτουργία του εγκεφάλου και των νευρώνων, β) στις σύγχρονες μεθόδους νευροαπεικόνισης, γ) στις διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή και δ) στην προεπισκόπηση των βασικών αρχών της μουσικής αντίληψης και του σχετικού ερευνητικού χώρου. Τέλος, παρουσιάζεται ένα πρώτο επίπεδο φασματικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα που συλλέχτηκαν από τις πειραματικές διαδικασίες.



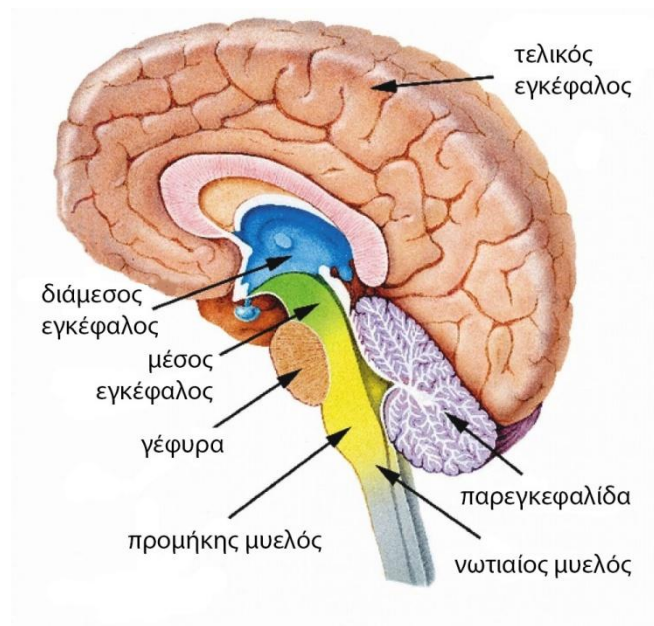
# 1. ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ ΚΑΙ ΝΕΥΡΩΝΑΣ

## 1.1. Εισαγωγή

Ο εγκέφαλος είναι το πιο πολύπλοκο όργανο του ανθρώπινου σώματος και η πιο τέλεια «μηχανή». Έχει την ικανότητα να μετατρέπει τα σήματα από εκατομμύρια αισθητήρες σε όλο το σώμα, σε μηχανικές ή αισθητηριακές εντολές. Η πηγή της ενέργειας του είναι ο νευρώνας, μία ηλεκτροχημική συσκευή που δέχεται και μεταφέρει πληροφορίες σε εκατοντάδες άλλους νευρώνες [1].

## 1.2. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα και Εγκέφαλος

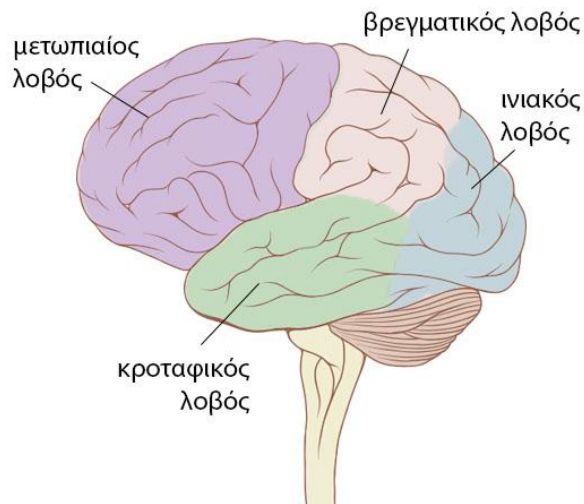
Ο εγκέφαλος αποτελεί μέρος του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος του ανθρώπου. Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα αποτελείται από επτά κύρια μέρη: νωτιαίος μυελός, προμήκης μυελός, γέφυρα, παρεγκεφαλίδα, μέσος εγκέφαλος, διάμεσος εγκέφαλος και τελικός εγκέφαλος [2].



Εικόνα 1: Διατομή Εγκεφάλου- Ανατομία του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. (προσαρμογή από <sup>1</sup>)

<sup>1</sup><https://doctormedi.ru/el/anatomy/sagittal-section-of-the-brain-the-brain-structure-functions-its-tasks-and-diseases.html>

- *Νωτιαίος μυελός:* Είναι το κατώτερο τμήμα του ΚΝΣ. Δέχεται και επεξεργάζεται πληροφορίες από το δέρμα, τις αρθρώσεις και τους μυς των άκρων. Ο νωτιαίος μυελός συνεχίζεται προς το εγκεφαλικό στέλεχος το οποίο αποτελείται από τον προμήκη μυελό, τη γέφυρα και το μέσο εγκέφαλο.
- *Προμήκης μυελός:* Βρίσκεται πάνω από τον νωτιαίο και είναι υπεύθυνος για ζωτικές λειτουργίες όπως πέψη, αναπνοή και καρδιακός ρυθμός.
- *Γέφυρα:* Βρίσκεται πάνω από τον προμήκη μυελό και μεταφέρει πληροφορίες που σχετίζονται με την κίνηση από τα ημισφαίρια προς την παρεγκεφαλίδα.
- *Παρεγκεφαλίδα:* Βρίσκεται στο πίσω μέρος της γέφυρας και είναι υπεύθυνη για την τροποποίηση της δύναμης, το εύρος κίνησης και την εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων.
- *Μέσος εγκέφαλος:* Βρίσκεται πάνω από τη γέφυρα και σχετίζεται με αισθητικές- κινητικές λειτουργίες όπως οφθαλμικές κινήσεις και οπτικοακουστικά αντανακλαστικά.
- *Διάμεσος εγκέφαλος:* Κείται άνω του μέσου εγκέφαλου και αποτελείται από το θάλαμο, που επεξεργάζεται πληροφορίες του φλοιού, και τον υποθάλαμο, που σχετίζεται με ενδοκρινικές και σπλαχνικές λειτουργίες.
- *Τελικός εγκέφαλος:* Ο τελικός εγκέφαλος (πρόσθιος), που είναι αυτός που κυρίως μας απασχολεί στο πλαίσιο αυτής διπλωματικής εργασίας, αποτελείται από τα δυο ημισφαίρια, το δεξί και το αριστερό, τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με μια βαθιά επιμήκη σχισμή και σχηματίζουν στην επιφάνεια τους εμβυθύνσεις (αύλακες) και προβολές (έλικες). Οι αύλακες και οι έλικες επιτρέπουν την αναδίπλωση της μεγάλης έκτασης του φλοιού σε σχετικά μικρό όγκο[3]. Τα ημισφαίρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, διαιρούνται σε λοβούς με βάση την θέση τους στο κρανίο (μετωπιαίος, βρεγματικός, ινιακός, κροταφικός) και διαχωρίζονται από τα βασικά ορόσημα (πλάγια, κεντρική και βρεγματοϊνιακή αύλακα). Ο πέμπτος λοβός, η νήσος του Reil, είναι ορατός μόνο με τη διάνοιξη της πλάγιας αύλακας[4].



Εικόνα 2: Οι θέσεις των τεσσάρων ορατών εγκεφαλικών λοβών. (προσαρμογή από <sup>2</sup>)

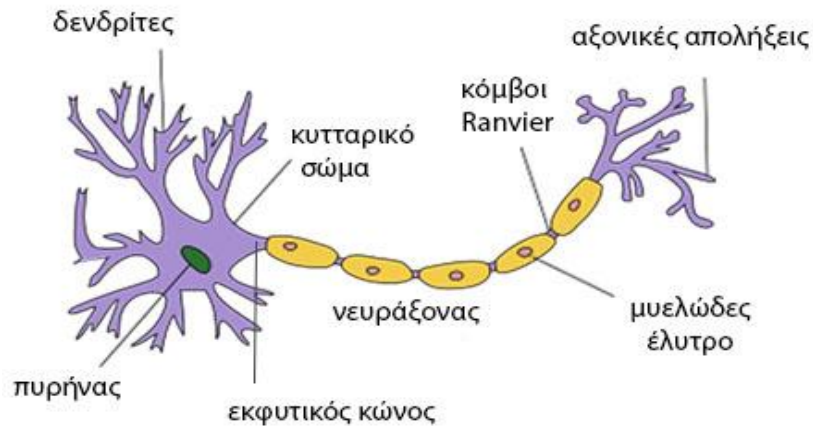
Ο φλοιός παρουσιάζει συγκεκριμένες λειτουργίες σε κάθε αντίστοιχη περιοχή του. Για παράδειγμα, η ινιακή περιοχή σχετίζεται με την επεξεργασία οπτικών ερεθισμάτων ενώ η βρεγματική με την κινητική και χωρική αντίληψη. Η οπτική και ακουστική αναγνώριση γίνεται στον κροταφικό, ενώ ο μετωπιαίος λοβός είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό και τις ανώτερες αντιληπτικές λειτουργίες [1]. Πιο συγκεκριμένα, στο κάτω μέρος της πλάγιας αύλακας βρίσκεται μέρος του ακουστικού φλοιού, ενώ άνω της πλάγιας αύλακας υπάρχουν δύο περιοχές που σχετίζονται με την κατανόηση του λόγου (περιοχή Wernicke, στον βρεγματικό λοβό) και την εκφορά λόγου (περιοχή Broca, στον μετωπιαίο λοβό). Η άνω περιοχή του εγκεφάλου περιλαμβάνει τον κινητικό, προκινητικό και τον αισθητικό φλοιό [5].

### 1.3.0 νευρώνας

#### 1.3.1. Η δομή του νευρώνα

Παρ' όλο που ο κάθε τύπος νευρώνα έχει την δική του εξειδίκευση και δεν υπάρχει μια γενική μορφή νευρώνα, οι κινητικοί νευρώνες συνήθως χρησιμοποιούνται ως υποδείγματα τυπικού νευρώνα. Μακροδομικά ένας νευρώνας αποτελείται από το σώμα του κυττάρου, τους δενδρίτες, τον άξονα και τις αξονικές απολήξεις[4].

<sup>2</sup> [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain\\_stem\\_normal\\_human.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_stem_normal_human.svg)



Εικόνα 3: Η δομή του νευρώνα. (προσαρμογή από 2)

- **Κυτταρικό σώμα:** Είναι το κέντρο μεταβολισμού και αποτελείται από τον πυρήνα, ο οποίος περιέχει τις γενετικές πληροφορίες του κυττάρου. Το σώμα του νευρώνα περιέχει επίσης και πολλά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την συντήρηση, την παροχή ενέργειας και τη μεταφορά μορίων μέσα στο κύτταρο όπως το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο που είναι υπεύθυνο για τη σύνθεση πρωτεϊνών, το σύμπλεγμα Golgi και τα μιτοχόνδρια[4].
- **Δενδρίτες:** Είναι προεξοχές του κυτταρικού σώματος και έχουν μορφή διακλαδώσεων. Λειτουργία τους είναι η υποδοχή σημάτων από άλλα νευρικά κύτταρα. Οι δενδρίτες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του νευρώνα.
- **Νευράξονας:** Αποτελεί επίσης προεκβολή του κυτταρικού σώματος και έχει μορφή σωληνοειδούς κατασκευής. Συνδέεται με το σώμα μέσω του εκφυτικού κώνου, ο οποίος είναι η θέση εκκίνησης του δυναμικού ενέργειας. Ποικίλλει σημαντικά ως προς το μήκος του, με άξονες να κυμαίνονται από 0,1mm έως και 2m, ενώ η διάμετρος του κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 20 μm. Πολλοί νευράξονες περιβάλλονται από ένα λιπώδες μονωτικό υλικό που ονομάζεται μυελώδες έλυτρο που προέρχεται από ολιγοδενδροκύτταρα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος και κύτταρα Schwann του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος, και το οποίο διακόπτεται ανά διαστήματα από τους κόμβους Ranvier. Η μυελίνη είναι σημαντική για

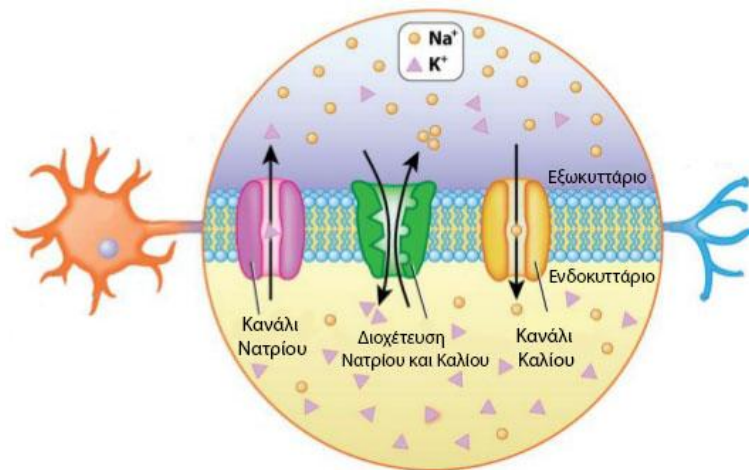
την ενίσχυση των νευρωνικών σημάτων. Οι κόμβοι είναι γυμνές θέσεις στις οποίες αναγεννάται το δυναμικό ενέργειας[2].

- *Αξονικές απολήξεις:* Αποτελεί μέρος της περιοχής όπου ο άξονας εκτείνεται σε κλάδους οι οποίοι επικοινωνούν και διαβιβάζουν σήματα με άλλους νευρώνες δημιουργώντας σημεία “επαφής” που ονομάζονται συνάψεις. Οι κλάδοι αυτοί μπορούν να σχηματίσουν συνάψεις μέχρι και με 1000 άλλους νευρώνες.

### **1.3.2. Ηλεκτρικές ιδιότητες των νευρώνων**

Οι νευράξονες μεταδίδουν ηλεκτρικές ώσεις, τύπου *όλον ή ουδέν*, που ονομάζονται δυναμικά ενέργειας. Τα δυναμικά ενέργειας δημιουργούνται στον εκφυτικό κώνο και είναι σύντομες νευρικές ώσεις με εύρος 10mV και διάρκεια 1ms. Το εύρος παραμένει σταθερό σε όλο το μήκος του άξονα διότι η ώση αναγεννάται όσο τον διατρέχει. Τα δυναμικά ενέργειας προέρχονται από ποικίλες αιτίες και αποτελούν τα σήματα που χρησιμοποιεί ο εγκέφαλος για την επεξεργασία και μεταφορά πληροφοριών. Παρόλο που αυτά δημιουργούνται από διάφορα ερεθίσματα (οπτικά, μηχανικά, οσφρητικά κλπ), είναι όμοια. Η αντίληψη αυτών εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την ανάλυση και την ερμηνεία αυτών των σημάτων από τον εγκέφαλο. Και η ανάλυση αυτή δεν εξαρτάται από τον τύπο του σήματος αλλά από την οδό του εγκεφάλου στην οποία κατευθύνεται [2].

Οι νευρώνες, κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης τους, διατηρούν μια διαφορά ηλεκτρικού φορτίου 65mV η οποία ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας. Αυτή δημιουργείται από την άνιση κατανομή ιόντων καλίου, νατρίου και χλωρίου μεταξύ της μεμβράνης και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Έτσι θέτεται το εσωτερικό της μεμβράνης αρνητικά φορτισμένο σε σχέση με το εξωτερικό. Το δυναμικό ηρεμίας ισούται με -65mV, διότι το εξωτερικό δυναμικό ορίζεται αυθαίρετα ως μηδενικό.

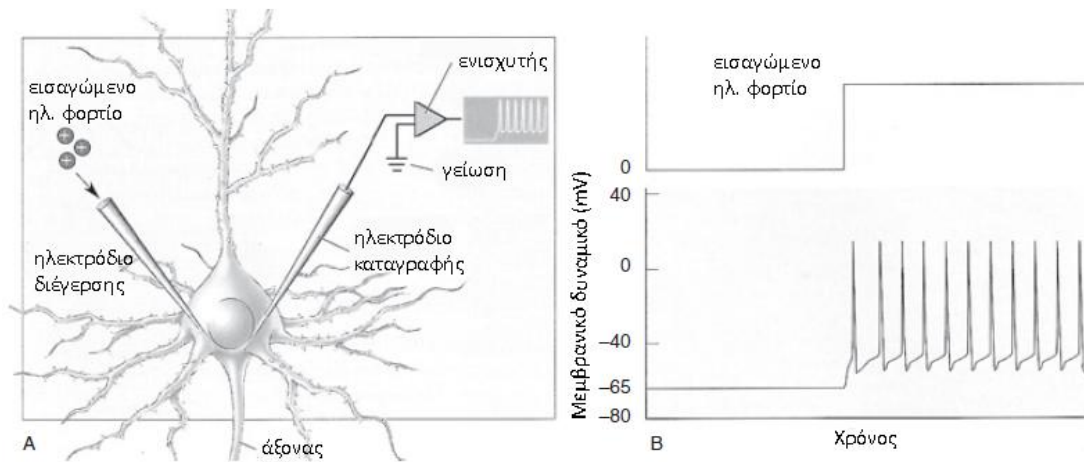


Εικόνα 4: Οι δίοδοι Νατρίου και Καλίου στην κυτταρική μεμβράνη του νευράξονα. (προσαρμογή από<sup>3</sup>)

Η μεμβράνη του άξονα περιέχει ιοντικά κανάλια (βλ. Εικόνα 4), που ανοιγοκλείνουν επιτρέποντας την μεταφορά ηλεκτρικά φορτισμένων ιόντων μέσα και έξω από το κύτταρο ως απάντηση στην ηλεκτρική εκπόλωση της μεμβράνης του άξονα. Κάποια κανάλια αποτελούν πέρασμα ιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και κάποια ιόντων καλίου ( $\text{K}^+$ ) [4].

Τα δυναμικά ενέργειας που ξεκινούν από το αρχικό τμήμα των νευραξόνων, προκαλούν τα κανάλια νατρίου να ανοίξουν με αποτέλεσμα ένα κύμα ιόντων να εισχωρήσει μέσα στο κύτταρο και να δημιουργηθεί μια νέα ισορροπία. Η εσωτερική τάση μεταβάλλεται από αρνητική σε θετική. Αυτή η μεταβολή προκαλεί τις οδούς του καλίου να ανοίξουν και ιόντα να εξέρθουν από τη μεμβράνη και το δυναμικό επανέρχεται στην αρνητική του τιμή.

<sup>3</sup> <https://www.slideshare.net/dryuktisharma/action-potentials-animal-systems>

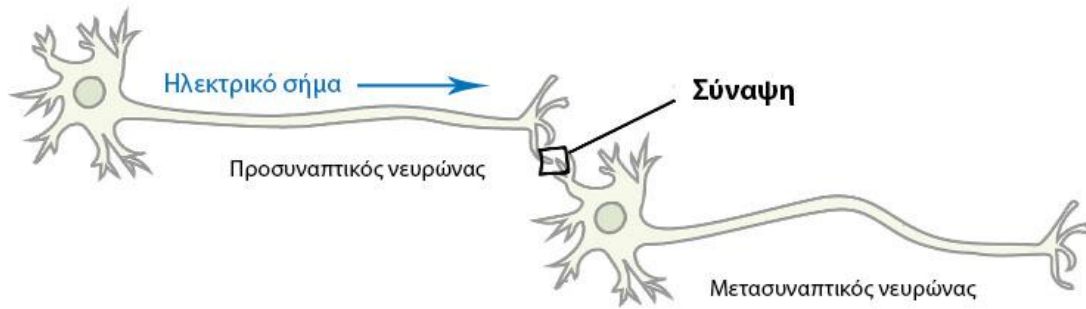


Εικόνα 5: A) απεικόνιση της πειραματικής διαδικασίας εισαγωγής φορτίου (θετικά ιόντα) στο κυτταρικό σώμα του νευρώνα με την χρήση ενός ηλεκτροδίου διεγέρσης και την καταγραφή των αλλαγών του δυναμικού με ένα ηλεκτρόδιο καταγραφής. B) αποτέλεσμα εισαγωγής επαρκές φορτίου που οδηγεί στη δημιουργία μιας σειράς από spikes. Κάθε ίχνος δυναμικού ενέργειας (spike) ανεβαίνει απότομα ξεπερνώντας τα 0mV και ξαναπέφτει. (προσαρμογή από [6])

Όταν δημιουργείται διέγερση σε ένα σημείο της μεμβράνης και παράγεται δυναμικό ενέργειας η μεταφορά ιόντων νατρίου αλλάζει το εξωκυττάριο περιβάλλον δημιουργώντας τοπική ροή φορτίων στις πλησιέστερες περιοχές του άξονα. Εξαιτίας της μυελίνης γίνεται επανεκκίνηση του δυναμικού στον διπλανό κόμβο με αποτέλεσμα την μετάδοση του δυναμικού ενέργειας [4].

### 1.3.3. Συναπτική διαβίβαση

Η σύναψη είναι ουσιαστικά ένα κενό ανάμεσα στον άξονα ενός νευρώνα (προσυναπτικός νευρώνας) και τους δενδρίτες ενός άλλου (μετασυναπτικός νευρώνας). Όταν ο προσυναπτικός ενεργοποιηθεί, απελευθερώνονται χημικές ουσίες στην σύναψη, οι οποίες οδηγούν τα ιοντικά κανάλια του μετασυναπτικού να ανοίξουν και να ταράξουν τη δυναμική ισορροπία του [1].



Εικόνα 6: Απεικόνιση της σύναψης μεταξύ προσυναπτικού και μετασυναπτικού νευρώνα (προσαρμογή από <sup>4</sup>)

Οι συνάψεις των νευρώνων είναι είτε ηλεκτρικές είτε χημικές. Οι ηλεκτρικές διαβιβάσεις δεν παρατηρούνται μόνο στο νευρικό σύστημα και αποτελούν πιο στερεότυπες διαβιβάσεις που δεν δρουν ανασταλτικά, αλλά χρησιμεύουν για να στέλνουν κυρίως εκπολωτικές αποκρίσεις. Οι χημικές συνάψεις, αντίθετα, χαρακτηρίζονται από *πλαστικότητα*, δρώντας είτε διεγερτικά είτε ανασταλτικά. Η αλλαγή του δυναμικού που προκαλείται στη μεμβράνη του μετασυναπτικού κυττάρου ονομάζεται *μετασυναπτικό δυναμικό*. Αν η αλλαγή είναι θετική, τότε ονομάζεται διεγερτικό μετασυναπτικό δυναμικό, ενώ αν η αλλαγή είναι αρνητική ονομάζεται ανασταλτικό μετασυναπτικό δυναμικό. Αυτή η πλαστικότητα επιτρέπει στον εγκέφαλο να προσαρμόζεται σε διάφορες καταστάσεις και είναι σημαντική για τις ανώτερες λειτουργίες του εγκεφάλου όπως η μνήμη[2].

<sup>4</sup> <https://www.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-synapse>



## **2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ**

### **2.1. Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τη διερεύνηση και κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου ενισχύεται διαρκώς, εξαιτίας της βελτίωσης των τεχνικών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων των τεχνικών νευροαπεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας. Αυτές οι τεχνικές, τόσο επεμβατικές όσο και μη επεμβατικές, χρησιμοποιούνται ήδη εδώ και μερικές δεκαετίες για κλινικούς σκοπούς και ειδικότερα για την αποκατάσταση της κίνησης και επικοινωνίας ατόμων με σοβαρές παθήσεις (π.χ. τετραπληγία, σύνδρομο εγκλεισμού κλπ) [7]. Πρόσφατα, μη επεμβατικές μέθοδοι φορητής ηλεκτροεγκελογραφίας (wearable electroencephalography) έχουν αρχίσει να εντάσσονται στο καταναλωτικό περιβάλλον για προσωπική χρήση, είτε ερευνητική είτε ψυχαγωγική.

### **2.2. Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας**

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, σε επεμβατικές και μη-επεμβατικές:

#### **2.2.1. Επεμβατικές Μέθοδοι**

Οι μέθοδοι που επιτρέπουν την καταγραφή από συγκεκριμένες ομάδες νευρώνων ονομάζονται επεμβατικές διότι απαιτούν κάποιο είδος εγχείρησης, όπου ένα μέρος του κρανίου αφαιρείται και ένα ή περισσότερα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στον εγκεφαλικό φλοιό. Παρόλο που η καταγραφή δεν είναι επίπονη διαδικασία, διότι το εσωτερικό του εγκεφάλου δεν περιέχει υποδοχείς πόνου, η εγχείρηση και η ανάρρωση μπορεί να προκαλέσουν έντονη δυσφορία και φέρουν κίνδυνο εξαιτίας της πιθανότητας μόλυνσης. Γι' αυτό και αυτή η τεχνική αυτές δεν χρησιμοποιούνται εκτός από ειδικές ιατρικές περιπτώσεις που είναι απαραίτητο, όπως για παράδειγμα σε άτομα που πάσχουν από επιληψία [8]. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η δυνατότητα της καταγραφής της δραστηριότητας ενός μόνο νευρώνα όπως και η χρονική ανταπόκριση της μεθόδου που κυμαίνεται σε κλίμακα των χιλιοστών δευτερολέπτου (ms) [1].

### **Μικροηλεκτρόδια**

Ένα μικροηλεκτρόδιο είναι ένα πολύ λεπτό είδος ηλεκτρικού αγωγού που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει επαφή με τον εγκεφαλικό ιστό. Ένα τυπικό ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από βολφράμιο ή πλατίνα και είναι μονωμένο εκτός από την άκρη, η οποία έχει διάμετρο περίπου 1μm. Σε μερικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε ενδοκυτταρικές καταγραφές (βλ. επόμενη παράγραφο), οι νευροεπιστήμονες χρησιμοποιούν ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο που περιέχει ένα αδύναμο διάλυμα ηλεκτρολύτη παρόμοιο με τη σύνθεση του ενδοκυτταρικού υγρού [1].

### **Ενδοκυττάρια καταγραφή**

Ο πιο άμεσος τρόπος μέτρησης της δραστηριότητας ενός νευρώνα είναι μέσω ενδοκυττάριας καταγραφής, η οποία μετρά την τάση ή το ρεύμα κατά μήκος της μεμβράνης του νευρώνα. Η πιο συνηθισμένη τεχνική, γνωστή ως *patch clamp recording*, χρησιμοποιεί μια μικροπιπέτα από γυαλί με διάμετρο κορυφής 1 μm ή μικρότερη, η οποία είναι γεμάτη με ένα αδύναμο διάλυμα ηλεκτρολύτη, ιοντικά παρόμοιο με το ενδοκυτταρικό υγρό. Ένα ασημένιο σύρμα εισάγεται στη πιπέτα για να συνδέσει τον ηλεκτρολύτη με τον ενισχυτή. Η τάση μετριέται σε σχέση με το ηλεκτρόδιο αναφοράς που βρίσκεται σε επαφή με το εξωκυττάριο υγρό.

