



**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**

**ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΟΥΣΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ**

της φοιτήτριας

**ΤΣΙΚΑΛΑΚΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΑΕΜ: 1745**

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

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2019

|

# Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	4
Abstract.....	5
1. Νευρικό σύστημα .....	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Εγκέφαλος.....	6
1.2.1. Πρόσθιος Εγκέφαλος ή Τελεγκέφαλος .....	6
1.2.2 Μεσεγκέφαλος .....	8
1.2.3 Οπίσθιος Εγκέφαλος.....	8
1.3. Νευρώνας.....	10
1.4 Δυναμικό ενέργειας νευρώνων.....	11
1.5. Νευρική σύναψη .....	13
2. Καταγραφή εγκεφαλικής δραστηριότητας.....	15
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2. Τεχνικές καταγραφής.....	15
2.2.1 Επεμβατικές μέθοδοι (Invasive) .....	15
2.2.2 Μη Επεμβατικές Μέθοδοι (Non Invasive) .....	17
2.3. Eeg – Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	20
2.4. Σύγκριση μεταξύ fMRI και EEG.....	22
2.5. Τοποθέτηση ηλεκτροδίων.....	23
2.6. Διεθνές Σύστημα 10 20 .....	24
2.7. Ρυθμοί Εγκεφάλου .....	26
2.8 Καθαρότητα σήματος EEG - Artifacts .....	29
2.8.1. Μυϊκή δραστηριότητα .....	30
2.8.2 Κινήσεις ματιών.....	32
2.8.3. Εξωτερικοί παράγοντες αλλοίωσης σήματος.....	33
3. Brain Computer Interface (BCI) .....	35
3.1. Εισαγωγή.....	35
3.2. BCI στην κλινική πράξη .....	35
3.3 BCI για μη ιατρικούς σκοπούς.....	37
3.4. Κύκλος του BCI.....	42
3.5. BCI και μουσική .....	42
3.6 Emotiv EPOC + .....	45

4. Μουσική και άνθρωπος.....	46
4.1 Εισαγωγή.....	46
4.2. Μουσική αντίληψη.....	47
4.3. Εγκεφαλικές αποκρίσεις κατά την ακρόαση μουσικής.....	47
4.4. Μουσική και συναίσθημα.....	48
5. Πείραμα .....	53
5.1. Εισαγωγή.....	53
5.2. Διεργασίες πριν από τη διεξαγωγή του πειράματος.....	54
5.3. Συσκευές και προγράμματα.....	60
5.4. Τρόπος διεξαγωγής πειράματος .....	61
6. Αποτελέσματα και συζήτηση .....	66
6.1 Αποτελέσματα .....	66
6.2. Συζήτηση .....	69
7. Παράρτημα I – Φορητές Συσκευές EEG .....	72
8. Παράρτημα II – Λίστα Τραγουδιών .....	74
9.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III –ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ .....	82
Βιβλιογραφία .....	84

# Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στην υλοποίηση ενός πειράματος που συνδυάζει τα επιστημονικά πεδία της Νευροεπιστήμης και της Μουσικής. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας μέσω τεχνολογίας φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (wearable EEG) δέκα εθελοντών, γένους αρσενικού, κατά τη διάρκεια μουσικής ακρόασης. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Μουσικών Σπουδών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Οι συμμετέχοντες επέλεξαν οι ίδιοι τα τραγούδια της ακρόασης, με τη μορφή τριών επιπέδων βαθμονομημένης μουσικής προτίμησης.

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι να συνεισφέρει, μέσω της διάθεσης των πειραματικών δεδομένων, στη μελέτη της αποκωδικοποίησης των εγκεφαλικών κυμάτων του ακροατή για την αυτοματοποιημένη πρόβλεψη της προσωποποιημένης μουσικής του προτίμησης μέσω συστημάτων διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή (BCI). Η πρόβλεψη αυτή αφορά αποκλειστικά τη μουσική προτίμηση και εξετάζεται ανεξάρτητα από το είδος των συναισθημάτων που μπορούν να προκαλούνται κατά τη μουσική ακρόαση.

Η εργασία εισάγει τον αναγνώστη σε βασικές αρχές της Νευροεπιστήμης, σε τεχνικές νευροαπεικόνισης και ειδικότερα στην ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) και στη λειτουργία των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή. Στη συνέχεια περιγράφει αναλυτικά την υλοποίηση της προετοιμασίας και της διεξαγωγής του πειράματος. Τέλος παρατίθεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο φασματικής ανάλυσης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

**Λέξεις Κλειδιά:** Διεπαφές Εγκεφάλου – Υπολογιστή, Φορητή Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG), Μουσική Αξιολόγηση

# Abstract

The present thesis is about the design and realization of a scientific experiment in the context of the scientific field of Music Neuroscience. The experiment included the recording of brain activity of ten healthy male subjects that were listening to music, by means of wearable electroencephalography (EEG). The songs used in the experiment were evenly distributed in three different levels of ranked subjective music preference and their selection was made in a personalized basis by the subjects themselves. The experiment was carried out in the School of Music Studies of the Aristotle University of Thessaloniki.

The main objective of this thesis is to contribute, through the provision of the experimental data, to the study of brainwaves decoding of a music listener by a brain-computer interface (BCI) for the automated prediction of his personalized music preferences. This prediction is only considered in the context of personalized musical preference, irrespective of the type of emotions that can be caused during musical listening.

The manuscript introduces the reader to the basic principles of Neuroscience, of EEG and of brain-computer interfaces. It then describes in detail all the preparatory and implementation steps of the experiment. Finally, a spectral analysis of the EEG data is presented.

**Key words:** Brain Computer Interface, Wearable EEG, Music Likeness

# 1. Νευρικό σύστημα

---

## 1.1 Εισαγωγή

Το νευρικό σύστημα αποτελεί ένα από τα πιο πολύπλοκα συστήματα που υπάρχουν στο σώμα. Το νευρικό σύστημα αποτελεί το σύστημα του ανθρώπου, που συντονίζει τις ενέργειές του σε σχέση με τη μετάδοση σημάτων προς και από διάφορα μέρη του σώματός του. Το νευρικό σύστημα ανιχνεύει τις περιβαλλοντικές αλλαγές που επηρεάζουν το ανθρώπινο σώμα ενώ συγχρόνως δουλεύει παράλληλα με το ενδοκρινικό σύστημα για να ανταποκριθεί σε τέτοια γεγονότα (Tortora, G.J. & Derrickson, B., 2016).

Στα σπονδυλωτά το νευρικό σύστημα αποτελείται από το Κεντρικό νευρικό σύστημα και το Περιφερικό νευρικό σύστημα. Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό. Το περιφερικό νευρικό σύστημα αποτελείται κυρίως από ένα δίκτυο νεύρων, το οποίο λειτουργεί ως το μέσο σύνδεσης του κεντρικού νευρικού συστήματος με κάθε άλλο μέρος του σώματος.

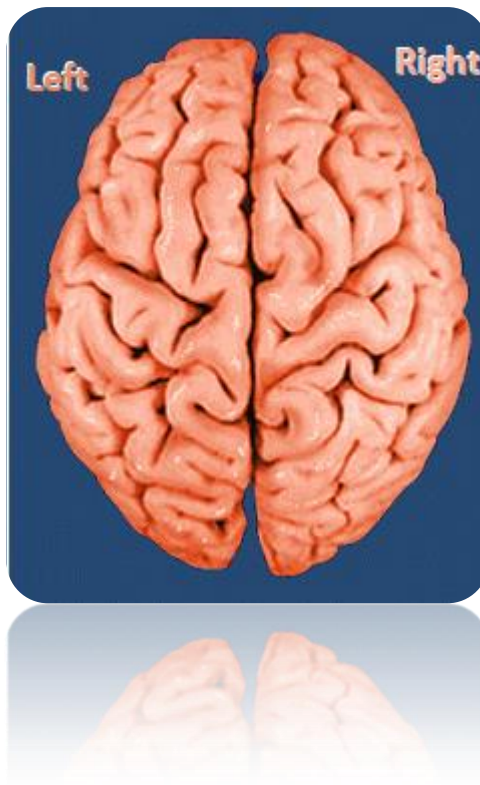
## 1.2 Εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος αποτελεί το σημαντικότερο μέρος του κεντρικού νευρικού συστήματος, ζυγίζει περίπου 1.300 γραμμάρια και χρησιμοποιεί το 20% του οξυγόνου στο σώμα. Είναι υπεύθυνος για τα συναισθήματα του ανθρώπου, την κίνηση, το λόγο του και την επικοινωνία του. Κάποιες απ' τις λειτουργίες του είναι να ελέγχει τις δραστηριότητες του σώματος, να ενσωματώνει και να συντονίζει τις πληροφορίες που λαμβάνει από τα αισθητήρια όργανα και να λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τις οδηγίες που αποστέλλονται στο υπόλοιπο σώμα κ.α. (Parent, A.; Carpenter, M.B., 1995).

### 1.2.1. Πρόσθιος Εγκέφαλος ή Τελεγκέφαλος

Ο πρόσθιος εγκέφαλος (τελεγκέφαλος) καλύπτει τη μεγαλύτερη επιφάνεια του εγκεφάλου. Αποτελείται από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια τα οποία χωρίζει η διαμήκης σχισμή (Bernard J. Baars, Nicole M. Gage, 2010) (βλ.

Εικόνα 1).



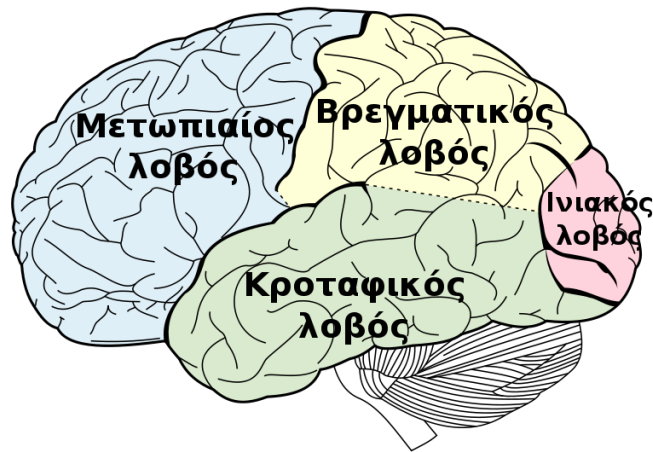
Εικόνα 1 Απεικόνιση των δύο εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Το αριστερό ημισφαίριο, ελέγχει το δεξί ήμισυ του σώματος και υπεύθυνο για την αντίληψη του χρόνου, την ομιλία, τη γραφή, την αντίληψη του λόγου, τον συμβολισμό, τη λεκτική μνήμη, την αναλυτική σκέψη. Το δεξί ημισφαίριο, ελέγχει το αριστερό ήμισυ του σώματος και είναι υπεύθυνο για την οπτική αντίληψη του χώρου, την κατανόηση των μεταφορικών εννοιών και του χιούμορ, συσχέτιση, σύνθεση λεγομένων, συναισθηματική φόρτιση και μελωδία λόγου, οπτική μνήμη, την επικοινωνία, τα αισθήματα, τις συγκινήσεις, την δημιουργικότητα, την φαντασία και την καλλιτεχνική έκφραση. (Προσαρμογή από: <sup>1</sup>)

Κάθε ημισφαίριο είναι χωρισμένο σε τέσσερις λοβούς (βλ. Εικόνα 2), οι οποίοι είναι ο *μετωπιαίος λοβός*, ο *βρεγματικός λοβός*, ο *κροταφικός λοβός* και ο *ινιακός λοβός*. Ο μετωπιαίος λοβός σχετίζεται με εκτελεστικές λειτουργίες, όπως είναι: ο αυτοέλεγχος, ο προγραμματισμός, η σκέψη. Ο ινιακός λοβός, εντοπίζεται στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου και σχετίζεται με την όραση καθώς εκεί βρίσκεται ο οπτικός φλοιός. Ο κροταφικός λοβός σχετίζεται με την ακοή, την αντίληψη εικόνων, την κατανόηση της ομιλίας καθώς και συμπεριφορές που είναι υπεύθυνες για τα κίνητρα και το συναίσθημα (Smith Kosslyn, 2007). Τέλος, ο βρεγματικός λοβός ταυτίζεται με τις αισθήσεις, την αφή, την εκδήλωση εκούσιων (ηθελημένων) κινήσεων και την σύνθεση πληροφοριών που προέρχονται από διάφορες αισθήσεις. Οι κύριες αισθητηριακές εισροές είναι από το δέρμα (αφή, θερμοκρασία, αισθητήρες πόνου) (Schacter, D. L., Gilbert, D. L. & Wegner, D. M., 2009).

---

<sup>1</sup> <https://www.braininjuryaustralia.org.au/brain-injury-2/brain-brain-injury/>





Εικόνα 2. Εγκεφαλικοί λοβοί. (Προσαρμογή από: <sup>2</sup>)

## 1.2.2 Μεσεγκέφαλος

Ο μεσεγκέφαλος, βρίσκεται στο μεσαίο τμήμα του εγκεφάλου κάτω απ' τον θάλαμο. Τον διαπερνούν σημαντικές κινητικές και αισθητικές οδοί που οδηγούν στην παρεγκεφαλίδα (βλ. 1.2.3 Οπίσθιος Εγκέφαλος). Είναι επιτακτική η ανάγκη να αναφερθεί το γεγονός ότι στον μεσεγκέφαλο παράγεται η ντοπαμίνη (Bissonette & Roesch, 2017), μία οργανική ουσία που σχετίζεται με την καλή διάθεση, την απόλαυση και την χαρά. (Berridge & Robinson, 1998) (βλ. σελίδα 53).

## 1.2.3 Οπίσθιος Εγκέφαλος

Ο οπίσθιος εγκέφαλος θεωρείται η κατώτατη περιοχή του εγκεφάλου, που γεφυρώνει και συνδέει τον υπόλοιπο εγκέφαλο με τον νωτιαίο μυελό. Αποτελείται από την παρεγκεφαλίδα, τη γέφυρα και τον προμήκη μυελό (Campbell, N. A., J. B. Reece, L. A. Urry, et al. 2008). Η λειτουργία του οπίσθιου εγκεφάλου συνίσταται κυρίως στο συντονισμό των κινητικών αντανακλαστικών (Raven et al. 2008).

Η παρεγκεφαλίδα είναι τοποθετημένη στη βάση του εγκεφάλου (βλ. Εικόνα 3), αποτελεί το 10% του συνολικού βάρους του εγκεφάλου και εμπεριέχει περισσότερους από τους μισούς νευρώνες που υπάρχουν στον εγκέφαλο. Συνδέεται με τον παρεγκεφαλικό φλοιό μέσω περίπου σαράντα εκατομμυρίων νευρικών ινών (Ghez, 1991). Επίσης συνδέεται με τον θάλαμο, τον υποθάλαμο, τον προμετωπιαίο, τον μετωπιαίο και το βρεγματικό λοβό (Dolan, 1998; Middleton & Strick, 1997; Glickstein, 2007). Η παρεγκεφαλίδα σχετίζεται με τις κινήσεις, τη στάση του

---

2

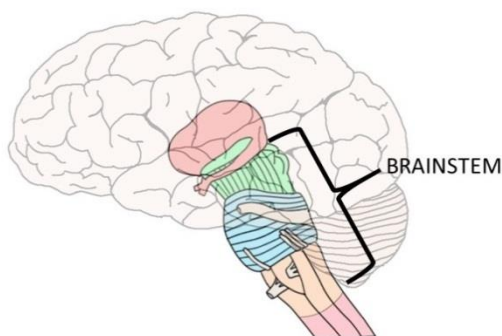
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82\\_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82)

σώματος, τη μνήμη (Annabel-Chen και Desmond , 2005) και τις αισθήσεις (Barinaga, 1996).



Εικόνα 3. Μοντέλο ανθρώπινου εγκεφάλου όπου η παρεγκεφαλίδα εμφανίζεται με μοβ χρώμα. (Προσαρμογή από<sup>3</sup>).

Το εγκεφαλικό στέλεχος, είναι το οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου (βλ. Εικόνα 4) και δομική συνέχειά του αποτελεί ο νωτιαίος μυελός (Alberts, Daniel , 2012). Το διαπερνούν νεύρα τα οποία επικοινωνούν με το υπόλοιπο σώμα. Επίσης, σχετίζεται με τις βασικές σωματικές λειτουργίες, όπως είναι η ρύθμιση του παλμού της καρδιάς, η ρύθμιση της πίεσης του αίματος και της αναπνοής. (Alberts, Daniel , 2012).



Εικόνα 4. Brainstrem δηλαδή σε ελληνική μετάφραση εγκεφαλικό στέλεχος. Στην παρούσα εικόνα απεικονίζεται η ακριβής τοποθεσία του εγκεφαλικού στελέχους. (Προσαρμογή από<sup>4</sup>).

Η γέφυρα, ανήκει στο μεσαίο τμήμα του στελέχους του εγκεφάλου. Συνδέει τον μεσεγκέφαλο με τον προμήκη μυελό και βρίσκεται μπροστά απ' την παρεγκεφαλίδα και πάνω από τον προμήκη μυελό.

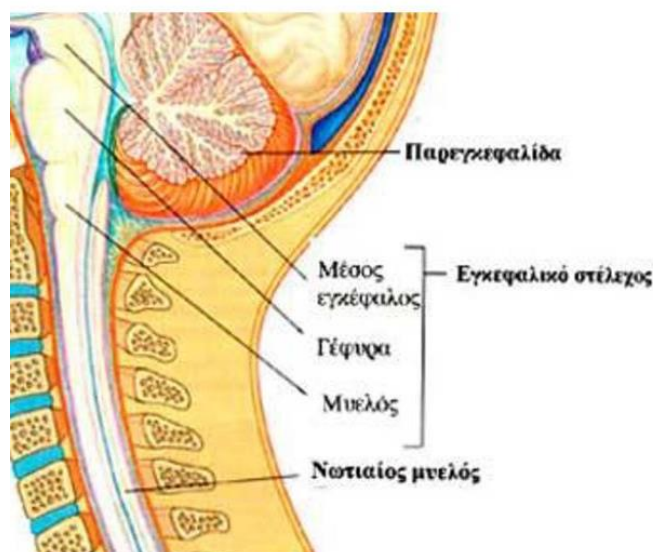
Ο προμήκης μυελός, ανήκει στο στέλεχος του εγκεφάλου και συνδέει τη γέφυρα με το νωτιαίο μυελό. Βοηθά στον έλεγχο των αυτόματων λειτουργιών, όπως η

<sup>3</sup>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AF%CE%B4%CE%B1>

<sup>4</sup> <https://www.neuroscientificallychallenged.com/glossary/brainstem/>

αναπνοή, η αρτηριακή πίεση, ο καρδιακός ρυθμός, η πέψη κλπ. (Snell Richard S.,1995).



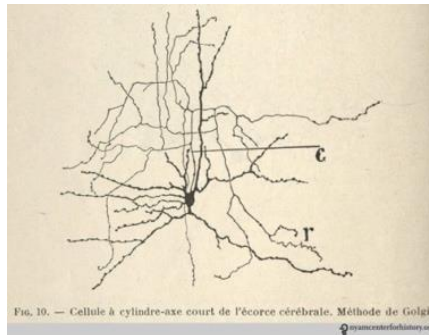
Εικόνα 5. Το οπίσθιο μέρος του εγκεφάλου και τα επιμέρους στοιχεία του. Κατά προέκταση εμφανίζεται και ο νωτιαίος μυελός ως το κατώτερο μέρος του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. (Προσαρμογή από:<sup>5</sup> )

Ο νωτιαίος μυελός είναι μια μακριά, λεπτή σωληνοειδής δέσμη νευρικών κυττάρων που προεξέχει από τον εγκέφαλο και διαπερνά εσωτερικά τη σπονδυλική στήλη (βλ. Εικόνα 5). Βρίσκεται στο νωτιαίο σωλήνα, ο οποίος είναι ένας εσωτερικός σωλήνας της σπονδυλικής στήλης και αποτελεί βασικό μέρος του κεντρικού νευρικού συστήματος (Maton, Anthea; et al., 1993).

### 1.3. Νευρώνας

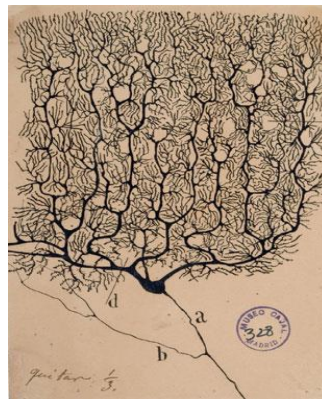
Το νευρικό σύστημα ενός ζωντανού οργανισμού αποτελείται από 100 δισεκατομμύρια νευρικά κύτταρα. Κάθε νευρώνας αποτελεί τη βασική δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Για τη λειτουργία του εγκεφάλου, είναι απαραίτητη η παρουσία των νευρώνων. Βλέποντας το σχεδιάγραμμα του νευροεπιστήμονα Santiago Ramon y Cajal (βλ. Εικόνα 6) , φαίνεται πως ο νευρώνας είναι ένα πολύπλοκο σωματίδιο. Αποτελείται λοιπόν από ένα σώμα, το κυτταρικό σώμα, από οργανίδια, από κάποιες διακλαδώσεις που ονομάζονται δενδρίτες και τέλος από τον νευράξονα ή άξονα.

<sup>5</sup> <https://slideplayer.gr/slide/11840189/>



Εικόνα 6. Σχεδιάγραμμα αναπαράστασης νευρώνα του Santiago Ramon y Cajal. (Προσαρμογή από<sup>6</sup>).

Ένας νευρώνας δεν υφίσταται ως μονάδα αλλά υφίσταται σε συνάρτηση με άλλους νευρώνες, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και επικοινωνούν δημιουργώντας έτσι ένα δίκτυο. Πάνω σ' αυτό το δίκτυο δημιουργούνται οι σκέψεις, τα συναισθήματα, οι αισθήσεις.



Εικόνα 7. Δίκτυο νευρώνων. Το σχεδιάγραμμα είναι απ' τον νευροεπιστήμονα Santiago Ramon y Cajal. (Προσαρμογή από<sup>7</sup>).

## 1.4 Δυναμικό ενέργειας νευρώνων

Σε όλα τα κύτταρα υπάρχει το εν λόγω δυναμικό ενέργειας. Δυναμικό ενέργειας εννοείται, η ηλεκτρική δραστηριότητα που παράγεται από ένα δραστηριοποιημένο νευρικό κύτταρο. Στην περίπτωση του νευρικού κυττάρου, διακρίνεται διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης που είναι γνωστή ως *διαφορά δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης* ή ως *μεμβρανικό δυναμικό*. Τόσο στον εξωκυττάριο όσο και στον ενδοκυττάριο χώρο υπάρχουν αρνητικά και θετικά ιόντα ίσα μεταξύ τους δημιουργώντας καθ' αυτόν τον τρόπο μία *πολωμένη μεμβράνη*.

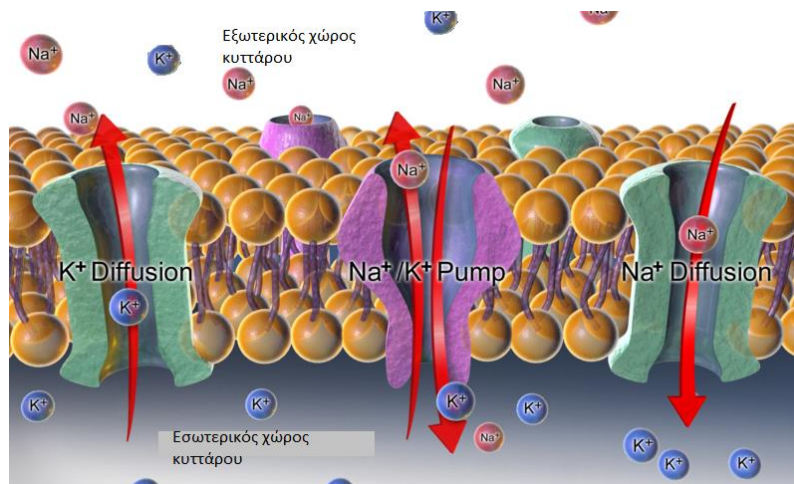
<sup>6</sup> <https://nyamcenterforhistory.org/2014/05/01/on-santiago-ramon-y-cajals-162nd-birthday/>

<sup>7</sup> <https://www.the-scientist.com/foundations/the-neuron-doctrine-circa-1894-38476>

Τα κύτταρα, δέχονται ερεθίσματα τα οποία μεταβάλλουν το δυναμικό της μεμβράνης τους. Τα ερεθίσματα αυτά είτε προκαλούν αύξηση του δυναμικού της μεμβράνης (*υπερπόλωση*) είτε μείωση (*εκπόλωση*). Στην προκειμένη περίπτωση ισχύει ο νόμος «όλο ή ουδέν». Σύμφωνα μ' αυτόν η ένταση του ερεθίσματος είναι ανάλογη με την αύξηση του δυναμικού της μεμβράνης.

Όταν ένα κύτταρο δεν δέχεται κάποιο ερέθισμα τότε το κύτταρο βρίσκεται σε μία κατάσταση που ονομάζεται *δυναμικό ηρεμίας*. Δυναμικό ηρεμίας παρουσιάζουν όλα τα είδη των κυττάρων διατηρώντας μία διαφορά ηλεκτρικού φορτίου με μέγεθος μόλις 65μV. Όπως προαναφέρθηκε, τόσο στον εξωκυττάριο όσο και στον ενδοκυττάριο χώρο υπάρχουν αρνητικά και θετικά ιόντα. Τα θετικά φορτία ονομάζονται κατιόντα και τα αρνητικά φορτία ονομάζονται ανιόντα. Η εξωκυττάρια περιοχή, αποτελείται από ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ). Αντίστοιχα, η ενδοκυττάρια περιοχή αποτελείται από ιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) και από διάφορα οργανικά ανιόντα. Το δυναμικό ηρεμίας προκαλείται από την άνιση κατανομή των ιόντων ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ) μεταξύ του έσω και έξω κυττάρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, συγκεντρώνονται περισσότερα θετικά ιόντα στην εξωτερική πλευρά της μεμβράνης παρουσιάζοντας μία σχετική ηλεκτροθετικότητα, ενώ στην εσωτερική περιοχή της μεμβράνη μία σχετική ηλεκτροαρνητικότητα. Για τους νευρώνες, το δυναμικό ηρεμίας διακυμαίνεται από 70 – 80 μV. (Alberts et al, 2002).