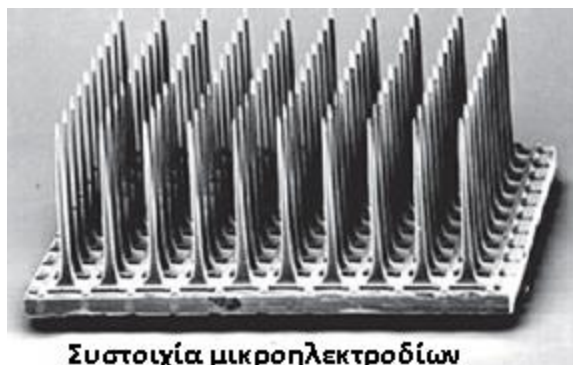
### **Εξωκυττάρια καταγραφή**

Μια από τις πιο συνήθεις μεθόδους επεμβατικής καταγραφής, είναι η εξωκυττάρια καταγραφή ενός μοναδικού νευρώνα. Ένα μικροηλεκτρόδιο από βολφράμιο ή πλατίνα με μέγεθος άκρου μικρότερο από τα 10 μm εισάγεται στην περιοχή του εγκεφαλικού στόχου. Το βάθος του μικροηλεκτροδίου ρυθμίζεται μέχρι να είναι σε θέση όπου να μπορεί να λαμβάνει τις ηλεκτρικές διακυμάνσεις που συμβαίνουν στο κύτταρο. Το μέγεθος του καταγραμμένου σήματος είναι συνήθως μικρότερο από ένα mV και συνεπώς απαιτεί τη χρήση ενισχυτών για την ανίχνευση του. Το καταγεγραμμένο σήμα μοιάζει με ίχνος δυναμικού ενέργειας (*spike*), παρόλο που το ηλεκτρόδιο δεν διεισδύει στο κύτταρο. Όταν δημιουργείται δυναμικό ενέργειας, θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου εισέρχονται στο κύτταρο, δημιουργώντας μια

αρνητική τάση στην περιοχή που περιβάλλει το κύτταρο. Αυτή η διακύμανση λαμβάνεται από το ηλεκτρόδιο καταγραφής[1].

### **Συστοιχίες μικροηλεκτροδίων**

Για την καταγραφή μεγαλύτερου αριθμού νευρώνων, μπορεί να τοποθετηθεί ένα πλέγμα μικροηλεκτροδίων που σχηματίζει μια συστοιχία πολλαπλών ηλεκτροδίων μορφής  $\mu \times \nu$ , τα οποία  $\mu$  και  $\nu$  μπορεί να κυμαίνονται από 1 μέχρι 10 ηλεκτρόδια (βλ. Εικόνα 7). Οι συστοιχίες πολλαπλών ηλεκτροδίων βασίζονται στον ίδιο τρόπο λειτουργίας με τα συστήματα μονών ηλεκτροδίων δηλαδή τη ταχεία εισροή ιόντων νατρίου στο κύτταρο κατά τη δράση των δυναμικών ενέργειας, που προκαλούν απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού στον εξωκυττάριο χώρο και ανιχνεύεται από κοντινά ηλεκτρόδια στη συστοιχία. Το κύριο πλεονέκτημα των συστοιχιών πολλαπλών ηλεκτροδίων σε σχέση με τα πιο συμβατικά συστήματα, είναι αυξημένη χωρική διακριτική ικανότητα[1].

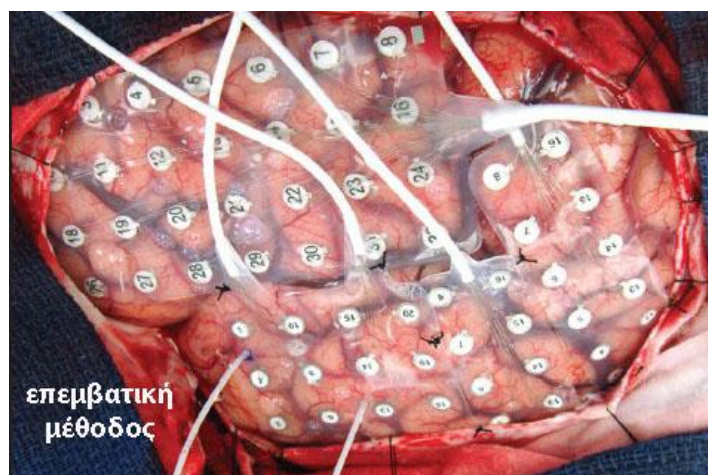


Εικόνα 7: Παράδειγμα συστοιχίας 10 X 10 μικροηλεκτροδίων. (προσαρμογή από [9])

### **Ηλεκτροκορτικογραφία (ECoG)**

Η ηλεκτροκορτικογραφία (ECoG) είναι μια τεχνική εγκεφαλικής καταγραφής που περιλαμβάνει την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Η διαδικασία απαιτεί την δημιουργία χειρουργικής τομής στο κρανίο για την εμφύτευση των ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Η ηλεκτροκορτικογραφία εκτελείται συνήθως μόνο σε κλινικά περιβάλλοντα, όπως για την παρακολούθηση ασθενών που πάσχουν από επιληψία. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα πλέγμα ή λωρίδα ηλεκτροδίων  $\mu \times \nu$ , όπου οι τιμές των  $\mu$  και  $\nu$

κυμαίνονται μεταξύ 1 και 8 (βλ. Εικόνα 8). Τα ηλεκτρόδια ECoG μπορούν να είναι επικαλυμμένα με άνθρακα, πλατίνα ή κράμα χρυσού και είναι τυπικά διαμέτρου 2-5 mm. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων του πλέγματος είναι συνήθως 10 mm έως 1 cm. Τα ηλεκτρόδια είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να προσαρμόζονται στις φυσιολογικές κινήσεις του εγκεφάλου. Το ECoG έλαβε πρόσφατα την προσοχή της κοινότητας των BCIs (βλ. επόμενο κεφάλαιο) ως μια μερικά επεμβατική μέθοδος, ένας συμβιβασμός μεταξύ των επεμβατικών συστοιχιών ηλεκτροδίων και του μη επεμβατικού EEG. Σε αντίθεση με τις συστοιχίες ηλεκτροδίων, ορισμένες μορφές ECoG δεν διεισδύουν το «φράγμα» του εγκεφάλου και επομένως είναι ασφαλέστερες από τις συστοιχίες που εμφυτεύονται στον εγκέφαλο.



Εικόνα 8: ECoG- Τοποθέτηση ηλεκτροδίων στον φλοιό του εγκεφάλου. (προσαρμογή από <sup>5</sup>)

## 2.2.2. Μη-επεμβατικές Μέθοδοι

### *Functional magnetic resonance imaging (fMRI)*

Η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI) υπολογίζει έμμεσα τη νευρική δραστηριότητα του εγκεφάλου εντοπίζοντας την ροή του αίματος που πραγματοποιείται εξαιτίας της δραστηριότητας των νευρώνων σε συγκεκριμένο μέρος του εγκεφάλου. Οι νευρώνες καταναλώνουν περισσότερο οξυγόνο όταν δραστηριοποιούνται. Αυτό το οξυγόνο το προσλαμβάνουν από το αίμα που ταξιδεύει στον εγκέφαλο. Η νευρική δραστηριότητα προκαλεί τα τοπικά τριχοειδή αγγεία να διασταλούν, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στην ροή αίματος, υψηλά οξυγονωμένου, το οποίο αντικαθιστά το αίμα που βρισκόταν εκεί και περιείχε

<sup>5</sup> [http://www.annalsofian.org/viewimage.asp?img=AnnIndianAcadNeurol\\_2014\\_17\\_5\\_89\\_128668\\_f3.jpg](http://www.annalsofian.org/viewimage.asp?img=AnnIndianAcadNeurol_2014_17_5_89_128668_f3.jpg)

μειωμένο ποσοστό οξυγόνου. Αυτή η αιμοδυναμική απόκριση είναι μια σχετικά αργή διαδικασία. Παρουσιάζεται εκατοντάδες ms έπειτα από την νευρική δραστηριότητα και η κορύφωση γίνεται στα 3-6s. Το οξυγόνο περιέχεται μέσα στο μόριο της αιμοσφαιρίνης. Η από-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη είναι πιο μαγνητική από την οξυγονωμένη και αυτό ακριβώς είναι που εκμεταλλεύεται η μέθοδος fMRI. Το σήμα που καταγράφει το fMRI ονομάζεται Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD) διότι υπολογίζει τα επίπεδα οξυγόνωσης του αίματος[1].



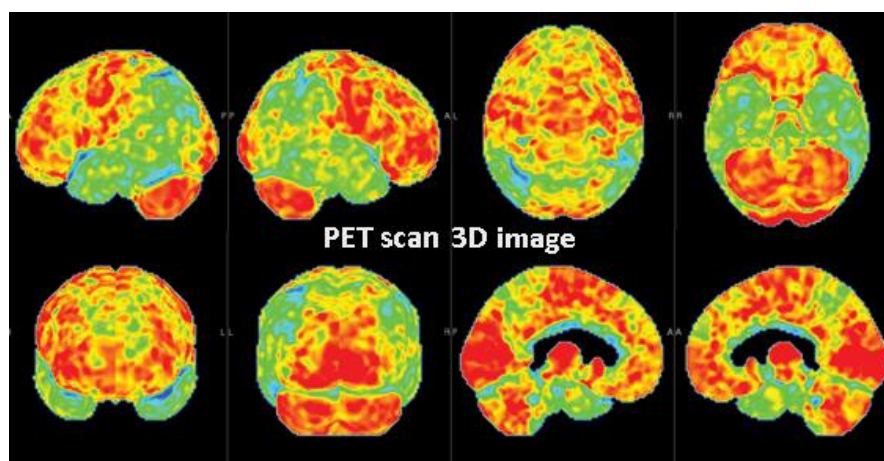
Εικόνα 9: Θέση του υποκειμένου στη συσκευή fMRI. (προσαρμογή από <sup>6</sup>)

Μερικά από τα μειονεκτήματα του fMRI είναι η χρονική διακριτική ικανότητα του που είναι πολύ χαμηλή, περίπου 2 frames/s. Επιπλέον, πολλές καταστάσεις και διαταραχές του εγκεφάλου δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές μέσω του fMRI εξαιτίας της μικρής τους επιρροής στην οξυγόνωση του εγκεφάλου. Τέλος, Η προσβασιμότητα στον εξοπλισμό που χρειάζεται το fMRI είναι δύσκολη, διότι είναι εξαιρετικά ακριβός και ογκώδης, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται κυρίως για κλινικούς σκοπούς.[10] Το μεγάλο πλεονέκτημα του fMRI, βέβαια, είναι η χωρική διακριτική του ικανότητα, που κυμαίνεται στα 1-3mm. Σε σύγκριση με άλλες μη-επεμβατικές μεθόδους όπως EEG και MEG, που θα αναφερθούν παρακάτω, είναι πολύ υψηλότερη.

<sup>6</sup> <https://typesofpsychbrittanymackenzie.weebly.com/biological-psychology-social-psychology.html>

### ***Positron emission tomography (PET)***

Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) είναι μία παλαιότερη μέθοδος για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, με έμμεσο τρόπο, εντοπίζοντας την μεταβολική δραστηριότητα του υπολογίζοντας τις εκπομπές των ραδιονουκλιδίων από ραδιοφάρμακα που εισάγονται στο σώμα του υποκειμένου.



*Εικόνα 10: Απεικόνιση του εγκεφάλου, τριών διαστάσεων, κατά την καταγραφή PET. (προσαρμογή από <sup>7</sup>)*

Η χωρική διακριτική ικανότητα του PET είναι παρόμοια με αυτή του fMRI, αλλά η χρονική είναι αρκετά χαμηλή –τυπικά απαιτεί αρκετές δεκάδες δευτερολέπτων. Επιπλέον μειονεκτήματα που περιέχει η χρήση αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι απαραίτητη η χρήση ραδιενεργών χημικών στο σώμα και ότι η γρήγορη αποσύνθεση τους περιορίζουν τον χρόνο των πειραμάτων[1].

### ***Electroencephalography (EEG)***

Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) είναι μία δημοφιλής, εύκολη στη χρήση, φθηνή, μη επεμβατική μέθοδος για την ηλεκτρική καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας μέσω της τοποθέτησης ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής. Το EEG σήμα προκύπτει ως η καταγραφή του αθροίσματος *μετασυναπτικών δυναμικών* κατόπιν της συγχρονισμένης συναρμογής μεγάλου πληθυσμού νευρώνων στον εγκεφαλικό φλοιό (cortex) [1]. Αν και η τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής δεν παρέχει τόσο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη δραστηριότητα των μεμονωμένων νευρώνων ή μικρές συστάδες αυτών, που θα μπορούσαν να

<sup>7</sup> <https://www.epilepsy.org.au/about-epilepsy/managing-epilepsy/diagnosis/>

καταγραφούν με εμφύτευση ηλεκτροδίων στον φλοιό, είναι ένας απλός και επαρκής τρόπος καταγραφής των εγκεφαλικών κυμάτων (brainwaves), που δεν απαιτεί επεμβατικές διαδικασίες[1].

Το 1929 ο Hans Berger, Γερμανός φυσιολόγος και ψυχίατρος, πραγματοποίησε την πρώτη EEG καταγραφή σε άνθρωπο. Παρατήρησε μια ταλαντούμενη δυναμική διαφορά των 10Hz μεταξύ δυο ηλεκτροδίων σε υγιείς συμμετέχοντες οι οποίοι διατηρούσαν τα μάτια τους κλειστά, σε ήρεμη κατάσταση. Ο Berger απέδειξε ότι το πλάτος των ταλαντώσεων αυτών (10-50mV) μειώνεται όταν το υποκείμενο ανοίγει τα μάτια του ή πραγματοποιεί κάποια άλλη δραστηριότητα. Στα μέσα της δεκαετίας του '50, η τεχνική της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας εξελίχτηκε από τον Edgar Andrian στην Ευρώπη και τον Herbet Jasper στην Βόρεια Αμερική [11]. Τα σήματα που λαμβάνει το EEG κυμαίνονται σε ένα φάσμα λίγων δεκάδων  $\mu\text{V}$ , κάτι που κάνει απαραίτητη την ύπαρξη ενισχυτή, για να είναι δυνατή στην επεξεργασία η ενίσχυση του σήματος και το φιλτράρισμα του θορύβου. Το αδύναμο σήμα του EEG μπορεί εύκολα να αλλοιωθεί από μυϊκή δραστηριότητα, όπως π.χ. το ανοιγοκλείσιμο των ματιών, την κίνηση του σαγονιού ή του κεφαλιού. Γι' αυτό συνήθως ζητείται από τους ακροατές να διατηρούν το σώμα τους όσο πιο ακίνητο γίνεται και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας είναι απαραίτητη η χρήση φίλτρων για την απομάκρυνση τυχόν θορύβου. Άλλα στοιχεία που μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο στην καταγραφή είναι η αλλαγή της κατάστασης του υποκειμένου όπως π.χ. το στρες, κάποια ενόχληση, ένας περισπασμός κλπ, η αλλαγή στην ηλεκτρική αντίσταση του ηλεκτροδίου, παρεμβολές άλλων ηλεκτρικών συσκευών που βρίσκονται κοντά και η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος στα 50Hz [11]. Η χρονική διακριτική ικανότητα του EEG είναι αρκετά ικανοποιητική και κυμαίνεται σε στην κλίμακα των χιλιοστών δευτερολέπτου (ms). Η χαμηλή χωρική ανάλυση του είναι αποτέλεσμα των πολλαπλών επιπέδων ιστού που παρεμβαίνουν μεταξύ της πηγής και του αισθητήρα που τοποθετείται στο τριχωτό της κεφαλής.



Εικόνα 11: Τοποθέτηση σκούφου, ύγρανση θέσεων ηλεκτροδίων και εφαρμογή αυτών. (προσαρμογή από <sup>8</sup>)

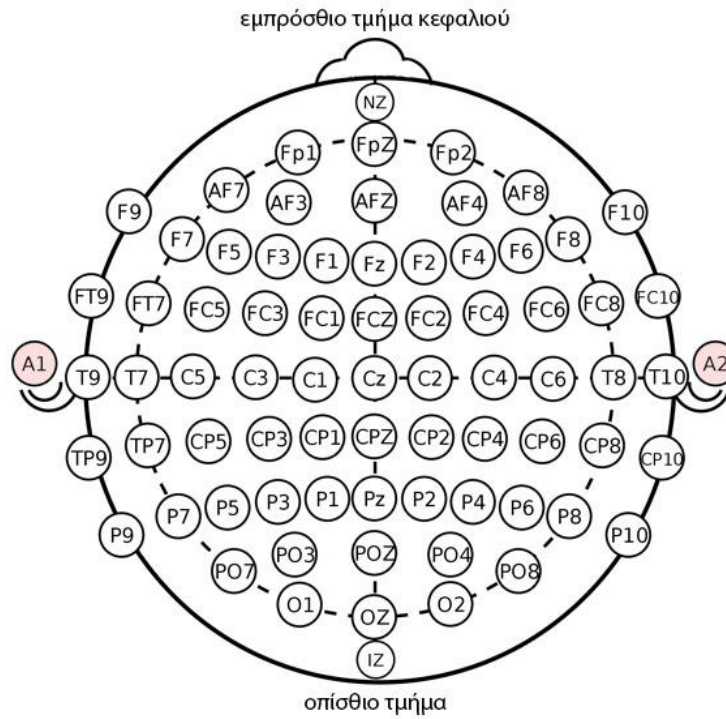
Ο συμμετέχοντας συνήθως στις κλινικές διαδικασίες, χρειάζεται να τοποθετήσει στο κεφάλι του ένα είδος σκούφου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11, στον οποίο είναι τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια. Βέβαια, οι συσκευές EEG πλέον έχουν εισαχθεί στο εμπόριο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές για διάφορους σκοπούς και έχουν μορφή που είναι πιο πρακτική και εύκολη στη χρήση, συνήθως σε μορφή στέκας [1]. Η σωστή καταγραφή στο EEG βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην καλή λειτουργία των ηλεκτροδίων. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται. Ανάλογα με τη συσκευή, τα ηλεκτρόδια μπορεί να είναι μιας χρήσης ή επαναχρησιμοποιούμενα και να χρειάζονται τζελ ή κάποιο είδος αλατούχου διαλύματος για καλύτερη αγωγιμότητα [11].

Για την καταγραφή χρησιμοποιούνται είτε διπολικά είτε μονοπολικά ηλεκτρόδια. Στην πρώτη κατηγορία, καταγράφεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Στη δεύτερη, το δυναμικό κάθε ηλεκτροδίου συγκρίνεται είτε με ένα ουδέτερο ηλεκτρόδιο ή με τον μέσο όρο των ηλεκτροδίων. Κάθε ηλεκτρόδιο EEG είναι συνδεδεμένο σε μία είσοδο ενός διαφορικού ενισχυτή, και η άλλη είσοδος είναι συνδεδεμένη με το σημείο αναφοράς. Η ενίσχυση της τάσης μεταξύ του ενεργού ηλεκτροδίου και του ηλεκτροδίου αναφοράς είναι συνήθως 1.000-100.000 φορές. Το ενισχυμένο σήμα περνάει μέσα από ένα φίλτρο και έπειτα από ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, με ρυθμό δειγματοληψίας μέχρι και 20kHz. Μετά την ψηφιοποίηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα επιπλέον φίλτρο στο σήμα που αποκλείει τον θόρυβο και στοιχεία με πολύ χαμηλή και πολύ υψηλή

<sup>8</sup> [https://www.biosemi.com/faq/skin\\_preparation.htm](https://www.biosemi.com/faq/skin_preparation.htm)



συχνότητα, και για την αφαίρεση του θορύβου που προκαλείται από την ηλεκτρική τροφοδοσία (50Hz στην Ευρώπη, 60Hz στις Ηνωμένες Πολιτείες) [1].



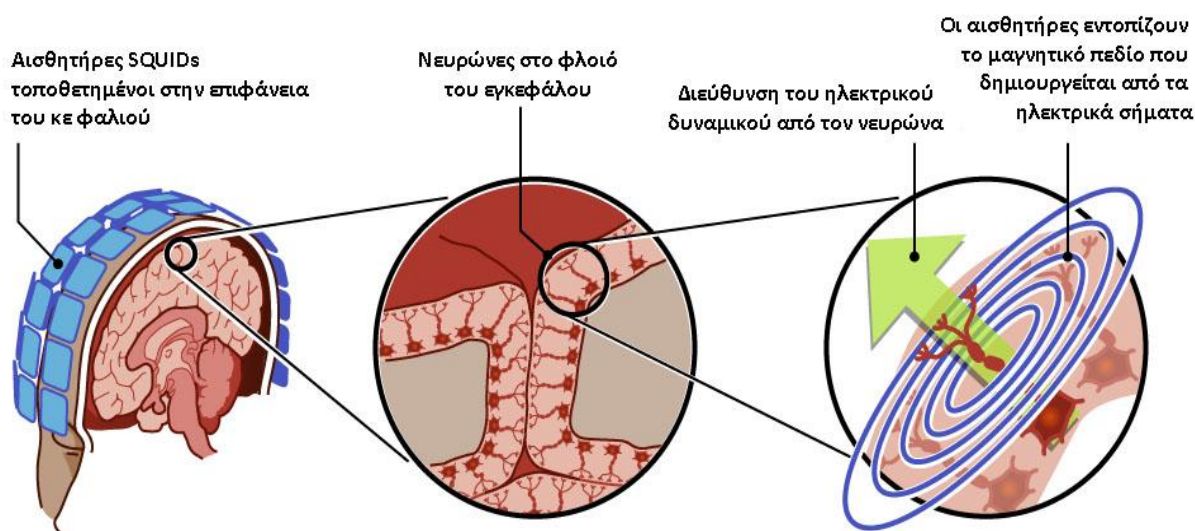
Εικόνα 12: Διεθνές σύστημα 10-20- Θέσεις ηλεκτροδίων. (προσαρμογή από <sup>9</sup>)

Για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ακολουθείται το διεθνές σύστημα 10-20, το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 12. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για τον υπολογισμό του δυναμικού τοποθετούνται πίσω από τα αυτιά και ονομάζονται A1 και A2. Άλλα σημεία που μπορούν να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια αναφοράς είναι στη μύτη, στο ύψος των ματιών και στη βάση του κρανίου στο πίσω μέρος του κεφαλιού. Από αυτά τα σημεία μετρίεται η περίμετρος του κρανίου στο εγκάρσιο και οριζόντιο επίπεδο. Οι περίμετροι διαιρούνται σε διαστήματα των 10% και 20% και καθορίζονται οι θέσεις των ηλεκτροδίων. Το διεθνές σύστημα 10-20 διασφαλίζει ότι η ονομασία τους είναι σταθερή σε όλες τις εφαρμογές και εργαστήρια παγκοσμίως για να μην υπάρξει σύγχυση. Ο αριθμός των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται μπορεί να κυμαίνεται από λίγα -σε στοχευμένες εφαρμογές- μέχρι και 256. [1]

<sup>9</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/10%E2%80%9320\\_system\\_\(EEG\)#/media/File:International\\_10-20\\_system\\_for\\_EEG-MCN.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/10%E2%80%9320_system_(EEG)#/media/File:International_10-20_system_for_EEG-MCN.svg)

## **Magnetoencephalography (MEG)**

Το μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG) είναι μία επίσης μη-επεμβατική τεχνική που αναπτύχθηκε για να υπολογίζει το μαγνητικό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η τεχνική ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα. Το MEG εμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60 άλλα πραγματοποιήθηκε μόνο μετά την ανάπτυξη των υπεραγωγίων συσκευών κβαντικής συμβολής (SQUIDS). Αυτές οι συσκευές είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι μετατροπείς μαγνητικής ροής σε ηλεκτρική τάση, κάτι απαραίτητο αφού το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου είναι ιδιαίτερα αδύναμο (συχνά κάτω από 100 f T). [11]



Εικόνα 13: Τρόπος λειτουργίας MEG- Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου. (προσαρμογή από<sup>10</sup>)

Το MEG, όπως και το EEG, έχει υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα, διότι καταγράφει την άμεση νευρική δραστηριότητα και όχι την έμμεση μεταβολική δραστηριότητα όπως στην περίπτωση του fMRI ή του PET. Ένα πλεονέκτημα που έχει το MEG σε σχέση με το EEG είναι ότι το μαγνητικό πεδίο δεν επηρεάζεται από την οποιαδήποτε ουσία που μπορεί να παρεμβαίνει, όπως το κρανίο ή τα τριχωτά της κεφαλής, σε αντίθεση με την περίπτωση του ηλεκτρικού πεδίου που καταγράφει το EEG. Έτσι το MEG προσφέρει καλύτερη χωρική ανάλυση

<sup>10</sup> [http://www.annalsofian.org/viewimage.asp?img=AnnIndianAcadNeurol\\_2014\\_17\\_5\\_89\\_128668\\_f3.jpg](http://www.annalsofian.org/viewimage.asp?img=AnnIndianAcadNeurol_2014_17_5_89_128668_f3.jpg)

ανεξαρτήτως από την γεωμετρία του κεφαλιού του κάθε υποκειμένου. Παρόλα αυτά, ο εξοπλισμός του είναι πολύ ακριβός -με την τιμή του να ξεπερνάει μέχρι και το ένα εκατομμύριο ευρώ, ογκώδες και δύσκολος στην μεταφορά. Επίσης απαιτεί ένα μαγνητικά μονωμένο χώρο ώστε αν μην υπάρχουν εξωτερικές μαγνητικές παρεμβολές, ακόμα και από το μαγνητικό πεδίο της γης. Όλα αυτά το καθιστούν λιγότερα εύκολο και πρακτικό εργαλείο για την εγκεφαλική απεικόνιση σε σχέση με συσκευές όπως το EEG που είναι φθηνές, μικρές σε όγκο και εύκολες στη χρήση. [1]

### 2.3. Εγκεφαλικά κύματα

Τα χαρακτηριστικά των εγκεφαλικών κυμάτων μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με την κατάσταση στην οποία είναι ο άνθρωπος, π.χ. ηρεμία, ύπνος, συγκέντρωση κλπ. Αυτά τα χαρακτηριστικά επίσης αλλάζουν και ανάλογα με την ηλικία. Στην Νευροεπιστήμη τα εγκεφαλικά κύματα συνήθως κατηγοριοποιούνται σε πέντε βασικές ζώνες συχνοτήτων (frequency bands) [10]:

*Delta* ( $\delta$ ): εισήχθη το 1936 από τον Walter. Τα κύματα  $\delta$  (ή κύματα της  $\delta$  «μπάντας») κυμαίνονται μεταξύ 1 και 4Hz και σχετίζονται κυρίως με την κατάσταση βαθύ ύπνου. Τα κύματα  $\delta$  συγχέονται εύκολα με σήματα από του μυς του λαιμού και του σαγονιού, αλλά με την απαραίτητη ανάλυση του σήματος γίνεται αντιληπτό το αν προέρχεται από την κίνηση.