Η άνιση κατανομή των ιόντων διατηρείται με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μεταφοράς, την *αντλία νατρίου – καλίου* η οποία βρίσκεται στη μεμβράνη του νευρικού κυττάρου (βλ. Εικόνα 8). Οι συγκεκριμένες αντλίες ανοιγοκλείνουν επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στη μεταφορά ηλεκτρικά φορτισμένων ιόντων. Υπάρχουν συγκεκριμένες αντλίες για τη μεταφορά των ιόντων Καλίου και συγκεκριμένες για τη μεταφορά των ιόντων Νατρίου. Για κάθε τρία ιόντα  $\text{Na}^+$  που μεταφέρει η αντλία προς τα έξω, εισαγάγει στο κύτταρο δύο ιόντα  $\text{K}^+$ . Συνεπώς υφίσταται η αλλαγή της τάσης του εσωτερικού του κυττάρου.



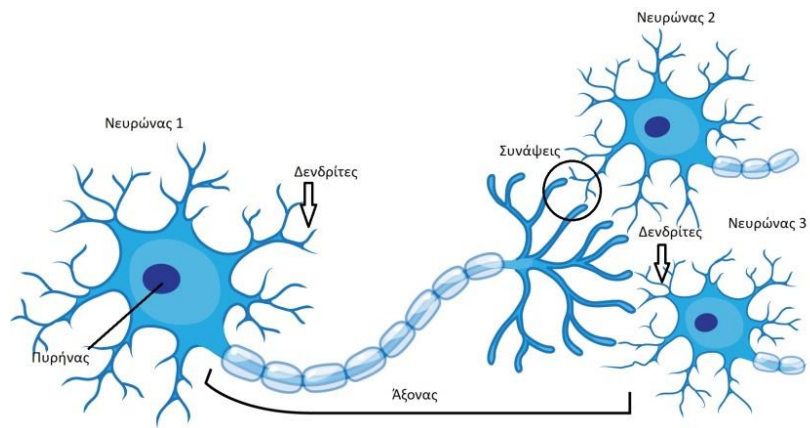
Εικόνα 8. Οι αντλίες  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  απεικονίζονται με το πράσινο και μοβ χρώμα, οι οποίες είναι τοποθετημένες επάνω στην πλασματική μεμβράνη και ενώνουν τον εσωτερικό με τον εξωτερικό χώρο του κυττάρου. Τα ιόντα  $\text{Na}^+$  είναι πολύ περισσότερα στο εξωτερικό του κυττάρου από ό,τι στο εσωτερικό του, ενώ αντιστρόφως τα ιόντα  $\text{K}^+$  είναι πολύ περισσότερα στο εσωτερικό του κυττάρου παρά στο εξωτερικό του. (προσαρμογή από:<sup>8</sup>).

## 1.5. Νευρική σύναψη

Σε ένα νευρικό σύστημα, νευρική σύναψη εννοείται μία δομή η οποία επιτρέπει σε ένα νευρικό κύτταρο να επικοινωνήσει με ένα άλλο νευρικό κύτταρο μέσω της ηλεκτρικής ή της χημικής δραστηριότητας που τα χαρακτηρίζει (Foster, M. Sherrington, 1897).

Στη σύναψη, η πλασματική μεμβράνη του προσυναπτικού νευρώνα έρχεται σε επαφή με τη μεμβράνη του μετασυναπτικού νευρώνα. (Perea et al., 2009). Οι δενδρίτες ευθύνονται για την επικοινωνία των νευρώνων και την μετέπειτα δημιουργία δικτύου (βλ. Εικόνα 9). Η πληροφορία ή πιο συγκεκριμένα τα νευρικά σήματα, εισέρχονται στο σώμα του νευρώνα μέσω των δενδριτών. Στην άκρη των δενδριτών είναι προσαρμοσμένοι κάποιοι υποδοχείς, έργο των οποίων είναι να λαμβάνουν τα σήματα από άλλους νευρώνες και να τα μεταδίδουν. Λόγω των ηλεκτρικών μεταβολών, τα σήματα ανιχνεύονται απ' τους δενδρίτες και εισχωρούν στο κυτταρικό σώμα. Στη συνέχεια περνάνε στον πυρήνα, ο πυρήνας τα στέλνει στον άξονα και έτσι το σήμα δημιουργεί δυναμικό δράσης. Το δυναμικό δράσης, καλύπτεται με μυελίνη, ένα μονωτικό υλικό το οποίο το προστατεύει από τυχόν φθορές. Το σήμα, φτάνει στις νευροαξονικές απολήξεις και προκαλεί την απελευθέρωση του νευροδιαβιβαστή. Έτσι, προκαλείται και η μεταβολή της τάσης της κυτταρικής μεμβράνης. (J. Allman, 1998).

<sup>8</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Ion\\_channel](https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_channel)



Εικόνα 9. Απεικόνιση της δομής και της επικοινωνίας του νευρώνα(Προσαρμογή από: <sup>9</sup>).

<sup>9</sup> <https://dumielauxepices.net/wallpaper-2356613>

# 2 Καταγραφή εγκεφαλικής δραστηριότητας

---

## 2.1 Εισαγωγή

Με την εξέλιξη της νευροεπιστήμης και της τεχνολογίας, τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον εστιάζεται ολοένα και περισσότερο στην κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου. Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, όταν οι νευρώνες του εγκεφάλου επικοινωνούν μεταξύ τους δημιουργούν δυναμικό ενέργειας το οποίο στη συνέχεια διαβιβάζεται ως ηλεκτρική διέγερση. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, διαπιστώνεται ότι οι επιστήμονες για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας εστίασαν το ενδιαφέρον τους και την έρευνά τους στην ανίχνευση των αλλαγών του ηλεκτρικού δυναμικού των νευρώνων (επεμβατικές τεχνικές) ή στη συσσώρευση των νευρώνων σε μία συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου (μη επεμβατικές τεχνικές) (Rao, 2011). Οι πρώτες νευροφυσιολογικές καταγραφές πραγματοποιήθηκαν από τον Richard Caton το 1875, αρχικά σε ζώα. Η εμφάνιση της καταγραφής της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου των ανθρώπων πραγματοποιήθηκε μισό αιώνα αργότερα από τον Hans Berger, έναν γερμανό ψυχίατρο. Η καταγραφή της δραστηριότητας του εγκεφάλου χρησιμοποιείται στην κλινική πράξη για την αξιολόγηση εγκεφαλικών και νευρολογικών παθήσεων. (Erik K. St. Louis et al. 2016)<sup>10</sup>. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν συγκεκριμένες μέθοδοι και τεχνικές που αφορούν στην καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας.

## 2.2. Τεχνικές καταγραφής

### 2.2.1 Επεμβατικές μέθοδοι (Invasive)

Η επεμβατική μέθοδος αφορά στην τοποθέτηση ηλεκτροδίων με χειρουργική επέμβαση ενδοκρανιακά. Η συγκεκριμένη τεχνική, επιτρέπει την καταγραφή ενός μεμονωμένου νευρώνα και για να πραγματοποιηθεί είναι απαραίτητη η αφαίρεση ενός μέρους του κρανίου. Κατά την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, ο ασθενής δεν αισθάνεται πόνο καθώς δεν υπάρχουν εσωτερικοί υποδοχείς πόνου. Όμως η διαδικασία χειρουργικής επέμβασης και η διαδικασία ανάρρωσης προκαλεί

---

<sup>10</sup> Erik K. St. Louis, Lauren C. Frey (2016). *Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants*. American Epilepsy Society.



πόνο και ενέχει κινδύνους λοίμωξης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί σε κατάσταση αναισθησίας αλλά και σε κατάσταση με πλήρεις τις αισθήσεις. Αυτές οι χειρουργικές επεμβάσεις πραγματοποιούνται μόνο σε κλινικό περιβάλλον. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής συνίσταται στην ταχύτητα καταγραφής, η οποία στο χρονοδιάγραμμα διακυμαίνεται σε 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. (Rao, 2011).

## Μικροηλεκτρόδια

---

Το μικροηλεκτρόδιο, είναι ένα πολύ λεπτό σύρμα ή ένας ηλεκτρικός αγωγός, ο οποίος εφάπτεται με τον εγκεφαλικό ιστό. Είναι κατασκευασμένος από βολφράμιο (σπάνιο μέταλλο) ή από κράμα λευκόχρυσου. Κατά κύριο λόγο είναι μονωμένο εκτός από την άκρη η οποία έχει μέγεθος 1μm. Υπάρχουν επίσης και ηλεκτρόδια στα οποία το βασικό υλικό είναι το γυαλί. (Rao, 2011).+

## Ενδοκυττάρια καταγραφή

---

Η ενδοκυττάρια καταγραφή είναι ο αμεσότερος τρόπος μέτρησης της δραστηριότητας ενός νευρώνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση καταγράφεται η τάση ή το ρεύμα κατά μήκος της μεμβράνης του νευρώνα. Η τεχνική που χρησιμοποιείται σ' αυτήν την περίπτωση ονομάζεται *patch clamp recording*. Με βάση αυτήν χρησιμοποιείται μία μικροπιπέτα από γυαλί με διάμετρο κορυφής 1μm ή μικρότερη, μέσα στην οποία περιέχεται ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη, το οποίο ως προς τα ιόντα είναι παρόμοιο με το ενδοκυτταρικό υγρό. Έπειτα εισχωρεί στην μικροπιπέτα ένα σύρμα για να συνδέσει τον ηλεκτρολύτη με τον ενισχυτή (Rao, 2011).

## Εξωκυττάρια καταγραφή

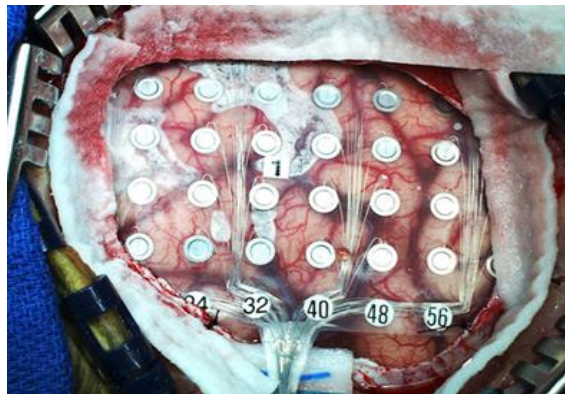
---

Η εξωκυττάρια καταγραφή είναι μία γνωστή επεμβατική μέθοδος καταγραφής ενός νευρώνα. Το μικροηλεκτρόδιο, είναι κατασκευασμένο από βολφράμιο ή από κράμα λευκόχρυσου. Το μικροηλεκτρόδιο πλησιάζει τόσο μέχρι να λάβει τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα από κάθε κύτταρο. Επιπλέον, λόγω του ότι το ηλεκτρικό σήμα συνήθως είναι αρκετά αδύναμο, γίνεται η χρήση των ενισχυτών. Το καταγεγραμμένο σήμα μοιάζει με δυναμική ενέργεια. Όταν δημιουργείται δυναμικό ενέργειας τα θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου εισέρχονται στο κύτταρο και έτσι δημιουργείται αντιστοίχως αρνητική τάση στην περιοχή που περιβάλλει το κύτταρο.

Η μεταβολή αυτή είναι εκείνη που καταγράφεται από το μικροηλεκτρόδιο. (Rao, 2011).

## Ηλεκτροκορτικογραφία

Η ηλεκτροκορτικογραφία (ECoG), συνίσταται σε μία επεμβατική μέθοδο της καταγραφής των ηλεκτρικών δυναμικών του φλοιού του εγκεφάλου (βλ. Εικόνα 10). Σύμφωνα μ' αυτήν τη μέθοδο είναι απαραίτητη η κρανιοτομή καθώς τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται επάνω στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Η μέθοδος αυτή συνιστάται συχνά σε άτομα με επιληψία και έχει ως στόχο την μείωση των επιληπτικών κρίσεων. Παρόλο το μειονέκτημα της χειρουργικής επέμβασης, το ECoG, χρησιμεύει πολύ στην καταγραφή σημάτων με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση (κλίμακα μικρότερη του 1 cm και κλίμακα μικρότερη του 1msec αντίστοιχα). Επιπλέον παρουσιάζει μικρή ευαισθησία στα παρασιτικά σήματα – artifacts (N. Jeremy Hill et al., 2012). Τέλος, τα ηλεκτρόδια καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του εγκεφαλικού φλοιού, πράγμα το οποίο βοηθά στην ακριβέστερη απεικόνιση της εγκεφαλικής δραστηριότητας (Fukushima, Saunders, Fujii, Averbek, & Mishkin, 2014).



Εικόνα 10. Απεικόνιση της επεμβατικής τεχνικής καταγραφής του εγκεφάλου. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι η τεχνική της ηλεκτροκορτικογραφίας (ECoG). ( Προσαρμογή από: <sup>11</sup>).

### 2.2.2 Μη Επεμβατικές Μέθοδοι (Non Invasive)

Με τον όρο μη επεμβατική μέθοδος, εννοείται η καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας χωρίς τη διαδικασία της χειρουργικής επέμβασης. Υπάρχουν διάφορα είδη επεμβατικών μεθόδων όπως, fMRI, PET, MEG, EEG. Οι μη επεμβατικές μέθοδοι βρέθηκαν στο στόχαστρο της επιστήμης καθώς αποτέλεσαν

<sup>11</sup> <http://www.downstate.edu/epilepsy/intracranial.html>

τον ευκολότερο και τον πιο ανώδυνο τρόπο για την ταχύτερη μελέτη του εγκεφάλου.

## fMRI – Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού

Ο εγκέφαλος, όπως και κάθε άλλο όργανο στο σώμα, απαιτεί σταθερή παροχή οξυγόνου ώστε να μεταβολίσει τη γλυκόζη παρέχοντας ενέργεια. Αυτό το οξυγόνο, παρέχεται από το συστατικό του αίματος που ονομάζεται αιμοσφαιρίνη. Το 1935, αποδείχθηκε ότι η αιμοσφαιρίνη διαθέτει μαγνητικές ιδιότητες οι οποίες εξαρτώνται από την ποσότητα οξυγόνου που μεταφέρει. Αυτή η εξάρτηση, έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη μίας μεθόδου με ονομασία «Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού» ή εν συντομία fMRI (Pauling & Coryell, 1936). Το fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging) καταγράφει τη νευρωνική δραστηριότητα του εγκεφάλου, ανιχνεύοντας τις μεταβολές της ροής του αίματος, λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των νευρώνων σε συγκεκριμένο σημείο το εγκεφάλου. Το αίμα μέσω των αιμοφόρων αγγείων διοχετεύει οξυγόνο στον εγκέφαλο. Το fMRI, είναι ικανό να μετρήσει την αύξηση της ροής του αίματος καθώς και την ενεργοποίηση της δραστηριότητας των νευρώνων. Οι νευρώνες καταναλώνουν το οξυγόνο που μεταφέρουν οι αιμοσφαιρίνες των ερυθροκυττάρων από γειτονικά τριχοειδή αγγεία. Αυτή η ανταπόκριση παρατηρείται να είναι αργή, δηλαδή παρουσιάζει καθυστέρηση 1 – 5 δευτερόλεπτα, κορυφώνεται συνήθως από τα 3 – 6 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια επιστρέφει στην κανονική της μορφή.

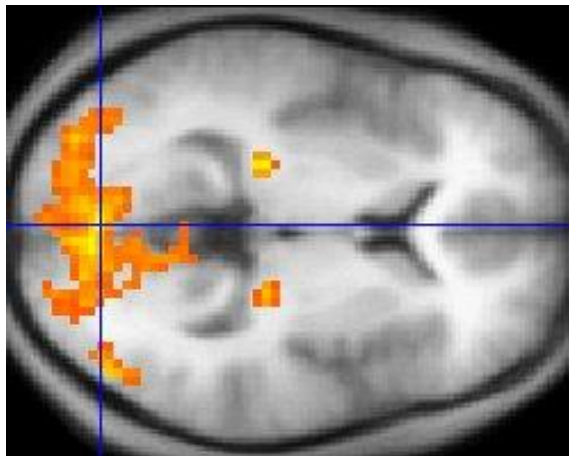
Το οξυγόνο μεταφέρεται από τα μόρια της αιμοσφαιρίνης στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Η από-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη είναι περισσότερο μαγνητική από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και το fMRI το εκμεταλλεύεται αυτό το δεδομένο για τη δημιουργία εικόνων διαφορετικών διατομών του εγκεφάλου, που δείχνουν αυξημένη ενεργοποίηση σε συγκεκριμένες περιοχές κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης εργασίας. Δεδομένου ότι μετρά τα επίπεδα οξυγόνωσης στο αίμα, το σήμα που καταγράφεται από το fMRI ονομάζεται απόκριση στάθμης οξυγόνωσης του αίματος (BOLD). (Rao, 2011).

Η διαδικασία είναι μη επεμβατική και περιγράφεται παρακάτω: Ο ασθενής ξαπλώνει σε ένα κρεβάτι και το κεφάλι του τοποθετείται σε έναν σαρωτή fMRI (βλ. Εικόνα 11). Έπειτα, η μαγνητική τομογραφία σε συνδυασμό με τα μαγνητικά πεδία και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, παράγει μία εικόνα του κεφαλιού του ασθενή (βλ. Εικόνα 12).

Παρόλο που έχει κατακτήσει τον χώρο της Ιατρικής επιστήμης και αποτελεί μία αξιόλογη και καθολική μέθοδο εξέτασης, ο ασθενής πρέπει να παραμείνει εντελώς ακίνητος μέσα στο μηχάνημα, το οποίο είναι αρκετά κλειστό. Μερικοί ασθενείς δεν αισθάνονται άνετα μ' αυτό καθώς παρουσιάζουν κλειστοφοβικά επεισόδια.



Εικόνα 11. Ασθενής κατά τη διαδικασία του fMRI. (Προσαρμογή από<sup>12</sup>).



Εικόνα 12. Απεικόνιση του φλοιού του εγκεφάλου μέσω fMRI. Η πορτοκαλί περιοχή είναι τα δεδομένα του fMRI και δείχνουν την ενεργοποίηση της περιοχής (Προσαρμογή από<sup>13</sup>).

## PET - Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων

---

Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography - PET), αποτελεί μία μέθοδο ιατρικής απεικόνισης και πιο συγκεκριμένα της Πυρηνικής Ιατρικής, δηλαδή διαγνωστικές και θεραπευτικές διαδικασίες που απαιτούν την εισαγωγή ραδιενέργειας στον οργανισμό (Airas, Nylund, & Rissanen, 2018).

<sup>12</sup> <https://www.newsbomb.com.cy/perissotera/ygeia/story/679556/anasa-gia-xiliades-astheneis-erxontai-dyo-magnitikoi-tomografoi-sta-nosokomeia-leykosis-kai-lemesoy>

<sup>13</sup> [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%91%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7\\_%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D\\_%CE%A3%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7_%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D_%CE%A3%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D)

## MEG - Μαγνητοεγκεφαλογραφία

Η Μαγνητοεγκεφαλογραφία, (MEG) είναι μία μη επεμβατική μέθοδος μέτρησης της νευρωνικής δραστηριότητας του εγκεφάλου μέσω υπολογισμού των μαγνητικών πεδίων. Παρουσιάζει όμοια στοιχεία με την Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) διαφέρει όμως στις αλλαγές των μαγνητικών πεδίων και όχι στις αλλαγές τάσης. Χρησιμοποιεί αισθητήρες (SQUIDS) πολύ μεγάλης ευαισθησίας, καθώς το μαγνητικό πεδίο που περνάει την κεφαλή είναι αρκετά ασθενές. Όπως και το EEG, παρουσιάζει υψηλή χρονική ανάλυση καθώς απεικονίζει άμεσα την νευρωνική δραστηριότητα. Επιπλέον, ως προς τη χωρική ανάλυση η μαγνητοεγκεφαλογραφία υπερτερεί ενάντια στην ηλεκροεγκεφαλογραφία, καθώς τα μαγνητικά πεδία που παράγονται από τη νευρωνική δραστηριότητα δεν παραμορφώνονται από την οργανική ύλη που περιβάλλονται, δηλαδή από το κρανίο και το τριχωτό της κεφαλής. Πάραυτα, τα μηχανήματα της μαγνητοεγκεφαλογραφίας είναι αρκετά ακριβά, δύσχρηστα, ογκώδη, πράγμα που δυσχεραίνει τη χρήση τους (Rao, 2011).

## 2.3. Eeg – Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Δεδομένου ότι τα συναισθήματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, η ανάγκη της αυτόματης αναγνώρισης συναισθημάτων έχει αυξηθεί. Το EEG, αποτέλεσε βασικό εργαλείο για να ανακαλυφθούν οι σχέσεις μεταξύ των συναισθηματικών καταστάσεων και της εγκεφαλικής δραστηριότητας. (Yisi Liu, Olga Sourina, and Minh Khoa Nguyen, 2010). Ο Άγγλος βιολόγος Caton (1897) και ο Πολωνός Beck (1890) ήταν οι πρώτοι που διαπίστωσαν την ύπαρξη της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου το 1875, αρχικά σε κουνέλια και πιθήκους, μέσω ενός οργάνου που ονομάζεται γαλβανόμετρο. Έπειτα από 50 χρόνια περίπου, ο ψυχίατρος Hans Berger, ανακάλυψε τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο και το 1924 κατάφερε να καταγράψει το πρώτο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Ανέφερε λοιπόν, ότι τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τον εγκέφαλο, μπορούν να καταγραφούν χωρίς χειρουργική επέμβαση στο κρανίο και να απεικονίζονται γραφικά σε ένα χαρτί (J. D. Bronzino , 1995). Αυτό αποτέλεσε ένα πολύ σημαντικό επίτευγμα για την επιστήμη της νευρολογίας και της ψυχιατρικής εκείνης της εποχής. Παρόλη τη μεγάλη πρωτοπορία της εποχής ο ίδιος βίωσε την αμφισβήτηση και δεν απέκτησε φήμη και αναγνωρισιμότητα.

Ήταν ο πρώτος ο οποίος ανακάλυψε ότι ο εγκέφαλος δεν παράγει μόνο ένα εγκεφαλικό ρυθμό. Κατάφερε να βρει δύο διαφορετικούς ρυθμούς, τον  $\alpha$  και τον  $\beta$ . Ο ρυθμός  $\alpha$  κύματος είναι γνωστός και ως κύμα Berger. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν και από άλλους ερευνητές όπως ο Edgar Douglas Adrian και Brian Matthews (1934). Το 1935, κατασκευάστηκαν τα πρώτα αξιόλογα μηχανήματα καταγραφής και σύντομα το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα απέκτησε μεγάλη κλινική αξία (Terlan, 2008).

Το 1947, πραγματοποιήθηκε το πρώτο διεθνές συνέδριο ηλεκτροεγκεφαλογραφίας στο Λονδίνο, όπου δημιουργήθηκε ένας Παγκόσμιος Οργανισμός Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και ιδρύθηκε ένα διεθνές περιοδικό περί αυτού (Marc R. Nuwer, et al., 2010).

Το μηχάνημα λοιπόν που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου, μέσω των ηλεκτροδίων, ονομάζεται ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Η ηλεκτρική δραστηριότητα σημαίνει, ότι οι νευρώνες δραστηριοποιούνται. Το EEG, μπορεί να υπολογίσει τη συνολική δραστηριότητα των δισεκατομμυρίων νευρώνων αλλά αδυνατεί να καταγράψει τη δραστηριότητα ενός μεμονωμένου νευρώνα. Αυτό το οποίο μετρείται είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων αναφοράς.

Το πλάτος των σημάτων του EEG είναι πολύ μικρό και υπολογίζεται περίπου από 1 – 100  $\mu\text{V}$  ( $\mu\text{V}$  σημαίνει εκατομμυριοστά του Volt). Αυτή η τιμή είναι πολλή μικρή, γι' αυτό το λόγο το EEG χαρακτηρίζεται αρκετά ευάλωτο ως προς το θόρυβο. Για την εξομάλυνση αυτού του προβλήματος, θεωρείται απαραίτητη η χρήση των ενισχυτών καθώς και η χρήση μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα με ρυθμό δειγματοληψίας 256 Hz. Στη συνέχεια, όταν το σήμα γίνει ψηφιακό περνάει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για τη μετέπειτα επεξεργασία του (Koelsch, 2013).

Το EEG είναι ένα σύστημα το οποίο έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους καταγραφής ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου (π.χ. fMRI), αλλά και αρκετά μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η συσκευή διαθέτει μικρό μέγεθος, πράγμα το οποίο καθιστά εύκολη τη μεταφορά της.
- Χαμηλό κόστος αγοράς και χαμηλό κόστος ανταλλακτικών.
- Υψηλή χρονική ανάλυση.
- Αθόρυβη λειτουργία.

- Συγκριτικά με το fMRI , παρουσιάζει μεγαλύτερη ελευθερία των κινήσεων.
- Δεν απαιτεί χειρουργική επέμβαση συνεπώς η διαδικασία δεν είναι επίπονη.

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Ένα μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός, ότι η συσκευή μπορεί να εντοπίσει τη δραστηριότητα πολλών νευρώνων μαζί και όχι τη δραστηριότητα ενός μεμονωμένου νευρώνα. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυσή του είναι αρκετά περιορισμένη.
- Μεγάλη ευαισθησία στο θόρυβο, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι κινήσεις του υποκειμένου πρέπει να είναι περιορισμένες προκαλώντας ορισμένες φορές δυσφορία στο υποκείμενο.

Για την καταγραφή της δραστηριότητας του εγκεφάλου χρειάζεται η πηγή (ο άνθρωπος), τα ηλεκτρόδια μαζί με τη συσκευή και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Καθίσταται δυνατόν η καταγραφή να γίνεται με τη χρήση ενός μόνο ηλεκτροδίου αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται περισσότερα. Για χαμηλή καταγραφή χρησιμοποιούνται από 8 – 32 κανάλια ενώ για υψηλή 64, 128, 256 ή μέχρι και 512 κανάλια.

Το σημαντικότερο εξάρτημα λοιπόν είναι τα ηλεκτρόδια, τα οποία μετατρέπουν το ρεύμα των ιόντων του ανθρώπινου σώματος σε ρεύμα ηλεκτρονίων και ανιχνεύουν τη διαφορά δυναμικού . Ως προς τη μορφή τους επισημαίνεται ότι τα ηλεκτρόδια είναι μικροί μεταλλικοί δίσκοι οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στο τριχωτό της κεφαλής. Για καλύτερη επαφή καθώς και για λόγους υγιεινής, το πώμα βρέχεται με υγρό φακών επαφής.