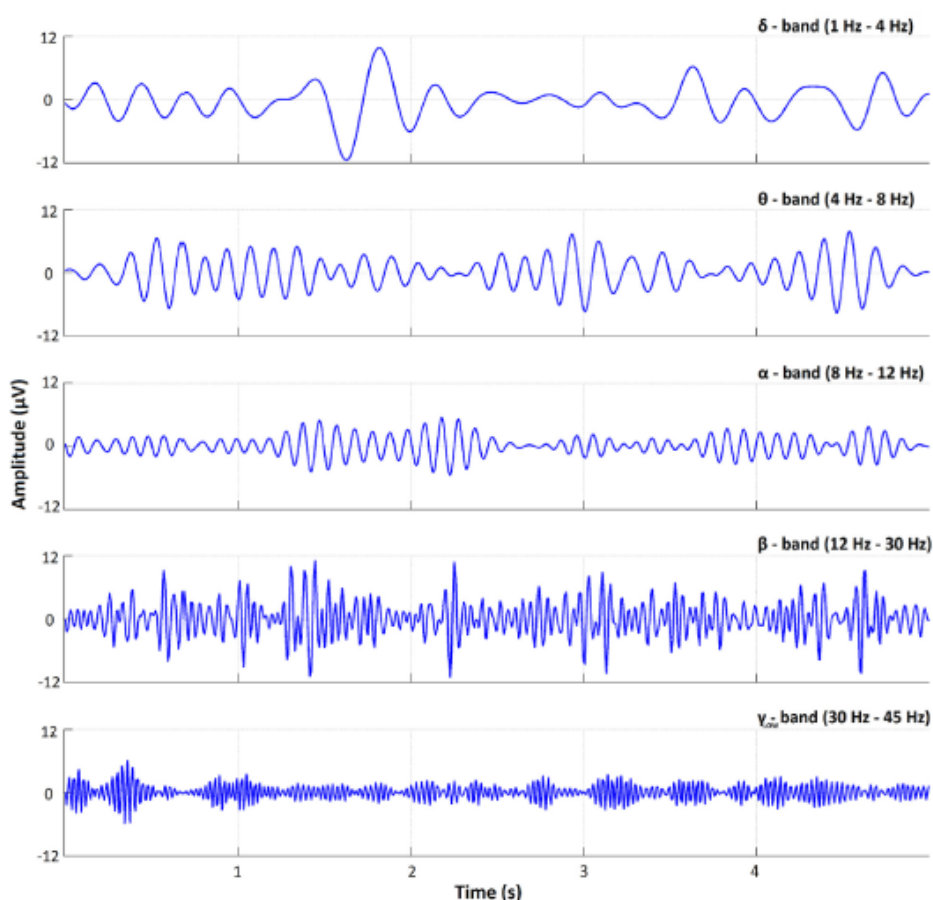
*Theta* ( $\theta$ ): από Walter και Dovey το 1944. Κυμαίνονται μεταξύ 4 και 8Hz. Ο όρος «θήτα» πιθανόν να επιλέχτηκε εξαιτίας της πηγής προέλευσης αυτών των κυμάτων, του θαλάμου. Τα κύματα  $\theta$  συσχετίζονται με το υποσυνείδητο και την κατάσταση βαθύ διαλογισμού και έχουν σημαντικό ρόλο στην νηπιακή και παιδική ηλικία. Ενήλικες με έντονη δραστηριότητα στην  $\theta$  μπάντα συνήθως πάσχουν από διάφορα παθολογικά προβλήματα.

*Alpha* ( $\alpha$ ): από τον Berger το 1929. Τα κύματα  $\alpha$  είναι περισσότερο διακριτά στο οπίσθιο μισό του κεφαλιού, συνήθως στο ινιακό μέρος του εγκεφάλου. Κυμαίνονται από 8 έως 12Hz. Το πλάτος του είναι συνήθως κάτω των 50 $\mu$ V. Τα κύματα  $\alpha$  σχετίζονται με την κατάσταση ηρεμίας, χωρίς να υπάρχει το στοιχείο της συγκέντρωσης. Συνήθως αυτή η κατάσταση παρουσιάζεται όταν το υποκείμενο

διατηρεί τα μάτια κλειστά και διακόπτεται είτε με το άνοιγμα των ματιών, είτε από έναν ήχο, είτε από το άγχος ή την συγκέντρωση.

Beta ( $\beta$ ): από τον Berger το 1929. Τα κύματα  $\beta$  κυμαίνονται από 12 ως 30Hz και εμφανίζεται στο μπροστινό και μέσο μέρος του εγκεφάλου. Το πλάτος τους είναι συνήθως κάτω των 30 $\mu$ V. Αυτή η μπάντα είναι η πιο συνήθης μπάντα που ενεργοποιείται σε ξύπνια κατάσταση και σχετίζεται με την ενεργητική σκέψη και προσοχή, με την λύση προβλημάτων, συγκέντρωση κλπ, και συναντάται στον μέσο ενήλικα. Υψηλή δραστηριότητα στην  $\beta$  μπάντα παρουσιάζεται όταν το υποκείμενο είναι σε κατάσταση πανικού.

Gamma ( $\gamma$ ): από Jasper και Andrews το 1938. Τα κύματα  $\gamma$  αφορούν σε συχνότητες μεγαλύτερες των 30Hz. Αν και αυτοί οι ρυθμοί είναι πολύ χαμηλοί και η εμφάνισή του σπάνια, ο εντοπισμός αυτών των κυμάτων συνήθως παραπέμπει σε κάποια εγκεφαλική βλάβη.



Εικόνα 14: Παράδειγμα εγκεφαλικών κυμάτων των διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων ( από [89]).

## 3. ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ- ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

### 3.1. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία, με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων νευροαπεικόνισης και τη μελέτη του αντίστοιχου σήματος ή εικόνας υπάρχει η δυνατότητα να εξαχθούν από συμπεράσματα αναφορικά με την ψυχική κατάσταση του ατόμου ή ακόμη και να αντιστοιχιστούν εγκεφαλικές αποκρίσεις με μια εξωτερική ενέργεια, όπως π.χ. η επιλογή μέσω της σκέψης ενός πλήκτρου από ένα εικονικό πληκτρολόγιο. Μια διεπαφή εγκεφάλου- υπολογιστή (BCI) είναι ένα εναλλακτικό κανάλι ελέγχου που δεν εξαρτάται από την κανονική έξοδο του εγκεφάλου προς τις οδούς περιφερικών νευρών και μυών[7]. Είναι μια συνεργασία μεταξύ του εγκεφάλου και μιας συσκευής που επιτρέπει σήματα από τον εγκέφαλο να κατευθύνουν κάποια εξωτερική δραστηριότητα, όπως ο έλεγχος ενός κέρσορα ή ενός προσθετικού άκρου. Η διασύνδεση επιτρέπει μια άμεση οδό επικοινωνίας μεταξύ του εγκεφάλου και του προς έλεγχο αντικειμένου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ελέγχου του κέρσορα, το σήμα μεταδίδεται απευθείας από τον εγκέφαλο στον μηχανισμό που κατευθύνει τον δρομέα, αντί να ακολουθήσει τη «συμβατική» διαδρομή μέσω του νευρομυϊκού συστήματος του σώματος προς στο δάκτυλο για τον έλεγχο ενός ποντικιού Η/Υ.

Η επικοινωνία μεταξύ εγκεφάλου και υπολογιστή απαιτεί την χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης (machine learning) από την πλευρά του υπολογιστή ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίζει μοτίβα, να κατανοεί και να μεταφράζει τα εγκεφαλικά σήματα που δέχεται. Γι' αυτό το λόγο τα BCIs προϋποθέτουν μια περίοδο «εκπαίδευσης», όπου ζητείται από το υποκείμενο να πραγματοποιήσει κάποιες συγκεκριμένες δραστηριότητες μέσω της σκέψης, τις οποίες ο αλγόριθμος πρέπει να ερμηνεύσει. Όταν τελειώσει αυτή η περίοδος, το υποκείμενο θα είναι σε θέση να ελέγχει με την σκέψη του τις ενέργειες του υπολογιστή [10].

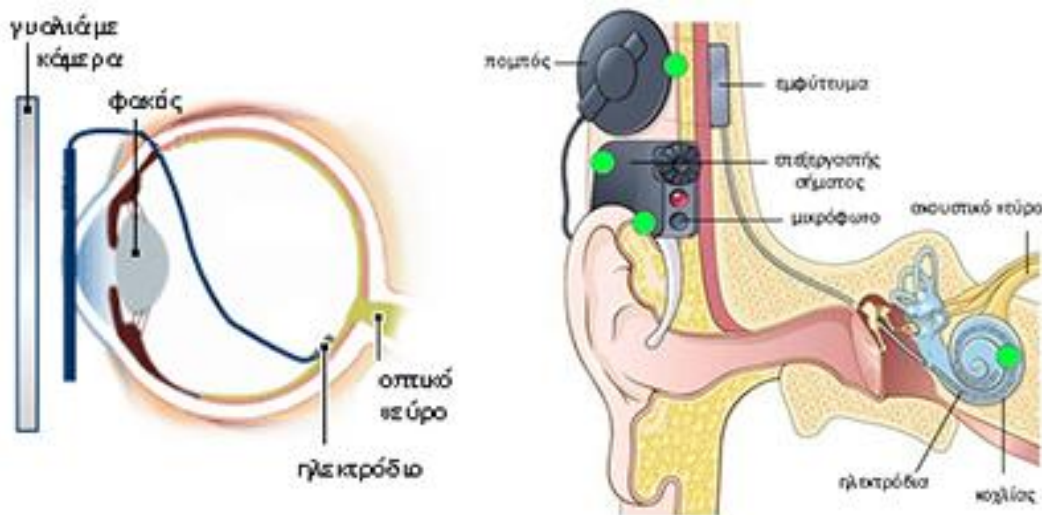
Η πρώτη έρευνα πάνω στα BCIs έγινε το 1973-1977 από τον Jacques J.Vidal ο οποίος επινόησε και τον όρο. Το μεγάλο ενδιαφέρον που έχει εμφανιστεί για τα BCIs τα τελευταία χρόνια μπορούν να αποδοθούν σε πολλούς παράγοντες. Οι υπολογιστές είναι πιο φθηνοί, πιο γρήγοροι, οι γνώσεις μας για την λειτουργία του εγκεφάλου

και τον τρόπο που επεξεργάζεται τις πληροφορίες είναι πιο εξελιγμένες και υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε συσκευές που καταγράφουν τα εγκεφαλικά σήματα [1].

Τα BCIs μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες ανάλογα με τον σκοπό της χρήσης τους: κλινικές εφαρμογές και μη-κλινικές εφαρμογές. Με την καταγραφή εξω-κυττάρων σημάτων από μια σειρά νευρώνων και τη χρήση συστημάτων μικροηλεκτρονικής για τη μεταγλώττιση των σημάτων σε αποφάσεις, το BCI μπορεί να επιτρέψει την επικοινωνία σε ένα τετραπληγικό άτομο για να γράψει ένα βιβλίο ή να ελέγξει ένα προσθετικό άκρο ή μια μηχανοκίνητη αναπηρική καρέκλα μέσω της σκέψης και μόνο. Οι τρέχουσες συσκευές διεπαφής εγκεφάλου- υπολογιστή απαιτούν συνειδητή σκέψη. Ορισμένες μελλοντικές εφαρμογές, όπως η χρήση προσθετικών μελών, είναι πιθανό να λειτουργούν αβίαστα. Ένα από τα μεγαλύτερα βήματα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας BCI ήταν η ανάπτυξη συσκευών ηλεκτροδίων ή χειρουργικών μεθόδων που είναι ελάχιστα έως καθόλου επεμβατικές. Πολλές ερευνητικές ομάδες επικεντρώνονται πλέον στην ανάπτυξη και αξιοποίηση των μη επεμβατικών BCIs.

### 3.2. Κλινικές εφαρμογές

Το βασικό κίνητρο για την δημιουργία των BCIs ήταν κυρίως η εισχώρηση τους στην ιατρική επιστήμη και σε κλινικές εφαρμογές για την αποκατάσταση χαμένης αισθητηριακής και κινητικής λειτουργίας σε ανθρώπους με αναπηρίες. Ένα από τα πιο γνωστά και επιτυχημένα παραδείγματα εφαρμογών αυτών είναι το κοχλιακό εμφύτευμα, για την επαναφορά της ακουστικής λειτουργίας.[12] Άλλη εφαρμογή που σχετίζεται με τις αισθητηριακές ικανότητες είναι το αμφιβληστροειδικό εμφύτευμα σε άτομα με μειωμένη όραση.[13] Προχωρώντας στο πεδίο των κινητικών αναπηριών, έχουν πραγματοποιηθεί μεγάλα βήματα στη εφαρμογή των BCIs σε προσθετικά μέλη με εφαρμογές σε πίθηκους [14] αλλά και σε ανθρώπους [15] με άμεση αξιοποίηση της λειτουργίας των νευρώνων του φλοιού (cortex) με σκοπό τον έλεγχο τεχνητών άκρων. Ένας ακόμα κλάδος που επίσης αναπτύσσεται, με σκοπό την βοήθεια ατόμων με ολική σωματική παράλυση, είναι αυτός των επικοινωνιακών ικανοτήτων, όπως εφαρμογές που κάνουν χρήση κερσόρων ή ορθογράφων με σκοπό την δυνατότητα συλλαβισμού λέξεων [15], [16].



Εικόνα 15: Δομή και θέση των αμφιβληστροειδικών και κοχλιακών εμφυτευμάτων.  
(προσαρμογή από<sup>11</sup>)

Άλλες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σχετίζονται με νευρολογικές παθήσεις, όπως στην περίπτωση των επιληπτικών κρίσεων, με σκοπό την πρόβλεψη τους και την αποφυγή τους με την απαραίτητη φαρμακευτική αγωγή πριν αυτές συμβούν [17].

### 3.3.Μη κλινικές εφαρμογές

Πιο πρόσφατα, ξεκίνησαν προσπάθειες για την εξερεύνηση της χρήσης των BCIs, εκτός του τομέα της ιατρικής επιστήμης, στο πλαίσιο της ψυχαγωγίας, της εκπαίδευσης κλπ. Ήδη με την χρήση ενός φορητού EEG (wearable EEG) είναι εύκολο να προσδιοριστεί σε τι πνευματική κατάσταση βρίσκεται ο χρήστης, αν κοιμάται, αν είναι ξύπνιος, αν είναι συγκεντρωμένος, αν βρίσκεται σε εγρήγορση. Ακόμα και με αυτήν μονάχα την πληροφορία, ένα τέτοιου είδους BCI θα ήταν πολύ χρήσιμο σε πολλούς κλάδους. Υπάρχουν πολλά επαγγέλματα και δραστηριότητες που στην καθημερινότητά μας απαιτούν να βρισκόμαστε σε εγρήγορση. Σχετική έρευνα στο πεδίο της ασφάλειας, μελέτησε με την χρήση EEG το επίπεδο προσοχής κατά τη διάρκεια μονοτονικών δραστηριοτήτων, στη συγκεκριμένη περίπτωση τη παρακολούθηση x-ray εικόνων από αποσκευές για τυχόν κινδύνους [18]. Άλλα επαγγέλματα στα οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένα τέτοιο BCI είναι στους

<sup>11</sup> <https://lazoithelife.wordpress.com/2018/04/13/cost-of-cochlear-implant-in-india/>  
<http://macularhope.org/argus-ii-retinal-prosthesis-system-helps-raleigh-man-interpret-vision-implanted-device/>

πιλότους και στους οδηγούς , όπως για παράδειγμα τη δημιουργία ενός συστήματος προειδοποίησης του χρήστη που βρίσκεται σε κατάσταση υπνηλίας [19]. Στον εκπαιδευτικό τομέα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμού έντονου στρες στους ή για τον έλεγχο του επιπέδου προσοχής τους κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Το χαμηλό επίπεδο συγκέντρωσης σχετίζεται με την αύξηση δυναμικής των  $\alpha$  κυμάτων [20].



Εικόνα 16: Πειραματική διάταξη για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια βιντεοπαιχνιδιού. (προσαρμογή από<sup>12</sup>)

Η αγορά των βιντεοπαιχνιδιών είναι τεράστια και μία από τις πιο κατάλληλες για την προσαρμογή BCI εφαρμογών. Ήδη βήματα που έχουν πραγματοποιηθεί, όπως η μετακίνηση του κέρσορα με την σκέψη, έχουν τη δυνατότητα να εξελιχτούν και να προσφέρουν στους χρήστες μια πρωτόγνωρη εμπειρία. Μια τέτοια εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στο γνωστό παιχνίδι *Tetris*. Οι χρήστες μόνο με την φαντασίωση της περιστροφής ή κίνησης του δεξιού ή αριστερού χεριού μπορούσαν να μετακινήσουν τα τουβλάκια [18]. Μια αντίστοιχη BCI εφαρμογή πραγματοποιήθηκε και στο παιχνίδι *Pacman* [21]. Πολλοί σχεδιαστές παιχνιδιών έχουν ήδη ξεκινήσει προσπάθειες σύνδεσης της εμφάνισης των χαρακτήρων που χρησιμοποιούνται στο παιχνίδι *World of Warcraft* με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο χρήστης, ώστε

<sup>12</sup> <https://lazoithelife.wordpress.com/2018/04/13/cost-of-cochlear-implant-in-india/>  
<http://macularhope.org/argus-ii-retinal-prosthesis-system-helps-raleigh-man-interpret-vision-implanted-device/>



να μεταβάλλεται και να ανταποκρίνεται σε αυτήν χωρίς να χρειάζεται να ελεγχθεί μέσω πληκτρολογίου.

### 3.3.1. Brain- Computer Music Interfaces (BCMIs)

Η ανάπτυξη των BCIs εκτός του κλινικού περιβάλλοντος, οδήγησε και την ενσωμάτωσή τους σε εφαρμογές μουσικής φύσεως, τα λεγόμενα Brain Computer Music Interfaces (BCMIs).

#### *Εκτέλεση και σύνθεση μουσικής*

Προσπάθειες έχουν γίνει για την δυνατότητα εκτέλεσης ενός οργάνου μέσω διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή [23]. Συγκεκριμένα ο Eduardo R. Miranda και οι συνεργάτες του στο Interdisciplinary Centre for Computer Music Research (ICCMR), επιδίωξαν να δημιουργήσουν ένα σύστημα μέσω του οποίου να είναι δυνατή η εκτέλεση πιάνου και η σύνθεση μουσικής πάνω σε αυτό, χωρίς την χρήση των χεριών ή άλλων μερών, παρά μόνο με την σκέψη (βλ. Εικόνα 17). Επίσης προχώρησαν στην ανάπτυξη ενός συστήματος που χρησιμοποιεί την επικρατέστερη ζώνη εγκεφαλικών κυμάτων του χρήστη για να συνθέτει μελωδικές φράσεις με βάση το στιλιστικό ύφος ενός κλασικού συνθέτη. Για παράδειγμα, όταν τα κύματα επικρατούν (το άτομο είναι σε κατάσταση χαλάρωσης), αναπαράγονται μουσικές φράσεις με βάση το στιλ των πιανιστικών έργων του Robert Schumann.



*Εικόνα 17: Εκτέλεση μουσικής σε ακουστικό πιάνο μέσω της χρήσης του EEG και MIDI εφαρμογών. (προσαρμογή από [18])*

### ***Ενεργητική και παθητική ακρόαση***

Άλλες εφαρμογές των BCIs στην μουσική σχετίζονται με τον προσδιορισμό της ενεργητικής ή παθητικής ακρόασης ενός ατόμου. Η εύρεση της κατάστασης στη οποία βρίσκεται ο ακροατής, δηλαδή αν παρατηρεί και επεξεργάζεται αυτό που ακούει, είναι μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Γλασκώβης από τους Alex Duncan, Kerry Kilborn και Ken Sharman και είναι μία ιδέα που έχει υποστηριχτεί από πολλούς ερευνητές που ασχολούνται με την μουσική φαντασία[25][26][27]. Τα ευρήματα της μελέτης αυτής χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω ανάπτυξη ενός συστήματος με το οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει τα στοιχεία της μουσικής που ακούει, ρυθμός, τονικό ύψος κλπ, ανάλογα με το είδος της ακρόασης που πραγματοποιεί [24]. Όταν η ακρόαση είναι παθητική το μουσικό απόσπασμα επαναλαμβάνεται παραμένοντας αμετάβλητο, και αλλοιώνεται μόνο όταν παρατηρηθεί από το EEG ότι ο ακροατής βρίσκεται σε ενεργητική κατάσταση ακρόασης.

### **3.4. Φορητές συσκευές EEG**

Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται τόσο γίνονται προσπάθειες οι συσκευές να γίνουν μικρότερες σε μέγεθος, ευκολότερες στη χρήση και να προσφέρουν περισσότερες υπηρεσίες. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη εξέλιξη στην αγορά σε προϊόντα τα οποία λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις φυσιολογικές λειτουργίες του σώματος, επιβλέπουν τα επίπεδα τους και ενημερώνουν το χρήστη για αυτά. Ένα τέτοιο παράδειγμα συσκευής, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως πλέον, είναι τα smartwatches. Τα ρολόγια τα οποία, εξαιρώντας την χρήση τους και για άλλες επικοινωνιακές εφαρμογές, έχουν αισθητήρες που μπορούν να υπολογίζουν στοιχεία όπως τους καρδιακούς παλμούς, την θερμοκρασία του σώματος, την πίεση, την αναπνοή κλπ. Το να παρακολουθεί κάποιος, με τόσο εύκολο τρόπο στοιχεία για την υγεία του, στο παρελθόν θα φαινόταν ως κάτι αδύνατο. Άλλα πλέον έχει γίνει πραγματικότητα και έχει ενταχθεί στην καθημερινή ζωή.

Μέσα σε τέτοιου είδους εφαρμογές έχουν την δυνατότητα να ενταχθούν και τρόποι «παρακολούθησης» της εγκεφαλικής δραστηριότητας, και πιο συγκεκριμένα το EEG. Ένα ερευνητικό παράδειγμα που συνδυάζει την χρήση φορητής συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και smartwatch έχει ήδη πραγματοποιηθεί σχετικά με

την προειδοποίηση των οδηγών όταν βρίσκονται σε κατάσταση υπνηλίας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.[28] Σε αυτήν την περίπτωση το EEG είναι τοποθετημένο μέσα σε μία αθλητική κορδέλα.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το EEG είναι ο πιο εύχρηστος τρόπος καταγραφής και έχει ήδη αρχίσει να εισάγεται στην καταναλωτική αγορά. Από ογκώδεις συσκευές με περιορισμένη διάρκεια ζωής και μεγάλο αριθμό καλωδίων, τα EEG έχουν μετατραπεί σε μικρές, φορητές και φορετές συσκευές μεγάλης διάρκειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή. Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα έρευνα που έγινε τα τελευταία χρόνια, παρουσίασε την ηλεκτροεγκεφαλογραφία μέσω ένα είδους ακουστικού, μιας μικρής συσκευής που τοποθετείται μέσα στο αυτί και περιβάλλεται από ηλεκτρόδια [29]. Με μια τέτοια μικρή και διακριτική συσκευή, η ιδέα της ένταξης του EEG στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου γίνεται ακόμα πιο εύκολη και πραγματοποιήσιμη.



Εικόνα 18: Διαφορετικές μορφές φορετών συσκευών ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.  
(προσαρμογή από<sup>1314</sup>[29])

<sup>13</sup> <https://neurosciencenews.com/shop/neuro-at-home/muse-the-brain-sensing-headband/>

Μέχρι στιγμής υπάρχουν αρκετές φορητές/φορετές συσκευές EEG που κυκλοφορούν στην καταναλωτική αγορά από startup εταιρίες όπως Emotiv, Neurosky, και Interaxon. Αναλυτική παράθεση και ανασκόπηση των χαρακτηριστικών τους γίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Οι πειραματικές έρευνες που γίνονται πάνω στον κλάδο, εξελίσσονται χρόνο με τον χρόνο και γίνονται προσπάθειες για την προσαρμογή αυτών των συσκευών στις ανάγκες και την άνεση των καταναλωτών. Για παράδειγμα, πρόσφατα παρουσιάστηκε ένα νέο είδος ηλεκτροδίου που δεν απαιτεί την χρήση τζελ, ενώ παρέχει άριστη ποιότητα καταγραφής, εφάμιλλή με τις συμβατικές προσεγγίσεις στο εργαστηριακό περιβάλλον, ακόμη και κατά τη βάδιση [30].

---

<sup>14</sup> <https://www.technologyreview.com/s/518356/device-could-spot-seizures-by-reading-brainwaves-through-the-ear/>

## 4. ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑ

### 4.1.Εισαγωγή

Η μουσική είναι κομμάτι της καθημερινής ζωής του ανθρώπου, υπάρχει παντού, στην τηλεόραση, το ραδιόφωνο κλπ. Η μουσική χρησιμοποιείται στις διαφημίσεις για να κάνει πιο δελεαστικό το προϊόν για να αυξηθούν οι πωλήσεις· στις ταινίες για να προσφέρει έντονα συναισθήματα, χαρά, λύπη, τρόμος, αγωνία. Εκτός από την χρήση της μουσικής για έμμεσους σκοπούς, οι άνθρωποι φυσικά επιδιώκουν και από μόνοι τους επαφή με την μουσική. Το 2006 η έκθεση του μέσου Αμερικανού στη μουσική υπολογίστηκε στις πέντε ώρες ημερησίως [31]. Όσο τα χρόνια περνάνε και η τεχνολογία εξελίσσεται, τόσο πιο εύκολη είναι η πρόσβαση των ανθρώπων στη μουσική με αποτέλεσμα αντίστοιχα μεγαλύτερη σκόπιμη έκθεση σε αυτήν.

### 4.2.Η σημασία της μουσικής στη ζωή του ανθρώπου [32]

Εξελικτικά θα μπορούσε η μουσική να θεωρηθεί περιττή. Δε μπορεί να συγκριθεί με βιολογικές ανάγκες του ανθρώπου όπως η πείνα, και δεν είναι πρακτικά χρήσιμη για την επιβίωση του, όπως υποστήριξε και ο γνωστικός ψυχολόγος Steven Pinker στα τέλη του 90' [33]. Ο Κάρολος Δαρβίνος, αντίθετα, υποστήριξε ότι η μουσική παίζει μεγάλο ρόλο εξελικτικά, θεωρώντας την σημαντικό κριτήριο της ανθρώπινης φύσης για την επιλογή συντρόφου, αντιστοιχίζοντας το με την τάση των πουλιών να επιδεικνύουν το φτέρωμα τους στην προσπάθεια ζευγαρώματος [34][35].

Ερευνητές έχουν κάνει προσπάθειες να συνδέσουν την μουσική με κάποια σημαντική χρήση στη ζωή του ανθρώπου. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πασίγνωστο *Mozart effect*, όπου η ψυχολόγος Frances H. Rauscher, μέσω μιας πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές, παρατήρησε ότι οι επιδόσεις αυτών που πήραν μέρος στην ακρόαση της σονάτας του Μότσαρτ σε Ρε μείζονα, K448, πριν την έναρξη ενός διαγωνίσματος, ήταν αξιοσημείωτα καλύτερες. Έχοντας αυτά τα αποτελέσματα η Rauscher υπέθεσε ότι η μουσική του Μότσαρτ μπορεί να αυξήσει την ευφυΐα ενός ατόμου [36]. Αργότερες έρευνες οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αυτό που επηρέασε τις επιδόσεις των μαθητών ήταν η ευχάριστη ψυχολογική αλλαγή που προκάλεσε η ακρόαση της μουσικής του και όχι η

ικανότητα αυτής να κάνει του μαθητές εξυπνότερους. Η μουσικοψυχολόγος E. Glenn Schellenberg, απέδειξε ότι την ίδια επίδραση έχει και η μουσική άλλων συνθετών και καλλιτεχνών [37]. Ο ιστορικός William H. McNeill, είναι ένας από τους υποστηρικτές της κοινωνικής διάστασης της μουσικής. Η μουσική προσφέρει την αίσθηση την ομαδικότητας και έχει παίξει μεγάλο ρόλο στην επιβίωση της ομάδας της ίδιας, όπως την προϊστορική εποχή που οι άντρες χόρευαν και τραγουδούσαν γύρω από τη φωτιά πριν το κυνήγι[38]. Νευρολογικές έρευνες έχουν παρουσιάσει στοιχεία συσχετισμού της μουσικής με την παραγωγή ενδορφινών, αλλά και της επιρροής της στην εξέλιξη του εγκεφάλου και της ικανότητας του να αναδομείται έπειτα από μια εγκεφαλική βλάβη [39].

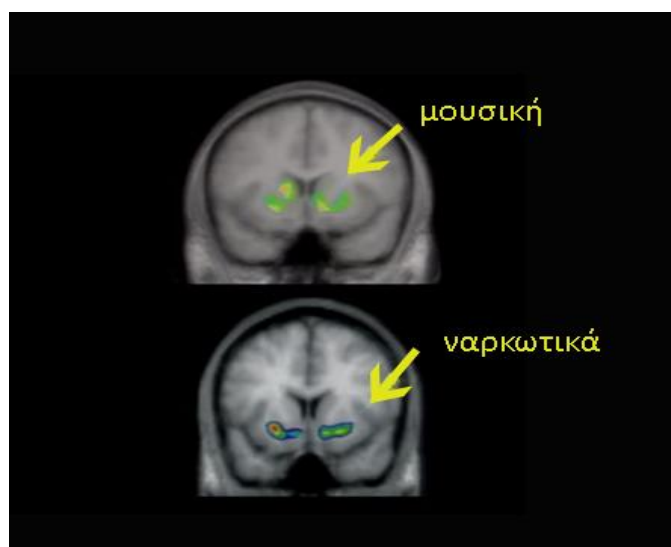
### 4.3. Μουσική αντίληψη

Η προσπάθειες επιστημονικής έρευνας για την κατανόηση της μουσικής αντίληψης ποικίλλουν ανάλογα το πεδίο στο οποίο κινούνται και ενίοτε επικεντρώνονται στην αντίληψη των διαφόρων **στοιχείων της μουσικής** κατά την ακρόαση της, όπως π.χ. ο ρυθμός, το τονικό ύψος, η αρμονία [40]. Μέσω τέτοιων προσπαθειών παρατηρήθηκε, για παράδειγμα, η ευαισθησία των ακροατών σε ατονικές αλλαγές στις μελωδικές σχέσεις μεταξύ διαστημάτων[41], όπως και η μεγάλη εξάρτηση των ακροατών στα ρυθμικά στοιχεία μιας μελωδίας για την δυνατότητα αναγνώρισης της, παρόλο που τα τονικά στοιχεία μένουν अपαράλλαχτα.[42] Άλλες μελέτες ασχολούνται με την **πολιτισμική** πλευρά της μουσικής προσπαθώντας να μελετήσουν την αντίληψη μουσικής άγνωστης υφής για τα υποκείμενα, σε σύγκριση με γνώριμα είδη. Η οικειότητα με τη μουσική έχει παρατηρηθεί να πυροδοτεί την αύξηση των επιπέδων του οξυγονωμένου αίματος σε περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με το συναίσθημα.[44] Τέλος, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που επικεντρώνονται στην μελέτη της μουσικής αντίληψης σε αντιστοιχία με την **ηλικία** του ανθρώπου, ή με το πως η μουσική μπορεί να ωφελήσει την **μνήμη**. Σε μία έρευνα πάνω στη νόσο Αλτσχάιμερ, παρατηρήθηκε ότι η μουσική βοηθάει στην βελτίωση της μνήμης των ασθενών.[45] Οι δύο βασικές κατηγορίες, ωστόσο, που σχετίζονται άμεσα με την παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η μελέτη της μουσικής αντίληψης από τη **νευρολογική** πλευρά αλλά και την **αισθηματική**, δηλαδή η αντίληψη της μουσικής ως ευχάριστη ή δυσάρεστη με βάση

τις προσωπικές αισθητικές προτιμήσεις του υποκειμένου και τα είδη των συναισθημάτων που προκαλεί. Τις τελευταίες δεκαετίες πολλές έρευνες αποκάλυψαν μοτίβα στα εγκεφαλικά κύματα που ανταποκρίνονται σε υποκειμενικά αισθητική απόλαυση της μουσικής [46],[47],[48]. Το 1996 ο Birbaumer και οι συνεργάτες του υποστήριξαν πως η μουσική αντίληψη είναι κάτι εξαιρετικά υποκειμενικό και εξαρτάται από την μουσική καλλιέργεια του ατόμου. Οι παρατηρήσεις που έκαναν κατά την έρευνα τους ήταν ότι τα πιο καλλιεργημένα υποκείμενα ανταποκρίνονταν με σταδιακά αυξανόμενη κυματική δραστηριότητα κατά την ακρόαση κλασικής μουσικής, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους [48]. Η σύνδεση συγκεκριμένων μπαντών εγκεφαλικών κυμάτων με την μουσική επεξεργασία είναι ένα συχνό συμβάν, όπως η συσχέτιση της δραστηριότητας των *κυμάτων γ* με την μουσική αντίληψη μόνο των ατόμων που έχουν μουσική εκπαίδευση [49], τη συσχέτιση της συναισθηματικής εμπειρίας που προκύπτουν από μουσική και εικόνες με τα *κύματα α* [50], ή τη σύνδεση της ευχάριστης μουσικής με αυξημένη δραστηριότητα στα *κύματα θ* [51].

Η μουσική, επίσης, ερεθίζει συγκεκριμένα μέρη του εγκεφάλου, οδηγώντας στην παραγωγή ουσιών που επηρεάζουν θετικά την διάθεση μας. Ο Robert J. Zatorre και η Valorie N. Salimpoor μεταξύ άλλων, μέσω μιας σειράς ερευνητικών εργασιών που πραγματοποίησαν με τη χρήση PET και fMRI, διαπίστωσαν ότι όχι μόνο η ακρόαση μουσικής της αρεσκείας μας, αλλά και η προσμονή ακρόασης αυτής οδηγεί στην έκκριση *ντοπαμίνης* στον εγκέφαλο, όταν αυτή επιβεβαιωθεί [52]. Η απελευθέρωση της *ντοπαμίνης*, εξηγεί γιατί η μουσική προκαλεί το αίσθημα της απόλαυσης στον άνθρωπο. Οι επιστήμονες θεωρούν τη *ντοπαμίνη* μια χημική ουσία ουσιώδη για την επιβίωση. Οδηγεί στην πρόκληση ευχάριστων συναισθημάτων, κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την επιβίωση, αλλά και με εθιστικές συνήθειες όπως ναρκωτικά, καφές κλπ (βλ. Εικόνα 19). Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στην περίπτωση της μουσικής, που δεν έχει άμεση σχέση με την επιβίωση του ανθρώπου αλλά ενεργοποιεί το ίδιο κύκλωμα ανταμοιβής και ευχαρίστησης. Αυτό το κύκλωμα ενεργοποιείται εξαιτίας της σύνδεσης της συναισθηματικής φόρτισης του ατόμου κατά την ακρόαση με την αίσθηση της ευχαρίστησης, καθώς παρατηρήθηκαν [53] αλλαγές σε σωματικές λειτουργίες και αντιδράσεις (καρδιακοί παλμοί, η

θερμοκρασία του σώματος, η αναπνοή) κατά την ακρόαση μουσικής από συμμετέχοντες.



*Εικόνα 19 Παρόμοιες εγκεφαλικές αντιδράσεις. Πάνω- έκκριση ντοπαμίνης κατά την ακρόαση μουσικού αποσπάσματος που προκαλεί στο υποκείμενο μεγάλη ευχαρίστηση. Κάτω- έκκριση ντοπαμίνης μετά την χρήση ναρκωτικών ουσιών. (προσαρμογή από[52])*

#### 4.4. Μουσική και Συναισθημα

Υπάρχουν έρευνες οι οποίες εξετάζουν το συναισθηματικό κομμάτι της μουσικής. Μεγάλος αριθμός αυτών ασχολούνται με την εξερεύνηση των συναισθηματικών καταστάσεων που προκαλούνται εξαιτίας της μουσικής, όπως χαρά, λύπη, θυμός[54],[55], καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο αυτές συνδέονται με άλλα φυσιολογικά συμπτώματα, όπως για παράδειγμα η μείωση των καρδιακών παλμών κατά την ακρόαση δυσάρεστης μουσικής [56].

Το πρώτο πρόβλημα που ανακύπτει στην έρευνα του μουσικού συναισθήματος είναι η απαραίτητη χρήση ενός μοντέλου συναισθημάτων. Παραδοσιακά, υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς το πώς μπορούν να διαμορφωθούν και να περιγραφούν τα συναισθήματα. Οι δύο κύριες προσεγγίσεις που επηρέασαν έντονα τον χώρο της έρευνας είναι η διακριτική και η διαστατή προσέγγιση:

##### 4.4.1. Διακριτό μοντέλο συναισθημάτων

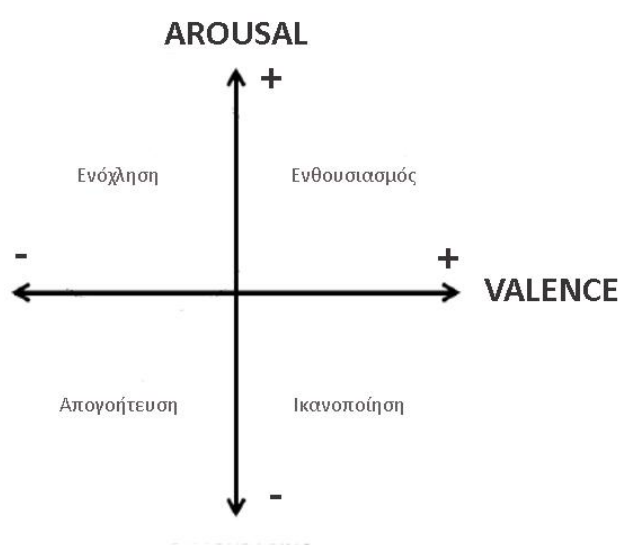
Σύμφωνα με το διακριτό μοντέλο, όλα τα συναισθήματα μπορούν να προέρχονται από ένα περιορισμένο αριθμό βασικών καθολικών συναισθημάτων όπως ο φόβος, ο θυμός, η αηδία, η θλίψη και η ευτυχία [57],[58]. Κάθε συγκίνηση είναι ανεξάρτητη



από τις άλλες στη συμπεριφορική, ψυχολογική και φυσιολογική του εκδήλωση, και η καθεμία εμφανίζεται από την ενεργοποίηση ανεξάρτητων νευρικών συστημάτων. Σε μελέτες που διερευνούν τη μουσική και τα μουσικά συναισθήματα, το διακριτό μοντέλο έχει τροποποιηθεί για να αντιπροσωπεύει καλύτερα τα συναισθήματα που προκαλούνται από τη μουσική. Τα συναισθήματα όπως η αηδία εκφράζονται σπάνια από τη μουσική και ως εκ τούτου έχουν αντικατασταθεί από τρυφερότητα, η οποία είναι πιο κατάλληλη στο πλαίσιο της μουσικής [59].

#### 4.4.2. Διαστατό μοντέλο συναισθημάτων

Η εναλλακτική λύση στα διακριτικά μοντέλα είναι η διαστατή προσέγγιση. Ενώ το διακριτικό επικεντρώνεται στα ξεχωριστά χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα συναισθήματα, στα διαστατά μοντέλα, τα συναισθήματα εκφράζονται σε ένα επίπεδο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 20, κατά μήκος δύο αξόνων οι οποίοι αναπαριστούν το *valence* (δηλαδή το πόσο επιδρά κάτι συναισθηματικά σε ένα άτομο, είτε θετικά είτε αρνητικά) και το *arousal* (διέγερση). Μία από τις κυρίαρχες προσεγγίσεις[61] προτείνει ότι τα συναισθήματα μπορούν να εκφραστούν σε δύο διαστάσεις, η μία αφορά το *arousal* (ενεργοποίηση- παθητικότητα) και το *valence* (ευχαρίστηση- δυσαρέσκεια) που βρίσκονται κάθετα τοποθετημένα στο συναισθηματικό επίπεδο. Έτσι, όλα τα συναισθήματα μπορούν να θεωρηθούν ως διαφορετικοί βαθμοί και των δύο διαστάσεων.



Εικόνα 20: Γραφική αναπαράσταση του διαστατού μοντέλου συναισθημάτων που παρουσιάστηκε από τον Russell. (προσαρμογή από [61])

#### 4.5. Φυσιολογικές μετρικές συναισθηματικών αποκρίσεων στη μουσική ακρόαση

Η αντίληψη της μουσικής και τα συναισθήματα που προκαλεί είναι ένα καθαρά υποκειμενικό στοιχείο το οποίο, στο παρελθόν, μπορούσε να μελετηθεί μόνο ζητώντας από το υποκείμενο να εκφράσει αυτά που νιώθει ή να περιγράψει το πώς αντιλαμβάνεται κάτι. Οπότε, για πολλά χρόνια οι έρευνες πάνω σε αυτό το πεδίο, εξαρτιόνταν από το τι ζητείται και το πώς ζητείται, από το τι θα κατανοηθεί από το υποκείμενο, και από υποθέσεις, μοντέλα και θεωρητικές δομές της ψυχολογίας και μουσικής. Αργότερα, με την ανάπτυξη αξιόπιστων υπολογιστικών τεχνικών, οι ερευνητές απέκτησαν σύγχρονα εργαλεία για την υλοποίηση μελετών και την εξαγωγή συμπερασμάτων που στηρίζονται σε πιο αξιόπιστα δεδομένα που μπορούν να αναλυθούν και με ποσοτικές αναλυτικές μεθόδους. Οι μελέτες έχουν στραφεί και σε πιο αξιόπιστες τεχνικές όπως οι υπολογιστικές μέθοδοι ή έρευνες που μετράνε την αντίδραση και μεταβολή των σωματικών και φυσιολογικών λειτουργιών, για μία πιο ανεξάρτητη από την κρίση του υποκειμένου μέθοδο [62].

Στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των φυσιολογικών αποκρίσεων και των συναισθημάτων που προκαλούνται από την ακρόαση μουσικής. Οι φυσιολογικές αλλαγές κατά την διάρκεια της μουσικής ακρόασης σχετίζονται με την ενεργοποίηση του Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος (ΑΝΣ), το οποίο ρυθμίζει μια ποικιλία οργάνων και σωματικών λειτουργιών. Η έρευνα για τις φυσιολογικές επιδράσεις της μουσικής περιλαμβάνει κυρίως αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό, την αναπνοή, την πίεση του αίματος, την αγωγιμότητα του δέρματος, την θερμοκρασία των δαχτύλων και την ένταση των μυών. Η συνεχιζόμενη ενεργοποίηση του εγκεφάλου κατά την ακρόαση, που σχετίζεται με το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), συμπεριλαμβάνεται στις φυσιολογικές ανταποκρίσεις του οργανισμού στη μουσική. [24]

##### ***Καρδιακός ρυθμός***

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες σχετικά με την επίδραση της μουσικής στον καρδιακό ρυθμό δείχνουν ότι η μουσική ακρόαση μπορεί να προκαλέσει

αλλαγές στον καρδιακό παλμό [64],[65],[66],[67],[68]. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να μετρηθούν εύκολα με το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ). Αποδείχθηκε ότι η έντονη μουσική διέγερση τείνει να αυξάνει τον καρδιακό ρυθμό, ενώ η χαλαρωτική μουσική τείνει να τον μειώνει. Επίσης υπήρξαν μελέτες που ανέφεραν ότι η μουσική δεν προκάλεσε αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό.[69] Το είδος της μουσικής που χρησιμοποιείται στις υπάρχουσες μελέτες θα μπορούσε να αποτελέσει μία από τις αιτίες των υφιστάμενων ασυνεπειών ενώ η άλλη είναι η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία. Πρόσφατες μελέτες παρέχουν στοιχεία ότι το ρυθμός είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον καρδιακό ρυθμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός του συγχρονισμού μεταξύ του ρυθμού της μουσικής και του ρυθμού της καρδιάς.

### ***Αναπνοή***

Ο ρυθμός αναπνοής είναι η δεύτερη φυσιολογική ανταπόκριση που συνδέεται με τα μουσικά συναισθήματα. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες δείχνουν αύξηση της αναπνοής ή του ρυθμού της κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης [64],[69],[70]. Σε ελάχιστες μελέτες δεν αναφέρθηκαν ουσιαστικές αλλαγές στην αναπνοή κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης [71]. Ο ρυθμός αναπνοής σχετίζεται στενά με τις αλλαγές του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης. Πρόσφατα πειράματα παρέχουν στοιχεία που δείχνουν ότι τόσο ο ρυθμός αναπνοής όσο και ο καρδιακός ρυθμός συγχρονίζονται με τον μουσικό ρυθμό.

### ***Η αγωγιμότητα του δέρματος***

Η αγωγιμότητα του δέρματος σχετίζεται με την συναισθηματική διέγερση και έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα αξιόπιστος τρόπος ελέγχου της συναισθηματικής ανταπόκρισης στην μουσική αλλά και σε άλλους τομείς. Σε υψηλές συνθήκες διέγερσης, η αγωγιμότητα του δέρματος αυξάνεται. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες δείχνουν σημαντική αύξηση της αγωγιμότητας του δέρματος κατά την ακρόαση μουσικής [72]. Υπάρχουν, ωστόσο, μερικές μελέτες που δεν δείχνουν ουσιαστικές αλλαγές στην αγωγιμότητα του δέρματος κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης [67].

### ***Πίεση αίματος***

Η πίεση του αίματος χρησιμοποιήθηκε επίσης ως μέτρο της φυσιολογικής επίδρασης της μουσικής και μπορεί να μετρηθεί εύκολα με σφυγμομανόμετρο. Τα υπάρχοντα αποτελέσματα, ωστόσο, είναι αντιφατικά. Οι περισσότερες από τις μελέτες δείχνουν αύξηση της αρτηριακής πίεσης στην διεγερτική μουσική και μείωση στην χαλαρωτική μουσική [66],[69],[70]. Υπάρχουν όμως και έρευνες στις οποίες παρατηρήθηκε μειωμένη [73] ή αμετάβλητη η πίεση κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης [71].

### ***Μυϊκή ένταση***

Η μυϊκή ένταση και ιδιαίτερα οι εκφράσεις του προσώπου είναι μεταξύ των πιο συνηθισμένων μετρήσεων συναισθηματικών καταστάσεων. Οι εκφράσεις προσώπου μετρούνται μέσω της ηλεκτρομυογραφίας (EMG) με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στα ζυγωματικά και τους σφικτήρες των βλεφάρων. Τα αποτελέσματα των υφιστάμενων μετρήσεων στα ζυγωματικά έδειξε αυξημένη ζυγωματική μυϊκή δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της υψηλής διέγερσης κατά την ακρόαση ευχάριστης- θετικής μουσικής που , ενώ η μεγαλύτερη δραστηριότητα των σφικτήρων έχει αναφερθεί για μουσική που προκαλεί αρνητικά συναισθήματα. Ένα άλλο σημαντικό αποτέλεσμα που υπάρχει είναι ότι χρησιμοποιώντας την ηλεκτρομυογραφία μπορεί να αναγνωριστούν τα διακριτικά συναισθήματα του προσώπου [64],[70]. Οι εκφράσεις προσώπου έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής κυρίως σε εφαρμογές με χρήση βίντεο και σε μικρότερο βαθμό στις μουσικές εφαρμογές .

### ***Θερμοκρασία δακτύλων ή σώματος***

Οι αλλαγές θερμοκρασίας του δέρματος έχουν συνδεθεί με την ακρόαση μουσικής σε αρκετές μελέτες. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες δείχνουν αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος κατά την διάρκεια ακρόασης διεγερτικής μουσικής.[65][66] Υπάρχουν, ωστόσο, περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε μείωση[75] ή καμία αλλαγή[67] με αποτέλεσμα να μην είναι συνεπείς τα συνολικά συμπεράσματα.

## 4.6. Εγκεφαλικές αποκρίσεις στη μουσική

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η συναισθηματική επεξεργασία περιλαμβάνει την ενεργοποίηση ευρέων δικτύων του κεντρικού νευρικού συστήματος [76][77]. Αρκετές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει εγκεφαλικές μετρήσεις για να εξερευνήσουν τις συναισθηματικές αποκρίσεις κατά την μουσική ακρόαση.[78] Μια προσέγγιση εξερεύνησης της συναισθηματικής επεξεργασίας από τον εγκέφαλο είναι μέσω τα πειράματα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Ο Davidson (1988) υποστήριξε ότι η αριστερή μετωπική περιοχή εμπλέκεται στο βίωμα θετικών συναισθημάτων όπως η χαρά και η ευτυχία. Αντίθετα, η δεξιά μετωπική περιοχή εμπλέκεται με τα αρνητικά συναισθήματα όπως ο φόβος, θυμός και θλίψη. Υπάρχουν, ωστόσο, μελέτες που παρέχουν στοιχεία ότι η μετωπική ασυμμετρία σχετίζεται με το σύστημα κινητοποίησης παρά με το συναισθηματικό τομέα.[79] Μέχρι στιγμής έχουν υπάρξει αρκετές μελέτες EEG που χρησιμοποίησαν διάφορα μουσικά ερεθίσματα και υποστήριξαν την συναισθηματική ειδίκευση των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Δηλαδή, τα μουσικά ερεθίσματα που θεωρούνται θετικά ή αρνητικά, προκαλούν ασύμμετρη μετωπική εγκεφαλική δραστηριότητα. Οι Schmidt και Trainor [80] διερεύνησαν τα μοτίβα της δραστηριότητας του EEG που προκαλούνται από μουσικά αποσπάσματα σε μια ομάδα προπτυχιακών φοιτητών. Βρήκαν μεγαλύτερη αριστερή και δεξιά μετωπική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια ευχάριστης και δυσάρεστης μουσικής. Επιπλέον, ήταν οι πρώτοι που έδειξαν ότι η συνολική ισχύς της μετωπικής δραστηριότητας προσδιορίζει την ένταση του μουσικού συναισθήματος. Επιπλέον, γρηγορότεροι ρυθμοί και ο μείζων τρόπος παρήγαγαν μεγαλύτερες αποκρίσεις στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ οι αργοί ρυθμοί και ο ελάσσων τρόπος συσχετίστηκαν με μεγαλύτερες αποκρίσεις στο το δεξιό ημισφαίριο [81].

### 4.6.1. EEG και αναγνώριση μουσικών συναισθημάτων

Εκτός από τις περιφερειακές φυσιολογικές αποκρίσεις στη μουσική, τα EEG κέρδισαν πρόσφατα μεγάλη προσοχή για την αναγνώριση των συναισθημάτων. Η εκτίμηση του συναισθήματος από το EEG είναι σημαντική μέθοδος επειδή τα εγκεφαλικά κύματα σχετίζονται άμεσα με τις διαδικασίες γνωστικής λειτουργίας και φαίνεται ότι τα EEGs παρέχουν περισσότερες πληροφορίες για τις συναισθηματικές

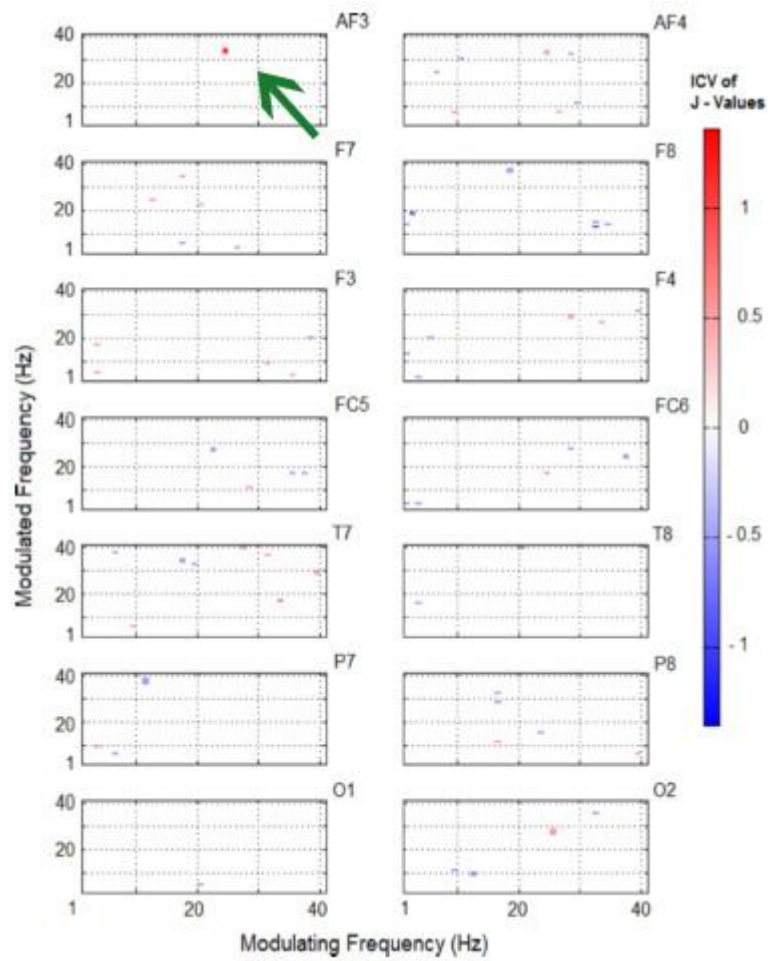
διαδικασίες σε σύγκριση με τα περιφερειακά φυσιολογικά σήματα. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών σχετικά με την αναγνώριση συναισθημάτων μέσω του EEG. Οι περισσότερες από τις πρώτες μελέτες σχετικά με το EEG πάνω στην αναγνώριση των συναισθημάτων εστιάστηκε στις φασματικές μεταβολές ισχύος σε μερικές εγκεφαλικές μπάντες και συγκεκριμένες περιοχές εγκεφάλου. Ένας κοινός δείκτης μουσικού συναισθήματος είναι η ασυμμετρία της  $\alpha$  μπάντας στην πρόσθια περιοχή του εγκεφάλου [80] [84]. Υπάρχει βέβαια ισχυρή απόδειξη ότι και άλλες φασματικές αλλαγές και περιοχές του εγκεφάλου εμπλέκονται σε συναισθηματικές αποκρίσεις. Αυτές περιλαμβάνουν τα κύματα  $\theta$  μπάντας στην μετωπική περιοχή [82], ασυμμετρία των κυμάτων  $\beta$  [83] και φασματικές αλλαγές των κυμάτων  $\gamma$  στην δεξιά κροταφική περιοχή [85]. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε έρευνες που παρουσίασαν συστήματα αναγνώρισης συναισθημάτων μέσω της χρήσης του EEG [86][87].