## 2.4. Σύγκριση μεταξύ fMRI και EEG

Αρχικά, πρέπει να επισημανθεί ότι και οι δύο μέθοδοι είναι ιατρικά αποδεκτές, εφαρμόσιμες και επιφέρουν αξιόλογα αποτελέσματα. Έχουν πραγματοποιηθεί πάρα πολλές επιστημονικές έρευνες για τη σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων. Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) και η fMRI ανιχνεύουν δύο διαφορετικά φυσιολογικά φαινόμενα που σχετίζονται με την εγκεφαλική δραστηριότητα. Το EEG είναι μία «απομακρυσμένη» μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού που παράγεται άμεσα από τη δραστηριότητα των νευρώνων, ενώ η fMRI καταγράφει μεταβολές στην οξυγόνωση του αίματος (De Haan & Thomas, 2002). Ως προς το κόστος, το fMRI είναι ακριβότερο συγκριτικά με το EEG. (Zanzotto & Croce, n.d.), καθώς απλές συσκευές EEG κοστίζουν κοντά στα 200 ευρώ. Επιπλέον, το EEG είναι

αρκετά εύκολο στη χρήση και δεν απαιτείται κάποια εκπαίδευση πάνω σε αυτό, ενώ αντίθετα με το fMRI απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις σχετικά με το χειρισμό του. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός, ότι τα δεδομένα που λαμβάνει κάποιος από τις δύο μεθόδους είναι διαφορετικής μορφής. Πιο συγκεκριμένα, στο fMRI τα δεδομένα εμφανίζονται με τη μορφή εικόνας, που βοηθάει περισσότερο στη διάγνωση σοβαρών ασθενειών (π.χ. επιληψία) (Gotman & Pittau, 2011). Στο EEG, τα δεδομένα παρουσιάζονται σε γραφήματα σε οθόνη του υπολογιστή, συνεπώς καθιστά δύσκολη τη διάγνωση. Τέλος, ως προς τη χρονική ανάλυση (temporal resolution), περισσότερο ευνοημένο είναι το EEG καθώς το fMRI είναι περισσότερο χρονοβόρο. (De Haan & Thomas, 2002). Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τις διαφορές των δύο αυτών μεθόδων.

	EEG	MRI	fMRI
<b>Χρονική Ανάλυση</b>	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
<b>Χωρική Ανάλυση</b>	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
<b>Μέτρηση εγκεφαλικής δραστηριότητας</b>	Άμεση	Όχι άμεση	Ημί άμεση – (Απόκριση BOLD)
<b>Επίπεδο τεχνογνωσίας</b>	Μικρή Εκπαίδευση	Εξειδικευμένη Εκπαίδευση	Εξειδικευμένη Εκπαίδευση
<b>Κόστος</b>	Αρκετά Προσιτό	Ακριβό	Ακριβό

Πίνακας 1. Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ EEG, MRI και fMRI. (Προσαρμογή από<sup>14</sup>).

## 2.5. Τοποθέτηση ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια είναι απαραίτητα σε μία συσκευή EEG, καθώς λειτουργούν ως αισθητήρες. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνουν ιοντικό ρεύμα από την εγκεφαλική δραστηριότητα και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή ρεύμα ηλεκτρονίων. Για να ξεκινήσει η καταγραφή από μία συσκευή EEG, είναι απαραίτητη η σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Ο χρήστης πρέπει να λάβει υπ' όψιν του κάποιες παραμέτρους όπως: α) την ακριβή θέση της τοποθέτησης του ηλεκτροδίου επάνω στο τριχωτό της κεφαλής, β) την ηλεκτρική αντίσταση της επαφής μεταξύ ηλεκτροδίου και δέρματος, γ) την προστασία των ηλεκτροδίων από εξωτερικούς θορύβους, δ) την επιλογή του κατάλληλου τύπου ηλεκτροδίου.

<sup>14</sup> <https://imotions.com/blog/eeg-vs-mri-vs-fmri-differences/>

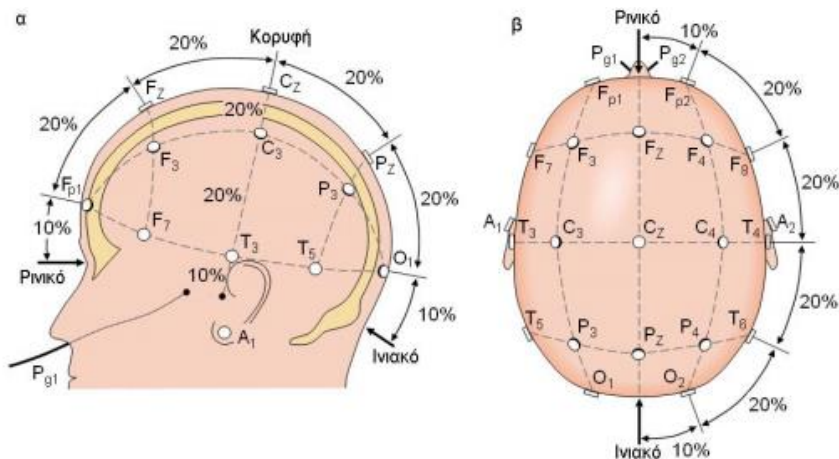


Ως προς την ακριβή θέση της τοποθέτησης του ηλεκτροδίου, ο χρήστης πρέπει να ακολουθήσει το πρότυπο του διεθνούς συστήματος 10/20, το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια διεξοδικά.

Η ηλεκτρική αντίσταση της επαφής μεταξύ ηλεκτροδίου και δέρματος είναι επιτυχής, όταν χρησιμοποιείται μία ειδική ηλεκτρολυτική αγωγή πάστα – gel (π.χ. υγρό επαφής). Το συγκεκριμένο υγρό επιτρέπει τη ροή των ιόντων από το δέρμα προς το ηλεκτρόδιο δημιουργώντας έτσι διαφορά δυναμικού. Η συγκέντρωση των ιόντων είναι ανάλογη με τη δραστηριότητα των νευρώνων. Τα περισσότερα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από έναν συνδυασμό αργύρου – χλωριούχου αργύρου. Αυτής της φύσεως τα υλικά χρησιμοποιούνται για τη μόνωση του ηλεκτροδίου και δεν το καθιστούν επιρρεπές στις εξωτερικές περιβαλλοντικές μεταβολές (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία κλπ.) (Κουτσούρης, Παυλόπουλος & Πρέντζα, 2003).

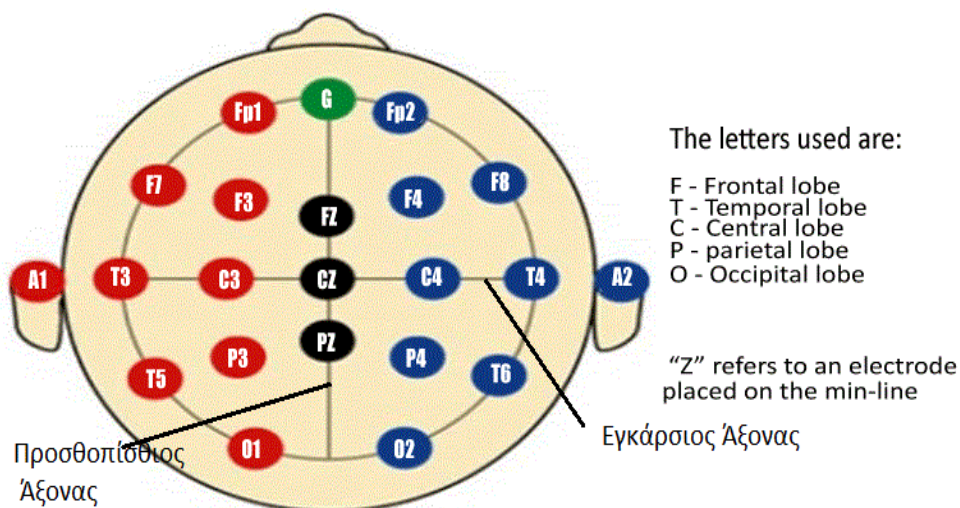
## 2.6. Διεθνές Σύστημα 10 20

Ο Dr. Herbert H. Jasper μελέτησε μεθόδους για την τυποποίηση ενός προτύπου τοποθέτησης ηλεκτροδίων, καταλήγοντας στο διεθνές σύστημα 10/20- (βλ. Εικόνα 13). Το πρότυπο αυτό διευκολύνει αφενός μεν τη θέση της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων και αφετέρου δε την ύπαρξη ενός κοινού κώδικα επικοινωνίας και μιας κοινής σύγκρισης μεταξύ των ερευνητών. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο τα ηλεκτρόδια πρέπει να κατανέμονται σ' όλη την επιφάνεια του κρανίου και η απόσταση μεταξύ τους πρέπει να είναι ίση. Σημείο αναφοράς θεωρείται το ρινικό οστό, που βρίσκεται επάνω από τα μάτια και το ινιακό οστό που βρίσκεται στο πίσω μέρος του κεφαλιού. Το 10 και το 20 αναφέρεται στις αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων είτε ανήκουν στο αριστερό είτε στο δεξί ημισφαίριο του εγκεφάλου. Μεταξύ των σημείων αναφοράς μετριέται οριζόντια και κάθετα η ημιπεριφέρεια του κρανίου. Η διαίρεση των ημιπεριφερειών σε διαστήματα 10% και 20% καθορίζει τη θέση των ηλεκτροδίων. Το σύστημα αυτό είναι διεθνές καθώς μπορεί να προσαρμοστεί σε κεφάλια διαφορετικού μεγέθους.



Εικόνα 13. Διεθνές σύστημα 10/20. Α). Πλευρική όψη κρανίου. Απεικόνιση της μεθόδου μέτρησης από την ινιακή προς τη ρινική περιοχή. Το F απεικονίζει τη μετωπική περιοχή του πόλου Το C είναι η κεντρική γραμμή των ηλεκτροδίων. Το P είναι η βρεγματική γραμμή των ηλεκτροδίων και το O είναι η ινιακή γραμμή. και β. το επάνω μέρος του κεφαλιού. Οι αναγραφόμενες αναλογίες (%) αντιπροσωπεύουν τις αναλογίες της μετρούμενης απόστασης από το ρινικό προς το ινιακό.Β) Πανοραμική όψη κρανίου. ( Προσαρμογή από:<sup>15</sup>).

Στο σύστημα 10/20 συναντάμε διαχωριστικούς άξονες. Το προσθιοπίσθιο και τον εγκάρσιο.



Εικόνα 14. Διαχωριστικοί άξονες στο σύστημα 10/20. Πανοραμική όψη κρανίου. (Προσαρμογή από:(Moretti, Paternicò, Binetti, Zanetti, & Frisoni, 2014).

Τα μονογράμματα που παρουσιάζονται στο παραπάνω σχεδιάγραμμα απεικονίζουν τους εγκεφαλικούς λοβούς. Πιο συγκεκριμένα το F αντιστοιχεί στον μετωπιαίο λοβό (frontal lobe), το T αντιστοιχεί στον κροταφικό λοβό (temporal lobe), το P στον βρεγματικό λοβό (parietal lobe), το O στον ινιακό λοβό (occipital lobe), το A1 και A2 αντιστοιχούν στα ηλεκτρόδια αναφοράς. Το γράμμα Z αφορά τις κεντρικές περιοχές της κεφαλής. Οι μονοί αριθμοί αφορούν το αριστερό ημισφαίριο ενώ οι ζυγοί το δεξί (Jasper, 1958).

<sup>15</sup> <http://www.bem.fi/book/13/13.htm>



Εικόνα 15. Στα αριστερά είναι μία μη επεμβατική συσκευή EEG. Δεξιά οι θέσεις ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής μέσω του Emotiv application. (Προσαρμογή από<sup>16</sup>).

## 2.7. Ρυθμοί Εγκεφάλου

Όπως προαναφέρθηκε ο Hans Berger ήταν εκείνος ο οποίος ανακάλυψε τους ρυθμούς του εγκεφάλου. Η ανακάλυψη αυτή προέκυψε από πολυάριθμα πειράματα, τα οποία διεξήχθησαν στο εργαστήριό του. Παρατήρησε μέσα από τα πειράματά του ότι υπάρχουν μεταβολές της τάσης που μετρήθηκαν από το «γαλβανόμετρο». Επιπροσθέτως, απέκλεισε το γεγονός αυτές οι μεταβολές να προέρχονται από το δέρμα της κεφαλής ή από τις αλλαγές της αρτηριακής πίεσης. Έπειτα από πέντε χρόνια περίπου ανακάλυψε ότι, όταν κάποιος έχει κλειστά τα μάτια και είναι ξύπνιος παράγεται ένας ρυθμός ο οποίος παρουσιάζει 10 κύματα ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή 10 Hz. Αυτόν τον ρυθμό τον ονόμασε α, καθώς ήταν ο πρώτος τον οποίο ανακάλυψε.

Κατά την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου, παρατηρούνται διαφορετικές συχνότητες του εγκεφάλου ή ρυθμοί του εγκεφάλου. Η πρώτη ταξινόμηση έγινε από την διεθνή ομοσπονδία IFCN (International Federation of Clinical Neurophysiology) το 1974. Η ονομασία των ρυθμών προκύπτουν από γράμματα του ελληνικού αλφάβητου. Αρχικά, κατά την αρχή της εμφάνισης του εγκεφαλογραφήματος, υπήρχε η δυνατότητα διάγνωσης μόνο δύο ρυθμών, του α και του β. Με την εξέλιξη των μηχανημάτων όμως εμφανίστηκαν άλλοι τρεις ρυθμοί, οι οποίοι είναι ο δ, θ και γ. Συγκεκριμένα ο ρυθμός δ έχει εύρος διακύμανσης από 0,5 – 4 Hz, ο θ από 4 – 8 Hz, ο α από 8 – 12 Hz, ο β από 12 – 30 Hz και ο γ >30 Hz.

<sup>16</sup>[https://www.researchgate.net/figure/The-Emotiv-EPOC-and-the-electrodes-location\\_fig1\\_273770100](https://www.researchgate.net/figure/The-Emotiv-EPOC-and-the-electrodes-location_fig1_273770100)

Αξίζει να αναφερθεί ότι διακρίνονται και άλλοι μικρότεροι ρυθμοί τους οποίους δεν ονομάτισαν. Αναλυτικότερα:

#### **A) Δέλτα – delta**

Ο ρυθμός δέλτα χαρακτηρίζεται από τα πιο αργά και τα πιο υψηλά εγκεφαλικά κύματα, δηλαδή 1 – 4 Hz. Σχετίζεται με τον ύπνο και πιο συγκεκριμένα με το βαθύ ύπνο. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν την κατάσταση ο άνθρωπος είναι ασυνείδητος και δεν ονειρεύεται. Όσο ισχυρότερος είναι ο ρυθμός δ τόσο πιο βαθύς είναι ο ύπνος. Συνήθως παρατηρείται στο δεξί ημισφαίριο του εγκεφάλου και πιο συγκεκριμένα στο θάλαμο του εγκεφάλου. Επίσης είναι στενά συνδεδεμένος με τη μνήμη και την αποθήκευση της νέας πληροφορίας που έχει αποκτηθεί.

Μέσω του ρυθμού δ, είναι δυνατόν να διαγνωστούν νευρολογικές παθήσεις όπως η νόσος του Parkinson και η σχιζοφρένεια. Τέλος, το αλκοόλ μειώνει αρκετά τις συχνότητες του ρυθμού δέλτα, πράγμα το οποίο προκαλεί προβλήματα στη μνήμη.

#### **B) Θήτα – theta**

Ο ρυθμός θ, είναι ένας ρυθμός ο οποίος βρέθηκε στο επίκεντρο της προσοχής της επιστήμης. Αρχικά, σχετίστηκε με την ταλάντωση του ιππόκαμπου έχοντας πλάτος από 4-10 Hz (Babiloni et al., 2009).<sup>17</sup> Το ευρύ πλάτος, ανιχνεύτηκε πρώτα απ' όλα σε ένα κουνέλι το οποίο βρισκόταν υπό αναισθησία. Πλέον, ο ρυθμός θ διακουμάίνεται από 4 – 8 Hz. Συνδέεται με τη διαδικασία χαλάρωσης, της αυξημένης προσοχής, της επεξεργασίας πληροφοριών, της μάθησης και πολλές ακόμα καταστάσεις. (Hasselmo, Bodelón, & Wyble, 2002). Ο λόγος για τον οποίο βρέθηκε στο επίκεντρο της επιστήμης είναι ότι ο θήτα ρυθμός εξαπλώθηκε σε ποικίλες συμπεριφορές. Μάλιστα, συνδέθηκε και με την «εθελοντική κίνηση ενός μέρους του σώματος».

#### **Γ) Άλφα – Alpha**

Ο ρυθμός α όπως προαναφέρθηκε είναι ο πρώτος ρυθμός που μελετήθηκε απ' τον Hans Berger το 1929. Χαρακτηρίζεται από το εύρος συχνότητας 8 – 12 Hz. Παρουσιάζεται συχνά στους ενήλικες και παρατηρείται στην οπίσθια περιοχή του εγκεφάλου. Επιπλέον, σχετίζεται με τις αισθήσεις, την κινητικότητα και τη μνήμη. Διακρίνεται εντονότερα κατά τη διάρκεια της χαλάρωσης κυρίως όμως με κλειστά μάτια. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί το γεγονός ότι όταν «ερεθιστούν» οι

---

<sup>17</sup> Λειτουργικά ανήκει στην περιοχή του εγκεφαλικού φλοιού που ευθύνεται για την αίσθηση της όσφρησης. Ο ρόλος του ιππόκαμπου είναι σημαντικός για τη ρύθμιση της μνήμης και των συναισθημάτων.

αισθήσεις και όταν η πνευματική δραστηριότητα βρίσκεται σε εγρήγορση, τότε ο ρυθμός  $\alpha$  μειώνεται σημαντικά.

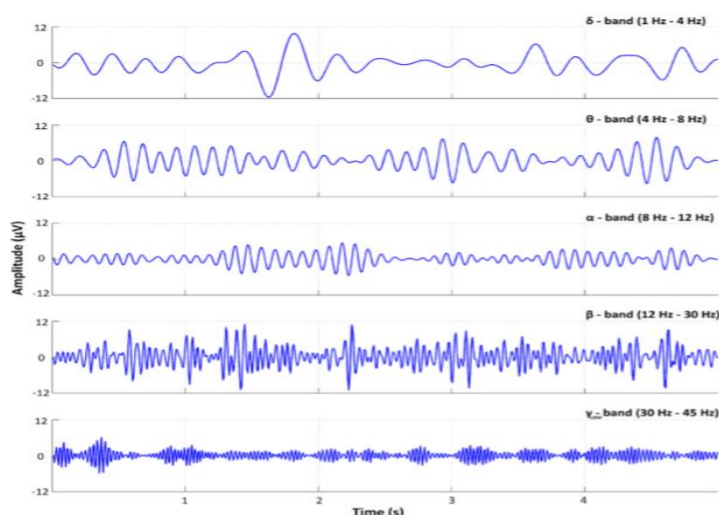
#### **Δ) Βήτα – Beta**

Είναι ο κατά σειρά δεύτερος ρυθμός που μελετήθηκε. Η συχνότητα του διακυμαίνεται από 12 – 25 Hz. Εντοπίζεται στο οπίσθιο μέρος αλλά και στο μετωπιαίο μέρος του εγκεφάλου. Παρατηρείται επίσης εντονότερος κατά τη διάρκεια της συγκέντρωσης της προσοχής και της πλήρους εγρήγορσης του εγκεφάλου. Συνήθως εξετάζεται στην πρόσθια περιοχή του εγκεφάλου, διότι ο ρυθμός  $\alpha$  παρουσιάζει ισχυρότερο σήμα στην οπίσθια περιοχή με αποτέλεσμα να επισκιάζει το σήμα του ρυθμού  $\beta$ . Γι' αυτό το λόγο, ο ρυθμός  $\beta$  εξετάζεται όταν το υποκείμενο έχει ανοιχτά τα μάτια. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο  $\beta$  αυξάνεται καθώς ο άνθρωπος παρατηρεί σωματικές κινήσεις άλλου ανθρώπινου σώματος.

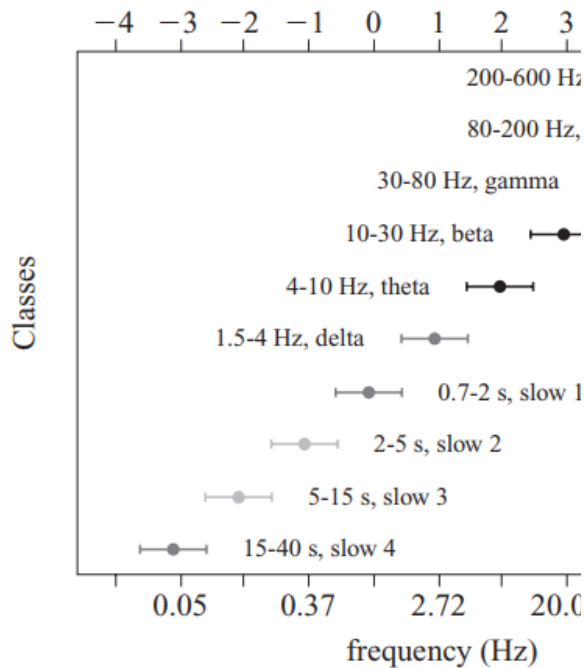
#### **Ε) Γάμμα – Gamma**

Οι συχνότητες  $\gamma$  είναι οι λεγόμενες «μαύρες τρύπες» στην έρευνα του eeg. Ο λόγος για τον οποίο ονομάζονται έτσι είναι διότι οι συχνότητές του είναι ακαθόριστες (<25 Hz) και δεν εντοπίζεται το ακριβές σημείο παραγωγής απ' τον εγκέφαλο. Έχει παρατηρηθεί επίσης ότι εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του φυσιολογικού βαθύ και REM ύπνου, όταν η συνειδητότητα βρίσκεται σε αναστολή. (Steriade, Contreras, Amzica, & Timofeev, 1996).

Στον παρακάτω πίνακα (βλ. Πίνακας 2) παρουσιάζονται συνοπτικά οι ρυθμοί, η μορφή τους καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.



Πίνακας 2. Ένα παράδειγμα εγκεφαλικών ρυθμών. Η καταγραφή προήλθε από τον μετωπιαίο φλοιό στο ηλεκτρόδιο F7 (επάνω αριστερά). Προσαρμογή από:(Adamos, Dimitriadis, & Laskaris, n.d.)



Πίνακας 3. Διάφορες ταλαντώσεις όπου σχηματίζουν ένα ιεραρχικό σύστημα. Εμφανίζονται και συχνότητες οι οποίες δεν έχουν ονομαστεί. Οι συγκεκριμένες τιμές είναι αποτελέσματα ενός EEG από ένα ποντίκι. (Προσαρμογή από: György Buzsáki. *Rhythms of the Brain*. (2006). Σελ. 114).

## 2.8 Καθαρότητα σήματος EEG - Artifacts

“There is no substitute for clean data” (Professor Steve Luck from UC Irvine). Η προηγούμενη έκφραση είναι έκφραση του Professor Steve Luck, ο οποίος μ’ αυτήν δείχνει ότι, όταν κάποιος θέλει να ηχογραφήσει το σήμα του εγκεφάλου πρέπει να είναι προσεκτικός εξ αρχής, ώστε τα δεδομένα που θα προκύψουν να είναι καθαρά. Ο καθηγητής Steve Luck, το τονίζει αυτό διότι δεν έχει ανακαλυφθεί προς το παρόν κάποιος αλγόριθμος ο οποίος να μπορεί να καθαρίσει τα δεδομένα επειδή το μηχάνημα του ηλεκτροεγκεφαλογράφου παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία.

Η μη επεμβατική ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) και η μαγνητοεγκεφαλογραφία (MEG) αντικατοπτρίζουν τη μέση δραστηριότητα των δενδριτικών ρευμάτων σε ένα μεγάλο πληθυσμό κυττάρων. Η χρονική ανάλυση του EEG και του MEG για τη μέτρηση των αλλαγών στη νευρωνική δραστηριότητα είναι αρκετά αξιόπιστη, αλλά η χωρική ανάλυση για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης των ενεργών περιοχών στον εγκέφαλο υστερεί. Η ελλιπής χωρική ανάλυση, ειδικά για περιοχές που βρίσκονται βαθύτερα στον εγκέφαλο, οφείλεται στη χωρική ανάμιξη της ηλεκτρικής δραστηριότητας που παράγεται από διαφορετικές περιοχές του φλοιού και στην παθητική αγωγιμότητα αυτών των σημάτων μέσω του εγκεφαλικού ιστού, των οστών και του δέρματος. Επιπλέον, αυτές οι μετρήσεις είναι πολύ ευαίσθητες σε

αντικείμενα που προέρχονται από μυϊκές και οφθαλμικές κινήσεις (Gerwen, Farquhar, Schaefer, Vlek, et al., 2009).

Το κακό και όχι καθαρό σήμα δεν προέρχεται άμεσα από τον ίδιο τον χειριστή. Υπάρχουν λοιπόν κάποια παράσιτα τα οποία προέρχονται από τον άνθρωπο που υπόκειται στη διαδικασία της καταγραφής της δραστηριότητας του εγκεφάλου. Τέτοια παράσιτα, όπως προαναφέρθηκε είναι η κίνηση των ματιών, ο βλεφαρισμός (blink), άνοιγμα και κλείσιμο στοματικής κοιλότητας, οι μυϊκές συσπάσεις, ο χτύπος της καρδιάς, η εφίδρωση, η γενικότερη κίνηση του υποκειμένου αλλά και η οποιαδήποτε συνθήκη η οποία μπορεί να επηρεάσει τα ηλεκτρόδια και την παροχή του ρεύματος όπως οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές .

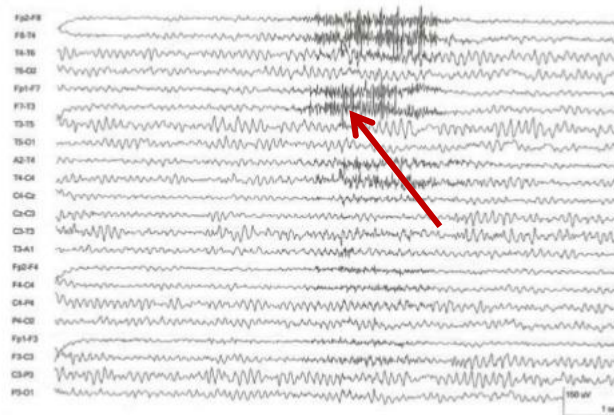
Ο τεχνικός - χειριστής, είναι απαραίτητο να λάβει σοβαρά υπ' όψιν του αυτές τις παραμέτρους και σε πρώτο στάδιο να ενημερώσει τον ασθενή ή να διακόψει την καταγραφή εφ' όσον παρατηρήσει κάποιο λάθος. Για αποτελέσματα μεγαλύτερης εγγύησης, προτείνεται ο τεχνικός να παρατηρεί την ίδια στιγμή τη διαδικασία του πειράματος ώστε το λάθος να εντοπιστεί αφενός πιο εύκολα και αφετέρου νωρίτερα. Βέβαια, επειδή είναι αδύνατη η αποφυγή του θορύβου, έχουν ανακαλυφθεί και κάποιοι αλγόριθμοι οι οποίοι καθαρίζουν το σχήμα.

### 2.8.1. Μυϊκή δραστηριότητα

Η μυϊκή δραστηριότητα, παράγει μεταβολές στο ηλεκτρικό δυναμικό πράγμα το οποίο ανιχνεύεται από τα ηλεκτρόδια. Η επίδραση των ηλεκτρικών ρευμάτων των μυών γίνεται ακόμα πιο έντονη, όταν τα ηλεκτρόδια είναι κοντά σ' αυτά. Πιο συγκεκριμένα, οι μύες του προσώπου (EMG, δηλαδή electromyogram) όπως μάγουλα, μέτωπο, στόμα , λαιμός, σαγόνι, είναι εκείνοι οι οποίοι εάν κινηθούν προκαλούν θόρυβο στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Ένα παράδειγμα πιθανής κίνησης αποτελεί το άνοιγμα και το κλείσιμο του σαγονιού. Σε αυτήν την περίπτωση, ο τεχνικός ενημερώνει τον ασθενή για την αποφυγή των συγκεκριμένων μυϊκών κινήσεων.

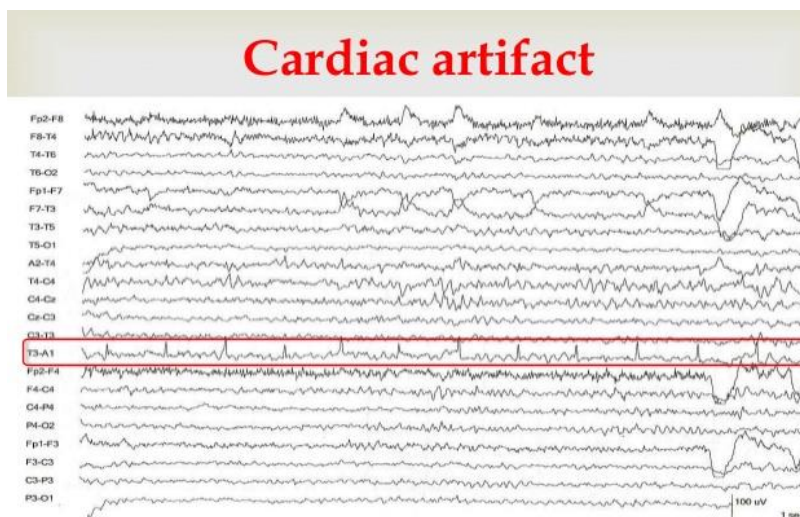
Σε αντίθεση με την ελεγχόμενη μυϊκή κίνηση, υπάρχει και ένας μυς ο οποίος είναι αδύνατον να μειωθεί ή να σταματήσει. Αυτός ο μυς είναι η καρδιά (ECG, δηλαδή electrocardiogram). Όταν ένα ηλεκτρόδιο τοποθετηθεί πάνω ή κοντά σε ένα αιμοφόρο αγγείο, καταγράφεται ο σφυγμός ή ο καρδιακός ρυθμός, ο οποίος διακυμαίνεται κοντά στο 1 Hz.

## Muscle artifact



Εικόνα 16. Το βέλος δείχνει τα artifacts τα οποία προκαλούνται από την κίνηση των μυών. (Προσαρμογή από<sup>18</sup>).

## Cardiac artifact



Εικόνα 17. Η καρδιά κατατάσσεται στην κατηγορία των μυών. Ο παλμός της αποτελεί επίσης μία μορφή των artifacts. (Προσαρμογή από<sup>19</sup>).

Εκείνο που πρέπει να γίνει απόλυτα σαφές μέσα στα πλαίσια μιας βαθύτερης προσέγγισης του προβλήματος είναι ότι η μυϊκή κίνηση μπορεί να εντοπιστεί αρκετά εύκολα καθώς είναι ένας ρυθμός ο οποίος επαναλαμβάνεται συνεχώς. Τέλος, λύση μπορεί να αποτελέσει η μικρή μεταφορά του ηλεκτροδίου επάνω στο κρανίο (Dhiman, Saini, & Priyanka, 2010).

<sup>18</sup> <https://www.slideshare.net/SudhakarMarella/eeg-artifacts-15175461>

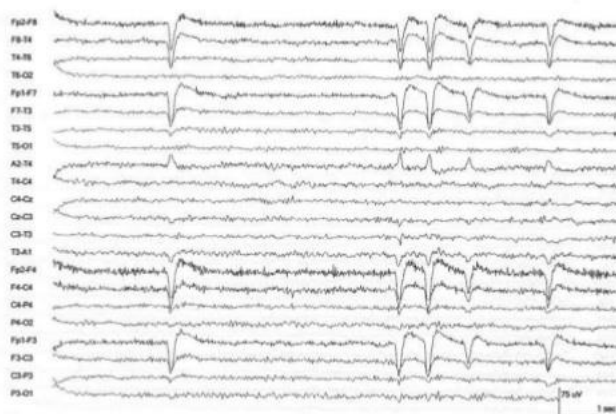
<sup>19</sup> <https://www.slideshare.net/SudhakarMarella/eeg-artifacts-15175461>



## 2.8.2 Κινήσεις ματιών

Οι κινήσεις των οφθαλμών και των βλεφάρων, προκαλούν αλλαγές στα ηλεκτρικά πεδία επηρεάζοντας μ' αυτόν τον τρόπο την ηλεκτρική δραστηριότητα του τριχωτού της κεφαλής. Η κίνηση του βολβού του ματιού επηρεάζει την ηλεκτρική δραστηριότητα και πιο συγκεκριμένα οι κινήσεις του κερατοειδούς και αμφιβληστροειδούς χιτώνα μεταβάλλουν το ηλεκτρικό πεδίο (Mowrer et al. 1935, Overton and Shagass, 1969). Οι κινήσεις εμφανίζονται με δύο μορφές: είτε είναι κάθετες, είτε είναι οριζόντιες. Παρατηρούνται κυρίως στα εμπρόσθια ηλεκτρόδια αλλά μπορούν να εμφανιστούν επίσης στις κροταφικές και κεντρικές περιοχές του εγκεφάλου. Οι κάθετες κινήσεις αποτυπώνονται περισσότερο ως ημιτονοειδείς ενώ οι οριζόντιες αποτυπώνονται σε σχήμα κουτιού. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει και το ανοιγόκλειμα (blink) των ματιών. Παρόλη την ενημέρωση του ασθενή, είναι λογικό ότι καθίσταται δύσκολη η αποφυγή του ανοιγοκλεισίματος των ματιών. Σε ένα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα τα artifacts που προκαλούνται από τις κινήσεις των ματιών μπορούν να εντοπιστούν πολύ εύκολα. Τα artifacts είτε μπορούν να αφαιρεθούν χειροκίνητα είτε αυτόματα, καθώς έχουν ανακαλυφθεί διάφοροι αλγόριθμοι για την άμεση ανίχνευσή τους (Dhiman et al., 2010).

### **Blink artifact**

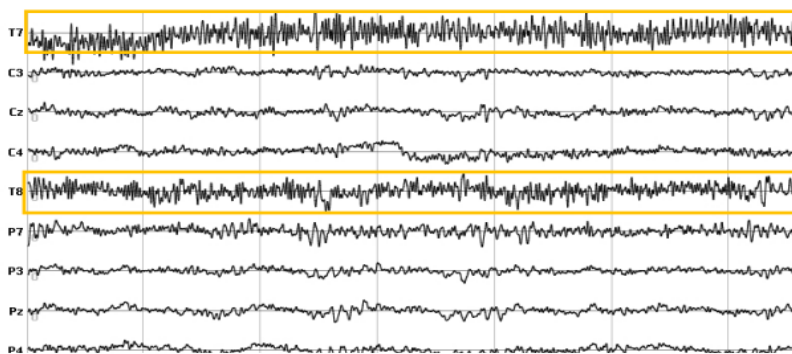


Εικόνα 18. Εγκεφαλογράφημα το οποίο απεικονίζει το θόρυβο που προκαλείται από το ανοιγόκλειμα των ματιών. (Προσαρμογή από<sup>20</sup>).

<sup>20</sup> <https://www.slideshare.net/SudhakarMarella/eeg-artifacts-15175461>

### 2.8.3. Εξωτερικοί παράγοντες αλλοίωσης σήματος

Συχνό φαινόμενο των artifacts αποτελεί το γεγονός της παροχής ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα, στην Αμερική η τάση βρίσκεται στα 50 Hz ενώ στις υπόλοιπες χώρες βρίσκεται στα 60 Hz. Όταν λοιπόν το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο, είναι λογικό να υπάρξει μία παρεμβολή που θα επηρεάσει το εγκεφαλογράφημα και θα προκαλέσει θόρυβο (βλ. Εικόνα 19). Ακόμα και αν επηρεαστεί το ηλεκτρόδιο αναφοράς, ο θόρυβος μετακινείται και στα υπόλοιπα ηλεκτρόδια. Εφόσον, όμως οι συχνότητες του εγκεφάλου βρίσκονται σε χαμηλότερη κλίμακα από τα 50 και 60 Hz, υπάρχει η δυνατότητα εστίασης σε συγκεκριμένες συχνότητες.

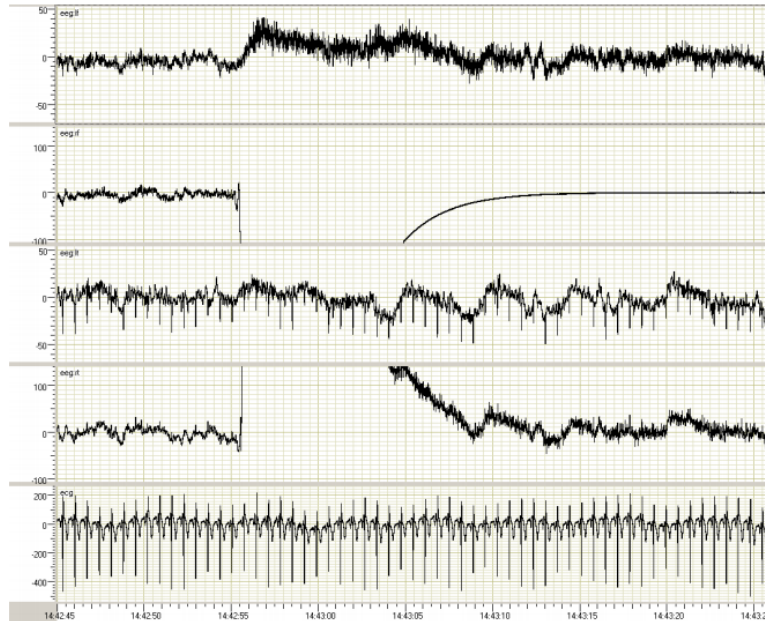


Εικόνα 19. Στο παρόν εγκεφαλογράφημα, μέσα στα κίτρινα πλαίσια, απεικονίζεται η παρεμβολή των 60 Hz η οποία προκαλεί θόρυβο στα κανάλια T7 και T8. (Προσαρμογή από<sup>21</sup>).

Επιπλέον εξωτερικός παράγοντας των artifacts, αποτελούν οι ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. κινητό), οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο (Binnie C, Cooper R., et al., 2003). Γι' αυτό το λόγο μάλιστα, κατά τη διάρκεια του εγκεφαλογραφήματος είναι απαραίτητο οι ηλεκτρονικές συσκευές να απέχουν από τη συσκευή του EEG.

Ένα συχνό φαινόμενο, αποτελεί η αποκόλληση ενός ηλεκτροδίου από το τριχωτό της κεφαλής ή το μέτωπο του ατόμου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σήμα φαίνεται να παρουσιάζει αρχικά μία ανεξήγητη άνοδο και έπειτα να εξαφανίζεται.

<sup>21</sup> [Electroencephalography – The complete Pocket Guide : https://imotions.com](https://imotions.com)



Εικόνα 20. Σήματα εγκεφάλου τα οποία απεικονίζουν την αποκόλληση δύο ηλεκτροδίων. Ο οριζόντιος άξονας είναι ο χρόνος (t) και ο κάθετος άξονας τα  $\mu\text{V}$ . (Προσαρμογή από: (Files, 2011))

Στο παρόν γράφημα μάλιστα, φαίνεται να επηρεάζονται και τα γειτονικά ηλεκτρόδια προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο θόρυβο. Για την απόρριψη των artifacts, χρησιμοποιούνται είτε μαθηματικοί αλγόριθμοι οι οποίοι βασίζονται στη στατιστική είτε μέθοδοι τυφλού διαχωρισμού των πηγών (*BSS Blind Source Separation*). Η πιο διαδεδομένη μέθοδος απόρριψης των artifact είναι η *ICA (Independent Component Analysis)* (Files, 2011).

## 3. Brain Computer Interface (BCI)

### 3.1. Εισαγωγή

Ο αιώνας που πέρασε σίγουρα χαρακτηρίστηκε ως ο αιώνας της επιστήμης και της εξέλιξης της τεχνολογίας. Οι καινοτομίες ήταν αναμφισβήτητα τιτάνιες και κάποιες από τις εξελίξεις απροσδόκητες. Η συνεχής παγκόσμια έρευνα στη γνωστική νευροεπιστήμη έχει επιφέρει σημαντική πρόοδο στην κατανόηση των λειτουργιών του εγκεφάλου και στην αποκρυπτογράφηση σημαντικών πτυχών του νευρικού κώδικα. Με τη μεγάλη εξέλιξη της νευροεπιστήμης, έγινε σαφές ότι ο εγκέφαλος είναι ένα εκπληκτικά προσαρμοστικό όργανο σε τέτοιο βαθμό που να μπορεί να ελέγχει συσκευές διαφορετικές από το σώμα. Ένα σχετικά νέο διεπιστημονικό πεδίο που επιδιώκει να διερευνά το συγκεκριμένο γεγονός είναι η «διεπαφή εγκεφάλου – υπολογιστή» ή *Brain Computer Interface*. Η ιδέα αυτού του νέου τομέα, ο έλεγχος δηλαδή του εγκεφάλου δια μέσου των μηχανών, προέκυψε από τις κινηματογραφικές ταινίες του Hollywood (Fabio, 1900).

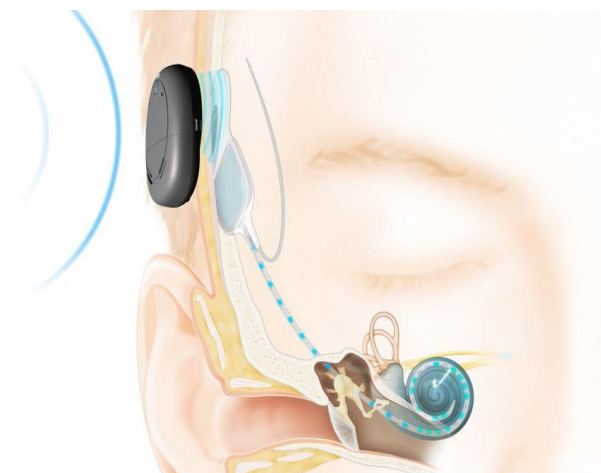
Οι εξελίξεις αυτές και οι νέες τεχνολογίες, μπορούν να προσφέρουν σημαντικές υπηρεσίες στους ανθρώπους με προβλήματα υγείας, είτε διανοητικά είτε κινητικά, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ζωής τους. Αυτός ήταν και ο πρωταρχικός στόχος του BCI. Κατ' επέκταση, το BCI μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στην εκπαίδευση, στην ψυχαγωγία, στην τέχνη, στον αθλητισμό και σε ποικίλους ακόμα τομείς.

Ο στόχος των διεπαφών εγκεφάλου υπολογιστή είναι μέσω της καταγραφής της εγκεφαλικής δραστηριότητας του χρήστη, να τον βοηθήσουν να επικοινωνήσει ή να ελέγξει ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. λογισμικό Η/Υ, ρομποτικός βραχίονας κλπ.). Τα πιο δημοφιλή συστήματα BCI χρησιμοποιούν τη μη επεμβατική τεχνική του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG). Ενώ αρχικά η εμφάνισή των συστημάτων BCI βασίστηκε καθαρά σε ιατρικούς σκοπούς, πλέον εκτείνεται και σ' άλλους τομείς όπως είναι η ψυχαγωγία, η δημιουργία στην τέχνη κλπ. (Rao, 2011).

### 3.2. BCI στην κλινική πράξη

Ένα πρότυπο παράδειγμα σε αυτήν την κατηγορία αποτελεί το κοχλιακό εμφύτευμα για τα άτομα με ακουστικές δυσλειτουργίες. Το εμφύτευμα (βλ. Εικόνα 21), μετατρέπει τους εξωτερικούς ήχους του περιβάλλοντος σε ακουστικούς

παλμούς. Τα εξωτερικά τμήματα του συστήματος συλλαμβάνουν τους ήχους του περιβάλλοντος και τους επεξεργάζονται, ώστε να μεταδοθούν δια μέσου της επιδερμίδας στο εμφύτευμα. Το εμφύτευμα με τη σειρά του μεταδίδει τα σήματα στη δέσμη ηλεκτροδίων όπου τα επιμέρους ηλεκτρόδια στέλνουν τα σήματα στο ακουστικό νεύρο. Τα σήματα ταξιδεύουν από το ακουστικό νεύρο στον εγκέφαλο, όπου και γίνονται αντιληπτά ως ήχοι (Friesen, Shannon, Baskent, & Wang, 2001).



Εικόνα 21. Κοχλιακό εμφύτευμα (Προσαρμογή από:<sup>22</sup>).

Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον σχετικά με την ανάπτυξη εμφυτευμάτων που θα τοποθετούνται στους οφθαλμούς. Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου Στάνφορντ, ανακάλυψαν μία μικροσκοπική συσκευή η οποία βοηθάει στην αποκατάσταση της όρασης (Christine, Cindy, Krishna, Kim, & Jaimie, et. al. ,2015).

Βέβαια, τα συστήματα BCI έγιναν περισσότερο δημοφιλή μέσω της διασύνδεσης με προσθετικά μέλη των άκρων (π.χ. χέρι, πόδι). Τα άνω άκρα θεωρούνται εύκολα διαχειρίσιμα, σε αντίθεση με τα κάτω άκρα, στα οποία η δυσκολία βρίσκεται στο θέμα της ισορροπίας και του σωστού ελέγχου (Rao, 2011). Επίσης, χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση επικοινωνίας ασθενών με το σύνδρομο εγκλεισμού (ALS) (Milekovic et al., 2018).

Συνεπώς, η πρόοδος του BCI στον τομέα της ιατρικής φαίνεται να είναι πολύ σημαντική και ελπιδοφόρα για νέα τεχνολογικά επιτεύγματα που θα βοηθήσουν στην μετέπειτα εξέλιξη.

---

<sup>22</sup> <http://www.ahepaci.gr/ke/ke.html>



Εικόνα 22. Ο Niels Birbaumer, νευροεπιστήμονας και συνεργάτης του Wyss Center, κατά την έρευνα για τα άτομα με σύνδρομο εγκλεισμού στο Wyss Center. (Προσαρμογή από: <sup>23</sup>).

### 3.3 BCI για μη ιατρικούς σκοπούς

Πολλές απ' τις εφαρμογές του BCI έχουν εμπορικούς σκοπούς, όπως ο συνδυασμός συσκευών ηλεκτροεγκεφαλογραφίας με κλάδους της εκπαίδευσης και της ψυχαγωγίας. Κάποιες απ' αυτές τις καινοτομίες διερευνώνται ακόμα, άλλες όμως έχουν ήδη εφαρμοστεί και έχουν κάποια απήχηση στο καταναλωτικό κοινό. Παρακάτω, αναφέρονται οι τομείς στους οποίους έχει επέμβει το BCI καθώς και η μελλοντική τους χρήση.

#### Πλοήγηση στο διαδίκτυο

Ένα πρόγραμμα το οποίο εμφανίστηκε στον κόσμο του BCI, είναι το Nessi (Neural Signal Surfing Interface) (Bensch et al., 2007). Σύμφωνα μ' αυτό, ο άνθρωπος μέσω μίας συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μία ιστοσελίδα την οποία θέλει να επισκεφθεί. Εκτός από ιστοσελίδες ο χρήστης μπορεί να επισκεφτεί το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και το εικονικό πληκτρολόγιο.

Ένα άλλο παράδειγμα παρουσιάστηκε απ' την ομάδα GCI BCI (Scherer, et. al, 2008), σχετικά με την πλοήγηση σε εικονικά περιβάλλοντα και στο Google Earth.

#### Ηλεκτρονικά Παιχνίδια

Τα συστήματα BCI έχουν ενταχθεί και στο χώρο των ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Σήμερα, υπάρχει η δυνατότητα κάποιος να φοράει μία φορητή συσκευή EEG και να ελέγχει ένα παιχνίδι μέσω της σκέψης. Η αρχή έγινε σε πολύ γνωστά παιχνίδια όπως Pacman, Pinball, Tetris, World of Warcraft (βλ. Εικόνα 23). Η ένταξη του BCI στα ηλεκτρονικά παιχνίδια προσφέρει μεγαλύτερη απόλαυση και ψυχαγωγία. Οι

<sup>23</sup> <https://www.wysscenter.ch/2017/01/31/brain-computer-interface-allows-completely-locked-in-people-to-communicate/>

συσκευές που έχουν κυκλοφορήσει είναι αρκετά προσιτές οικονομικά και εύκολες στη χρήση, πράγμα το οποίο παρακινεί κάποιον να τις αγοράσει και να βιώσει αυτήν την εμπειρία. Εκτός από τον ψυχαγωγικό σκοπό του, βοηθάει αρκετά και στην αυτοσυγκέντρωση του παίκτη, καθώς τα ελεγχόμενα από τη σκέψη παιχνίδια βοηθούν τα παιδιά ηλικίας 7 -13 ετών να βελτιώσουν τη μνήμη τους , την προσοχή τους και να ενισχύσουν τη χαλάρωση. Μερικοί ψυχίατροι μάλιστα, υποστηρίζουν ότι αυτού του είδους τα παιχνίδια, μπορούν να βοηθήσουν ασθενείς με άγχος, ADD, ADHD, PTSD και να χρησιμεύσουν ως εναλλακτική λύση για τη φαρμακευτική αγωγή (Hay, 2012).



Εικόνα 23. Το σύστημα BCI στα ηλεκτρονικά παιχνίδια (World of Warcraft). (Προσαρμογή από: <sup>24</sup>).

### Αφύπνιση – Προειδοποίηση

Σημαντική εφαρμογή του BCI, η οποία συνεισφέρει στην ασφάλεια του ατόμου, είναι η παρακολούθηση της εγρήγορσης του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης κάποιων σημαντικών εργασιών. Κάθε χρόνο γίνονται ολοένα και περισσότερα ατυχήματα από οδηγούς που είναι κουρασμένοι ή βρίσκονται σε κατάσταση υπνηλίας. Με την τεχνολογία του BCI τέτοια ατυχήματα μπορούν να προληφθούν. Πιο συγκεκριμένα, ο οδηγός φοράει μία συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφίας η οποία καταγράφει τη δραστηριότητα του εγκεφάλου. Όταν η συσκευή ανιχνεύσει ότι ο εγκέφαλος δεν είναι σε εγρήγορση τότε προειδοποιεί τον οδηγό με έναν συναγερμό. Επίσης, αυτή η τεχνολογία είναι δυνατόν να είναι χρηστική και στην εκπαίδευση για την ενίσχυση της μάθησης. Με την εφαρμογή της φαίνεται κατά πόσο ο μαθητής είναι επικεντρωμένος στη διαδικασία της μάθησης.

<sup>24</sup> <http://www.qgits.org/tech/fusionworld-mind-controlled-video-game/>



Εικόνα 24. Σύστημα διεπαφής εγκεφάλου κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Προσαρμογή από<sup>25</sup>

## Καλλιτεχνικός Τομέας

---

Εκτός από τον ψυχαγωγικό και τον εκπαιδευτικό τομέα, τα συστήματα BCI εξαπλώθηκε και στον καλλιτεχνικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, στη ζωγραφική, περίπου το 2012 εμφανίστηκε στη Γερμανία στο Πανεπιστήμιο του Würzburg, το BP (Brain Painting) ένα κίνημα, το οποίο βασίζεται στη ζωγραφική μέσω της εγκεφαλικής δραστηριότητας.



Εικόνα 25. Ζωγραφική μέσω της εγκεφαλικής δραστηριότητας. (Προσαρμογή από:<sup>26</sup>).

Η συγκεκριμένη δραστηριότητα εγκαινιάστηκε από άτομα τα οποία πάσχουν από το σύνδρομο εγκλεισμού, όμως μπορεί ο οποιοσδήποτε να βιώσει αυτήν την εμπειρία. Στην ιστοσελίδα της συγκεκριμένης δράσης, μπορεί κανείς να δει έργα ζωγραφικής.

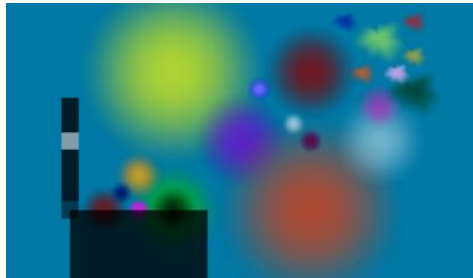
<sup>25</sup> <https://phys.org/news/2011-02-brain-drivers-seat-video.html>

<sup>26</sup> <http://www.brainpainting.net/140-history.php>



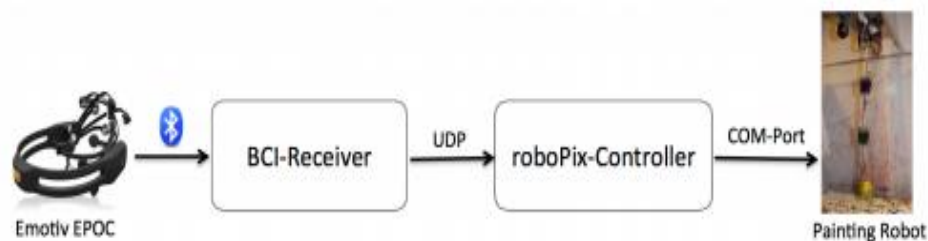


Εικόνα 26. Έργο με τίτλο: “Der Schurzenjager”. Καλλιτέχνης; *Heide Pfützner*. (Προσαρμογή από: <sup>27</sup>).



Εικόνα 27. Έργο με τίτλο: “Pandora s box reloaded”. Καλλιτέχνης; *Heide Pfützner*. (Προσαρμογή από: <sup>28</sup>).

Επιπλέον, παραμένοντας στον ίδιο κλάδο της ζωγραφικής, εμφανίστηκε μία μηχανή robot που ονομάζεται *roboPix* (Funk & Raschke, 2013.) Αυτό το σύστημα επεκτείνει το προηγούμενο ρομπότ ζωγραφικής roboPix (Burkovski, Benjamin, Raschke, & Ertl, 2011) προσθέτοντας μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) για τον έλεγχο της κίνησης του βραχίονα του ρομπότ (βλ. Εικόνα 28).

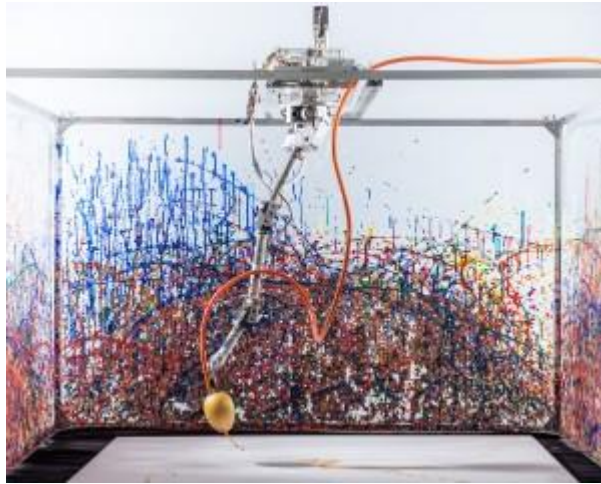


Εικόνα 28. Η Αρχιτεκτονική και η αλληλεπίδραση του roboPix. Προσαρμογή από: (Burkovski et al., 2011)

Το σύστημα είναι σε θέση να δημιουργεί ζωγραφιές δράσης χρησιμοποιώντας απλώς τις σκέψεις και τον ενθουσιασμό του συμμετέχοντα. Το σύστημα αυτό προορίζεται να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη δημιουργία ζωγραφικής δράσης με μοναδικό τρόπο σε σχέση με την απεικόνιση των συναισθημάτων του χρήστη ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται το χρώμα πάνω στον καμβά. Τα έργα τα οποία προκύπτουν είναι έργα αφαιρετικής τέχνης (βλ. Εικόνα 29) (Funk & Raschke, 2016.).

<sup>27</sup> <http://www.brainpainting.net/140-history.php>

<sup>28</sup> <http://www.brainpainting.net/140-history.php>



Εικόνα 29. Μια τελειωμένη ζωγραφική που σχεδιάστηκε από το ρομπότ roboRix με βάση την είσοδο BCI ενός χρήστη.

Εκτός από τη ζωγραφική το σύστημα αυτό βρίσκει εφαρμογές και στον κλάδο της μουσικής. Μία πρωτοπόρα ιδέα εμφανίστηκε τον Απρίλιο του 2014, το *Melomind*, μία φορητή συσκευή αποτελούμενη από ένα headset. Το Melomind, είναι ένα headset νέας τεχνολογίας, όπου κύριος στόχος του είναι η εκμάθηση της χαλάρωσης και η μείωση του στρες. Ως προς τη λειτουργία του, σχεδιάστηκε η κάθε συνεδρία να διαρκεί 15 λεπτά. Διαθέτει δύο ηλεκτρόδια EEG , δύο επιπρόσθετους αισθητήρες καθώς και ακουστικά αποτελούμενα από ένα στερεοφωνικό hifi. Επιπλέον, συνδέεται με κινητές συσκευές.<sup>29</sup>

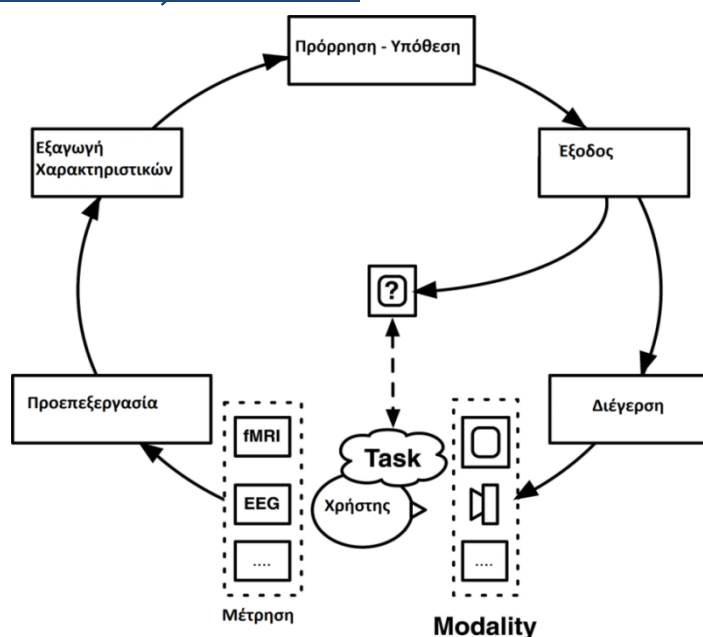


Εικόνα 30. Melomind headset. (Προσαρμογή από <sup>30</sup>).

<sup>29</sup> <https://www.melomind.com/>

<sup>30</sup> <https://www.melomind.com/>

### 3.4. Κύκλος του BCI



Εικόνα 31. Κύκλος BCI.

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει έναν κύκλο (ο ονομαζόμενος κύκλος του BCI). Ο κύκλος BCI ξεκινάει με το χρήστη να εμπλέκεται σε μια γνωστική εργασία ενώ λαμβάνει πιθανά ερεθίσματα. Τα ίχνη της εγκεφαλικής δραστηριότητας συλλαμβάνονται από τους αισθητήρες. Αυτά τα σήματα είναι προεπεξεργασμένα, εξάγονται συναφή χαρακτηριστικά και προβλέπεται ένα αποτέλεσμα, είτε σε συνεχή κλίμακα είτε ως διακριτά σύμβολα, που υποτίθεται ότι αντικατοπτρίζει την πρόθεση του χρήστη. Το output λειτουργεί ως σήμα εξόδου για τον έλεγχο μιας εξωτερικής συσκευής. Ο κύκλος κλείνει από τον χρήστη που αντιλαμβάνεται την έξοδο, πράγμα που επιτρέπει μια κρίση σχετικά με την καταλληλότητα της συμπεριφοράς της συσκευής και την προσαρμογή της ψυχικής δραστηριότητας. Η παραγωγή μπορεί να παρουσιαστεί σε πολλαπλές μορφές και τρόπους, ανάλογα με τις ικανότητες του χρήστη. Ενώ αναδύεται μέσω του κύκλου, τόσο ο χρήστης όσο και ο υπολογιστής, είναι δυνατόν να μάθουν να προσαρμόζονται, αυξάνοντας έτσι την απόδοση αυτού του συστήματος (Gerven, Farquhar, Schaefer, & Nijholt, 2009).

### 3.5. BCI και μουσική

Τα συστήματα BCI στη μουσική μπορούν να χρησιμοποιηθούν για: α) Ψυχαγωγικούς σκοπούς, β) Εκπαιδευτικούς σκοπούς, γ) θεραπευτικούς σκοπούς, όπως ο κλάδος της μουσικοθεραπείας, δ) εκτέλεσης, δημιουργίας, performance.

Στο Πανεπιστήμιο Plymouth, στο τμήμα Interdisciplinary Centre for Computer Music Research (ICCMR), διερευνώνται ερωτήματα όπως:

α) Θα ήταν δυνατή η αναπαραγωγή ενός μουσικού οργάνου με σήματα από τον εγκέφαλο χωρίς τη χρήση χεριών;

β) Θα ήταν δυνατόν να δημιουργηθεί ένα σύστημα BCMI (Brain Computer Music Interface) για ένα άτομο με σύνδρομο εγκλεισμού ώστε να κάνει μουσική;

Σχετικά με το πρώτο ερώτημα, πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα το οποίο βασίστηκε στο συνδυασμό ενός συστήματος BCI με το πιάνο (Miranda & Reck, 2005). Στόχος ήταν ένας χρήστης να καταφέρει να παίξει πιάνο φορώντας μία συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Το BCMI (Brain Computer Music Interface) που παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο πείραμα έδωσε τη δυνατότητα σε χρήστες να μπορούν να εκτελούν τις δικές τους μουσικές ερμηνείες.



Εικόνα 32. Σύνδεση του BCI με το πιάνο. Το υποκείμενο φοράει μία συσκευή EEG και προσπαθεί να παράγει μουσική χωρίς τη χρήση των χεριών.

Πιο συγκεκριμένα, εάν το σύστημα αντιλαμβανόταν ρυθμούς *a*, αναπαρήγαγε έργα με στυλ Schumann, εάν έβρισκε διαφορετικούς από *a* αναπαρήγαγε αντίστοιχα Beethoven (Müller et al., 2010).



Εικόνα 33. Παράδειγμα συσχετισμού συχνότητας με μουσικά κομμάτια. Ο Beethoven εκτελείται στις συχνότητες 14 – 33Hz, ενώ ο Schumann στις συχνότητες 8 – 13Hz.

Ένας άλλος συνδυασμός της μουσικής και του συστήματος BCI αποτελεί το σύστημα Kara. Στο πρόγραμμα Kara, οι μουσικοί φορούν διασυνδεδεσείς εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) (βλ. Εικόνα 34), προκειμένου να συλλάβουν τα κύματα EEG ενώ πραγματοποιούν μουσική εκτέλεση. Η συγκεκριμένη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται NeuroSky Mindwave.<sup>31</sup> Τα κύματα αποστέλλονται σε έναν υπολογιστή όπου επεξεργάζονται δημιουργώντας μία παρτιτούρα σε πραγματικό χρόνο, ήχους για τον υπολογιστή και οπτική απεικόνιση των δεδομένων. Έπειτα δημιουργείται ένας βρόχος όπου διαμορφώνεται μεταξύ της πνευματικής δραστηριότητας του μουσικού και της μουσικής που παράγει. Η εκτέλεση της παρτιτούρας σε πραγματικό χρόνο δημιουργεί μεγαλύτερη δραστηριότητα της πνευματικότητας η οποία με τη σειρά της παράγει το επόμενο τμήμα της παρτιτούρας (Rodrigo, 2014).



Εικόνα 34. Οι μουσικοί Patricio de la Cuadra (φλάουτο) and Maria Gabriela Olívares (βιολοντσέλο), παίζουν μουσική ενώ φοράνε τη συσκευή NeuroSky Mindwave. Η παρτιτούρα εμφανίζεται σε πραγματικό χρόνο στον υπολογιστή.

<sup>31</sup> <http://neurosky.com/>

### 3.6 Emotiv EPOC +

Η συσκευή Emotiv Eroc είναι μία συσκευή φιλική, εύκολη στη χρήση και οικονομικά προσιτή προς το καταναλωτικό κοινό. Στην επίσημη ιστοσελίδα κοστίζει 799\$, ζυγίζει περίπου 1,20 κιλά και εμπεριέχει όλο το πακέτο των ηλεκτροδίων και των καλωδίων. Αποτελείται από 14 κανάλια - ηλεκτρόδια (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) και δύο αισθητήρες αναφοράς (CMS/DRL). Τα ηλεκτρόδια είναι κατανομημένα σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20. Η επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή πραγματοποιείται με Bluetooth και η συσκευή λειτουργεί με μπαταρία, πράγμα το οποίο αναιρεί την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας. Ο ρυθμός δειγματοληψίας, 128 Hz, είναι μικρότερος σε σύγκριση με άλλα αντίστοιχα συστήματα τα οποία αγγίζουν τα 1000 Hz.<sup>32</sup>



Εικόνα 35. Η συσκευή Emotiv Eroc+ headset.

---

<sup>32</sup> <https://www.emotiv.com/>

## 4. Μουσική και άνθρωπος

---

### 4.1 Εισαγωγή

Αποτελεί διαπίστωση ότι η μουσική θεωρείται ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου. Χαρακτηρίζεται ως ένα έμφυτο χαρακτηριστικό του, το οποίο του προκαλεί έντονα συναισθήματα. Αυτό έχει αποδειχθεί αφενός μεν από εθνογραφικές και ανθρωπολογικές μελέτες και αφετέρου δε από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε βρέφη σχετικά με τις αντιδράσεις τους σε αρμονικούς ή μη αρμονικούς ήχους. (Laura-Lee Blackwill, William F.Thomson 1999).

Θα μπορούσε κανείς να φανταστεί την καθημερινότητά του χωρίς τη μουσική ή τον ήχο; Η εμφάνιση της μουσικής χρονολογείται ιστορικά ταυτόχρονα με την εμφάνιση του ανθρώπου. Βέβαια όχι με τη σημερινή της μορφή, καθώς τότε υπήρχε περισσότερο το στοιχείο του ακατέργαστου ήχου και του ρυθμού. Τη σημερινή εποχή, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας, η μουσική είναι περισσότερο προσιτή στον άνθρωπο.

Η μουσική αποτελεί μία παγκόσμια κοινή γλώσσα που μπορεί να καλύψει όλο το εύρος των ανθρώπινων συναισθημάτων και των σκέψεων. Ο καθηγητής Γνωστικής Ψυχολογίας και Νευροεπιστήμης Jacob Jolij, αναφέρει ότι: «Η μουσική μπορεί να έχει ισχυρή επίδραση στα συναισθήματά μας. Από το να μας κάνει ευτυχείς μέχρι να μας βοηθάει να ξεπεράσουμε τους φόβους μας. Ένα ορισμένο είδος μουσικής μπορεί να ενεργοποιήσει συναισθήματα και ορμόνες που επηρεάζουν άμεσα τη διάθεσή μας».

Οι πρώτες αναφορές για το συσχετισμό της μουσικής και του συναισθήματος υπάρχουν ήδη απ' την αρχαία Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, ο Πλάτωνας πίστευε ότι η μουσική έχει τη δύναμη να διαμορφώσει την προσωπικότητα του ανθρώπου. Στην *Πολιτεία*, αναφέρει ότι η μουσική αποτελεί το κυριότερο μέρος της ανατροφής και της εκπαίδευσης. Αναφορές αντίστοιχες έχουν κάνει ο Αριστοτέλης, ο Αριστείδης Κοϊντιλιανός στο *Περί Μουσικής*.

Παρόλη τη φιλοσοφική και εκπαιδευτική υπόσταση της μουσικής, είναι σκόπιμο να αναφερθεί η συσχέτιση της μουσικής με το συναίσθημα και πιο συγκεκριμένα με το συναίσθημα της χαράς. Η εξέλιξη της τεχνολογίας παρέχει νέα εργαλεία που επιτρέπουν τη διερεύνηση των συναισθημάτων του ανθρώπου σε σχέση με τη μουσική. Στα επόμενα υποκεφάλαια θα ακολουθήσει εκτενής περιγραφή.

## 4.2. Μουσική αντίληψη

Η μουσική αντίληψη ανήκει στον τομέα της Ψυχολογίας της Μουσικής, η οποία ερευνά τις επιδράσεις που ασκεί η μουσική στην ψυχολογία του ατόμου. Οι ιδιότητες του μουσικού ήχου, οι οποίες είναι βασικές στη μουσική αντίληψη είναι το τονικό ύψος, η χροιά, ο ρυθμός, η αρμονία και η ηχηρότητα. Πολλές έρευνες δείχνουν την αλληλεξάρτηση αυτών των ιδιοτήτων (Saldahna, E. L., Corso, J. F. , 1964).

Η μουσική αντίληψη, επικεντρώνεται κυρίως στην αντίληψη των τόνων απ' την θεωρητική πλευρά της μουσικής. Η τονικότητα και ο ρυθμός είναι τα πιο σημαντικά στοιχεία της μουσικής. Ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την τονικότητα και τον ρυθμό, απασχόλησαν πολύ τους επιστήμονες όπως Bharucha & Pryor 1986, Thomson 1999, Doehrin & Ling 1999 κλπ.

Οι Halpern, Barlett & Dowling (1998), μελέτησαν την αντίληψη του ρυθμού σε άγνωστες μελωδίες, ενώ μελέτησαν και την επίδραση της ηλικίας και της μουσικής εμπειρίας. Απ' τα πειράματα τα οποία πραγματοποίησαν δε φάνηκε να αλληλοεπιδρά με την ηλικία .

Στο Νευρολογικό Ίδρυμα του Μόντρεαλ, ο Zatorrem (1988), ανακάλυψε ότι οι γλωσσικές λειτουργίες πραγματοποιούνται από το αριστερό εγκεφαλικό ημισφαίριο ενώ πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι η μουσική αξιοποιεί το δεξί ημισφαίριο.

Τα τελευταία πορίσματα των ερευνών στον τομέα αυτόν τείνουν να δείξουν όχι μόνο ότι η μουσική ενεργοποιεί πολλές περιοχές σε ολόκληρο τον εγκέφαλο αλλά το ότι «η μουσική έχει βιολογική βάση και ο εγκέφαλος διαθέτει λειτουργική οργάνωση για την επεξεργασία της» (Weinberger, 2006).

## 4.3. Εγκεφαλικές αποκρίσεις κατά την ακρόαση μουσικής

Για την κατανόηση των συναισθημάτων που προκαλεί η μουσική, οι ερευνητές βασίστηκαν στη μέτρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας, μέσω μιας συσκευής EEG. Ο Davidson (1988), ανέφερε ότι η αριστερή μετωπική περιοχή εμπλέκεται στην εμπειρία θετικών συναισθημάτων όπως είναι η χαρά και η ευτυχία. Αντίθετα, η δεξιά μετωπική περιοχή σχετίζεται με τα αρνητικά συναισθήματα όπως είναι ο φόβος, η θλίψη και ο θυμός. Υπάρχουν στοιχεία τα οποία αποδεικνύουν ότι η μετωπική ασυμμετρία σχετίζεται με την κινητήρια κατεύθυνση και όχι με τη



συναισθηματική (Harmon-Jones & Allen, 1998). Στοιχεία για αυτήν την ασυμμετρία βρέθηκαν από τις μετρήσεις του Davidson το 1990. Από τότε πραγματοποιήθηκαν αρκετές μελέτες EEG που χρησιμοποιούν διάφορα μουσικά ερεθίσματα παρέχοντας υποστήριξη σχετικά με την υπόθεση της ημισφαιρικής εξειδίκευσης του συναισθηματικού σθένους. Τα μουσικά ερεθίσματα που θεωρούνται θετικά ή αρνητικά προκάλεσαν ασύμμετρη μετωπική δραστηριότητα EEG. Το 2001, οι Schmidt και Trainor, διερεύνησαν σε μία ομάδα φοιτητών τα πρότυπα της δραστηριότητας των EEG που προκλήθηκαν κατά τη μουσική ακρόαση. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, ότι κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης η οποία είχε ευχάριστο χαρακτήρα, υπήρχε μετωπική διέγερση. Επιπλέον, ανακαλύφθηκε ότι το πιο γρήγορο τέμπο και οι μείζονες κλίμακες, παρήγαγαν μεγαλύτερες αποκρίσεις στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ το πιο αργό τέμπο και οι ελάσσονες κλίμακες στο δεξιό ημισφαίριο (Tsang et al., 2001).

Οι Flores-Gutierrez et al., (2007) μελέτησαν τις συναισθηματικές αντιδράσεις που προκαλεί η ευχάριστη και η δυσάρεστη μουσική. Με τη χρήση του fMRI και του EEG, διαπιστώθηκε ότι το αριστερό μέρος του εγκεφάλου εμπλεκόταν με τα ευχάριστα συναισθήματα. Αντίθετα, τα δυσάρεστα ενεργοποιούσαν τη δεξιά περιοχή του εγκεφάλου. (Miranda, Eduardo Reck, Castet, 2014)

#### 4.4. Μουσική και συναίσθημα

Η μουσική από τη φύση της σχετίζεται έντονα με τα συναισθήματα. Έχει χαρακτηριστεί μάλιστα ως γλώσσα των συναισθημάτων. (Åhlberg, 1994). Είναι ένα αφηρημένο ερέθισμα που μπορεί να προκαλέσει συναισθήματα ευφορίας και λαχτάρας. Αυτή η θεωρία είναι παγκοσμίως αποδεκτή και καθολική και αποτέλεσε επιτακτική ανάγκη η διερεύνησή της μέσω της επιστήμης.

Ως προς την έρευνα του συναισθήματος της μουσικής προκύπτει ένα πρόβλημα: το μοντέλο των συναισθημάτων. Υπάρχουν δηλαδή διαφορετικές επιστημονικές προσεγγίσεις για το πώς μπορούν να γίνουν αντιληπτά και να περιγραφούν τα συναισθήματα με αποτέλεσμα να προκύψουν δύο προσεγγίσεις. Η διακριτή ή κατηγορηματική προσέγγιση και η διαστατή προσέγγιση.

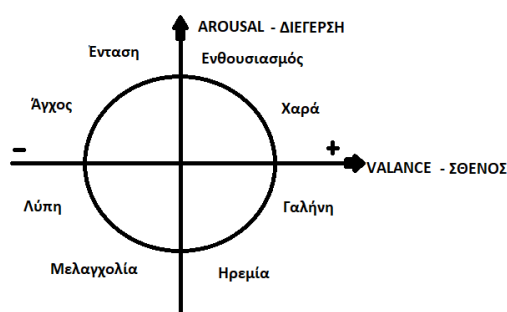
##### *Διακριτό μοντέλο συναισθημάτων*

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, όλα τα συναισθήματα μπορούν να αντληθούν από έναν περιορισμένο αριθμό βασικών παγκόσμιων συναισθημάτων όπως ο φόβος, ο θυμός, η αγδία, η θλίψη και η ευτυχία (Ekman 1992, Panksepp 1998). Κάθε

συναίσθημα είναι ανεξάρτητο και προέρχεται από την ενεργοποίηση διαφορετικών νευρικών συστημάτων. Το διακριτό μοντέλο έχει τροποποιηθεί ώστε να αντιπροσωπεύει καλύτερα τα συναισθήματα που προκαλεί η μουσική. (Miranda, Eduardo Reck, Castet, 2014). Το συναίσθημα βέβαια της αηδίας δε σχετίζεται με τη μουσική και αντικαθίσταται με το συναίσθημα της τρυφερότητας. (Balkwill and Thompson 1999).

### **Διαστατό μοντέλο συναισθημάτων**

Το διαστατό μοντέλο θεωρείται το εναλλακτικό μοντέλο των συναισθημάτων. Η διακριτή προσέγγιση, όπως προαναφέρθηκε, επικεντρώνεται στα ξεχωριστά χαρακτηριστικά των συναισθημάτων. Αντίθετα, στα διαστατά μοντέλα εκφράζεται ένα διασυνδεδεμένο νευροφυσιολογικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για όλες τις συναισθηματικές καταστάσεις. Τα συναισθήματα, μπορούν να εκφραστούν με δύο διαστάσεις: το *σθένος* - *valence* (ευχάριστο – δυσάρεστο) και τη *διέγερση* – *arousal* (παθητική – ενεργητική), η οποία αντικατοπτρίζει την ένταση του συναισθήματος.



**Εικόνα 36. Συνεχής 2-διάστατη αναπαράσταση συναισθημάτων Valence – Arousal. Russell, J. A. (1980)**

Μέσω της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και του fMRI ανακαλύφθηκε, ότι κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης, ενεργοποιούνται περισσότερο κάποια συγκεκριμένα μέρη του εγκεφάλου όπως η αμυγδαλή, ο ιππόκαμπος, ο κροταφικός λοβός, το ραβδωτό σώμα και ο φλοιός του εγκεφάλου (Koelsch, 2005). Επίσης, παρατηρήθηκε το γεγονός ότι παράγονται έντονες, ευχάριστες συναισθηματικές αποκρίσεις που συσχετίζονται με το ντοπαμινεργικό σύστημα. (Salimpoor, Benouy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011). Αξίζει να αναφερθεί ότι, η ντοπαμίνη είναι μία οργανική ουσία που ανήκει στην οικογένεια των κατεχολαμινών. Θεωρείται ως νευροδιαβιβαστής του εγκεφάλου, δηλαδή χρησιμοποιείται από τα νευρικά κύτταρα για τη μεταξύ τους επικοινωνία. Η έκκριση ντοπαμίνης οφείλεται επίσης σε ερεθίσματα που προκαλούν ευφορία και εθισμό, όπως το φαγητό, τα ναρκωτικά, η σεξουαλική πράξη κ.α. (Blood & Zatorre, 2001). Η

ντοπαμίνη σχετίζεται άμεσα με την ακρόαση της μουσικής (Salimpoor et al., 2011), Μέσα στα πλαίσια της παραπάνω έρευνας πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα, στη διάρκεια του οποίου εθελοντές άκουγαν μία συγκεκριμένη μουσική, της αρεσκείας τους και η οποία τους συγκινούσε. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος διαπιστώθηκε ότι, η ντοπαμίνη αυξήθηκε κατά 9%, κατά τη διάρκεια που ο εθελοντής άκουγε τη μουσική της αρεσκείας του. Μάλιστα στη συνέχεια επιχειρήθηκε να μετρηθεί η παραγωγή της ντοπαμίνης κατά τη διάρκεια της ακρόασης ενός εντονότερου συναισθηματικά τραγουδιού το οποίο προκαλούσε το φαινόμενο της «ανατριχίλας». Από τα αποτελέσματα προέκυψε, ότι κατά τη διάρκεια του φαινομένου της «ανατριχίλας» παρατηρήθηκε περαιτέρω αύξηση της παραγωγής της ντοπαμίνης.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των φυσιολογικών αντιδράσεων και του μουσικού συναισθήματος κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης (Hodges, 2010). Οι φυσιολογικές αλλαγές κατά την ακρόαση της μουσικής σχετίζονται με την ενεργοποίηση του Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος, το οποίο ρυθμίζει μια ποικιλία οργάνων και ελέγχει τις σωματικές διαδικασίες. Η έρευνα για τις φυσιολογικές επιδράσεις της μουσικής περιλαμβάνει κυρίως αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό, το ρυθμό της αναπνοής, την αρτηριακή πίεση, την αγωγιμότητα του δέρματος, τη θερμοκρασία και την ένταση των μυών. Η συνεχής ενεργοποίηση του εγκεφάλου αποτελεί σημαντική φυσιολογική απάντηση στη μουσική που σχετίζεται με το κεντρικό νευρικό σύστημα. (Miranda, Eduardo Reck, Castet, 2014).