#### **4.6.2. EEG και υποκειμενική μουσική προτίμηση**

Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές αναζητούν συσχετίσεις των εγκεφαλικών κυμάτων κατά τη μουσική ακρόαση με την υποκειμενική αξιολόγηση της μουσικής του ατόμου. Το 2013 μια προσπάθεια αναγνώρισης της μουσικής προτίμησης πραγματοποιήθηκε με την χρήση EEG και ενός συστήματος επιλογής «μου αρέσει» ή «δε μου αρέσει» κατά την ακρόαση μικρών αποσπασμάτων. [88]

Το 2016 ο επιβλέπων παρουσίασε [89] ένα βιοδείκτη (στην εξέλιξη του οποίου θα συνεισφέρει το αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας) ο οποίος βασίζεται στην δραστηριότητα του αριστερού μετωπιαίου φλοιού και επικεντρώνεται στην διασυχνοτική σύζευξη μεταξύ υψηλών  $\beta$  κυμάτων και χαμηλών  $\gamma$  κυμάτων και είναι ικανός να προβλέψει τις μουσικές προτιμήσεις του ακροατή. Ο βιοδείκτης επιτρέπει τη χρήση ενός μόνο ηλεκτροδίου (βλ. Εικόνα Εικόνα 21) για την πρόβλεψη αυτή, δείχνοντας έτσι το δρόμο για τη δυνατότητα αξιοποίησης του από φορητές συσκευές φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και τη συναρμογή αυτών με διαδικτυακές υπηρεσίες μουσικής ακρόασης. Το ηλεκτρόδιο θα πρέπει να είναι τοποθετημένο στον αριστερό μετωπιαίο φλοιό, επαληθεύοντας την αναφορά προηγούμενων μελετών για τη συμμετοχή του αριστερού μετωπιαίου φλοιού στην

διαδικασία του αισθητικού βιώματος της μουσικής και της εκτίμησης της [67], [90],[91], [92],[93].



*Εικόνα 21: Απεικόνιση της διασυχνοτικής σύζευξης του κάθε ηλεκτροδίου κατά την καταγραφή. Το κόκκινο χρώμα αντιστοιχείται στις αντιδράσεις κατά την ακρόαση αγαπημένων τραγουδιών, ενώ το μπλε των ουδέτερων τραγουδιών. Παρατηρείται δραστηριότητα στο ηλεκτρόδιο AF3 που σχετίζεται με την ακρόαση αγαπημένων τραγουδιών. (προσαρμογή από [89])*

## 5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

### 5.1. Εισαγωγή

Στην επιστημονική βιβλιογραφία έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει βιολογικό αποτύπωμα που σχετίζεται με την εφορία που αισθάνεται ένα άτομο την ώρα της ακρόασης ενός τραγουδιού της προτίμησης του [67]. Αυτό συσχετίζεται με την έκκριση της ορμόνης που ονομάζεται *ντοπαμίνη* σε δομές υπό του φλοιού του εγκεφάλου και στις οποίες η νευροαπεικόνιση είναι εφικτή μόνο σε κλινικά περιβάλλοντα. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι αυτές οι δομές συνδέονται λειτουργικά με περιοχές στο φλοιό [94], ενώ παράλληλα οι νευροεπιστήμονες τα τελευταία χρόνια διατυπώνουν την άποψη ότι η λειτουργική επικοινωνία μεταξύ δομών του εγκεφάλου πραγματοποιείται μέσω των εγκεφαλικών ρυθμών [95][96][97]. Η επιστημονική υπόθεση η οποία διατυπώνεται στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας αφορά στην προσπάθεια να καταγραφεί μέσω ηλεκτροεγκεφαλογραφίας η επικοινωνία των γνωστικών κέντρων με τα κέντρα της ντοπαμίνης ώστε να επιχειρηθεί η αποκωδικοποίηση των εγκεφαλικών κυμάτων για την πρόβλεψη της μουσικής προτίμησης κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό απαιτείται η δημιουργία εκ των προτέρων ενός μοντέλου του μουσικού στυλ των ακροατών. Για αυτό το λόγο, συγκεντρώθηκε μια ομάδα ακροατών δέκα (10) ατόμων και ζητήθηκε από αυτούς να παρουσιάσουν τριάντα μουσικές επιλογές τους ισοκατανεμημένες σε τρία διαφορετικά επίπεδα μουσικής προτίμησης.

Τα επίπεδα, με βάση τα οποία βαθμονόμησαν τις μουσικές επιλογές τους, στηρίχτηκαν στο τυπικό σύστημα αξιολόγησης που χρησιμοποιείται συνήθως σε μουσικές υπηρεσίες, 0-5 αστεριών.

Τα επίπεδα και οι αντίστοιχες κατηγορίες ορίστηκαν ως εξής:

- 1 ★ «Αδιάφορα - μη ενοχλητικά - τραγούδια»
- 3 ★★★ «Τραγούδια που μου αρέσει να ακούω στην καθημερινότητα μου»
- 5 ★★★★★ «Αγαπημένα τραγούδια»

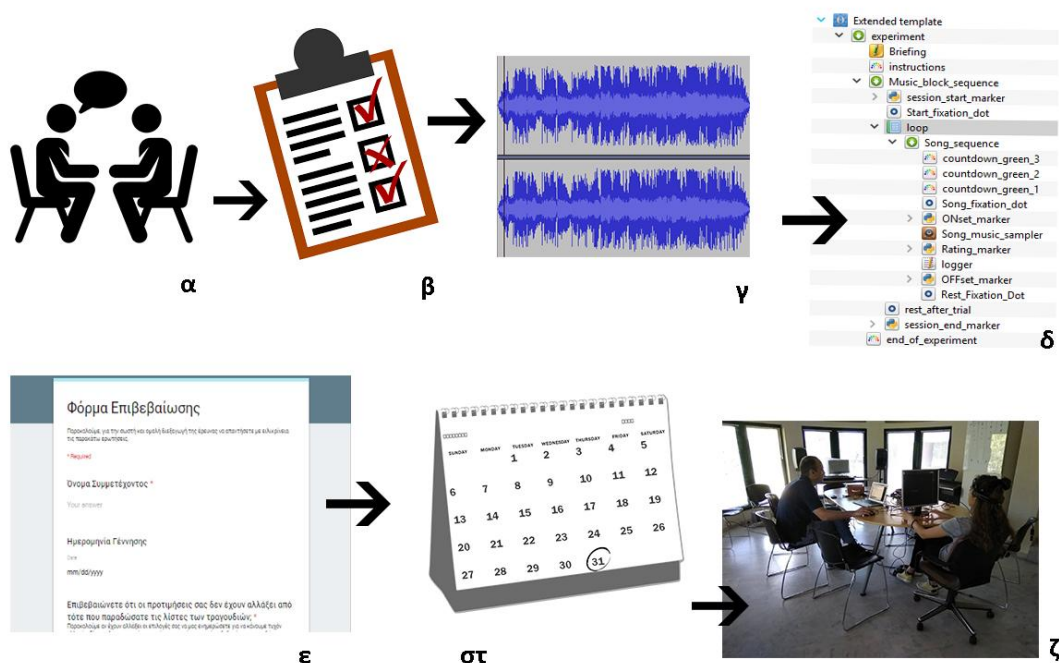


Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την ακρόαση αποσπασμάτων αυτών των τραγουδιών από τους ίδιους συμμετέχοντες και τη συγχρονισμένη καταγραφή της εγκεφαλικής τους δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της ακρόασης, μέσω συσκευής φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, με σκοπό να επιτρέψει την αναζήτηση ενός νευροδυναμικού ισοδύναμου των μουσικών αξιολογήσεων τους.

## 5.2. Προετοιμασία πειράματος

Η προετοιμασία χωρίστηκε στα εξής στάδια, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 22:

1. Ανοιχτή πρόσκληση
2. Συνέντευξη
3. Συλλογή και επεξεργασία απαντήσεων
4. Συλλογή και επεξεργασία ηχητικού υλικού
5. Δημιουργία υπολογιστικού πρότυπου
6. Επαναληπτική συνέντευξη
7. Προγραμματισμός πειραμάτων
8. Προετοιμασία χώρου και εξοπλισμού



Εικόνα 22: Τα στάδια της προετοιμασίας του πειράματος σε χρονική σειρά: α) Εύρεση και συνέντευξη συμμετεχόντων, β) παράδοση και έλεγχος λιστών, γ) επεξεργασία υλικού, δ) δημιουργία υπολογιστικού προτύπου, ε) επιβεβαίωση των επιλογών, στ) δημιουργία

πειραματικού προγράμματος και τέλος, ζ) στήσιμο του εξοπλισμού και έναρξη του πειράματος

### **5.2.1. Ανοιχτή πρόσκληση**

Το πρώτο βήμα ήταν η εύρεση των συμμετεχόντων. Το είδος των συμμετεχόντων που αναζητούσαμε ήταν ενήλικες γένους θηλυκού. Όλα τα άτομα που εξέφρασαν το ενδιαφέρον τους για την έρευνα ήταν φοιτήτριες, και στην πλειοψηφία τους του Τμήματος Μουσικών Σπουδών.

### **5.2.2. Συνέντευξη**

Αφού τα άτομα έδειξαν ενδιαφέρον για την συμμετοχή στην έρευνα, ήταν απαραίτητη η ενημέρωση τους για τους στόχους της έρευνας, την διαδικασία του πειράματος και τις υποχρεώσεις τους. Το στάδιο της προσωπικής συνέντευξης είναι αναγκαίο για να επιβεβαιωθεί το ενδιαφέρον τους. Αφού το άτομο συνεχίζει να επιθυμεί να πάρει μέρος, ζητάμε από αυτό να φτιάξει τις τρεις λίστες με τα τραγούδια της επιλογής του.

### **5.2.3. Συλλογή και επεξεργασία απαντήσεων**

Αφού οι συμμετέχουσες παρέδωσαν τις λίστες με τους τίτλους των τραγουδιών της επιλογής τους, ήταν απαραίτητος ο έλεγχος τους. Ο έλεγχος που πραγματοποιήσαμε αφορούσε κυρίως την μορφή των τραγουδιών, άλλα σε άλλες περιπτώσεις και το στυλ. Όταν, για παράδειγμα, υπήρχε κάποιο τραγούδι το οποίο δεν συγγένευε με το γενικό στυλ μουσικής που παρουσιαζόταν μέσω των υπόλοιπων επιλογών, επικοινωνούσαμε με την συμμετέχουσα ώστε να επιβεβαιώσει ότι είναι όντως δική της επιλογή και όχι κάποιο λάθος. Η μορφή των τραγουδιών ζητήθηκε από τις συμμετέχουσες να υπακούει κατά το δυνατό σε pop-rock μουσικές φόρμες, ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία ομοιόμορφων αποσπασμάτων-σύντομης (audio-thumbnail) των τραγουδιών τύπου «κουπλέ-ρεφραίν» κατά την μετέπειτα αξιοποίησή τους στο πείραμα. Οπότε κατά τον έλεγχο των τραγουδιών όταν συναντούσαμε τραγούδια, για παράδειγμα, κλασικού ή τζαζ ύφους χωρίς κάποιο τμήμα «κορύφωσης» (ρεφρέν), ζητούτανε από τη συμμετέχουσα η αντικατάστασή του.

#### 5.2.4. Συλλογή και επεξεργασία ηχητικού υλικού

Το τέταρτο στάδιο περιείχε την κατάλληλη επεξεργασία των τραγουδιών για την μετέπειτα χρήση τους στο πρόγραμμα που θα έτρεχε το πείραμα. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού ανοικτού κώδικα *Audacity*<sup>15</sup> (βλ Εικόνα 23) και αποτελείται από τα εξής βήματα:

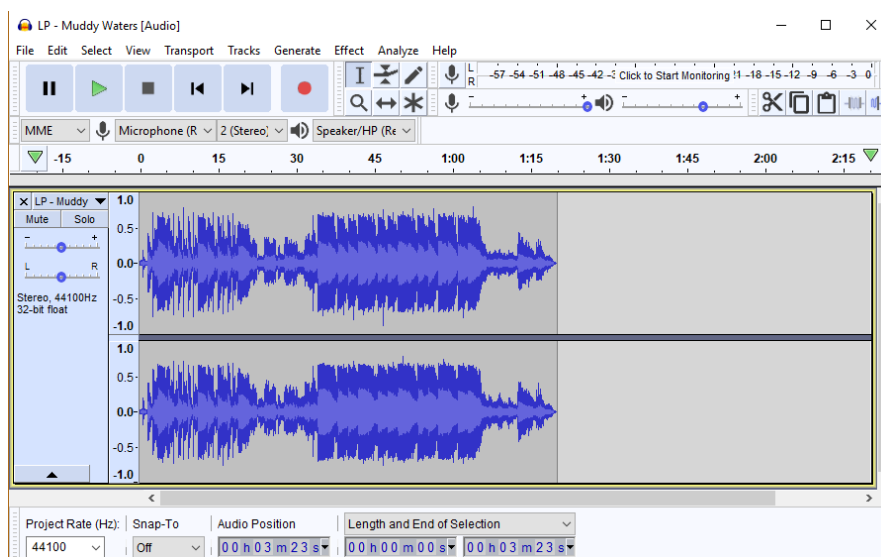
- Επιλογή των πιο αντιπροσωπευτικών 80 δευτερολέπτων του τραγουδιού: Τα αποσπάσματα όλων των τραγουδιών περιορίστηκαν στα 80 δευτερόλεπτα, ένα επαρκές χρονικό όριο για τη λειτουργικότητα του βιοδείκτη [89]. Φυσικά, έχοντας υπόψη την μεγάλη ποικιλομορφία των τραγουδιών, ο τρόπος επιλογής δεν ήταν μια τυποποιημένη διαδικασία αλλά διέφερε από τραγούδι σε τραγούδι. Ως ένα κοινό κανόνα, μέσα σε αυτό το όριο συμπεριλήφθηκαν απαραίτητα ένα *κουπλέ* (είτε ολόκληρο είτε εν μέρει ελλιπές) και ένα *ρεφρέν* (ολόκληρο), δηλαδή την κορύφωση του τραγουδιού. Αλλά εκτός από αυτόν τον κανόνα, τα κριτήρια εξαρτήθηκαν περισσότερο από την κριτική μουσικολογική μας προσέγγιση, σε μια προσπάθεια εύρεσης στοιχείων του τραγουδιού που θα αποτελέσουν μια αντιπροσωπευτική σύνοψη αυτού.
- Κανονικοποίηση (Normalization): Το εύρος έντασης των διαφόρων τραγουδιών παρουσίαζε διαφορές, κυρίως λόγω της σταχυολόγησης του από διαφορετικές πηγές, με αποτέλεσμα η ένταση κατά την μετάβαση από το ένα τραγούδι στο άλλο να αλλάζει και να μην υπάρχει ομοιομορφία, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Με την λειτουργία της κανονικοποίησης (η υλοποίηση έγινε στο περιβάλλον Audacity) εντοπίζεται το υψηλότερο σημείο της κυματομορφής του αποσπάσματος, και στη συνέχεια ενισχύεται η ένταση σε όλη την περιοχή τόσο ώστε το συγκεκριμένο σημείο να φτάσει στη μέγιστη δυνατή ένταση, στην συγκεκριμένη περίπτωση -1 dB. (Το σήμα μετά τα 0dB αλλοιώνεται άρα τα -1dB είναι μια ασφαλής επιλογή με την οποία εξασφαλίζεται ότι αποκτάται σχεδόν η μέγιστη δυνατή ένταση που μπορεί να επιτευχθεί στο συγκεκριμένο απόσπασμα χωρίς φυσικά να

---

<sup>15</sup> <https://www.audacityteam.org/>

υπάρξει παραμόρφωση και παράλληλα εξασφαλίζεται και η ομοιομορφία μεταξύ των διάφορων αποσπασμάτων).

- Fade in - Fade out: Για την ομαλή μετάβαση από το ένα τραγούδι στο άλλο εκτός από το ομοιόμορφο επίπεδο έντασης απαιτείται στην αρχή και στο τέλος του αποσπάσματος να υπάρχει σταδιακή αύξηση και μείωση αντίστοιχα, της έντασης. Η κύρια συνεισφορά του χαρακτηριστικού αυτού είναι η αποφυγή της έκπληξης του συμμετέχοντα κάθε φορά που παρουσιάζεται το επόμενο απόσπασμα μετά από τη σιγή.



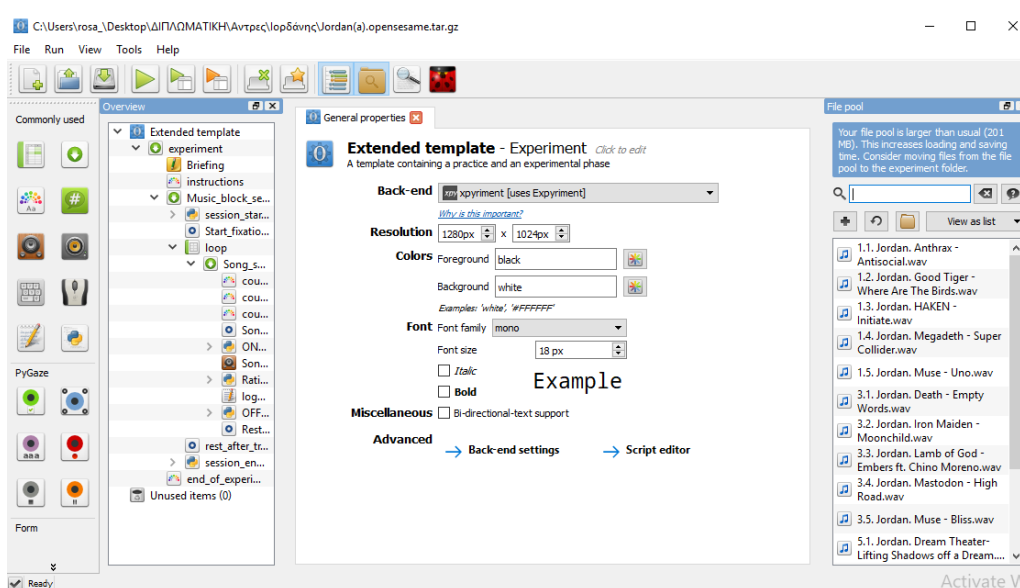
Εικόνα 23: Το περιβάλλον του λογισμικού Audacity. Στην εικόνα εμφανίζεται απόσπασμα από ένα από τα τραγούδια των συμμετεχόντων.

Κατηγοριοποίηση σε μουσικά είδη: Εκτός από την επεξεργασία των τραγουδιών που ήταν απαραίτητη για την χρήση τους στο πείραμα, προβήκαμε και στην κατηγοριοποίηση τους σε μουσικά είδη και στυλ. (βλ. Παράρτημα Ι) Αυτό έγινε με σκοπό την μετέπειτα χρήση τους στην επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων μουσικολογικής φύσης για τις μουσικές προτιμήσεις των συμμετεχόντων. Έτσι δημιουργήθηκε ένας πίνακας στον οποίο καταχωρήθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία: α) σκορ αξιολόγησης, β) αρίθμηση συμμετέχουσας, γ) αρίθμηση τραγουδιού, δ) όνομα καλλιτέχνη, ε) τίτλος τραγουδιού, και στ) το μουσικό είδος του συγκεκριμένου τραγουδιού. Τα μουσικά είδη περιορίστηκαν σε πιο γενικές κατηγορίες ώστε να είναι δυνατή η ομαδοποίηση του υλικού. Για

παράδειγμα, τα ελληνικά τραγούδια κατηγοριοποιήθηκαν ως *greek pop* (σύγχρονα) και *greek folk* (τραγούδια που έχουν πιο παραδοσιακό, λαϊκό ή έντεχνο ύφος). Τα τραγούδια στην αγγλική γλώσσα κατηγοριοποιήθηκαν σε *pop*, *pop-rock*, *rock*, *metal*, *jazz*, *soul*, *indie pop/rock*, *electronic*, *latin*.

### 5.2.5. Δημιουργία υπολογιστικού πρότυπου

Το πέμπτο στάδιο αποτελείται από την δημιουργία του υπολογιστικού προτύπου του πειράματος, κάνοντας χρήση του λογισμικού Open Sesame (βλ. Εικόνα 24), ένα εξειδικευμένο τίτλο λογισμικού ανοιχτού κώδικα για το χτίσιμο πειραμάτων στη Νευροεπιστήμη [99]. Εξαιτίας της φύσης της έρευνας, δεν χρησιμοποιήθηκε κοινό πρότυπο για όλους τους συμμετέχοντες, αλλά δημιουργήσαμε διαφορετικό για τον κάθε ένα. Επιπλέον, εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας του πειράματος, αποφασίστηκε ο χωρισμός της διαδικασίας σε δυο τμήματα για το κάθε υποκείμενο, χωρίζοντας τον αριθμό των τραγουδιών στη μέση, δηλαδή 15 αποσπάσματα σε κάθε ένα (5 τραγούδια από κάθε λίστα). Αυτό έγινε για την αποφυγή εξάντλησης των ακροατών και τη δυνατότητα ξεκούρασης ενδιαμέσα.



Εικόνα 24: Το περιβάλλον του λογισμικού Open sesame. Στα αριστερά εμφανίζεται η σειρά με τα βήματα που εκτελούνται και στα δεξιά οι λίστες με τα τραγούδια που χρησιμοποιούνται.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε σηματοδосία ελέγχου (markers) για τον έλεγχο της ροής του πειράματος και την ακριβή χρονική ταυτοποίηση των διαστημάτων έναρξης και λήξης της μουσικής ακρόασης στο EEG.

Αναλυτικότερα, το πρότυπο του πειράματος περιείχε τα εξής:

- Οδηγίες για τον συμμετέχοντα πριν την έναρξη της διαδικασίας. Στην οθόνη αναγράφεται ότι η διαδικασία περιέχει μόνο παθητική ακρόαση και την γενική δομή του πειράματος: 70'' κατάσταση ηρεμίας στην αρχή, 80'' μουσικής, 10'' ξεκούρασης ενδιάμεσα στα αποσπάσματα.
- Marker=9: Για την μετέπειτα επεξεργασία των καταγραφών ήταν απαραίτητη η χρήση κάποιων δεικτών (markers) για να είναι δυνατή ο εντοπισμός της έναρξης και της λήξης της διαδικασίας του πειράματος αλλά και η ακρόαση του κάθε αποσπάματος. Οι δείκτες αυτοί επικοινωνούνται προς το λογισμικό καταγραφής EEG με στόχο την ακριβή εξαγωγή των σημαντικών αποσπασμάτων (μουσικής ακρόασης) από την καταγραφή (βλ. Εικόνα 32). Ο δείκτης 9 ήταν αυτός που χρησιμοποιήσαμε για να σηματοδοτήσουμε την έναρξη και την ολοκλήρωση του πειράματος. Οι δείκτες δεν είναι ορατοί προς τον συμμετέχοντα.
- Εμφάνιση μαύρης κουκίδας για 70'' (resting state) κατά την οποία χρονική περίοδο το υποκείμενο παραμένει ακίνητο χωρίς να γίνεται αναπαραγωγή κάποιου αποσπάματος (βλ. Εικόνα 25), με σκοπό τη καταγραφή της δραστηριότητας του εγκεφάλου του για την σύγκριση του με την αντίστοιχη κατά την ώρα της ακρόασης.
- Loop: βρόχος 15 επαναλήψεων μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένα τα αποσπάσματα και οι αντίστοιχες αξιολογήσεις (1-3-5). Η αναπαραγωγή τους πραγματοποιείται με τυχαία σειρά. Ο βρόχος αυτός περιέχει μέσα τα εξής βήματα: α) αντίστροφη μέτρηση (3,2,1) με στόχο την προειδοποίηση του συμμετέχοντα για την έναρξη του αποσπάματος, β) η κουκίδα γίνεται πράσινη και γίνεται η αποστολή του marker=7: σηματοδοτούν την έναρξη της ακρόασης, γ) αναπαραγωγή αποσπάματος, δ) marker με τη αξιολόγηση του τραγουδιού ε) αποστολή marker=8 και αλλαγή χρώματος κουκίδας σε κόκκινο, σηματοδοτώντας το τέλος της ακρόασης και δείχνοντας στον συμμετέχοντα ότι ξεκίνησαν τα 10'' ξεκούρασης μεταξύ των αποσπασμάτων.
- Marker=9: σηματοδότηση της ολοκλήρωσης της διαδικασίας.