### ***Καρδιακός Ρυθμός***

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες που αφορούν την επίδραση της μουσικής στον καρδιακό ρυθμό. (Nyklicek et al. 1997, Lundqvist et al. 2000, Krumhansl 1997, Baumgartner et al. 2006, Samler et al. 2007, Blood and Zatorre 2001, Bernardi et al. 2006). Η μέτρηση της επίδρασης της μουσικής στον καρδιακό παλμό είναι εύκολη με τη βοήθεια του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Αποδείχθηκε λοιπόν, ότι ο καρδιακός παλμός αυξάνεται, όταν το άτομο εκτίθεται σε ένα περιβάλλον με έντονη μουσική διέγερση, ενώ αντίθετα όταν βρίσκεται σε ένα περιβάλλον με χαμηλή μουσική διέγερση, ο καρδιακός ρυθμός μειώνεται. Υπάρχουν βέβαια και μελέτες που αναφέρουν ότι η μουσική δεν προκάλεσε αλλαγές στον καρδιακό παλμό (Iganawa et.

al., 1996, Gomez and Danusar 2004). Πρόσφατες μελέτες, αναφέρουν ότι το tempo είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τον καρδιακό ρυθμό.

### ***Ρυθμός Αναπνοής***

Ο ρυθμός της αναπνοής είναι η δεύτερη φυσιολογική απόκριση που συνδέεται με τη μουσική. Οι περισσότερες μελέτες αναφέρουν ότι υπάρχει αύξηση του ρυθμού της αναπνοής κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης (Krumhansl 1997, Gomez & Danuser 2004, Nyklicek et al. 1997, Tayer & Faith 2001). Βέβαια, ο ρυθμός της αναπνοής είναι στενά συνδεδεμένος με τον καρδιακό ρυθμό.

### ***Αγωγιμότητα Δέρματος***

Η αγωγιμότητα του δέρματος σχετίζεται με τη συναισθηματική διέγερση και έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα αξιόπιστο μέτρο της συναισθηματικής απόκρισης. Στις υψηλές συνθήκες διέγερσης η δερματική ευαισθησία αυξάνεται. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική αύξηση της αγωγιμότητας του δέρματος κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης (Khalfa et al., 2002, Gomez & Danusar 2007, Lindqvist et al., 2009, Blood & Zattore, 2001).

### ***Πίεση Αίματος***

Η πίεση του αίματος έχει χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της φυσιολογικής επίδρασης της μουσικής. Οι μελέτες έδειξαν ότι η αύξηση της αρτηριακής πίεσης συμβαίνει σε κατάσταση έντονης μουσικής. Βέβαια, υπήρξαν μελέτες οι οποίες αναφέρονται στη μείωση της αρτηριακής πίεσης καθώς και στην αμετάβλητη πίεση του αίματος κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης (Miranda, Eduardo Reck, Castet, 2014).

### ***Μυϊκή Ένταση***

Η δραστηριοποίηση των μυών σχετίζεται άμεσα με τη συναισθηματική κατάσταση. Παράδειγμα αποτελούν οι εκφράσεις του προσώπου. Οι εκφράσεις του προσώπου μετριοούνται μέσω της ηλεκτρομυογραφίας (EMG), τοποθετώντας ηλεκτρόδια στους μύες των ζυγωματικών και των βλεφάρων. Έρευνες έδειξαν ότι υπάρχει αυξημένη ζυγωματική μυϊκή δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της ακρόασης υψηλής διέγερσης και ευχάριστης μουσικής. Αντίθετα, υπήρχε αυξημένη δραστηριότητα των βλεφάρων κατά τη διάρκεια της ακρόασης μη ευχάριστης μουσικής (Witvliet & Vrana, 2007).

Επίσης, πολλοί άνθρωποι βιώνουν μία ιδιαίτερη ανταπόκριση στη μουσική, η οποία περιγράφεται ως «ρίγη» (Salimpoor et al., 2011). Συνήθως αυτή η απόκριση συμβαίνει για ένα συγκεκριμένο κομμάτι μουσικής της επιλογής του ίδιου το ατόμου.

### ***Θερμοκρασία σώματος***

Πολλές μελέτες, δείχνουν την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά την ακρόαση έντονης και διεγερτικής μουσικής (Baumgartner et al., 2006, Lundqvist et al., 2009). Παρόλα αυτά, υπάρχουν και μελέτες οι οποίες υποστηρίζουν το αντίθετο, ότι δηλαδή κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης είτε δεν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος η οποία παραμένει σταθερή, είτε μειώνεται, (Nater et al., 2006, Blood & Zatorre, 2001) οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στην ασάφεια των αποτελεσμάτων.

# 5. Πείραμα

---

## 5.1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με την ερευνητική βιβλιογραφία (Blood A.J. & Zatorre, R, 2001), η κατάσταση της ευφορίας που βιώνει ένα άτομο κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης συνοδεύεται με την έκκριση ντοπαμίνης στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η έκκριση της ντοπαμίνης πραγματοποιείται σε δομές υπό του εγκεφαλικού φλοιού, οι οποίες συνδέονται λειτουργικά (functional connectivity) με προμετωπιαίες και κροταφικές περιοχές του φλοιού (Salimpoor V. N., Bosch I., et al., 2013). Αναλυτικότερα, η λειτουργική αυτή επικοινωνία αυτή μεταξύ των εγκεφαλικών δομών δύναται να πραγματοποιείται μέσω των εγκεφαλικών κυμάτων (Canolty R.T., Knight R.T., (2010).

Στην περίπτωση μας, η πειραματική διαδικασία εστιάζει στη μη επεμβατική καταγραφή των εγκεφαλικών κυμάτων μέσω της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης και στοχεύει στην αποκωδικοποίηση της επικοινωνίας (στο επίπεδο των εγκεφαλικών κυμάτων) των εμπλεκόμενων περιοχών του εγκεφαλικού φλοιού (π.χ. κροταφικές περιοχές : ακουστικός φλοιός, προμετωπιαίες περιοχές : πνευματική λειτουργία, συναισθηματικό περιεχόμενο, μνήμη) με τα ντοπαμινεργικά κέντρα φυσικής ανταμοιβής όπως ο επικλινής πυρήνας (nucleus accumbens) για την πρόβλεψη της μουσικής προτίμησης κατά της διάρκεια της μουσικής ακρόασης.

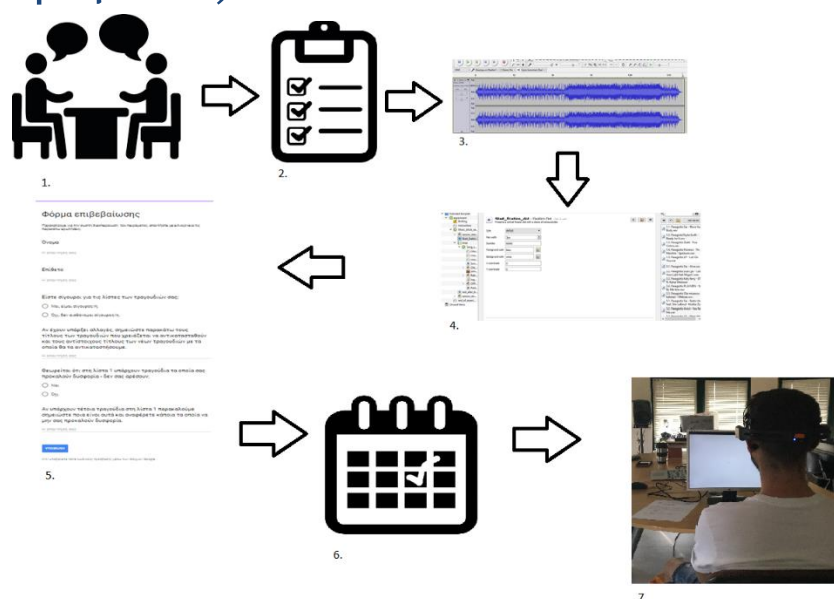
Για το σκοπό αυτό, κρίθηκε πρώτα απαραίτητη η δημιουργία ενός «γνωστικού μοντέλου» του μουσικού στυλ κάθε ακροατή. Πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα όπου συγκεντρώθηκαν συνολικά είκοσι (20) άτομα εκ των οποίων 10 ήταν γυναίκες και 10 γυναίκες. Τους ζητήθηκε να παραδώσουν τριάντα βαθμονομημένα τραγούδια με βάση τις μουσικές του επιλογές, κατατάσσοντάς τα σε τρία διαφορετικά κλιμακωτά επίπεδα. Η δημιουργία του μοντέλου των βαθμονομημένων επιπέδων μουσικής προτίμησης βασίστηκε σε προηγούμενη έρευνα (Salimpoor V. N., Bosch I., et al., 2013), και υλοποιήθηκε μέσω του συστήματος αξιολόγησης 0-5 αστεριών. Πιο συγκεκριμένα:

- ★ «Αδιάφορα - μη ενοχλητικά τραγούδια»
- ★★★ «Τραγούδια που θα άκουγα ξανά ευχάριστα»
- ★★★★★ «Αγαπημένα τραγούδια»

Κατά τη διάρκεια του πειράματος και σε αντιστοιχία με την ερευνητική βιβλιογραφία (Blood A.J. & Zatorre, R. ,2001), πραγματοποιήθηκε σε καθεστώς παθητικής μουσικής ακρόασης (passive music listening) η αναπαραγωγή συγκεκριμένων μουσικών αποσπασμάτων προς τους συμμετέχοντες και η συγχρονισμένη καταγραφή της εγκεφαλικής τους δραστηριότητας μέσω συσκευής φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, έχοντας ως στόχο την αναζήτηση ενός νευροδυναμικού ισοδύναμου των μουσικών αξιολογήσεών τους..

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Μουσικών Σπουδών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου με τη βοήθεια της συσκευής Emotiv EPOC+. Η πειραματική διαδικασία αναλύεται εκτενέστερα παρακάτω.

## 5.2. Διεργασίες πριν από τη διεξαγωγή του πειράματος



Εικόνα 37. Στάδια της προετοιμασίας του πειράματος. 1.Ανοιχτή πρόσκληση εθελοντών και συνέντευξη, 2. Έλεγχος δεδομένων, 3. Επεξεργασία υλικού, 4. Δημιουργία υπολογιστικού προτύπου, 5. Συμπλήρωση της φόρμας επιβεβαίωσης, 6. Ημερολογιακός προγραμματισμός, 7. Διεξαγωγή του πειράματος

### Ανοιχτή πρόσκληση Εθελοντών

Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα απαιτούσε μια ομάδα συμμετεχόντων αρσενικού γένους. Αντίστοιχη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί και σε συμμετέχοντες θηλικού γένους. Το παρόν βήμα αποτέλεσε προέκταση προηγούμενης έρευνας (Salimpoor V. N., Bosch I, et al, 2013) , η οποία παρουσιάζει παρόμοια δομή με το παρόν πείραμα. Πραγματοποιήθηκε συνεπώς ανοιχτή

πρόσκληση εθελοντών. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε ένα τελικό δείγμα συμμετεχόντων όπου το εύρος ηλικίας τους ήταν από 20-25 έτη και κατά το ήμισυ προέρχονταν από το τμήμα Μουσικών Σπουδών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Συνολικά 10 άτομα προσκλήθηκαν στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο του τμήματος Μουσικών Σπουδών ώστε να συμμετάσχουν στο δεύτερο μέρος του πειράματος.

	Ελάχιστη ηλικία	Μέγιστη ηλικία	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Ηλικία	18	31	23,8	3,82

Πίνακας 4. Πληροφορίες για την ηλικία των συμμετεχόντων.

## Συζήτηση-συνέντευξη

---

Στη συνέχεια κρίθηκε απαραίτητη η συνέντευξη με τον κάθε εθελοντή ξεχωριστά. Στην παρούσα συζήτηση, τα υποκείμενα ενημερώνονταν για το παρόν πείραμα και επιβεβαίωναν ότι εξακολουθούν να είναι πρόθυμοι για τη σωστή συνεργασία σε σχέση με το πείραμα. Έπειτα από τη συνέντευξη ανατέθηκε λοιπόν σε κάθε άτομο να δημιουργήσει μία προσωπική λίστα αποτελούμενη από 30 τραγούδια τα οποία θα επέλεγαν οι ίδιοι με βάση το μουσικό τους στυλ. Η λίστα, αποτελούταν από 3 επιμέρους διαβαθμισμένες λίστες. Κάθε επιμέρους λίστα συμπεριελάμβανε 10 τραγούδια. Οι 3 επιμέρους λίστες ήταν διαβαθμισμένες και διαμορφώθηκαν με βάση τα μουσικά γούστα του εκάστοτε εθελοντή. Οι 3 κλίμακες – βαθμολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το 1, το 3 και το 5. Αναλυτικότερα:

- 1 → «Αδιάφορο, μη ενοχλητικό»
- 3 → «Μου αρέσει, το ακούω ξανά ευχάριστα»
- 5 → «Μου αρέσει πολύ, είναι ανάμεσα στα αγαπημένα μου»

«Αδιάφορο, μη ενοχλητικό»: Στόχος του πειράματος ήταν να εξαιρέσει τα αρνητικά συναισθήματα γι' αυτό δεν συμπεριλήφθηκε αντίστοιχη κατηγορία (π.χ. «Δε μου αρέσει»). Ένα «αδιάφορο» τραγούδι εννοείται εκείνο το οποίο δεν κατατάσσεται στην κατηγορία των μη αρεστών τραγουδιών.

«Μου αρέσει, το ακούω ξανά ευχάριστα»: Εννοείται ένα τραγούδι το οποίο είναι αρεστό, όχι όμως αγαπημένο.

«Μου αρέσει πολύ»: Αυτή η κατηγορία κατατάσσεται στα πολύ αγαπημένα τραγούδια. (Salimpoor V. N., Bosch I. et al, 2013).

## Έλεγχος δεδομένων

---



Για τη σωστή διεκπεραίωση του πειράματος, έπειτα από την παράδοση της κάθε λίστας, κρίθηκε απαραίτητος ο έλεγχός τους και έπειτα η έγκρισή τους. Για την επιλογή των τραγουδιών, χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στη μουσική φόρμα. Η δομή που χρησιμοποιήθηκε ήταν του τύπου «κουπλέ – ρεφραίν». Τραγούδια με ελεύθερες μουσικές μορφές, όπως η κλασική μουσική, η τζαζ και γενικότερα τραγούδια τα οποία δεν είχαν ηχητικές κορυφώσεις ακυρώνονταν.

Επιπλέον, μέσα απ' τη μελέτη των λιστών έγινε η προσπάθεια της έμμεσης εκτίμησης του μουσικού στυλ που αντιπροσωπεύει τον κάθε συμμετέχοντα. Συνεπώς, για όποιο τραγούδι φαινόταν ότι απομακρύνεται απ' το χαρακτηριστικό του στυλ, γινόταν η επιστροφή στο βήμα της συζήτησης, ώστε ο κάθε συμμετέχων να επιβεβαιώσει, ότι η επιλογή του τραγουδιού έγινε με βάση τις μουσικές του προτιμήσεις.

## Επεξεργασία υλικού

---

Το συγκεκριμένο στάδιο είχε ως σκοπό την επεξεργασία του ηχητικού υλικού. Πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού επεξεργασίας ήχου ανοιχτού κώδικα Audacity.<sup>33</sup>

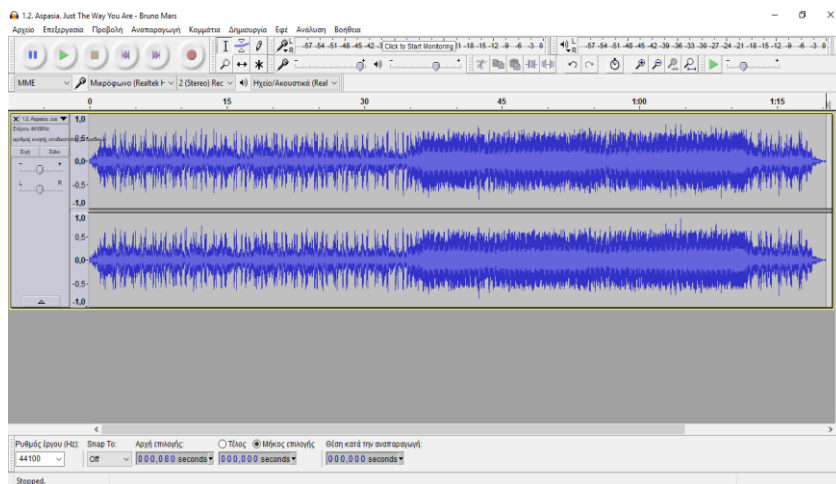
Για την επεξεργασία κάθε τραγουδιού εκτελέστηκαν κάποια συγκεκριμένα βήματα:

- **Περικοπή τραγουδιού.** Απ' τη συνολική διάρκεια του τραγουδιού το οποίο διαρκεί κατά μέσο όρο στα 3:30 λεπτά, απομονώθηκαν μόνο 80 δευτερόλεπτα από κάθε τραγούδι, ένα ικανοποιητικό όριο ακρόασης<sup>34</sup>. Αυτό αποσκοπούσε αφενός μεν στην εξοικονόμηση χρόνου και αφετέρου δε στην αποφυγή κούρασης του συμμετέχοντα. Η επιλογή των 80 δευτερολέπτων έγινε σύμφωνα με Adamos D.A., et al., 2016, εστιάζοντας σε συγκεκριμένα μέρη για τη «μουσική σύνοψη» ενός τραγουδιού (ένα μέρος από το κουπλέ και ολόκληρο το ρεφραίν). Βέβαια, ο διαχωρισμός κουπλέ και ρεφραίν απαιτεί διαδικασία και σίγουρα μουσικολογικές γνώσεις, καθώς αρκετές φορές το ρεφραίν δεν ήταν εύκολα εμφανές.

---

<sup>33</sup> [http://www.pi.ac.cy/pi/files/epimorfosi/ekpaid\\_yliko/Mousic\\_mesi/udacity\\_1\\_3\\_manual.pdf](http://www.pi.ac.cy/pi/files/epimorfosi/ekpaid_yliko/Mousic_mesi/udacity_1_3_manual.pdf)

- **Sound Normalization.** Είναι μία διαδικασία ομοιομορφης προσαρμογής του πλάτους ενός ηχητικού κύματος (κάθε τραγούδι είχε διαφορετική μέση ηχητική ένταση).
- **Fade in - Fade out.** Σταδιακή εμφάνιση και σταδιακή εξασθένηση. Αποσκοπούσε κυρίως στην ομαλή μετάβαση από το ένα τραγούδι στο άλλο. Επιπλέον στόχευε και στην προετοιμασία του συμμετέχοντα.
- **Κατάταξη.** Έπειτα από την επεξεργασία των τραγουδιών, τα τραγούδια κατατάχθηκαν σε κατηγορίες ταξινομημένα σε μία λίστα. Σε αυτήν τη λίστα εμπεριέχονταν τραγούδια τα οποία συμπεριελάμβαναν τα παρακάτω στοιχεία: την αρίθμηση του κάθε τραγουδιού, το σκορ βαθμονόμησης, τον αριθμό του εκάστοτε συμμετέχοντα, τον τίτλο του τραγουδιού, το όνομα του καλλιτέχνη και τέλος το είδος του τραγουδιού. Οι όροι των μουσικών ειδών που χρησιμοποιήθηκαν είναι: pop, indie pop, electropop, rock, indie rock, electronic, regae, soul, jazz (με συγκεκριμένη δομή) καθώς και greek pop, greek folk. Στην κατηγορία greek folk κατατάχθηκαν τραγούδια τα οποία πλησιάζουν τα ακούσματα της παραδοσιακής μουσικής, δηλαδή λαϊκά και έντεχνα τραγούδια.



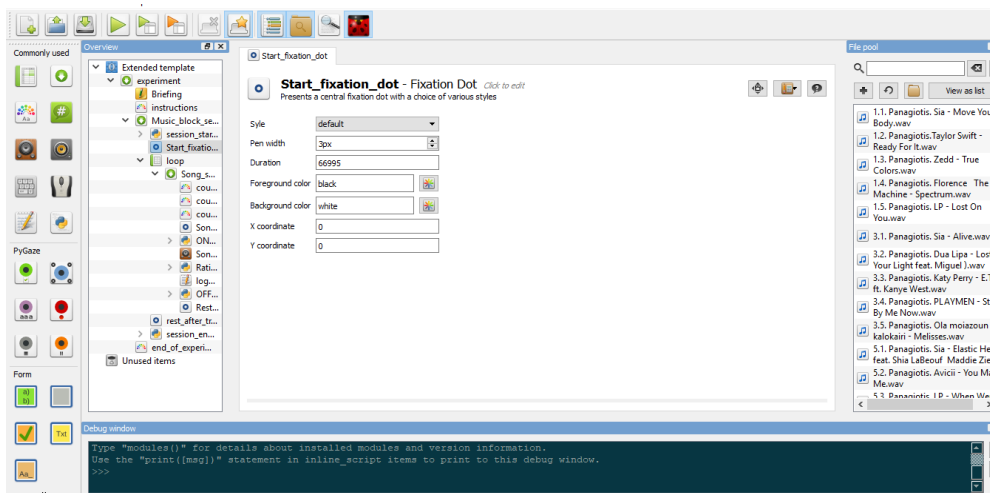
Εικόνα 38. Αρχική οθόνη του Audacity. Οι παρούσες κυματομορφές αντιστοιχούν σε ένα τραγούδι 80 δευτερολέπτων ενός συμμετέχον.

## Δημιουργία Υπολογιστικού Προτύπου

Η δημιουργία υπολογιστικού προτύπου έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Open Sesame<sup>35</sup>, το οποίο είναι μία δωρεάν εφαρμογή για την ανάπτυξη πειραμάτων ψυχολογίας. Για κάθε συμμετέχοντα χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό πρότυπο, καθώς ο καθένας είχε διαφορετική λίστα τραγουδιών.

Αναλυτικότερα, πρωταρχικός στόχος ήταν η τοποθέτηση των markers. Δημιουργήθηκε ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας σύμφωνα με το οποίο το Open Sesame θα συνδεόταν με το EEG έχοντας ως στόχο την αποστολή markers. Στο πρωτόκολλο η τιμή του marker 1 ορίστηκε με τον αριθμό 9 ο οποίος σηματοδοτούσε την αρχή και το τέλος του πειράματος. Στην εκκίνηση της αναπαραγωγής του τραγουδιού ο marker ορίστηκε με τον αριθμό 7 και στο τέλος με τον αριθμό 8. Οι markers κρίθηκαν απαραίτητοι καθώς βοηθούσαν πάρα πολύ στον προσανατολισμό του πειράματος και την αποφυγή τυχόν σφαλμάτων.

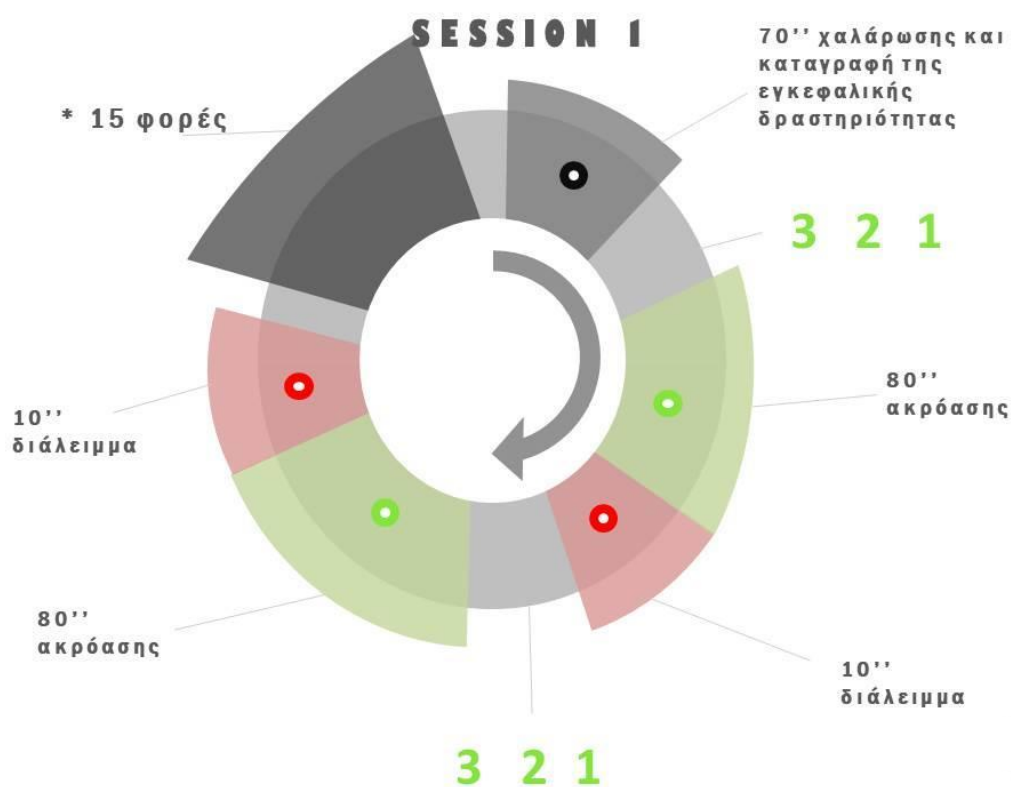
Έπειτα, στην αρχή του πειράματος, εισήχθησαν οδηγίες για τον προσανατολισμό του συμμετέχοντα. Πιο συγκεκριμένα, σε πρώτο επίπεδο εμφανιζόταν με γραπτό κείμενο στην οθόνη του υπολογιστή η παραδοχή ότι στην εκκίνηση του πειράματος θα υπήρχε μία παύση 70 δευτερολέπτων, ώστε να καταγραφεί η δραστηριότητα του εγκεφάλου σε κατάσταση ηρεμίας. Σε δεύτερο επίπεδο θα ακολουθούσαν 80 δευτερόλεπτα ακρόασης και τέλος 10 δευτερόλεπτα παύσης και αναμονής για το επόμενο τραγούδι.