*Εικόνα 25: Η σειρά με την οποία εμφανίζονταν οι κουκίδες στην οθόνη του υποκειμένου αντίστοιχα με το στάδιο στο οποίο βρισκόταν το πείραμα.*

### **5.2.6. Επαναληπτική συνέντευξη**

Αυτό το βήμα περιείχε την δημιουργία μιας ηλεκτρονικής φόρμας επιβεβαίωσης των τίτλων των τραγουδιών που παρέδωσαν. Αυτό ήταν απαραίτητο ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι μουσικές προτιμήσεις των συμμετεχόντων δεν είχαν αλλάξει στην περίοδο που προηγήθηκε από τη στιγμή που παρέδωσαν τις λίστες τους, όπως επίσης και η επιβεβαίωση ότι οι λίστες της κατηγορίας ενός αστεριού δεν περιείχαν τραγούδια που να τους προκαλούν δυσφορία.

### Φόρμα Επιβεβαίωσης

Παρακαλούμε, για την σωστή και ομαλή διεξαγωγή της έρευνας να απαντήσετε με ειλικρίνεια τις παρακάτω ερωτήσεις.

\* Required

Όνομα Συμμετέχοντος \*

Your answer

Ημερομηνία Γέννησης

Date

mm/dd/yyyy

Επιβεβαιώνετε ότι οι προτιμήσεις σας δεν έχουν αλλάξει από τότε που παραδώσατε τις λίστες των τραγουδιών; \*

Παρακαλούμε αν έχουν αλλάξει οι επιλογές σας να μας ενημερώσετε για να κάνουμε τυχόν αλλαγές. Είναι πολύ σημαντικό για την έρευνα να είναι σωστά τα δεδομένα που μας δώσατε.

Ναι, ισχύουν ακόμα οι λίστες.

Έχουν υπάρξει κάποιες αλλαγές στις προτιμήσεις μου απο τη στιγμή που δημιούργησα τις λίστες.

Αν έχουν υπάρξει αλλαγές, σημειώστε παρακάτω τους τίτλους των τραγουδιών που χρειάζεται να αντικατασταθούν και τους αντίστοιχους τίτλους των νέων τραγουδιών με τα οποία θα τα αντικαταστήσουμε.

Your answer

Επιβεβαιώνετε οτι οι επιλογές σας στη λίστα #1 δεν περιέχουν τραγούδια τα οποία σας προκαλούν ενόχληση ή δυσφορία; \*

Εικόνα 26: Απόσπασμα από την φόρμα επιβεβαίωσης που χρησιμοποιήθηκε στην επαναληπτική συνέντευξη λίγες μέρες πριν την έναρξη των πειραματικών διαδικασιών.

### 5.2.7. Προγραμματισμός πειραμάτων

Αυτό το βήμα συμπεριέλαβε την δημιουργία των απαραίτητων εντύπων συγκατάθεσης (βλ. Παράρτημα II) των συμμετεχόντων και την οργάνωση των πειραμάτων (βλ. Εικόνα 27) με βάση την ευχέρεια των συμμετεχόντων αλλά και την διαθεσιμότητα του χώρου.



	Apr 24 TUE	Apr 24 TUE	Apr 25 WED	Apr 25 WED	Apr 27 FRI	Apr 27 FRI	May 2 WED	May 2 WED	May 4 FRI	May 4 FRI
	10:00 AM 11:00 AM	12:00 PM 1:00 PM	10:00 AM 11:00 AM	12:00 PM 1:00 PM	10:00 AM 11:00 AM	12:00 PM 1:00 PM	10:00 AM 11:00 AM	12:00 PM 1:00 PM	10:00 AM 11:00 AM	12:00 PM 1:00 PM
10 participants	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1	✓1
Σταμάτος Διδάκτορας						✓				
Δήμητρα Κουκουλάκη							✓			
Yiannis	✓									
Κωνσταντίνος ΦΑΝΗΣ...			✓							
Σταμάτος Κωνσταντίνος					✓					
Αλέξανδρος Κωνσταντίνος		✓								
Αλέξανδρος Φίλιππος									✓	
Ιωάννης Κωνσταντίνος							✓			
Κωνσταντίνος Κωνσταντίνος							?	?		✓
Μαρίνα Κωνσταντίνος				✓			?	?		

Εικόνα 27: Οργάνωση του πειραματικού προγράμματος μέσω της υπηρεσίας Doodle

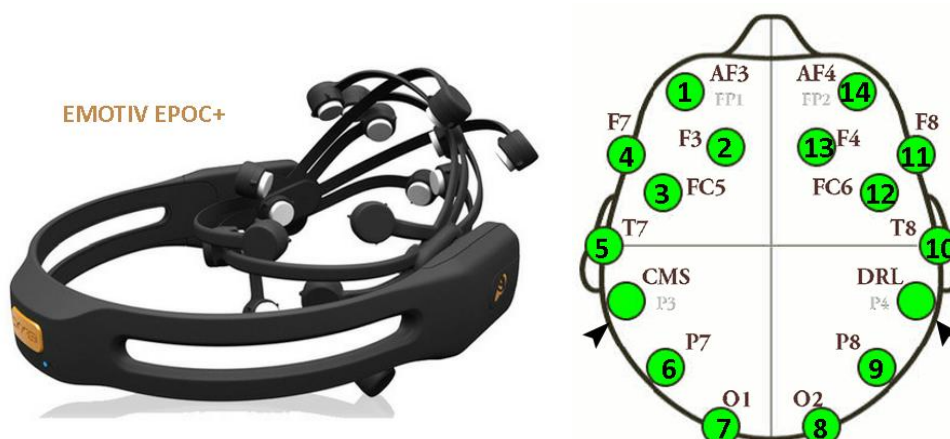
### 5.2.8. Προετοιμασία χώρου και εξοπλισμού

Το τελευταίο στάδιο πριν την πραγματοποίηση των πειραμάτων ήταν η δέσμευση του χώρου για τις ημερομηνίες που αποφασίστηκαν και η προετοιμασία του εξοπλισμού. Στο χώρο εγκαταστάθηκε ο κατάλληλος ηχητικός εξοπλισμός για την αναπαραγωγή του ηχητικού υλικού, μία οθόνη για τους συμμετέχοντες και ο σταθμός εργασίας στον οποίο έτρεξε το υπολογιστικό πρότυπο για τη διεξαγωγή του πειράματος και το λογισμικό καταγραφής του EEG.



Εικόνα 28: Αποψη του σταθμού εργασίας και του λογισμικού καταγραφής EEG

Η συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή είναι η EMOTIV EPOC+ (βλ. Εικόνα 29), μια συσκευή EEG 14 καναλιών υψηλής ανάλυσης, όπου τα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις θέσεις AF3, F3, FC5, F7, T7, P7, O1, O2, P8, T8, F8, FC6, F4 και AF4 του διεθνούς συστήματος 10-20, χρησιμοποιώντας δύο ηλεκτρόδια αναφοράς CMS, DRL στο πίσω μέρος των αυτιών. Η συσκευή είναι ασύρματη με συχνότητα δειγματοληψίας 128 Hz. Περιέχει επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου 12 ωρών, γυροσκόπια (κατευθύνσεις x και y) και διαθέτει φίλτρο διέλευσης ζώνης (0.5 – 45Hz). Πριν την έναρξη των πειραμάτων η συσκευή έπρεπε να είναι φορτισμένη και να έχει γίνει η κατάλληλη προμήθεια διαλύματος (υγρού φακών επαφής) για την τοποθέτηση του στα ηλεκτρόδια με στόχο την καλύτερη αγωγιμότητα αυτών.



*Εικόνα 29: Η συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφίας EMOTIV EPOC+ και οι θέσεις των ηλεκτροδίων καταγραφής της συσκευής (αριθμημένα), όπως και των ηλεκτροδίων αναφοράς CMS, DRL που χρησιμοποιήθηκαν. (προσαρμογή από<sup>16 17</sup>)*

Η εγκατάσταση του εξοπλισμού έγινε όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Η πολυθρόνα η οποία προοριζόταν για τους συμμετέχοντες τοποθετήθηκε στη μέση του γραφείου και μπροστά ακριβώς η οθόνη στην οποία εμφανιζόταν η έγχρωμη κουκίδα η οποία υποδείκνυε στο υποκείμενο το στάδιο του πειράματος. (κατάσταση χαλάρωσης - ακρόαση).

16 <https://imotions.com/emotiv-epoc-eeeg/>

17 <https://medium.com/@dinukasal/eeg-based-brain-computer-interface-bci-research-for-computer-science-79df11638f10>



Εικόνα 30: Αναπαράσταση του στησίματος του εξοπλισμού και της θέσεως του συμμετέχοντα κατά την πειραματική διαδικασία.

### 5.3. Διεξαγωγή του πειράματος

Η διαδικασία του πειράματος χωρίστηκε στα εξής στάδια:

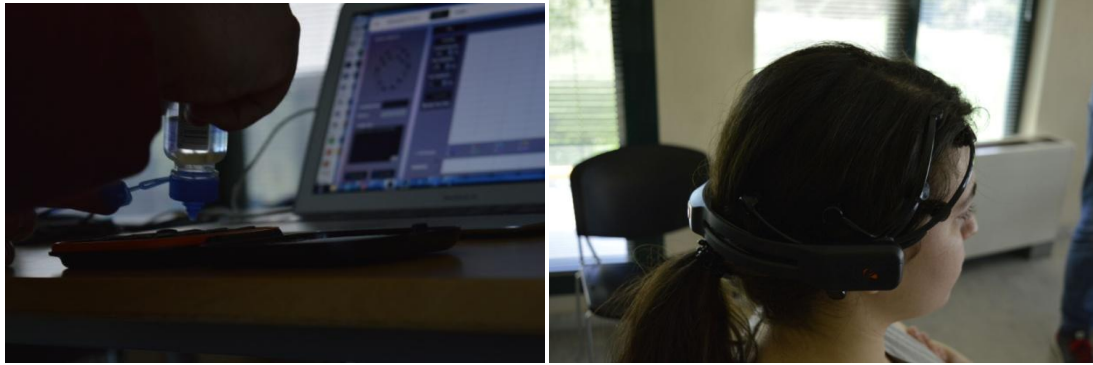
1. Εισαγωγή- Περιγραφή διαδικασίας
2. Έναρξη- Πρώτο μέρος
3. Διάλειμμα
4. Δεύτερο μέρος- Ολοκλήρωση

#### 5.3.1. Εισαγωγή πειράματος

Το πείραμα είχε διάρκεια συνολικά περίπου μία ώρα. Πριν την έναρξη, προηγήθηκε η υπογραφή του εντύπου συγκατάθεσης από την συμμετέχουσα και μια εισαγωγή στη διαδικασία καταγραφής του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και των υποχρεώσεων τους. Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να παραμένουν κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης όσο πιο ακίνητοι μπορούν, περιορίζοντας περιττές κινήσεις όπως να μην ανοιγοκλείνουν τα μάτια τους και να θέτουν σε κίνηση το σαγόνι τους. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι κινήσεις αυτές δημιουργούν θόρυβο στην καταγραφή του EEG σήματος. Τους έγινε γνωστό επίσης ότι κατά την διάρκεια των 10 δευτερολέπτων ανάμεσα από τις ακροάσεις των τραγουδιών θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν αντίστοιχες κινήσεις.

Κατόπιν, η συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφίας εφαρμόστηκε στο κεφάλι του υποκειμένου, αφού προηγήθηκε η τοποθέτηση του υγρού διαλύματος στα

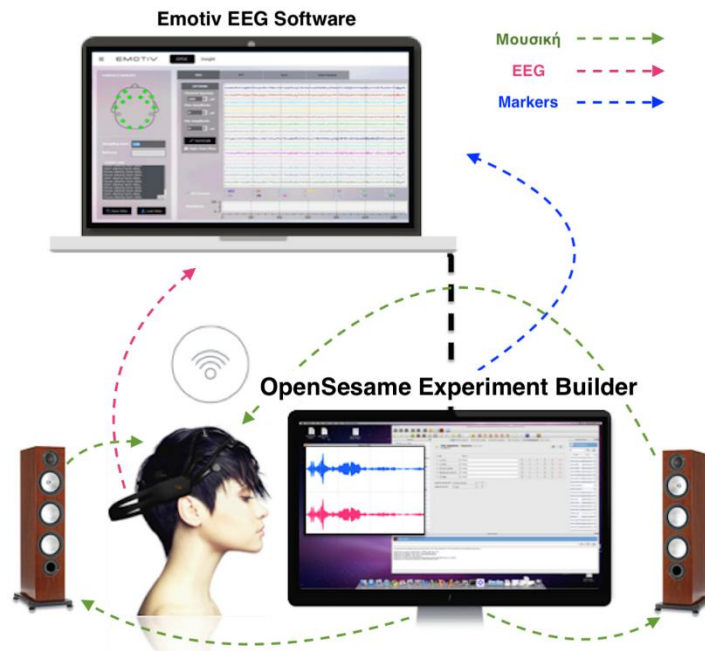
ηλεκτρόδια (βλ. Εικόνα 31). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, τα υποκείμενα ήταν γένους θηλυκού, κάτι το οποίο έκανε την εφαρμογή των ηλεκτροδίων αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα λόγω της πυκνότητας του τριχωτού της κεφαλής αυτών.



*Εικόνα 31: Τοποθέτηση του υγρού φακών επαφής στα ηλεκτρόδια και εφαρμογή της συσκευής EEG στο κεφάλι της συμμετέχουσας*

### **5.3.2. Έναρξη- Πρώτο μέρος**

Το πρώτο τμήμα του πειράματος αποτελείται από 70'' χαλάρωσης κατά την οποία πραγματοποιείται καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας σε κατάσταση ηρεμίας. Ακολουθεί ηχητικό απόσπασμα 80'' και έπειτα 10'' σιωπής ως διάλειμμα για το υποκείμενο, κατά τα οποία έχει την ελευθερία να κινηθεί. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το επόμενο απόσπασμα και το επόμενο διάλειμμα, μέχρι να ολοκληρωθούν 15 επαναλήψεις, όσο και ο αριθμός των μισών τραγουδιών του κάθε υποκειμένου. Η ροή πληροφοριών κατά την ακρόαση, μεταξύ των χρησιμοποιούμενων συσκευών και του υποκειμένου πραγματοποιούνταν όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 32.



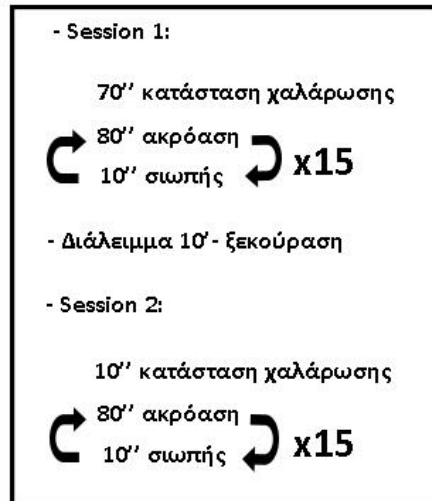
Εικόνα 32: Η ροή των διαφορετικών ειδών πληροφορίας (μουσική, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) και σηματοδότηση ελέγχου (markers) κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Το είδος κάθε ροής σημειώνεται μέσω χρωματικού κώδικα.

### 5.3.3. Διάλειμμα

Με την ολοκλήρωση του πρώτου μέρους των 15 αποσπασμάτων, διατέθηκε ένα δεκάλεπτο για την ξεκούραση των συμμετεχόντων. Αυτό το διάλειμμα είναι αναγκαίο διότι η διαδικασία της ακρόασης είναι σωματικά και πνευματικά κουραστική για τον ακροατή.

### 5.3.4. Δεύτερο μέρος- Ολοκλήρωση

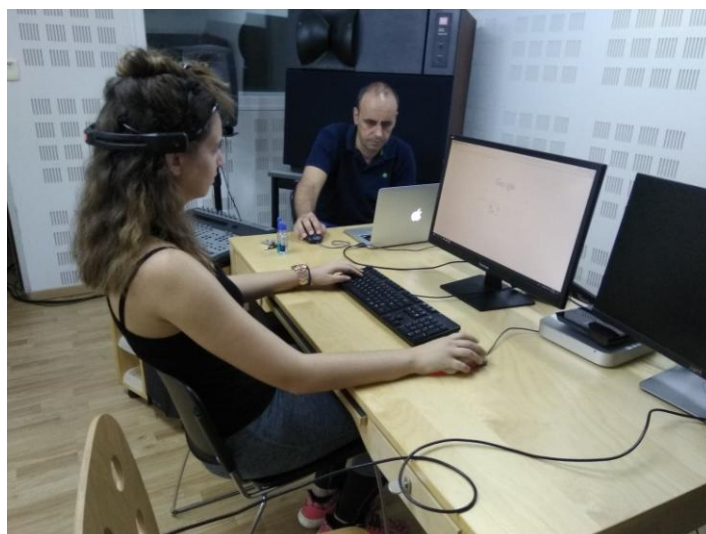
Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από τα ίδια βήματα με το πρώτο, με την διαφορά ότι ο χρόνος χαλάρωσης στην αρχή είναι αυτή τη φορά 10'. Ακολουθούν οι επαναλήψεις με τα υπόλοιπα 15 αποσπάσματα της κάθε συμμετέχουσας. Μόλις ολοκληρωθούν οι επαναλήψεις εμφανίζεται μήνυμα που ενημερώνει το υποκείμενο ότι η διαδικασία έχει φτάσει στο τέλος της.



Εικόνα 33: Σχηματική αποτύπωση των βημάτων της πειραματικής διαδικασίας

#### 5.4. Wild Sessions

Εκτός από την υλοποίηση των καταγραφών από δέκα υποκείμενα με τις παραπάνω προϋποθέσεις, πραγματοποιήθηκαν και άλλες δύο επαναλήψεις στις οποίες έλαβαν μέρος κάποιες από τις συμμετέχουσες. Η διαφορά των πειραμάτων αυτών ήταν ότι ζητήθηκε από τις συμμετέχουσες να ασκήσουν κάποια φυσιολογική εργασία (πλοήγηση στο διαδίκτυο) κατά τη διάρκεια της ακρόασης. Ο σκοπός αυτών των πειραμάτων ήταν η υλοποίηση του πειράματος σε ρεαλιστικές συνθήκες, προσομοιώνοντας την λειτουργικότητα των υποκειμένων στο φυσικό περιβάλλον τους.



Εικόνα 34: Wild session- Η συμμετέχουσα πλοηγείται στο διαδίκτυο κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 6.1. Αποτελέσματα

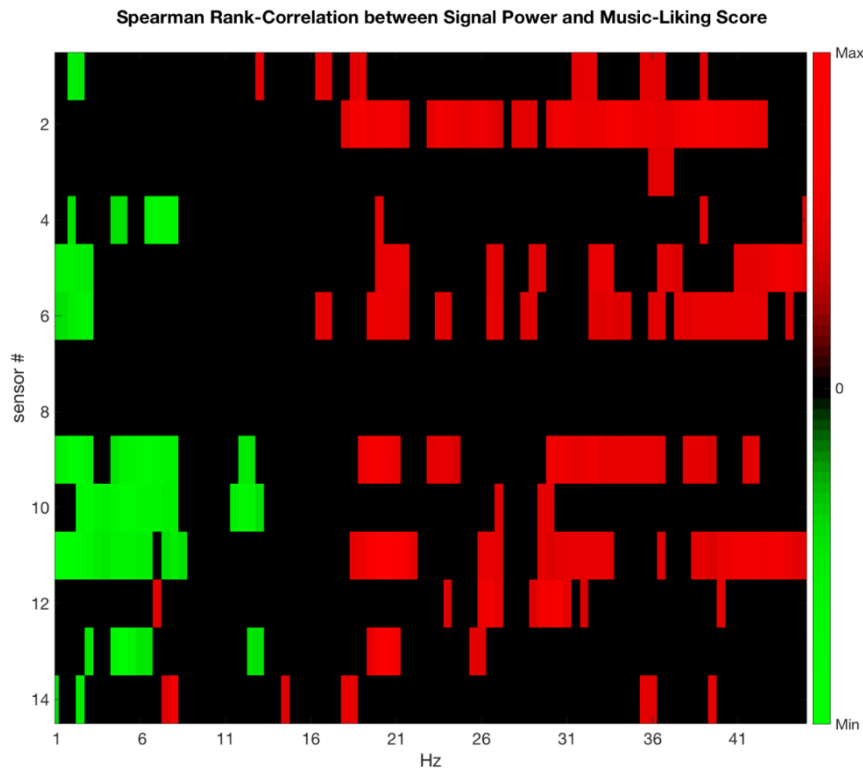
Με την καθοδήγηση του κ. Αδάμου, εκτιμήθηκε η συσχέτιση των σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών σε κάθε υποκείμενο με φασματικά χαρακτηριστικά του EEG σήματος. [89]

Πιο συγκεκριμένα, με βάση το διακριτό μετασχηματισμό Φουριέ (Discrete Fourier Transform)[100], υπολογίστηκε αρχικά η φασματική πυκνότητα ισχύος (Power spectral density – PSD)[100] με τη μέθοδο Welch<sup>18</sup> (Welch's power spectral density estimate) στο εύρος [1Hz – 45Hz]. Στη συνέχεια, για κάθε υποκείμενο, υπολογίστηκε διακριτά κατά μήκος της κλίμακας του εύρους συχνοτήτων για κάθε ηλεκτρόδιο ο συντελεστής συσχέτισης Spearman<sup>19</sup> [101] της φασματικής ισχύος των EEG σημάτων με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών που ακούστηκαν. Ένα παράδειγμα απεικονίζεται στην Εικόνα 35, όπου είναι εμφανές ότι για τα περισσότερα ηλεκτρόδια (πλην των ινιακών 7:O1 & 8:O2) οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι σημαντικά αρνητικές για αργές ταλαντώσεις του EEG σήματος, ενώ αυξάνονται για τις γρήγορες ταλαντώσεις του EEG σήματος (κυρίως για τιμές μεγαλύτερες των 15 Hz).

---

<sup>18</sup> Η υλοποίηση έγινε σε περιβάλλον MATLAB.

<sup>19</sup> Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι ένας μη-παραμετρικός δείκτης που αποτυπώνει τη στατιστική εξάρτηση δύο μεταβλητών. Λαμβάνει τιμές από -1 έως +1. Το πρόσημο της συσχέτισης υποδεικνύει την κατεύθυνση της σχέσης των δύο μεταβλητών (αν αυξάνονται ή μειώνονται μαζί ή το αντίστροφο)

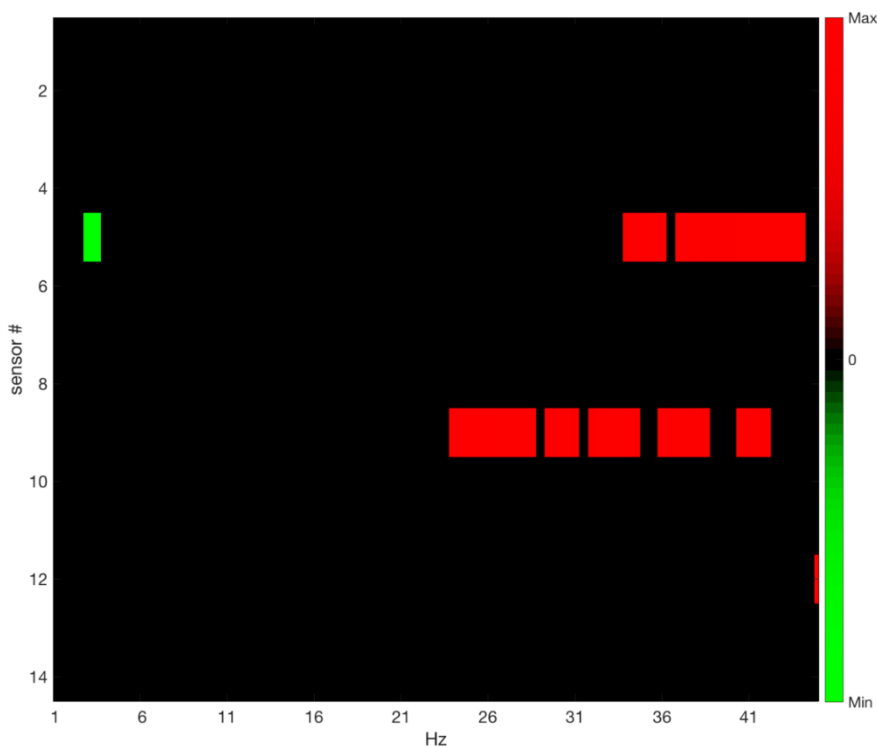


*Εικόνα 35: Απεικόνιση για μία συμμετέχουσα τη συσχέτιση της ισχύος του EEG σήματος σε κάθε ηλεκτρόδιο (1:AF3,...,14:AF4) και κατά μήκος της κλίμακας εύρους συχνοτήτων, με τα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης. Στην εικόνα απεικονίζονται για λόγους καθαρότητας μόνο οι σημαντικές τιμές του συντελεστή ( $r_{\text{naI}} < 0.1$ ).*

Στη συνέχεια, για το σύνολο των υποκειμένων, υπολογίστηκε κατά μήκος της κλίμακας του εύρους συχνοτήτων και για κάθε ηλεκτρόδιο ο ‘καθολικός’ συντελεστής συσχέτισης Spearman της ισχύος των EEG σημάτων με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών που ακούστηκαν και απεικονίζεται στην Εικόνα 36. Εκεί παρατηρούμε ότι στο αριστερό κροταφικό ηλεκτρόδιο (5:T7) και στο δεξί βρεγματικό ηλεκτρόδιο (9:P8) οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι σημαντικά ( $r_{\text{naI}} < 0.1$ ) θετικές για τις γρήγορες ταλαντώσεις του EEG σήματος (κυρίως για τιμές μεγαλύτερες των 32Hz και 22Hz αντίστοιχα).