Εικόνα 39. Εικονικό περιβάλλον του λογισμικού Open Sesame.

<sup>35</sup> <https://osdoc.cogsci.nl/3.2/>

Επίσης, μέσω του Open Sesame ρυθμίστηκε το βασικό background του πειράματος. Η μορφή του background αποτελείτο από μία λευκή οθόνη όπου στο κέντρο της απεικονιζόταν μία μαύρη τελεία η οποία άλλαζε χρώμα ανάλογα με τη χρονική στιγμή του πειράματος. Σε πρώτο στάδιο το χρώμα της τελείας ήταν μαύρο. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής της δραστηριότητας του εγκεφάλου και κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης η τελεία γινόταν πράσινη. Στις εναλλαγές μεταξύ των τραγουδιών, το υποκείμενο είχε διάλειμμα δέκα δευτερολέπτων. Τη σηματοδότηση για την έναρξη του διαλείμματος όριζε η εναλλαγή του χρώματος της τελείας από το πράσινο χρώμα στο κόκκινο. Η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο πραγματοποιούνταν με αντίστροφη χρονομέτρηση.



Εικόνα 40. Η μαύρη τελεία δηλώνει την αρχή του πειράματος καθώς και την βασική καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας. Η πράσινη τελεία σηματοδοτεί την αρχή του τραγουδιού καθώς και την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας για 80 δευτερόλεπτα. Η κόκκινη τελεία σηματοδοτεί την λήξη του τραγουδιού καθώς και τα 10 δευτερόλεπτα διάλειμμα.

## Συζήτηση και προγραμματισμός

Έπειτα απ' τη διαδικασία της διαμόρφωσης του πειράματος, απεστάλη σε κάθε συμμετέχοντα μία φόρμα συμμετοχής. Η συγκεκριμένη φόρμα στόχευε στην

### Φόρμα επιβεβαίωσης

Παρακαλούμε για την σωστή διεκπεραίωση του πειράματος, απαντήστε με ειλικρίνεια τις παρακάτω ερωτήσεις.

Όνομα

Η απάντησή σας

Επίθετο

Η απάντησή σας

Είστε σίγουροι για τις λίστες των τραγουδιών σας;

- Ναι, είμαι σίγουρος/η.  
 Όχι, δεν αισθάνομαι σίγουρος/η.

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.

Η απάντησή σας

Θεωρείται ότι στη λίστα 1 υπάρχουν τραγούδια τα οποία σας προκαλούν δυσφορία - δεν σας αρέσουν;

- Ναι  
 Όχι

Αν υπάρχουν τέτοια τραγούδια στη λίστα 1 παρακαλούμε σημειώστε ποια είναι αυτά και αναφέρετε κάποια τα οποία να μην σας προκαλούν δυσφορία.

Η απάντησή σας

ΥΠΟΒΟΛΗ

Μην αποβάλετε ποτέ κωδικούς πρόσβασης μέσω των Θεσμών Google.

## 5.3. Συσκευές και λογισμικό

Για την διεκπεραίωση του πειράματος χρειάστηκαν τα εξής:

### Συσκευές

- Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
- Συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος – Emotiv EPOC
- Ηχεία
- Καλώδια
- Οθόνη υπολογιστή

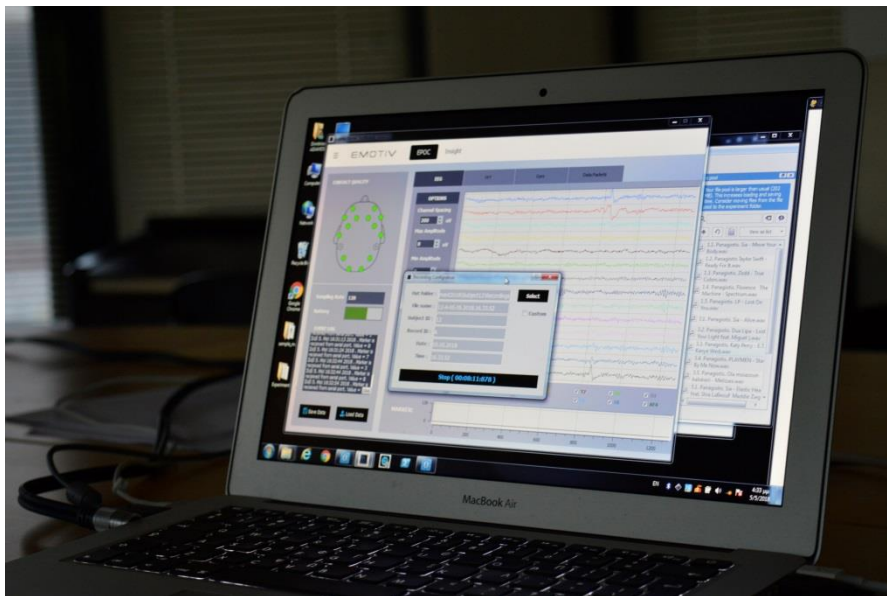
επιβεβαίωση της συμμετοχής του κάθε συμμετέχοντα καθώς και στην πιθανή αλλαγή κάποιου τραγουδιού με του οποίου την επιλογή δεν αισθανόταν σίγουρος.

Έπειτα από την οριστική υποβολή της φόρμας, δημιουργήθηκαν τα έντυπα συγκατάθεσης και οργανώθηκαν τα ραντεβού για την πραγμάτωση του πειράματος.

Εικόνα 41. . Φόρμα επιβεβαίωση που στάλθηκε στους συμμετέχοντες πριν την οριστική υποβολή τους.

## Λογισμικό

- Audacity
- OpenSesame
- Emotiv Testbench



Εικόνα 42. Απεικόνιση του λογισμικού EMOTIV κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

## 5.4. Τρόπος διεξαγωγής πειράματος

### Εισαγωγή

---

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Μουσικών Σπουδών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μέσα σε μία αθόρυβη αίθουσα κατάλληλα διαμορφωμένη, ώστε να μην υπάρχουν αντικείμενα τα οποία να αποσπούν την προσοχή του συμμετέχοντα. Αυτή η αίθουσα ήταν πλήρως εξοπλισμένη με τον απαραίτητο εξοπλισμό. Η συνολική διάρκεια του πειράματος, υπολογίστηκε γύρω στη μία ώρα. Πριν από την έναρξη της διαδικασίας, ο συμμετέχων υπέγραψε ένα έντυπο συγκατάθεσης το οποίο συμπεριελάμβανε περιληπτικές οδηγίες για τη διεξαγωγή του πειράματος. (βλ. Εικόνα 44)

Ο συμμετέχων καθόταν αναπαυτικά μπροστά από μία οθόνη και απέναντί του βρίσκονταν δύο ηχεία (βλ. Εικόνα 43). Έπειτα, τοποθετήθηκε στο τριχωτό της κεφαλής του η συσκευή EMOTIV EPOC+ (EEG) με τέτοιο τρόπο ώστε τα ηλεκτρόδια να εφάπτονται σωστά επάνω στο δέρμα. Λόγω του ότι η συσκευή είναι wet, είναι απαραίτητο τα ηλεκτρόδια να βραχούν με κάποιο υγρό. (βλ. Εικόνα

45Εικόνα 45). Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε υγρό φακών επαφής το οποίο προκαλεί καλή αγωγιμότητα.



Εικόνα 43. Απεικόνιση της διαμόρφωσης του πειραματικού χώρου και της θέσης του συμμετέχον.

Τα ηχεία ρυθμίζονται στην ένταση που επιθυμεί ο ίδιος ο συμμετέχων όπως και η φωτεινότητα της οθόνης, ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες γι' αυτόν. Έπειτα, ο συμμετέχων ενημερώθηκε ότι πρέπει να παραμένει ακίνητος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, να αποφεύγει την κίνηση των βλεφάρων και να χαλαρώσει τις μυϊκές δέσμες του σφιγκτήρα του στόματος. Οι κινητικοί περιορισμοί, αποσκοπούν στην αποφυγή των artifacts (βλ. Κεφάλαιο 2) καθώς και στην εξαγωγή καθαρού σήματος.

Όταν διαπιστωθεί ότι, τα ηλεκτρόδια εφάπτονται καλά επάνω στο τριχωτό της κεφαλής, τότε ξεκινάει η πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 44. Συμμετέχων κατά την συμπλήρωση του εντύπου συγκατάθεσης.



Εικόνα 45. Υγραση wet ηλεκτροδίων με υγρό φακών επαφής για καλύτερη αγωγιμότητα με το τριχωτό της κεφαλής.



Εικόνα 46. Τοποθέτηση συσκευής EEG και καθοδήγηση του συμμετέχοντα για τη σωστή εκτέλεση του πειράματος.

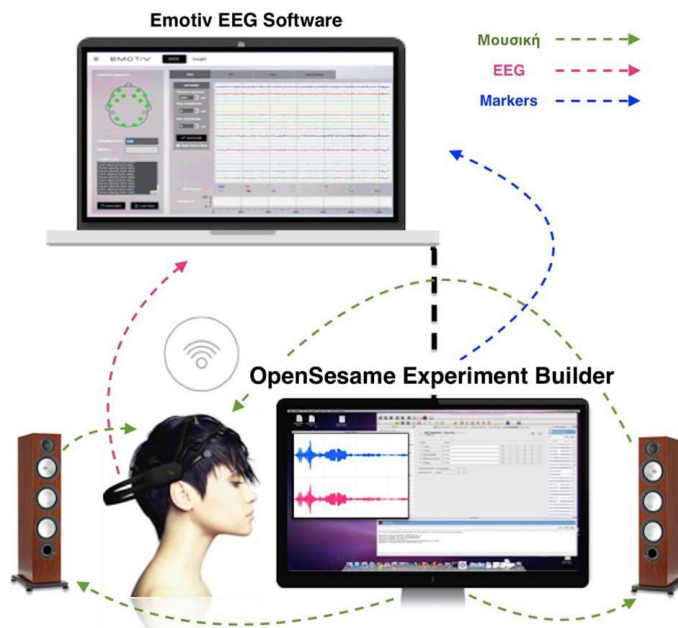


## Στάδια του Πειράματος

Η διαδικασία του πειράματος χωρίζεται σε 3 μέρη που χαρακτηρίζουν τα δομικά του στοιχεία. Αυτά αναπτύσσονται παρακάτω:

### Έναρξη Πειράματος – 1<sup>ο</sup> μέρος

Όπως προαναφέρθηκε, ο συμμετέχων έχει επιλέξει 30 τραγούδια. Στο πρώτο μέρος, συμπεριελήφθησαν 15 τραγούδια απ' τη συνολική προσωπική του λίστα.



Στην αρχή, υπήρχαν 70'' χαλάρωσης του συμμετέχοντα. Τα 70'' είναι σημαντικά, καθώς γίνεται η καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, όταν ο συμμετέχων βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Έπειτα ακολουθεί η ακρόαση των μουσικών αποσπασμάτων τα η οποία διαρκεί 80'' και μεταξύ τους υπάρχει μία παύση 10''. Στη διάρκεια των 10'', ο συμμετέχων έχει τη δυνατότητα να ξεκουραστεί και να κινηθεί. Αυτό το μοτίβο επαναλαμβάνεται επί 15 συνεχόμενα τραγούδια. Κατά τη διάρκεια της ακρόασης του υποκειμένου η ροή των πληροφοριών παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 47. Η ροή των διαφορετικών ειδών πληροφορίας (μουσική, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) και σηματοδότηση ελέγχου (markers) κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Τα είδη ροής παρουσιάζονται μέσω χρωματικού κώδικα (πράσινο, κόκκινο και μπλε).

### Μέση Πειράματος – 2<sup>ο</sup> μέρος

Ανάμεσα στο 1<sup>ο</sup> και στο 2<sup>ο</sup> μέρος του πειράματος, είναι απαραίτητο να επισημανθεί η παρουσία ενός διαλείμματος, το οποίο διαρκεί τόσο ώστε να

ξεκουραστεί ο συμμετέχων. Το 2<sup>ο</sup> μέρος, ακολουθεί ακριβώς την ίδια ροή όπως το πρώτο μέρος με τα υπόλοιπα εναπομείναντα 15 τραγούδια.

### Τέλος Πειράματος – 3<sup>ο</sup> μέρος

Στο 3<sup>ο</sup> μέρος, παρουσιάζεται στο συμμετέχοντα ένα τραγούδι ανεξάρτητο από τη λίστα του. Αυτό το τραγούδι και το ακούει και στο τέλος της ακρόασης το αξιολογεί. Το τραγούδι ήταν ίδιο για όλους τους συμμετέχοντες με τίτλο: « Ridiculous Thoughts – The Cranberries».

Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας, τα προσωπικά δεδομένα είναι απόρρητα σύμφωνα με τα πλαίσια της «Αρχής της προστασίας των προσωπικών δεδομένων». Αποθηκεύονται ψηφιακά και η οποιαδήποτε δημοσίευση ψηφιακού υλικού, θα δημοσιευτεί μόνο με τη συγκατάθεση του υποκειμένου. Σε αυτήν την περίπτωση, η ταυτότητα του υποκειμένου παραμένει κρυφή.

## 6. Αποτελέσματα και συζήτηση

---

### 6.1 Αποτελέσματα

Με την καθοδήγηση του επιβλέποντα, εκτιμήθηκε η συσχέτιση των σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών σε κάθε συμμετέχοντα χρησιμοποιώντας φασματικά χαρακτηριστικά του EEG σήματος. (Adamos, Dimitriadis, Laskaris, 2016).

Πιο συγκεκριμένα, με βάση το διακριτό μετασχηματισμό Φουριέ (Discrete Fourier Transform) (Stoica & Moses, 2005), υπολογίστηκε αρχικά η φασματική πυκνότητα ισχύος (Power spectral density – PSD) με τη μέθοδο Welch<sup>36</sup> (Welch's power spectral density estimate) στο εύρος [1<sup>Hz</sup> – 45<sup>Hz</sup>].

Στη συνέχεια, για κάθε συμμετέχοντα, υπολογίστηκε διακριτά κατά μήκος της κλίμακας του εύρους συχνοτήτων για κάθε ηλεκτρόδιο ο συντελεστής συσχέτισης Spearman<sup>37</sup> (Best & Roberts) της φασματικής ισχύος των EEG σημάτων με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών που ακούστηκαν. Ένα παράδειγμα απεικονίζεται στην Εικόνα 48 όπου είναι εμφανές ότι για όλα 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 12 Hz).

---

<sup>36</sup> Η υλοποίηση έγινε σε περιβάλλον MATLAB.

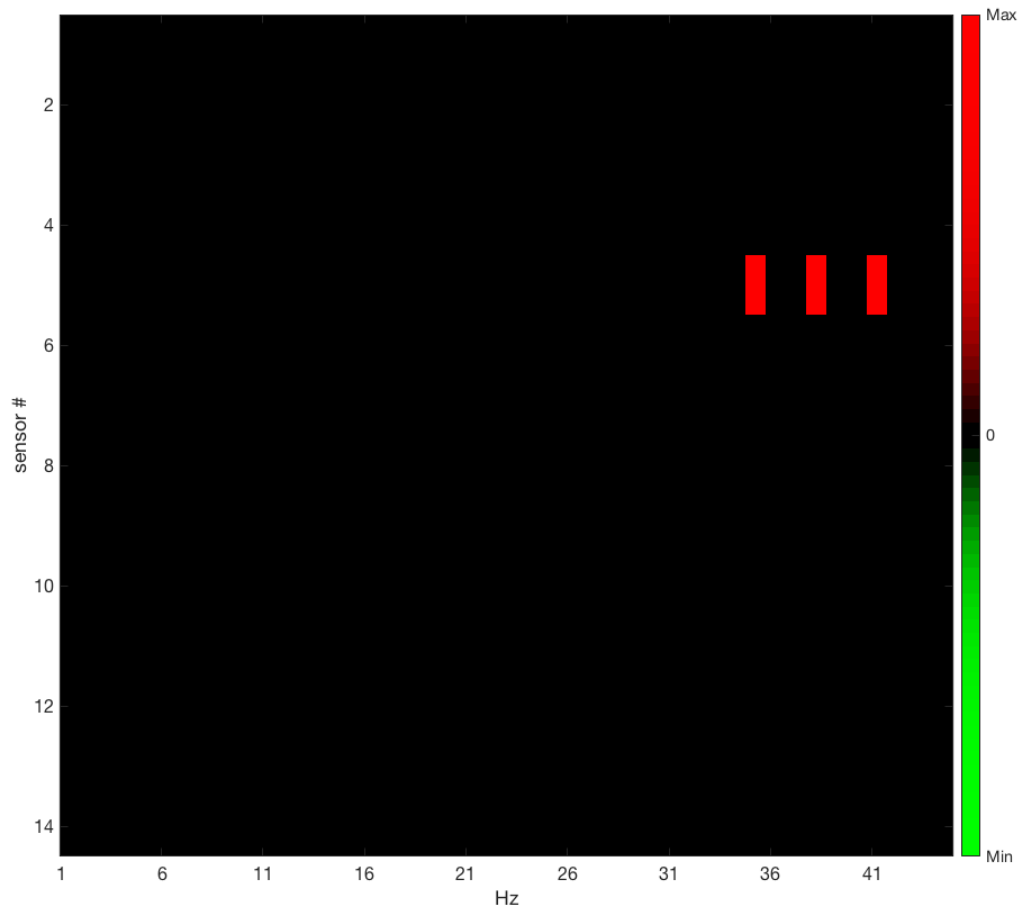
<sup>37</sup> Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι ένας μη-παραμετρικός δείκτης που αποτυπώνει τη στατιστική εξάρτηση δύο μεταβλητών. Λαμβάνει τιμές από -1 έως +1. Το πρόσημο της συσχέτισης υποδεικνύει την κατεύθυνση της σχέσης των δύο μεταβλητών (αν αυξάνονται ή μειώνονται μαζί ή το αντίστροφο)



Εικόνα 48: Απεικόνιση για έναν πειραματόανθρωπο της 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. Στην εικόνα απεικονίζονται για λόγους καθαρότητας μόνο οι σημαντικές τιμές του συντελεστή ( $r_{\text{val}} > 0.1$ ).

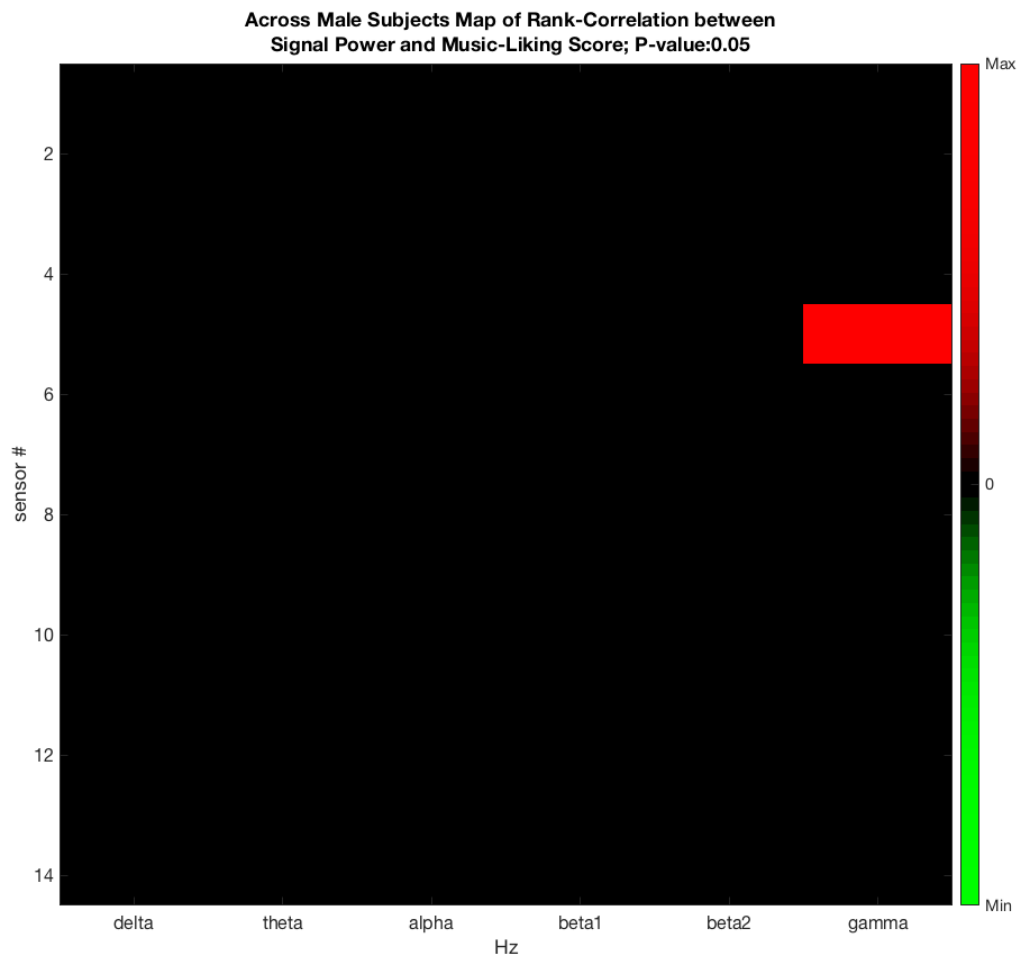
Στη συνέχεια, για το σύνολο των συμμετεχόντων, υπολογίστηκε κατά μήκος της κλίμακας του εύρους συχνοτήτων και για κάθε ηλεκτρόδιο ο ‘καθολικός’ συντελεστής συσχέτισης Spearman της ισχύος των EEG σημάτων με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης των τραγουδιών που ακούστηκαν και απεικονίζεται στην Εικόνα 49. Εκεί παρατηρούμε ότι στο αριστερό κροταφικό ηλεκτρόδιο (5:T3) οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι σημαντικά ( $r_{\text{val}} > 0.1$ ) θετικές για τις γρήγορες ταλαντώσεις του EEG σήματος (κυρίως για τιμές μεγαλύτερες των  $32^{\text{Hz}}$ ).

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



Εικόνα 49. 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 βαθμολόγησης της μουσικής προτίμησης όλων των πειραματιζομένων 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 50. Αντίστοιχα με την Εικόνα 49 παρατηρούμε ότι στο αριστερό κροταφικό ηλεκτρόδιο (5:T3) οι τιμές του δείκτη συσχέτισης είναι στατιστικώς σημαντικές ( $p_{\text{val}} > 0.05$ ) θετικές για τα ‘γρήγορα’ εγκεφαλικά κύματα του ρυθμού  $\gamma$ .



Εικόνα 50: Απεικόνιση της ‘καθολικής’ συσχέτισης της ισχύος του EEG σήματος, σε κάθε ηλεκτρόδιο (1:AF3,...,14:AF4) και για κάθε εγκεφαλικό ρυθμό, με τα σκορ βαθμολόγησης της μουσικής προτίμησης όλων των συμμετεχόντων που συμμετείχαν στο πείραμα. Στην εικόνα απεικονίζονται για λόγους καθαρότητας μόνο οι στατιστικώς σημαντικές τιμές του συντελεστή (pval > 0.05).

## 6.2. Συζήτηση

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματική εργασία είχε ως αποτέλεσμα την εξοικείωση με την ερευνητική βιβλιογραφία στους τομείς της Νευροεπιστήμης, των τεχνικών νευροαπεικόνισης και αναλυτικότερα της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, των φορετών συσκευών EEG των συστημάτων διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή. Πιο σημαντικά όμως, επέτρεψε την εμπειρική εξοικείωση με την επιστημονική έρευνα και την πειραματική διαδικασία πραγματικές συνθήκες. Ειδικότερα, στη διαδικασία της προετοιμασίας των πειραμάτων συναντήθηκαν και οι περισσότερες δυσκολίες. Για παράδειγμα, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην αναζήτηση των εθελοντών, καθώς κρίθηκε απαραίτητη η αναζήτηση ατόμων οι οποίοι έπρεπε να είναι συνεργάσιμοι – ως έμμεση εγγύηση για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Για το σκοπό αυτό

απαιτήθηκε συνεχής επικοινωνία με τους συμμετέχοντες και η κατ'επανάληψη επισκόπηση και διόρθωση της λίστας τους.

Επίσης, δόθηκε ιδιαίτερη μέριμνα στη σαφή ερμηνεία και κατανόηση των όρων του πειράματος από τους συμμετέχοντες. Για παράδειγμα, κάποιοι απ' τους συμμετέχοντες, δυσκολεύτηκαν πολύ να συμπληρώσουν την πρώτη λίστα, καθώς αρχικά συνδύαζαν την πρώτη κατηγορία (δηλαδή βαθμολογία 1) με το αρνητικό συναίσθημα. Με συνεχή επικοινωνία όμως το πρόβλημα αυτό επίσης λύθηκε. Ακόμη, από έναν εκ των συμμετεχόντων εκφράστηκε ο προβληματισμός του ότι κατά διαστήματα οι μουσικές του προτιμήσεις άλλαζαν. Για το λόγο αυτό, φροντίσαμε να διεξάγουμε τις συναντήσεις για την διεξαγωγή των πειραμάτων κατά προτεραιότητα και σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την ολοκλήρωση των λιστών. Τέλος, η αντικειμενική δυσκολία της έλλειψης εμπειρίας στη χρήση των συσκευών EEG και των πειραματικών εφαρμογών, αντιμετωπίστηκε με δοκιμαστικές καταγραφές πριν την έναρξη των πειραμάτων.





Αναφορικά με το πρώτο επίπεδο ανάλυσης των δεδομένων, και στο πλαίσιο της καλύτερης κατανόησης της πειραματικής διαδικασίας, αναζητήθηκε μια αρχικού επιπέδου φασματική συσχέτιση του EEG κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης με τα αντίστοιχα σκορ βαθμονόμησης της μουσικής προτίμησης. Φυσικά η κάθε υλοποίηση περαιτέρω ανάλυσης π.χ. μέσω ενός σχετικού βιοδείκτη (Adamos et al., 2016) είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Παρόλα' αυτά, είναι φανερό η επικράτηση των κυμάτων  $\beta$  και  $\gamma$  οι οποίοι εμπλέκονται στην λειτουργία του βιοδείκτη, καθώς και του ηλεκτροδίου T3 το οποίο παραπέμπει στην ενεργοποίηση του ακουστικού φλοιού στο αριστερό ημισφαίριο.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στο συνδυασμό των συστημάτων BCI με τον κλάδο της μουσικής. Οι συσκευές ηλεκτρογκεφαλογραφίας (EEG), οι οποίες εμφανίστηκαν για ιατρικούς σκοπούς, αρχίζουν πλέον να εκτείνονται και να εισχωρούν στην καθημερινότητά μας. Το χαμηλό κόστος και η φορητότητα/φορετότητα αυτών των συσκευών τις κάνει προσιτές στο καταναλωτικό κοινό. Στο μέλλον, αυτές οι συσκευές πιθανόν θα μας συνοδεύουν στις καθημερινές μας δραστηριότητες. Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η καταγραφή των εγκεφαλικών σημάτων εθελοντών με συσκευές φορετής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και μοντελοποιήθηκαν οι μουσικές τους προτιμήσεις, οι οποίες και κατατάχθηκαν σε τρία βαθμονομημένα επίπεδα. Το ολοκληρωμένο σετ δεδομένων, που αποτελεί και το κύριο αποτέλεσμα της εργασίας, φιλοδοξεί να

συνεισφέρει στην περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον χώρο για τη μελλοντική αξιοποίηση των συσκευών φορητής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας στην πρόβλεψη των μουσικών προτιμήσεων του ακροατή σε συνδυασμό με σύγχρονες διαδικτυακές μουσικές εφαρμογές και υπηρεσίες.



# 7. Παράρτημα Ι – Φορετές Συσκευές EEG

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

	Extender accessory)	Extender accessory)		
<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>DETECTION S</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)	eSense meter for Attention eSense meter for Meditation eSense Blink Detection
<b>SDK</b>	Yes	Yes	Yes	Yes

# 8. Παράρτημα II – Λίστα

## Τραγουδιών

Artist	Song name	Genre
Haroula Alexiou	Mia pista apo fosforo	Greek Folk
Orfeas Peridis	Oloi oi treloi treloi den einai	Greek Folk
Sokratis Malamas	Neraida	Greek Folk
Sokratis Malamas	Prigkipessa	Greek Folk
Orfeas Peridis	Dromologio	Greek Folk
Fillipos Pliatsikas	Poios exei logo stin agapi	Pop Greek
Kostas Makedonas	Katse kala	Greek Folk
Manolis Lidakis	Astra mi me malonete	Greek Folk
Manolis Lidakis	Kai karterw	Greek Folk
Nikos Papazoglou	Ax Ellada s agapo	Greek Folk
Orfeas Peridis	Giati poly s agapisa	Pop Greek
Lavrentis Maxairitsas	Ela psuxoula mou	Pop Greek
Leonidas Mpalafas	Pirosvestiras	Pop Greek
Nikos Vertis	Fige	Folk
Hozier	Take me to church	Pop Greek
Haroula Alexiou	Ola se thimizoun	Greek Folk
Orfeas Peridis	Kati mou kriveis	Greek Folk
Sokratis Malamas	Prospatheis	Greek Folk
Sokratis Malamas	Ta pagia	Greek Folk
Haroula Alexiou	Oi filoi mou charamata	Greek Folk
Sokratis Malamas	Ta frigana	Greek Folk
Sotiria Mpelou	Min mou ksanafugeis pia	Greek Folk
Zervoudakis Dimitris	Varia pota varia tsigara	Greek Folk
Magic de Spell ft. Sokratis Malamas	Emena oi filoi mou einai	Rap Greek
Glikeria	Mexri na vroume ourano	Greek Folk
Giorgos Dimitriadis	San na min perase mia mera	Pop Greek
Orfeas Peridis	Feugo	Folk

Sokratis Malamas	Ta spitia	Greek Folk
Sokratis Malamas	Tsigaro Ateleioto	Greek Folk
Dimitris Zervoudakis	Gramma se enan poiht	Greek Folk
Rihanna	Love on the brain	Pop Electropo
Sia feat. Shia LaBeouf Maddie Ziegler	Elastic Heart	p Electropo
Sia	Move your body	p Greek
Melisses	Ola moiazoun kalokairi	Pop Indie
LP	Lost on you	Rock
PLAYMEN	Stand by me now	Pop
Taylor Swift	Ready for it	Pop
Katy Perry	Hot N Cold	Pop
Florence The Machine	Spectrum	Indie Pop
Dua Lipa feat. Miguel	Lost in your light	Pop
Avicii	You make me	EDM
Katy Perry feat. Kany West	E.T.	Pop Indie
LP	When Were High	Rock Electropo
Sia	Alive	p
Zedd	True Colors	Pop
Adele	Rolling In The Deep	Pop
Dua Lipa	IDFAG	Pop
LP	Strange	Indie pop
Rihanna	Man Down	Pop Electroni
The Chainsmokers Coldplay	Something Just Like This	c
The Weeknd ft. Daft Punk	Starboy	Pop
Calvin Harris feat. EllieGoulding	Outside	Pop
Avicii	Hey Brother	Pop Greek
Natassa Mpofiliou	Me tsigara varia	folk
Lana Del Rey	Young and Beautiful	Pop Greek
Melisses	Den boroume na maste mazi	pop
Lady Gaga	Judas	Pop Electropo
David Gueatta Sia	Flames	p
G - Eazy Hasley	HIM I	Rap-Pop
Katy Perry ft. Juicy J	Dark Horse	Pop
Bon Jovi	Its My life	Rock Greek
Dimitris Mitropanos	Svise to feggari	folk
Hozier	Take Me To Church	Pop Greek
Melisses	Eimai allou	pop Electroni
Avicii	Addicted To You	c
Eminem feat. Ed Sheeran	River	Rap-Pop

Ed Sheeran	Perfect	Pop Greek
Antonis Remos	Espase i nuxta duo kommatia	folk
John Legend	All of Me	Pop
Bruno Mars	Just The Way You Are	Pop
Antonis Remos	Ta spasmena mas kommatia tis kardias	Greek folk
Bruno Mars	Grenade	Pop
Maroon 5	Sugar	Pop Indie
LP	Lost On You	rock Greek
Michalis Xatzigiannis	Den feugo	pop
Robbie Williams	Let Me Entertain You	Pop Greek
Melisses	Ola moiazoun kalokairi	pop Greek
Kostis Maravegias	Pou na vro mia na sou moiazei	pop Greek
Fillipos Pliatsikas	Poios exei logo stin agapi	folk Greek
Dimitris Zervoudakis	Ta aneipota	folk Greek
Konstantinos Argyros	Psemata	folk Greek
Odisseas Tsalkalos	Giati ta matia sou egv exo filisei	folk Greek
Stamatis Kraounakis	Fila me	folk Greek
Lavrentis Maxairitsas	Mou les ta matia sou	folk Greek
Konstantinos Argyros	Paidi Gennaio	folk Greek
Nikos Oikonomopoulos	Pote	folk Greek
Sakis Mpoulas	To flasaki	folk Greek
Dimitris Mitropanos	Na sou leo ela	folk Greek
Michalis Xatzigiannis	Treis zoes	pop Greek
Alkistis Protopsalti	Dithesio	folk
Charlie Puth	I Won't Tell A Soul	Pop
Red Hot Chili Peppers	Can't Stop	Rock
Bob Marley	Get Up Stand Up	Reggae
The Police	Every Breath You Take	Rock
Scorpions	You and I	Rock
Elvis Presley	Its Now Or Never	Rock
Bob Marley	One Love	Reggae
Queen	Somebody To Love	Rock
My Chemical Romance	Blood No One But You (Only The Good Die Young)	Rock Rock
Queen	Young)	Rock
Los Lobos & Gipsy Kings	La Bamba	Rock
R.E.M	Losing My Religion	Rock
Adele	Hiding My Heart	Rock

Bay City Rollers	Bye Bye Baby	Pop Electroni
Rednex	Coton Eye Joe	c
Taylor Swift	Blank Space	Pop
Rihanna	Diamonds	Pop
Westlife	Safe	Pop
Bruno Mars	When I was your Man	Pop Indie
Passenger	The Way That I Need You	rock
Scala Kolancy Brothers	I Touch Myself	Pop
Queen	Too Much Love Will Kill You	Rock
Justin Bieber	Die In Your Arms	Pop
Perfect 10	The Beautiful South	Pop
Elvi Presley	Blue Suede Shoes	Rock
Queen	Who Wants To Live Forever	Rock
ABBA	The Winner Takes It All	Pop
The Beatles	Help	Rock
Weird Al Yankovic	Trigger Happy	Rock
Bon Jovi	It's My Life	Rock
Caro Emerald Jools Holland	Mad About The Boy	Jazz
Aerosmith	Crazy	Rock
Amy Winehouse	He can only hold her	Jazz
Two Feet	I Feel Like Im Drowing	Indie pop
Prince	Purple Rain	Rock
Celine Dion	My Heart Will Go Ons	Pop
Ed Sheeran	Perfect	Pop
Alicia Keys	If I Aint Got You	Pop
Alex Clare	Damn Your Eyes	Soul
Adele	Baby It's You	Pop
Birdy	Wings	Indie pop
Amy Winehouse	You Know Im No Good	Jazz
Aretha Franklin	Chain Of Fools	Soul
Amy Winehouse	Moon River	Jazz
Sam Smith	Stay With me	Pop
Beatles	Let It Be	Rock
Bishop Briggs	River	Pop
Lady Gaga	Million Reasons	Pop
Janis Joplin	Piece of My Heart	Rock
Dolly Parton	Jolene	Country
Amy Winehouse	Rehab	Jazz
Elton John	Your Song	Pop
Aretha Franklin	(You Make Me Feel Like) A Natural Woman	Soul
Red Hot Chili Peppers	Under The Bridge	Pop-rock Greek
Krifa	Mixalis Xatziannis	pop
Nina Simone	Feeling Good	Jazz
Postmodern Jukebox European Tour Version	All About That Bass	Pop

Tori Amos	Lovesong	Rock
Scorpions	Still Loving You	Rock
Ed Sheeran	Make It Rain	Pop
Miltos Pasxalidis	Vuthismenes Agkures	Greek folk
Pantelis Thalassinos	Tifles Elpides	Greek folk
Dimitris Mitropanos	Panta Gelastoi	Greek folk
Alkinoos Ioannidis	Oneiro Itane	Greek folk
Pasxalis Terzis	Paliokairos	Greek folk
Orfeas Peridis	Zilevei I nuxta	Greek folk
Dimitris Mitropanos	Thes	Greek folk
Melina Kana	Aeriko	Greek folk
Pantelis Thalassinos	Anathema se	Greek folk
Vasilis Papakonstantinou	Na koimithoume aggalia	Greek folk
Dimitris Mitropanos	Thalasses	Greek folk
Lizeta Kalimeri	Itane aeras	Greek folk
Antonis Vardis	Tha thela na souna edo	Greek folk
Eleni Vitali	Makria mou na figeis	Greek folk
Ti lathos kano	Giannis Haroulins	Greek folk
Eleni Tsaligopoulou	Den mas sugxoro	Greek folk
Miltos Pasxalidis	Sou tilefwnw	Greek folk
Pasxalis Terzis	O dikos mou o dromos	Greek folk
Eleonora Zouganeli	Apo erwta	Greek folk
Christos Thivaivos	Poso olu s agapisa	Greek folk
Giannis Vardis	Isws	Greek folk
Vicky Moscholiou	To dixti	Greek folk
Dimitris Mitropanos	Diduma Feggaria	Greek folk
Antonis Remos	Duo Psemata	Greek folk
Giannis Haroulis	Xeimonthos	Greek folk
Antonis Remos	Etsi ksafnika	Greek folk
Giannis Kotsiras	To tsgaro	Greek folk
Eleni Tsaligopoulou	Ego s agapisa edo	Greek folk
Kotsiras	Fulakas Aggelos	Greek folk
Alkinoos Ioannidis	Proskinitis	Greek folk

		folk
Bob Marley	Turn Your Lights Down Low	Reggae
Axwell Igrosso	More Than You Know	Electroni
Eric Clapton	Layla	c Rock
Chuck Berry	Run Rudolf Run	Pop
Bob Marley	Is This Love	Reggae
Chuck Berry	Johnny B. Goode	Rock
ARIA	The Point Of No Return	Rock
Adele	Hello	Pop
Billy Idol	White Wedding	Pop-rock
ACDC	Black In Black	Rock
Bon Jovi	Always	Rock
Free	All Right Now	Rock
The Chainsmokers Coldplay	Something Just Like This	Electroni
Bad Company	Cant Get Enough	c Rock
Symphony	Clean Bandit feat. Zara Larsson	Pop
Toto	Hold The Line	Rock
Eric Clapton	Cocaine	Rock
Green Day	Boulevard Of Broken Dreams	Rock
Guns N Roses	November Rain	Rock
Nickelback	Photograph	Rock
SinF@ad OConnor	Nothing Compares 2U	Pop
Adele	Skyfall	Pop
Pretty Maids	Please dont leave me	Rock
Chris Isaak	Wicked Games	Pop
Zedd, Liam Payne	Get Low	Electroni
Pink floyd	Another brick in the wall	c Rock
Prince	Do me baby	Rock
Beatles	Let It Be	Rock
Red Hot Chili Peppers	Cant Stop	Pop-rock
Barracuda	Heart	Rock
Paolo Nutini	No Other Way	Pop
Arctic Monkeys	Suck It And See	Rock
Brett Anderson	Back To You	Pop
Metallica	Enter Sandman	Metal
Janis Joplin	Kozmic Blues	Rock
The Black Keys	Little Black Submarines	Rock
Sixpence None The Richer	Kiss Me	Pop
Pink Floyd	High Hopes	Rock
Fleet Foxes	Helplessness Blues	Indie rock
High Hopes	Kodaline	Indie pop
Dimitris Zervoudakis	Ta aneipota	Greek folk
Radiohead	True Love Waits	Indie rock



Santana ft. Rob Thomas	Smooth	Rock
Tom Waits	Invitation to the blues	Jazz
John Frusciante	Central	Rock
Muse	Plug In Baby	Rock
The Beatless	While My Guitar Gently Weeps	Rock
Tal Bachman	Shes So High	Rock
Velvet Underground	Pale Blue Eyes	Rock
Leadbelly	Goodnight Irene	Rock
Johnny Cash	Hurt	Rock Greek
Pix Lax	Olo m afineis na s afiso	folk
David Bowie	Life On Mars	Rock
Queen	Good Company	Rock
Robbie williams	Me and my monkey	Pop Greek
Miltos Pasxalidis	Persides	folk
Eric Clapton	Wonderful tonight	Rock
Syd Barrett	Octopus	Rock Greek
Marina Satti	Mantissa	pop
Joe Cocker	Night Calls	Rock
Snow Patrol	Chasing Cars	Pop-rock Electroni
Trivecta ft. Miyoki	Labyrinth	c
Rihanna (Hardwell Radio Edit)	Where Have You Been	Pop
Linkin Park	Numb	Rock
Linkin Park	Breaking the Habit	Rock
Thirty Seconds To Mars	The Kill (Bury Me)	Rock
The Weeknd	The Hills	Trap
Linkin Park	What Ive Done	Rock
Green Day	Basket Case	Rock Electroni
Yeah Yeah Yeahs	Heads Will Roll ( A-Track Remix )	c
Reamonn	Supergirl	Pop Electroni
EDEN	Wake Up	c Electroni
MK Becky Hill	Piece of Me	c
Feral Fauna	Tincture	Indie pop Indie
Arctic Monkeys	Do I Wanna Know	rock
Rihanna	Don't Stop The Music	Pop
System Of A Down	Chop Suey	Metal
Thnks fr th Mmrs	Fall Out Boy	Pop-rock
Thirthy Seconds Mars	This is War	Rock
Ed Sheeran	Castle On The Hill	Pop
Ed Sheeran	Photograph	Pop
Evanescence	Call Me When Youre Sober	Rock
Gabrielle Aplin	Home	Rock Greek
Manolis Lidakis	Gia na se sinantiso	folk

thirty Seconds To Mars	Up In The Air	Rock
Post Malone ft. 21 Savage	Rockstar	Rap
Don Omar ft. Tego Calderon	Bandolero	Reggae Greek
Alkinoos Iwannidhs	O Proskinitis	folk
Jason Mraz	Im Yours	Pop Electronic
George Maple	Talk Talk	Electronic Greek
Hat Trick	Aston Xrisavgiti	rap
Hozier	Take Me To Church	Pop Greek
Nikos Ksilouris	I mpalanta tou kir Mentiou	folk Greek
Sokratis Malamas	Neraida	folk Greek
Sokratis Malamas	Prigkipesa	folk
Drake	Get It Together	Rap
Drake	Too good	Rap
Buena Vista Social Club	Chan Chan	Jazz Greek
BootStroke	Allo ena vradi	metal
Bon Jovi	It's my life	Rock
Frank Ocean	Chanel	Pop
Biggie Smalls	Hypnotize	Rock
Dropkick Murphys	Rose Tattoo	Rock
Slayer	South Of Heaven	Metal Greek
Kostas Makedonas	Katse kala	folk
Johny Cash	Personal Jesus	Rock Greek
Maxairitsas	Pethaino gia sena	folk
Nightstalker	Children Of The Sun	Rock
Frank Ocean	Thinkin Bout You	Pop Greek
Giorgos Margaritis	Sto keli 33	folk Greek
Zaharias Kasimatis	Ente la magete Votanik	folk
Haymaker	First to die	Punk Greek
Pissa kai poupoula	Ksipnate pethainw	rap
Drake	Passionfruit	Rap Greek
Mpalafas	Pirosvestiras	pop Greek
Kitrina podilata	Tha paro fora	rap Greek
Paulos Sidiropoulos	O Mpampis o Flou	folk Indie
The Black Keys	Lonely Boy	rock
Drake	Hotline Bling	Pop Greek
Ora miden	Thanatos stous poihtes	metal

# 9.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III –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 ολόκληρου 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!*

# Βιβλιογραφία

- Adamos, D. A., Dimitriadis, S. I., & Laskaris, N. A. (n.d.). Supplementary material of Towards the bio - personalization of music recommendation systems : a single - sensor EEG biomarker of subjective music, 1–7.
- Airas, L., Nylund, M., & Rissanen, E. (2018). Evaluation of microglial activation in multiple sclerosis patients using positron emission tomography. *Frontiers in Neurology*, 9(MAR), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00181>
- Babiloni, C., Vecchio, F., Mirabella, G., Buttiglione, M., Sebastiano, F., Picardi, A., ... Eusebi, F. (2009). Hippocampal, amygdala, and neocortical synchronization of theta rhythms is related to an immediate recall during Rey auditory verbal learning test. *Human Brain Mapping*, 30(7), 2077–2089. <https://doi.org/10.1002/hbm.20648>
- Bensch, M., Karim, A. A., Hinterberger, T., Tangermann, M., Bogdan, M., Rosenstiel, W., & Birbaumer, N. (2007). Nessi : An EEG-Controlled Web Browser for Severely Paralyzed Patients, 2007. <https://doi.org/10.1155/2007/71863>
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward. *Brain Research Reviews*, 28, 309–369. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1982.tb02833.x>
- Bissonette, G. B., & Roesch, M. R. (2017). HHS Public Access, 15(1), 62–73. <https://doi.org/10.1111/gbb.12257.Development>
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Cam-Crest-and-Text.Pdf. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>
- Burkovski, A., Benjamin, H., Raschke, M., & Ertl, T. (2011). TenSeconds - A Collaboration Platform for Distributed Action Painting TenSeconds - A Collaboration Platform for Distributed Action Painting, (May 2014). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33329-3>
- Christine, H., Cindy, A., Krishna, V., Kim, D., & Jaimie, M. (2015). Abstract Objective . One of the main goals of brain-machine interface ( BMI ) research is to restore function to people with paralysis . Currently , multiple BMI design features are being investigated , based on various input modalities ( externally appli.
- De Haan, M., & Thomas, K. M. (2002). Applications of ERP and fMRI techniques to developmental science. *Developmental Science*, 5(3), 335–343. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00373>
- Dhiman, R., Saini, J. S., & Priyanka, A. P. (2010). Artifact Removal From Eeg Recordings--an Overview. *Proc. NCCI*, (March), 1–6. Retrieved from [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/6841785/artifact\\_removal\\_from\\_eeg\\_recordings.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1494451087&Signature=tQhumWWaYzGLEvcQWRgE3NOOrCc%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DARTIFACT\\_REMO](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/6841785/artifact_removal_from_eeg_recordings.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1494451087&Signature=tQhumWWaYzGLEvcQWRgE3NOOrCc%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DARTIFACT_REMO)
- Fabio, B. (1900). Brain Computer Interfaces for communication and control. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 767–791. <https://doi.org/10.3389/conf.fnins.2010.05.00007>
- Files, B. (2011). An introduction to EEG artifacts. *Perception*, (February), 1–67. <https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-281-2.00001-9>
- 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. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(2), 1150–1163. <https://doi.org/10.1121/1.1381538>

- Fukushima, M., Saunders, R. C., Fujii, N., Averbek, B. B., & Mishkin, M. (2014). Modeling vocalization with ECoG cortical activity recorded during vocal production in the macaque monkey. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*, 6794–6797. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6945188>
- Funk, M., & Raschke, M. (n.d.). Brain Painting : Action Paintings based on BCI-Input.
- Gerven, M. Van, Farquhar, J., Schaefer, R. S., & Nijholt, A. (2009). The Brain-Computer Interface Cycle, (September), 4–6. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/6/4/041001>
- Gerven, M. Van, Farquhar, J., Schaefer, R., Vlek, R., Geuze, J., Nijholt, A., ... Desain, P. (2009). The brain-computer interface cycle. *Journal of Neural Engineering*, 6(4), 4–6. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/6/4/041001>
- Gotman, J., & Pittau, F. (2011). Combining EEG and fMRI in the study of epileptic discharges. *Epilepsia*, 52(SUPPL. 4), 38–42. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2011.03151.x>
- Hasselmo, M. E., Bodelón, C., & Wyble, B. P. (2002). A proposed function for hippocampal theta rhythm: Separate phases of encoding and retrieval enhance reversal of prior learning. *Neural Computation*, 14(4), 793–817. <https://doi.org/10.1162/089976602317318965>
- Jasper, H. H. (1958). The Tenn Twenty Electrode System of The International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(58\)90053-1](https://doi.org/10.1016/0013-4694(58)90053-1)
- Koelsch, S. (2005). Investigating emotion with music: neuroscientific approaches. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 412–418. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.034>
- Koelsch, S. (2013). Brain and Music. *Brain and Music*, 6(January), 1–14. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Milekovic, T., Sarma, A. A., Bacher, D., Simeral, J. D., Saab, J., & Pandarinath, C. (2018). Stable long - term BCI - enabled communication in ALS and locked - in syndrome using LFP signals.
- Miranda, Eduardo Reck, Castet, J. (2014). *Guide to Brain- Computer Music Interfacing*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6584-2>
- Miranda, E. R., & Reck, E. (2005). Interfacing the Brain Directly, 38(4), 331–336.
- Moretti, D. V, Paternicò, D., Binetti, G., Zanetti, O., & Frisoni, G. B. (2014). Impairment of the Posterior Part of the Mirror Neurons System in Alzheimer s Disease: Evidence from EEG Biomarkers. *Journal of Alzheimers Disease & Parkinsonism*, 2014(4). <https://doi.org/10.4172/2161-0460.1000153>
- Pauling, L., & Coryell, C. D. (1936). The Magnetic Properties and Structure of Hemoglobin, Oxyhemoglobin and Carbonmonoxyhemoglobin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 22(4), 210–216. <https://doi.org/10.1073/pnas.22.4.210>
- Rao, R. P. N. (2011). *Brain-computer interfacing: An introduction*. *Brain-Computer Interfacing: An Introduction*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139032803>
- Rodrigo, F. C. (2014). Kara : a BCI approach to composition, (September), 350–354.
- 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), 257–264. <https://doi.org/10.1038/nn.2726>

Steriade, M., Contreras, D., Amzica, F., & Timofeev, I. (1996). Synchronization of fast (30-40 Hz) spontaneous oscillations in intrathalamic and thalamocortical networks. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 16(8), 2788–2808. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.16-08-02788.1996>

Teplan, M. (2008). Fundamentals of Eeg Measurement. *Measurement Science Review*, 7(2), 497–503. <https://doi.org/10.1021/pr070350l>

Zanzotto, F. M., & Croce, D. (n.d.). Comparing EEG / ERP-like and fMRI-like Techniques for Reading Machine Thoughts.

Δ.Κουτσοურής, Σ.Παυλόπουλος, Α.Πρέντζα, Εισαγωγή στην βιοϊατρική τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων, Αθήνα 2003.

## Ηλεκτρονικές Πηγές

---

- <http://www.bem.fi/book/13/13.htm>
- <https://www.braininjuryaustralia.org.au/brain-injury-2/brain-brain-injury/>
- <https://dumielauxepices.net/wallpaper-2356613>
- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82\\_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AF%CE%B4%CE%B1>
- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%91%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7\\_%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D\\_%CE%A3%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7_%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D_%CE%A3%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D)
- <https://www.melomind.com/>
- <https://www.neuroscientificallychallenged.com/glossary/brainstem/>
- <https://www.newsbomb.com.cy/perissotera/ygeia/story/679556/anasa-gia-xiliades-astheneis-erxontai-dyo-magnitikoi-tomografoi-sta-nosokomeia-leykosias-kai-lemes>
- <https://nyamcenterforhistory.org/2014/05/01/on-santiago-ramon-y-cajals-162nd-birthday/>
- [https://www.researchgate.net/figure/The-Emotiv-EPOC-and-the-electrodes-location\\_fig1\\_273770100](https://www.researchgate.net/figure/The-Emotiv-EPOC-and-the-electrodes-location_fig1_273770100)
- <https://slideplayer.gr/slide/11840189/>