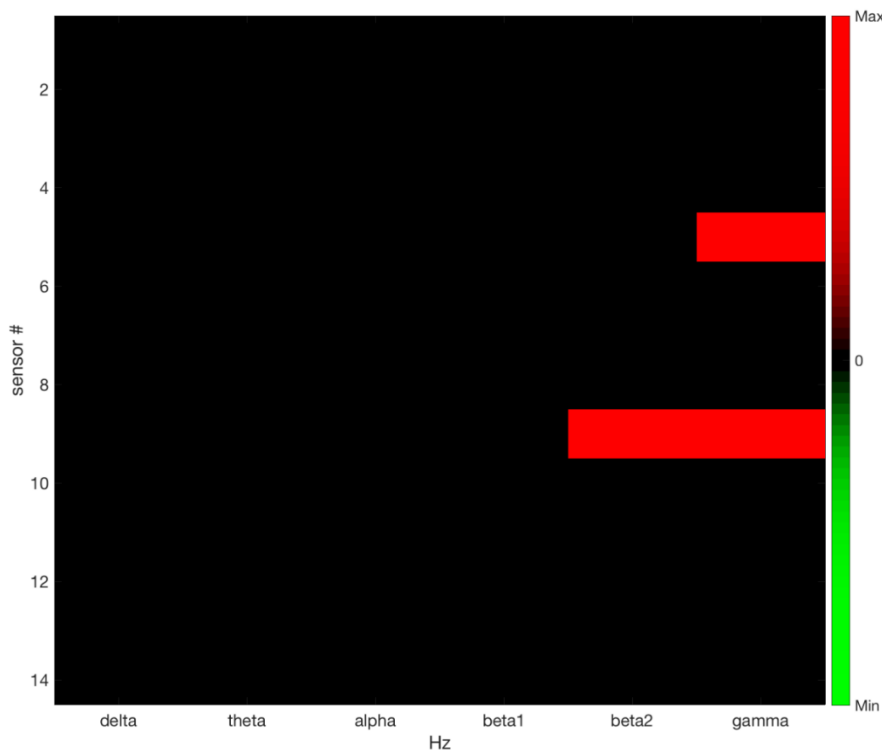
Across Female Subjects Map of Rank-Correlation between Signal Power and Music-Liking Score



Εικόνα 36: Απεικόνιση της ‘καθολικής’ συσχέτισης της ισχύος του EEG σήματος σε κάθε ηλεκτρόδιο (1:AF3,...,14:AF4) και κατά μήκος της κλίμακας εύρους συχνοτήτων, με τα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης όλων των υποκειμένων που συμμετείχαν στο πείραμα. Στην εικόνα απεικονίζονται για λόγους καθαρότητας μόνο οι σημαντικές τιμές του συντελεστή ( $p_{\text{val}} < 0.1$ ).

Τέλος, η ‘καθολική’ συσχέτιση μεταξύ των σκορ αξιολόγησης της μουσικής προτίμησης όλων των συμμετεχόντων και των αντιστοίχων τιμών της φασματικής ισχύος του EEG σήματος για κάθε ηλεκτρόδιο υπολογίστηκε και στη βάση των εγκεφαλικών ρυθμών ( $\delta, \theta, \alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ ), όπως φαίνεται στην Εικόνα 37. Αντίστοιχα με την Εικόνα 36 παρατηρούμε ότι στο αριστερό κροταφικό ηλεκτρόδιο (5:T7) και στο δεξί βρεγματικό ηλεκτρόδιο (9:P8) οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι στατιστικώς σημαντικές ( $p_{\text{val}} < 0.05$ ) θετικές για τους ‘γρήγορους’ εγκεφαλικούς ρυθμούς ( $\gamma$  και  $\beta_2 - \gamma$  αντίστοιχα).

Across Subjects Map of Rank-Correlation between Signal Power and Music-Liking Score; P-value:0.05



Εικόνα 37: Απεικόνιση της ‘καθολικής’ συσχέτισης της ισχύος του EEG σήματος, σε κάθε ηλεκτρόδιο (1:AF3,...,14:AF4) και για κάθε εγκεφαλικό ρυθμό, με τα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης όλων των υποκειμένων που συμμετείχαν στο πείραμα. Στην εικόνα απεικονίζονται για λόγους καθαρότητας μόνο οι στατιστικώς σημαντικές τιμές του συντελεστή ( $p\text{-val} < 0.05$ ).

## 6.2. Συζήτηση

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε αφορμή για την εισαγωγή στον τομέα της Νευροεπιστήμης και των BCIs. Αν και δυο τομείς ανεξάρτητοι από το πεδίο σπουδών της Μουσικολογίας, ο συνδυασμός αυτών οδήγησε σε μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα θεματολογία και σε ένα κλάδο αρκετά καινοτόμο, με πολλές προοπτικές.

Εκτός από την επαφή, στο θεωρητικό κομμάτι, με την μελέτη και την βιβλιογραφική χρήση επιστημονικών άρθρων (το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό εφόδιο για τις μετέπειτα σπουδές και εργασία στον ερευνητικό τομέα), υπήρξε εξοικείωση με την χρήση του αντίστοιχου λογισμικού που χρειάστηκε κατά την προετοιμασία και την διεξαγωγή του πειράματος. Επίσης, η εκμάθηση της πρακτική του EEG και η εφαρμογή του στην πειραματική διαδικασία ήταν ένα από τα άγνωστα αντικείμενα

με τα οποία υπήρξε επαφή και αποτέλεσε το κυριότερο εργαλείο για την πραγματοποίηση του πειράματος.

Επιπλέον, η διπλωματική εργασία επέτρεψε την εξοικείωση με την επιστημονική έρευνα σε πραγματικές συνθήκες, περιλαμβάνοντας, ανεξαιρέτως, και τις προκλήσεις που παρουσιάζονται κατά την οργάνωση και την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο αυτής, συναντήθηκαν αρκετά προβλήματα τόσο τεχνικά, όσο και οργανωτικά. Τα πιο συχνά και σημαντικότερα ήταν τα προβλήματα επικοινωνίας και προγραμματισμού με τους συμμετέχοντες. Απαιτήθηκε συνεχής επικοινωνία για την υπενθύμιση και επιβεβαίωση των επιλογών τους με αποτέλεσμα να υπάρξουν αρκετές διορθώσεις κατά την προετοιμασία του υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Τα τεχνικά προβλήματα αφορούσαν στην προετοιμασία του υλικού και του πειράματος και έκαναν την εμφάνιση τους κατά την διάρκεια των πρώτων πειραματικών διαδικασιών, όπως για παράδειγμα η απουσία των markers ή η κατάρρευση του προγράμματος πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας εξαιτίας αναντιστοιχιών στην κωδικοσελίδα των χαρακτήρων των τίτλων των τραγουδιών και τη μη ορθή αναγνώριση τους από το λογισμικό. Για την αποφυγή της επανάληψης τέτοιων ατυχιών έγινε απαραίτητη η εκ των προτέρων ολοκληρωμένη δοκιμή όλων των υπολογιστικών προτύπων.





Το πρώτο επίπεδο ανάλυσης των δεδομένων εμφανίζει αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα, καθώς αναζητήθηκε μια αρχικού επιπέδου φασματική συσχέτιση του EEG κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης. Φυσικά η υλοποίηση της ανάλυσης μέσω του βιοδείκτη [89] είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Παρόλ' αυτά, είναι φανερό η επικράτηση των κυμάτων  $\beta$  και  $\gamma$  τα οποία εμπλέκονται στην λειτουργία του βιοδείκτη, καθώς και του ηλεκτροδίου T3 το οποίο παραπέμπει στην ενεργοποίηση του ακουστικού φλοιού στο αριστερό ημισφαίριο.

Συνοψίζοντας, για πολλά χρόνια η χρήση της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (EEG) περιορίστηκε μόνο στο κλινικό περιβάλλον για την διάγνωση ασθενειών (π.χ. επιληψία, διαταραχές ύπνου, ασθένεια Alzheimer κλπ.). Αντίστοιχα, οι εφαρμογές

των διεπαφών εγκεφάλου- υπολογιστή (BCIs) ταυτίστηκαν με τις ιατρικές εφαρμογές προσθετικών μελών για άτομα με αναπηρία [102]. Οι εξελίξεις που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με την ηλεκτροεγκεφαλογραφία έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη συσκευών EEG χαμηλού κόστους και πιο εύκολες στην χρήση για το καταναλωτικό κοινό, ευνοώντας έτσι την καινοτομία, δεδομένου ότι διερευνώνται οι εφαρμογές και εκτός του ιατρικού χώρου [103][104].

Η παρούσα εργασία συνεισφέρει σε αυτόν τον τομέα, με στόχο την εξέλιξη της έρευνας που μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία ενός συστήματος διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή που εκτιμά αυτόματα τη μουσική προτίμηση του ακροατή, αποκωδικοποιώντας τα εγκεφαλικά κύματα και μεταφράζοντας τα στην τυποποιημένη κλίμακα βαθμολογίας πέντε αστεριών. Η προοπτική αυτής της έρευνας είναι η ενσωμάτωση αυτού του συστήματος σε διαδικτυακές μουσικές υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό, αντικαθιστώντας μελλοντικά το ημι-αυτόματο σύστημα έμμεσων προβλέψεων που κυριαρχεί σήμερα σε αυτές.

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι – ΦΟΡΕΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΕΓ

SUPPLIER	EMOTIV	EMOTIV	INTERAXON	NEUROSKY
MODEL	EPOC+	INSIGHT	MUSE	MINDWAVE
				
MARKET AVAILABILITY	October 2014	April 2015	October 2014	2007
SENSOR COUNT	14 + 2 references	5 + 2 references	4+3 references	1 + 2 references (ear-clip)
SENSORS	AF3, AF4, F3, F4, FC5, FC6, F7, F8, T7, T8, P7, P8, O1, O2	AF3, AF4, T7, T8, Pz	TP9, FP1, FP2, TP10	FP1
SAMPLE RATE	2048 internal, filtered and downsampled to 128 or 256 per sec per channel	2048 internal, filtered and downsampled to 128 or 256 per sec per channel	256	512
FREQUENCY RESPONSE	0.16 - 43 Hz	0.5 - 43 Hz	1 - 100 Hz	3 - 100 Hz
RESOLUTION	14 bit or 16 bit per channel	14 bit or 16 bit per channel	10 bit	12 bit
LSB RESOLUTION	0.51 $\mu$ V @ 14 bit / 0.13 $\mu$ V @ 16 bit	0.51 $\mu$ V @ 14 bit / 0.31 $\mu$ V @ 16 bit	2 $\mu$ V	N/A
DYNAMIC RANGE	$\pm$ 4.17 mV	$\pm$ 4.17 mV	$\pm$ 2 mV	$\pm$ 1mV
SENSOR TECHNOLOGY	Saline soaked felt pads	Long life semi-dry polymer	Dry sensor	Safe passive biosensors (dry)
MONITOR SENSOR	9 axis sensor (3x gyro, 3x accelerometer, 3x magnetometer)	9 axis sensor (3x gyro, 3x accelerometer, 3x magnetometer)	3-axis accelerometer	N/A
CONNECTIVITY	Proprietary 2.4GHz wireless (custom USB receiver) Bluetooth® Smart (wired USB available only using Extender accessory)	Proprietary 2.4GHz wireless (custom USB receiver) Bluetooth® Smart (wired USB available only using Extender accessory)	Bluetooth 2.0+EDR	WiFi (2.4GHz) or Bluetooth v2.1 Class 2

<b>INTERNAL POWER</b>	Li-poly battery, 680 mAh, >12 hours using custom wireless; >6 hours using Bluetooth® Smart (depending on resolution chosen)	Li-poly battery, 480 mAh, > 4 hours	Lithium-ion battery, 5 hours	1 x AAA battery , 6-8 hours
<b>EEG SIGNAL</b>	RAW + EEG power spectrum	RAW + EEG power spectrum	RAW + EEG power spectrum	RAW + EEG power spectrum
<b>DETECTIONS</b>	<p>Facial expressions: Blink, Left wink, Right wink, Furrow (frown), Raise brow (surprise), Smile, Clench teeth (grimace), Glance left, Glance right, Laugh, Smirk (left side), Smirk (right side)</p> <p>Emotional States: Instantaneous excitement, Long term excitement Frustration, Engagement, Meditation, Interest/Affinity</p> <p>Mental commands: Neutral, Any of up to 4 pretrained items from a list of 13 labels (Push, Pull, Lift, Drop, Left, Right, Rotate clockwise, Rotate anticlockwise, Rotate forwards, Rotate backwards, Rotate left, Rotate right, Disappear)</p>	<p>Facial expressions: Blink, Left wink, Right wink, Furrow (frown), Raise brow (surprise), Smile, Clench teeth (grimace), Glance left, Glance right, Laugh, Smirk (left side), Smirk (right side)</p> <p>Emotional States: Instantaneous excitement, Long term excitement Stress, Engagement, Relaxation, Interest, Focus</p> <p>Mental commands: Neutral, Any of up to 4 pretrained items from a list of 13 labels (Push, Pull, Lift, Drop, Left, Right, Rotate clockwise, Rotate anticlockwise, Rotate forwards, Rotate backwards, Rotate left, Rotate right, Disappear, User-definable, animations provided for previous set)</p>	Blink event, Jaw Clench event, Proper fit indicator (all channels), Data quality indicator (all channels)	<p>eSense meter for Attention</p> <p>eSense meter for Meditation</p> <p>eSense Blink Detection</p>
<b>SDK</b>	Yes	Yes	Yes	Yes

<b>SUPPORTED PLATFORMS</b>	Windows XP, Vista, 7, 8 Linux (Ubuntu, Fedora) Mac OS X iOS 5+ Android 4+	Windows XP, Vista, 7, 8 Linux (Ubuntu, Fedora) Mac OS X iOS 5+ Android 4+	Windows 7, 8 Mac OS X 10.8+ Ubuntu Linux LTS iOS 6.1+ Android OS 4.0.3+  OSC/LSL IO driver	Windows XP / Vista / 7 Mac OS X 10.5.8, 10.6.x, and 10.7.x  OR  IOS/Android
<b>CONSORTIUM AVAILABILITY</b>	<b>UNIT:</b> No (Similar to EPOC) <b>SDK:</b> Yes - Latest 2015 Research SDK	<b>UNIT:</b> Yes <b>SDK:</b> Yes - Latest 2015 Research SDK	<b>UNIT:</b> Yes <b>SDK:</b> Yes	<b>UNIT:</b> No <b>SDK:</b> No (1 electroce / out of pecs)

## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ- ΤΙΤΛΟΙ ΤΡΑΓΟΥΔΙΩΝ

<u>Artist</u>	<u>Songname</u>	<u>Genre</u>
Maraveyas Ilegal	Ase me na mpo	Greek pop
Bruno Mars	24K Magic	Pop
Lloy Price	Stagger Lee	Jazz
Queen	Death on Two Legs	Rock
Maura Oconnell	Summerfly	Folk
Nikos Vertis	Thelo na me nioseis	Greek folk
Mark Ronson (feat. Bruno Mars)	Uptown Funk	Pop
Melina Aslanidou	Aorati pligi	Greek folk
Frank Sinatra	Strangers In the Night	Jazz
Ylvis	What does the fox say	Electronic
Jason Derulo feat Nicki Minaj Ty Dolla \$ign	Swalla	Pop
Mirela Pachou	Mirela	Greek pop
Aretha Franklin	Think (The Blues Brothers Version)	Soul
Maroon 5	Sugar	Pop
Pink Martini	Quizas Quizas Quizas	Latin
Mariza Rizou- Mouzourakis-Xristodouloupoulos	Petaw	Greek pop
Pasxalidis	Kakes sinitheies	Greek folk
Kotsiras	Pws tha pethanw egw gia sena	Greek folk
Kotsiras	Ilios Kokkinos	Greek folk
Pasxalidis	Fwtia mou	Greek folk
Kotsiras	Gia sena	Greek folk
Melina Aslanidou	To arwma	Greek folk
Maxairitsas	Pethenw gia sena	Greek folk
Mirela Paxou Miltos Pasxalidis	Oso krataei enas kafes	Greek folk
Kotsiras	Kane to xeimwna kalokairi	Greek folk
P. Thalassinos M. Pasxalidis	Ta smirneika tragoudia	Greek folk
Penny Mpaltatzi	Eksotiko xarmani	Greek pop
Kotsiras	Pws mporw	Greek folk
Miltos Pasxalidis	Apousia	Greek folk
Giannis Xaroulis	Ti lathos kanw	Greek folk
MSG	Time	Rock
Blue October	Calling you	Pop-rock
Nevermore	Beyond Within	Metal
I GOT YOU ON TAPE	Somersault	Rock
Kovacs	Fool like you	Pop
P.Magoni e F.Spinetti	La canzone dei vecchi amanti	Pop
Johnny Cash	Hurt	Rock
KATATONIA	GHOST OF THE SUN	Metal
Masterplan	Spirit Never Die	Metal
Iced Earth	Dracula	Metal
Coldplay	Talk	Pop
Nickelback	Far Away	Rock
Iced Earth	I Died For You	Metal
Edguy	King Of Fools	Metal
Audioslave	Revelations	Rock
Trips	Giorti	Greek rock
The Ataris	My Hotel Year	Rock
Ksilina Spathia	Fwtia sto limani	Greek rock



Ronnie James Dio	Dream On	Rock
Michael Kiwanuka	Cold Little Heart	Pop
Melee	Rhythm of the Rain	Pop-rock
Linkin Park	Numb	Pop-rock
Stratovarius	Coming Home	Rock
the cardigans	youre the storm	Pop-rock
Velvet Revolver	Fall To Pieces	Rock
U2	Vertigo	Rock
Norah Jones	Be Here To Love Me	Rock
NIGHTWISH	Elan	Metal
Oasis	Some Might Say	Rock
Pink Floyd	Comfortably numb	Rock
Ed Sheeran	Perfect Symphony	Pop
Chris Isaak	Wicked Game	Pop
Jessie J	Masterpiece	Pop
Echosmith	Hungry	Pop
Alessia Cara	Here	Pop
Aerosmith	Dream On	Rock
Bishop Briggs	River	Pop
Jain	City	Indie pop
Hozier	Work Song	Indie pop
Ed Sheeran	Thinking Out Loud	Pop
4 Non Blondes	Whats Up	Rock
Alex Clare	Damn Your Eyes (Etta James Cover)	Soul
Ed Sheeran	Make It Rain	Pop
Florence and The Machine	You've Got the Love	Indie pop
Dizzy	Stars and Moons	Indie pop
James Bay	Let It Go	Indie pop
U2	Ordinary Love	Pop-rock
Milky Chance	Cocoon	Indie pop
Soley	Pretty Face	Indie pop
Of Monsters And Men	Little Talks	Indie pop
Leftover Cuties	You Are My Sunshine	Jazz
Florence and The Machine	No Light No Light	Indie pop
Hozier	Better Love	Indie pop
Sia	Helium	Pop
Milky Chance	Stolen Dance	Indie pop
Jason Mraz	Im Yours	Pop
Kygo ft. Sasha Sloan	This Town	Electronic
Passenger	I See Love	Indie rock
The Chainsmokers	Young	Electronic
Led Zeppelin	Whole Lotta Love	Rock
Thanasis Papakwnstantinou	Stilitis	Greek folk
Annie Lennox	I Put A Spell On You	Jazz
Elias	Thinking Of You (Di Pap Remix)	Electronic
Avicii	Addicted To You	Electronic
Indila	Derniere Danse	Pop
Linkin Park	Numb	Pop-rock
Alkinoos Iwannidis	De Mporw	Greek folk
Ed Sheeran	Perfect Symphony	Pop

Thanasis Papakwnstantinou	Iliopetra	Greek folk
Thanasis Papakwnstantnou	Diafanos	Greek folk
Avicii ft. Sandro Cavazza	Without You	Electronic
Mirela Pachou	Mirela	Greek pop
Xaroulis	Tis Lithis To Pigadi	Greek folk
Sia	California Dreamin	Pop
Post Malone ft. 21 Savage	rockstar	Rap
Mpofiliou Zouganeli	Egw milaw gia dinami	Greek folk
Malamas	Stin Ameriki	Greek folk
Sia	Elastic Heart	Electropop
Pasxalidis	Neraida dixws Paramithi	Greek folk
Malamas	Xameno rouxo	Greek folk
Malamas	O Kipos	Greek folk
Malamas	I mnimi	Greek folk
Arvanitaki	Tha piw apopse to feggari	Greek folk
Sia	The Greatest	Electropop
Pasxalidis	Ksimerwmata	Greek folk
Malamas	Sta Eipa Ola	Greek folk
Papazoglou	Stigmes	Greek folk
Giwta Negka	De me krataei oti thimamai	Greek folk
J Balvin Willy William ft. Beyonce	Mi Gente	Pop
Fotini Velesiwtou	De les kouventa	Greek folk
HRVY	Personal	Pop
MELISSES	To kyma	Greek pop
Bon Jovi	Its my life	Rock
LP	Other People	Indie rock
MC Fioti	Bum Bum Tam Tam	Rap-pop
French Montana Ft Swae Lee	Unforgettable	Pop
LP	Lost On You	Indie rock
Camila Cabello ft. Young Thug	Havana	Pop
G-Eazy Halsey	Him I	Rap-pop
Arctic Monkeys	Do I Wanna Know	Indie rock
La La Land (Duet ft. Ryan Gosling Emma Stone)	City of Stars	Pop
Ed Sheeran	Perfect Symphony	Pop
Ed Sheeran	Shape Of You	Pop
Eminem ft. Ed Sheeran	River	Rap-pop
KADEBOSTANY	Mind if I Stay	Pop
Post Malone ft. 21 Savage	rockstar	Rap
Taylor Swift ft. Ed Sheeran Future	End Game	Pop
Bonnie Tyler	Total Eclipse Of The Heart	Pop
ZAYN Taylor Swift	I Dont Wanna Live Forever	Pop
Kwnstantinos Argyros	Athina Thessaloniki	Green folk
Passenger	Let Her Go	Indie pop
Dimitris Mitropanos	Thes	Greek folk
Melisses	Ola miazoun kalokairi	Greek pop
ZAYN ft. Sia	Dusk Till Dawn	Pop
P!nk	What About Us	Pop
Miley Cyrus	Malibu	Pop
Little Mix	Touch	Pop
Kwnstantinos Argyros	Ksimerwmata	Greek folk

JASON DERULO FT. FRENCH MONTANA	TIPTOE	Pop
MELISSES	Eimai Allou	Greek pop
Lauv	I Like Me Better	Electronic
Maroon 5	What Lovers Do	Pop
Harry Styles	Sign Of The Times	Pop
Hooverphonic	Mad About You	Pop
Disturbed	The Sound Of Silence	Rock
Def Leppard	Pour Some Sugar On Me	Rock
DJ Snake ft. Justin Bieber	Let Me Love You	Electropop
Gorillaz	Clint Eastwood	Pop
Aerosmith	Dream On	Rock
Calvin Harris	Summer	Electronic
Dio	Holy Diver	Rock
Kiss	I was made for lovin you	Rock
Eminem	Without Me	Hip Hop
Jonas Blue ft Willian Singe	Mama	Electropop
Florence + The Machine	Spectrum (Say My Name) (Calvin Harris r	Electronic
ACDC	Jailbreak	Rock
System Of A Down	Hypnotize	Metal
Panic! At The Disco	Death Of A Bachelor	Pop
RED HOT CHILLI PEPPERS	CANT STOP	Pop-rock
Niall Horan	Slow Hands	Pop
Ram Jam	Black Betty	Rock
Miley Cyrus	Malibu	Pop
Shawn Mendes	Mercy	Pop
Red Hot Chilli Peppers	Otherside	Pop-rock
System Of A Down	Dreaming 02	Metal
System Of A Down	Stealing Society	Metal
	We dont talk anymore	Pop
Ray Charles	Hit The Road Jack (remastered)	Jazz
Vance Joy	Riptide	Indie pop
MARILYN MANSON	CUPID CARRIES A GUN	Rock
Ed Sheeran	Perfect Symphony	Pop
Hoobastank	The Reason	Pop
RagnBone Man	Human	Indie pop
Grace ft. G-Eazy	You Dont Own Me	Rap-pop
MELISSES	To kyma	Greek pop
Imagine Dragons	Radioactive	Pop
Nikos Vertis	Erotevmenos	Greek folk
Maroon 5	Sugar	Pop
LP	Muddy Waters	Indie pop
Clean Bandit feat. Zara Larsson	Symphony	Pop
Dua Lipa	New Rules	Pop
Katy Perry	Dark Horse	Pop
Jonas Blue ft. JP Cooper	Perfect Strangers	Pop
Harry Styles	Sign Of The Times	Pop
Camila Cabello	Havana	Pop
Vasilis Dimas	Ragizei i kardia mou	Greek folk
Nickelback	Savin Me	Rock
Kwnstantinos Argyros	Psemata	Greek folk

Sia	Helium	Pop
Paparizou	An me deis na klaiw	Greek pop
Demi Lovato	Sorry Not Sorry	Pop
Xristos Menidiatis	De mporei	Greek folk
Luis Fonsi Daddy Yankee	Despacito	Pop
Oikonomopoulos	Gia kapio logo	Greek folk
Rihanna	Love On The Brain	Pop
Giwta Negka	To dikio mou	Greek folk
Petros Iakovidis	Apotipomata	Greek folk
OMI	Cheerleader	Pop
Themis Adamantidis	Stin kardia	Greek folk
ZAYN ft. Sia	Dusk Till Dawn	Pop
Megadeth	Super Collider	Metal
Mastodon	High Road	Metal
Dream Theater	Lifting Shadows off a Dream	Metal
Leprous	Moon	Metal
Iron Maiden	Moonchild	Metal
Gorija	Born In Winter	Metal
Muse	Bliss	Rock
Anthrax	Antisocial	Metal
Opeth	The Lotus Eater	Metal
HAKEN	Initiate	Metal
Muse	Uno	Rock
Lamb of God ft. Chino Moreno	Embers	Metal
Good Tiger	Where Are The Birds	Metal
Death	Empty Words	Metal
Metallica	My Friend Of Misery	Metal
Slayer	Blood Red	Metal
Rush	A Passage to Bangkok	Metal
PERIPHERY	Prayer Position	Metal
Rammstein	Mein Herz Brennt	Metal
Trivium	If I Could Collapse the Masses	Metal
Pink Floyd	Breathe	Rock
Pearl Jam	Jeremy	Rock
System Of A Down	Holy Mountains 08	Metal
The Beatles	Norwegian Wood	Rock
Alice in Chains	Rotten Apple	Rock
Planet Of Zeus	Second coming	Metal
Pantera	The Sleep	Metal
Nirvana	Heart-Shaped Box	Rock
Red Hot Chili Peppers	Funky Monks	Pop-rock
TESSERACT	Nocturne	Metal
Giannis Xaroulis	Tis lithis to pigadi	Greek folk
John Legend	All Of Me	Pop
Luis Fonsi.Daddy Yankee	Despacito	Pop
ZAYN ft. Sia	Dusk Till Dawn	Pop
Giwrgos Sampanis	Mono esy	Greek folk
Taylor Swift	Ready For It	Pop
Melisses	To kyma	Greek pop
Onirama	Ti einai agapi	Greek pop

Giannis Xaroulis	Ti lathos kanw	Greek folk
Onirama	To miden	Greek pop
Demi Lovato	Echame La Culpa	Pop
Charlie Puth	How Long	Pop
Onirama	Ola Esu Mou Ta Mathes	Greek pop
Dua Lipa	New Rules	Pop
Onirama	Parakseno fili	Greek pop
Galani-Eustathios Drakos	Ekdromi	Greek folk
Marina Rizou- Mouzourakis- Giannis Xrisodoulou	Petaw	Greek pop
Kwstis Maraveyas	De zitaw polla	Greek pop
Zouganeli Mouzourakis	Ela	Greek pop
Kotsiras	Kathe fora	Greek folk
Melisses	Eleges	Greek pop
L. Maxairitsas	Pethenw gia sena	Greek folk
Eleni Xatzidou	Xeirotera	Greek folk
Nikos Oikonomopoulos	Gia kapio Logo	Greek folk
Xatzigiannis- Galani	Se pion na pw to sagapw	Greek folk
Maraveyas	Faros	Greek pop
Mouzourakis	Pws an tin peis tin agapi	Greek pop
Sakis Mpoulas	To flasaki	Greek folk
Marina Satti	Koupes	Greek pop
Zouganeli	Ws kai oi thalasses	Greek folk
Ilias Kampakakis	Paliopragmata	Greek folk
Antonis Remos	Ginetai	Greek folk
Antonis Remos	O kathenas monaxos tou	Greek folk
Nikos Vertis	Thelo na me nioseis	Greek folk
3 Doors Down	Here Without You	Pop
Antonis Remos	Lene	Greek folk
Antonis Remos	Nafthalini	Greek folk
Hozier	Take Me To Church	Pop
RagnBone Man	Human	Indie pop
A Great Big World Christina Aguilera	Say Something	Pop
Ilias Vrettos	Sou apagoreuw	Greek folk
Avril Lavigne	Innocence	Pop
Harry Styles	Sign Of The Times	Pop
Alex Clare	Damn Your Eyes (Etta James Cover)	Soul
Gowrgos Mazwnakis	Terma	Greek folk
Antwnis Remos	Me tin porta anoixti	Greek folk
Giannis Xaroulis	Tis lithis to pigadi	Greek folk
mpampis stokas	ki emeina edw	Greek rock
Oikonomopoulos	Kane auto pou ksereis	Greek folk
Giwta Negka	To dikio mou	Greek folk
Kwnstantinos Argyros	Deuteri fora	Greek folk
Pantelis Pantelidis	Liwma se gkremo	Greek folk
Melina Aslanidou	Den exw dieuthinsi	Greek folk
Stavento Feat. Melina Aslanidou	Nero kai xwma	Greek pop
Stauros Siolas Foteini Velesiotou	Diodia	Greek folk
Nikos Oikonomopoulos	Gia paradeigma	Greek folk
Paola	Poses Fores	Greek folk
Marina Satti	Koupes	Greek pop

Sakis Rouvas  
The Fray

Egw sta elega  
How to Save a Life

Greek pop  
Pop

## **9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ –ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ**

### **Σκοπός του πειράματος**

Ο σκοπός του πειράματος είναι η καταγραφή των εγκεφαλικών κυμάτων των συμμετεχόντων, με χρήση ασύρματου φορητού ηλεκτροεγκεφαλογράφου, κατά τη διάρκεια μουσικών ακροάσεων. Στις ακροάσεις συμπεριλαμβάνονται τραγούδια τα οποία έχουν βαθμονομηθεί ξεχωριστά (προσωποποιημένα) από τους συμμετέχοντες με βάση τις μουσικές τους προτιμήσεις, χρησιμοποιώντας κλιμακούμενη διαβάθμιση τριών επιπέδων.

### **Διαδικασία**

Η πειραματική διαδικασία απαιτεί από τον συμμετέχοντα την «παθητική» ακρόαση συνοπτικών αποσπασμάτων 30 τραγουδιών που ο ίδιος επέλεξε και βαθμονόμησε κλιμακούμενα σε τρεις κατηγορίες σε προηγούμενο χρόνο, σύμφωνα με τις μουσικές του προτιμήσεις. Το κάθε μουσικό απόσπασμα διαρκεί 80 δευτερόλεπτα με ενδιάμεσες παύσεις των 10 δευτερολέπτων. Η σειρά των τραγουδιών είναι τυχαία και η ακρόαση θα χωριστεί σε δυο μέρη (15+15 αποσπάσματα) με μία διακοπή 5 λεπτών ενδιάμεσα για την ξεκούραση του συμμετέχοντα. Μετά την ολοκλήρωση των αποσπασμάτων όλων των τραγουδιών θα γίνει μια σύντομη ακρόαση ενός ολοκληρωμένου τραγουδιού που δεν έχει γίνει προηγουμένως γνωστό στους συμμετέχοντες και θα είναι κοινό σε όλους.

### **Πόσο διαρκεί η πειραματική διαδικασία**

Η ακρόαση διαρκεί περίπου 50 λεπτά. Μαζί με την προετοιμασία και τα διαλείμματα, η συνολική εκτιμώμενη διάρκεια του πειράματος είναι λίγο παραπάνω από 1 ώρα.

### **Πόσοι είναι οι συμμετέχοντες**

Στο πείραμα συμμετέχουν 20 υποκείμενα, 10 άντρες και 10 γυναίκες.

### **Ποιες είναι οι υποχρεώσεις των συμμετεχόντων**

- Αποφυγή κατανάλωσης ροφημάτων που περιέχουν καφεΐνη για τουλάχιστον μία ώρα πριν την έναρξη του πειράματος.
- Αποφυγή κατανάλωσης αλκοόλ από το προηγούμενο βράδυ του πειράματος.
- Αποφυγή χρήσης προϊόντων styling μαλλιών.

## **Προστασία προσωπικών δεδομένων**

Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας, τα προσωπικά δεδομένα της έρευνας θα κρατηθούν απόρρητα και θα αποθηκευτούν σε κρυπτογραφημένα ψηφιακά μέσα τα οποία θα διατηρηθούν σε προστατευμένο φυσικά χώρο. Σε περίπτωση φωτογράφισης ή βιντεοσκόπησης, θα ζητηθεί η συγκατάθεσή σας. Μπορείτε να αρνηθείτε να φωτογραφηθείτε / βιντεοσκοπηθείτε. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιευτούν ή παρουσιαστούν σε συνέδρια ή ως παραδοτέα διπλωματικών εργασιών, δεν θα συμπεριληφθούν πληροφορίες που θα αποκαλύπτουν την ταυτότητά σας. Σε περίπτωση που φωτογραφίες σας ή βίντεο χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς, θα ζητηθεί η συναίνεση σας, αλλιώς η ταυτότητά σας θα προστατεύεται ή θα συγκαλύπτεται.

### **Ερωτήσεις και Επικοινωνία:**

Αυτή τη χρονική στιγμή μπορείτε να κάνετε οποιοσδήποτε ερωτήσεις που πιθανόν να έχετε σχετικά με την πειραματική διαδικασία.

### **Ελευθερία συναίνεσης**

Η συμμετοχή σας στην εργασία είναι εθελοντική. Μπορείτε να αποσύρετε τη συγκατάθεσή σας οποιαδήποτε στιγμή και να διακόψετε τη συμμετοχή σας χωρίς να υποστείτε καμία κύρωση.

### **Αποδοχή Συμμετοχής**

Έχω διαβάσει τις παραπάνω πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία και έχουν απαντηθεί τυχόν απορίες που είχαν δημιουργηθεί σε σχέση με το πείραμα. Αποδέχομαι να συμμετάσχω στην έρευνα.

Ημερομηνία:

Όνομα Συμμετέχοντος/ουσας:

Υπογραφή Συμμετέχοντος/ουσας:

Ευχαριστούμε για τη συμμετοχή σας!



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Rajesh, P.N.Rao (2013). *Brain-Computer Interfacing: An Introduction*. New York: Cambridge University Press
- [2] Kandel, Eric R. et al (2011). *Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά*. Μτφρ. Χ. Καζλαρής et al. Ηράκλειο: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ
- [3] Drake, Richard I. et al (2007). *GRAY's Ανατομία*. Μτφρ. Σκανδαλάκης Π. Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδης
- [4] Moore, Keith L. et al (2012). *Κλινική Ανατομία*. Μτφρ. Αρβανίτης Λ. Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης
- [5] Felten, David L. et al (2004). *Netter Άτλας Βασικών Ιατρικών Επιστημών: Νευροανατομία του Ανθρώπου*. Τόμος IV. Μτφρ. Βλάσης Κ. et al. Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης
- [6] Bear, Mark & Connors, Barry & Paradiso, Michael. (2015). *Neuroscience: Exploring the brain: Fourth edition*
- [7] Millán, J. del R. (2002). *Handbook of Brain Theory and Neural Networks. Brain- Computer Interfaces*. Cambridge, MA: MIT Press. 2-5
- [8] Jayakar, P. et al. (2016), Diagnostic utility of invasive EEG for epilepsy surgery: Indications, modalities, and techniques. *Epilepsia*, 57, 1735-1747. doi:10.1111/epi.13515
- [9] Hochberg L., Serruya M., Friebs G., Mukand J., Saleh M., Caplan A., Branner A., Chen D., Penn R., Donoghue J. (2006). Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature*. 442. 164-71. doi: 10.1038/nature04970
- [10] Sanei, S (2013). *Adaptive processing of Brain Signals*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons.
- [11] Babiloni, C. et al. (2009). Fundamentals of Electroencephalography, Magnetoencephalography, and Functional Magnetic Resonance Imaging. 68-70
- [12] Friesen, L. M., Shannon, R. V., Baskent, D., & Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110(2), 1150-1163. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1381538>
- [13] Lee E.W., Seo J.M., Ha S., Kim E.T., Chung H., Kim S.J. (2009). Development of Microelectrode Arrays for Artificial Retinal Implants Using Liquid Crystal Polymers. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 50(12):5859-5866. doi: 10.1167/iovs.09-3743
- [14] Wessberg J., Stambaugh C., Kralik J.D., Beck P., Laubach M., Chapin J., Kim J., Biggs J., Srinivasan M., Nicolelis M. (2000). Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates. *Nature*. 408. 361-5. doi:10.1038/35042582
- [15] Collinger, J. L. et al. (2012). High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia *The Lancet* , 381(9866) , 557 – 564 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61816-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61816-9)
- [16] Blakely T., Kai M., Rao R., Holmes M., Ojemann J. (2008). Localization and classification of phonemes using high spatial resolution electrocorticography (ECoG) grids. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*. 4964(7). doi:10.1109/IEMBS.2008.4650328
- [17] William C. S., Brian L. (2008). Technology Insight: neuroengineering and epilepsy—designing devices for seizure control. *Nature Clinical Practice Neurology*. 4, 190–201
- [18] Blankertz B., Tangermann M., Vidaurre C., Fazli S., Sannelli C., Haufe S., Maeder C., Ramsey L., Sturm I., Curio G., Müller K.L. (2010). The Berlin Brain–Computer Interface: Non-Medical Uses of BCI Technology *Front Neurosci*. 4(198). doi: 10.3389/fnins.2010.00198
- [19] Borghini G., Astolfi L., Vecchiato G., Mattia D., Babiloni F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75 <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
- [20] Rebolledo-Mendez G. et al. (2009) Assessing NeuroSky's Usability to Detect Attention Levels in an Assessment Exercise. *Human-Computer Interaction. New Trends*. Lecture Notes in Computer Science, Vol.5610. Springer, Berlin, Heidelberg
- [21] Gomes, A., Filho, I. C., Santos, F., Lira, W., Gomes, B. & Carvalho, S. (2015). Anticipatory EEG Signals for Detecting and Classifying Game Interaction Onset. 10.13140/RG.2.1.1840.1445

- [22] Jan B.F. van E., Lotte F., & Tangermann M. (2012). Brain-Computer Interfaces: Beyond Medical Applications. *IEEE Computer Society*
- [23] Miranda E.R. & Brouse A. (2005). Interfacing the Brain Directly with Musical Systems: On Developing Systems for Making Music with Brain Signals *Leonardo* 38(4), 331-336
- [24] Miranda, E. R. & Castet, J. (2014). Guide to Brain-Computer Music Interfacing. London: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-1-4471-6584-2\_1
- [25] Meister I.G, Krings T., Foltys H., Boroojerdi B., Müller M., Töpper R., & Thron A. (2004). Playing piano in the mind—an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cognitive Brain Research*, 19(3) 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.12.005>
- [26] Limb C.J. & Braun A.R. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *PLoS ONE* 3(2): e1679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001679>
- [27] Petsche H. (1996). Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis, *International Journal of Psychophysiology*, 24(1–20) 145-159. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00050-5)
- [28] Li, G., Lee, B. L. & Chung, W. Y. (2015). Smartwatch-Based Wearable EEG System for Driver Drowsiness Detection. *IEEE Sensors Journal*. 15. 1-1. 10.1109/JSEN.2015.2473679
- [29] Looney D., Kidmose P. (2014). Ear-EEg: User-centered and wearable BCI. *Biosystems and Biorobotics*. 6. 41-50. doi: 10.1007/978-3-642-54707-2\_5
- [30] Chang R.J., Wu H.R., He K.Y., & Lin B.S. (2016). A Flexible and Wearable EEG Device. *Third International Conference on Computing Measurement Control and Sensor Network*.
- [31] Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. New York, NY, US: Dutton/Penguin Books
- [32] Honing H. (2017). *Musical cognition: a science of listening*. Routledge, New York
- [33] Pinker, S. (1997). *How the Mind Works*. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 532
- [34] Miller, G. F. (2000). Evolution of human music through sexual selection. *The Origins of Music*. 329-360. Cambridge, MA: The MIT Press
- [35] Miller, G. F. (2001). *The Mating Mind: How Sexual Choice Shaped the Evolution of Human Nature*. London: Vintage
- [36] Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature* 365(611)
- [37] Thompson, W. F., Schellenberg, G. E., & Husain, G. (2001). Arousal, mood and the Mozart effect. *Psychological Science* 12, 248-251
- [38] McNeill, W. H. (1995). *Keeping Together in Time: Dance and Drill in Human History*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 8
- [39] Amagdei, A., Baltes, F., Avram, J., & Miu, A. (2009). Perinatal exposure to music protects spatial memory against callosal lesions. *International Journal of Developmental Neuroscience, online pre-publication*
- [40] Tirovolas, A. K. & Levitin, D. J. (2011). Music perception and cognition research from 1983 to 2010: A categorical and bibliometric analysis of empirical articles in music perception. *Music Perception* 29,(1), 23–36
- [41] Dowling, W. J. & Fujitani, D. S. (1971). Contour, interval, and pitch recognition in memory for melodies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 49(2), 524-531. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1912382>
- [42] Jones, M.R. & Ralston, J.T. (1991) Some influences of accent structure on melody recognition. *Memory & Cognition* 19( 8). <https://doi.org/10.3758/BF03198492>
- [43] Lazic, S. E., & Ogilvie, R. D. (2007). Lack of efficacy of music to improve sleep: a polysomnographic and quantitative eeg analysis. *International journal of psychophysiology* 63(3), 232–239
- [44] Pereira, C. S., ao Teixeira, J., Figueiredo, P., ao Xavier, J., ao Luís Castro, S., & Brattico, E. (2011). Music and emotions in the brain: familiarity matters. *PLoS one* 6(11) e27241.
- [45] Heying, Rachel L. (2013). Music and Aspects of Identity in People with Alzheimer's Disease *Honors Theses. Paper 7*. [http://digitalcommons.csbsju.edu/honors\\_theses/](http://digitalcommons.csbsju.edu/honors_theses/)
- [46] Altenmüller E., Gruhn W., Parlitz D., & Liebert G. (2000). The impact of music education on brain networks: Evidence from EEG-studies. *International Journal of Music Education* 35(1), 47 – 53. <https://doi.org/10.1177/025576140003500115>

- [47] Petsche, H., Richter, P., Von Stein, A., Etlinger, S., & Filz, O. (1993). EEG Coherence and Musical Thinking. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 11(2), 117-151. doi:10.2307/40285613
- [48] Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Rau, H., Braun, C., & Mayer-Kress, G. (1996). Perception of music and dimensional complexity of brain activity. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 6(2), 267-278. DOI: 10.1142/S0218127496000047
- [49] Bhattacharya J. & Petsche H. (2001). Enhanced phase synchrony in the electroencephalograph  $\gamma$  band for musicians while listening to music. *Physical Review E* 64(1), 012902. doi :10.1103/PhysRevE.64.012902
- [50] Baumgartner T., Esslen M., & Jancke L. (2006) . From emotion perception to emotion experience: Emotions evoked by pictures and classical music. *International Journal of Psychophysiology* 60, 34 – 43. doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.04.007
- [51] Sammler D., Grigutsch M. , Fritz T., & Koelsch S. (2007) Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology* 44(2), 293-304 doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00497.x
- [52] Salimpoor, V. N., Benovoy M., Larcher K., Dagher A., & Zatorre R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience* 14( 2), doi:10.1038/nn.2726
- [53] Salimpoor V.N., Benovoy M., Longo G., Cooperstock J.R., & Zatorre R.J.(2009). The Rewarding Aspects of Music Listening Are Related to Degree of Emotional Arousal. *PLoS ONE* 4 (10): e7487. doi:10.1371/journal.pone.0007487
- [54] Lin, Y.-P., Wang, C.-H., Jung, T.-P., Wu, T.-L., Jeng, S.-K., Duann, J.-R., & Chen, J.-H. (2010). Eeg-based emotion recognition in music listening. *IEEE Trans. Biomed. Engineering* 57(7), 1798–1806.
- [55] Koelsch, S. (2011) Toward a neural basis of music perception—a review and updated model. *Frontiers in psychology* 2.
- [56] Sammler, D., Grigutsch, M., Fritz, T., & Koelsch, S. (2007). Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology* 44(2) , 293–304
- [57] Paul Ekman (1992) An argument for basic emotions, *Cognition and Emotion*, 6(3-4), 169-200, doi: 10.1080/02699939208411068
- [58] Panksepp, J. (1998). *Affective Neuroscience: The foundations of the human and animal emotions*. New York: New York: Oxford University Press
- [59] Balkwill L.L. & Thompson W.F. (1999) A Cross-Cultural Investigation of the Perception of Emotion in Music: Psychophysical and Cultural Cues. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 17(1), 43-64 doi: 10.2307/40285811
- [60] Gabrielsson A. & Juslin P. N. (1996) Emotional Expression in Music Performance: Between the Performer's Intention and the Listener's Experience. *Psychology of Music*. 24(1), 68 - 91 <https://doi.org/10.1177/0305735696241007>
- [61] Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <http://dx.doi.org/10.1037/h0077714>
- [62] Carterette E.C., Kendall R.A. (1995) Convergent Research Methods in Music Cognition. In: Steinberg R. *Music and the Mind Machine*. Springer, Berlin, Heidelberg
- [63] Scherer K.L., Zentner M.R. & Schacht A.(2001). Emotional states generated by music: An exploratory study of music experts. *Musicae Scientiae*. 5(1), 149-171 <https://doi.org/10.1177/102986490200505106>
- [64] Nyklíček, I., Thayer, J. & Doornen, L. (1997). Cardiorespiratory differentiation of musically-induced emotions. *Journal of Psychophysiology*. 11, 304-321
- [65] Calvo, M. G. & Lundqvist, D. (2008). Facial expressions of emotion (KDEF): Identification under different display-duration conditions. *Behavior research methods*. 40. 109-15. 10.3758/BRM.40.1.109
- [66] Baumgartner T., Esslen M., & Jancke L. (2005). From emotion perception to emotion experience: Emotions evoked by pictures and classical music. *International Journal of Psychophysiology* 60, 34- 43.
- [67] Blood A.J. & Zatorre, R. (2001). Intensely Pleasurable Responses to Music Correlate With Activity in Brain Regions Implicated in Reward and Emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 98. 11818-23. 10.1073/pnas.191355898

- [68] Bernardi L., Porta C., & Sleight P. (2005). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence. *PMC* 92(4), 445–452. doi: 10.1136/hrt.2005.064600
- [69] Gomez, P. & Danuser, B. (2004). Affective and physiological responses to environmental noise and music. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 53, 91-103. 10.1016/j.ijpsycho.2004.02.002
- [70] Faith, M. and Thayer, J. F. (2001), A dynamical systems interpretation of a dimensional model of emotion. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 121-133. doi:10.1111/1467-9450.00221
- [71] Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1992), Extrinsic and Intrinsic Motivation to Use Computers in the Workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, 22, 1111-1132. doi:10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x
- [72] Khalfa S., Isabelle P., Jean-Pierre B., Manon R. (2002). Event-related skin conductance responses to musical emotions in human. *Neuroscience Letters* 328(2), 145-9
- [73] Yamamoto A., Ueda J., Yamamoto N., Hashikawa N., Sakurai H. (2007). Role of Heat Shock Transcription Factor in *Saccharomyces cerevisiae* Oxidative Stress Response. *Eukaryotic Cell* 6(8) 1373-1379; doi: 10.1128/EC.00098-07
- [74] Khalfa, S., Roy, M., Rainville, P., Dalla B. S. & Peretz, I. (2008). Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music?. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 68, 17-26. 10.1016/j.ijpsycho.2007.12.001
- [75] Markus Nater, U., La Marca, R., Florin, L., Moses, A., Langhans, W., M Koller, M. & Ehlert, U. (2006). Stress-induced changes in human salivary alpha-amylase activity - Associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*. 31. 49-58. 10.1016/j.psyneuen.2005.05.010
- [76] Nasoz, F. & Alvarez, K. & Lisetti, C.L. & Finkelstein, N. (2003). Emotion Recognition from Physiological Signals for Presence Technologies. *International Journal of Cognition, Technology, and Work - Special Issue on Presence*. 6
- [77] Blood A.J., Zatorre R.J., Bermudez P. & Evans A.C. (1999) Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience* 2, 382–387 .
- [78] Koelsch, S. (2005), Investigating Emotion with Music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 412-418. doi:10.1196/annals.1360.034
- [79] Harmon-Jones E. & Allen J. (1998). Anger and frontal brain activity: EEG asymmetry consistent with approach motivation despite negative affective valence. *Journal of personality and social psychology*. 74. 1310-6. 10.1037//0022-3514.74.5.1310
- [80] Louis A. Schmidt & Laurel J. Trainor (2001) Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions, *Cognition and Emotion*, 15(4), 487-500, doi: 10.1080/02699930126048
- [81] Tsang C., Trainor L., Santesso D L., Tasker S. & Schmidt L.A. (2001). Frontal EEG Responses as a Function of Affective Musical Features. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 930, 439-42. 10.1111/j.1749-6632.2001.tb05764.x.
- [82] Tavano A., Grasso R., Gagliardi C., Triulzi F., Bresolin N., Fabbro F. et al. (2007). Disorders of cognitive and affective development in cerebellar malformations. *Brain* 130(10), 2646–2660, doi: <https://doi.org/10.1093/brain/awm201>
- [83] Schutter D. J., de Weijer A. D., Meuwese J. D., Morgan B. & van Honk J. (2008), Interrelations between motivational stance, cortical excitability, and the frontal electroencephalogram asymmetry of emotion: A transcranial magnetic stimulation study. *Hum. Brain Mapp.*, 29, 574-580. doi:10.1002/hbm.20417
- [84] Trochidis, K., & Bigand, E. (2013). Investigation of the effect of mode and tempo on emotional responses to music using EEG power asymmetry. *Journal of Psychophysiology*, 27(3), 142-147. <http://dx.doi.org/10.1027/0269-8803/a000099>
- [85] Balconi, M., & Lucchiari, C. (2008). Consciousness and arousal effects on emotional face processing as revealed by brain oscillations. A gamma band analysis. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 67,41-6. 10.1016/j.ijpsycho.2007.10.002
- [86] Ishino K. & Hagiwara M., A feeling estimation system using a simple electroencephalograph, *SMC'03 Conference Proceedings. 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.*, Washington, DC, 2003, 4204-4209 vol.5. doi: 10.1109/ICSMC.2003.1245645

- [87] Murugappan M., Rizon M., Nagarajan, R., Sazali Y., Hazry D. & Zunaidi I. (2008). Time-Frequency Analysis of EEG Signals for Human Emotion Detection. 21. 262-265. 10.1007/978-3-540-69139-6\_68
- [88] Pan, Y., Guan, C., Yu, J., Ang, K.K. , & Chan, T.E. (2013). Common frequency pattern for music preference identification using frontal EEG. *2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 505-508
- [89] Adamos D. A. , Dimitriadis S. I., & Laskaris N. A. (2016). Towards the bio-personalization of music recommendation systems: A single-sensor EEG biomarker of subjective music preference. *Information Sciences* (343–344), 94-108. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.01.005>
- [90] Cela-Conde C. J., Agnati L., Huston J.P., Mora F., & Nadal M. (2011). The neural foundations of aesthetic appreciation. *Progress in Neurobiology*. 94(1), 39-48, ISSN 0301-0082, <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2011.03.003>
- [91] Salimpoor V. N., Bosch I., Kovacevic N., McIntosh A.R., Dagher A., Zatorre R.J. (2013) Interactions Between the Nucleus Accumbens and Auditory Cortices Predict Music Reward Value. *Science* 340(6129), 216-219. doi: 10.1126/science.1231059
- [92] Hadjidimitriou S.K. and Hadjileontiadi L. J. (2013). EEG-Based Classification of Music Appraisal Responses Using Time-Frequency Analysis and Familiarity Ratings. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4( 2), 161-172. doi: 10.1109/T-AFFC.2013.6
- [93] Hadjidimitriou S.K. and Hadjileontiadi L. J. (2012). Toward an EEG-Based Recognition of Music Liking Using Time-Frequency Analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(12), 3498-3510. doi: 10.1109/TBME.2012.2217495
- [94] Salimpoor V. N., Bosch I., Kovacevic N., McIntosh A.R., Dagher A., & Zatorre R.J. (2013) Interactions Between the Nucleus Accumbens and Auditory Cortices Predict Music Reward Value. *Science* 340(6129). doi: 10.1126/science.1231059
- [95] van den Heuvel M.P., Sporns O.(2013), Network hubs in the human brain, *Trends Cogn. Sci.* 17, 683–696 .
- [96] Canolty R.T., Knight R.T.(2010), The functional role of cross-frequency coupling, *Trends Cogn. Sci.* 14, 506–515 .
- [97] Jensen O., Colgin L.L. (2007), Cross-frequency coupling between neuronal oscillations, *Trends Cogn. Sci.* 11, 267–269 .
- [98] M.A. Bartsch , G.H. Wakefield , Audio thumbnailing of popular music using chroma-based representations, *IEEE Trans. Multimed.* 7 (2005) 96–104
- [99] Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324
- [100] Stoica, P. & Moses, R. (2005). *Spectral Analysis of Signals*. Prentice Hall.
- [101] Best, D.J., and D.E. Roberts. Algorithm AS 89: The Upper Tail Probabilities of Spearman's rho. *Applied Statistics*, 24,377-379
- [102] Niedermeyer, E., da Silva, F. L. (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins
- [103] Casson, A.J., Yates, D., Smith, S., Duncan, J.S., Rodriguez-Villegas, E. (2010) Wearable Electroencephalography, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 29, 44–56
- [104] Ariely, D., Berns, G.S.(2010). Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business. *Nat. Rev. Neurosci.* 11 284–292

