



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΟΥ
ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΥΣΑΝΘΗ Δ. ΧΟΥΝΤΑΛΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2012



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

ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΥΣΑΝΘΗ Δ. ΧΟΥΝΤΑΛΑ

Συμβουλευτική Επιτροπή : Χρήστος Καψάλης
Παναγιώτης Κωττής
Γεώργιος Φικιώρης

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την2012.

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Φικιώρης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ. Παπαγεωργίου
Αν. Καθηγητής Καπ. Παν.
Αθηνών

.....
Α. Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Δ.Θ. Κακλαμάνη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Γιόβα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....

Χρυσάνθη Δ. Χουντάλα

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

Copyright © Χρυσάνθη Δ. Χουντάλα 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	13
<i>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ</i>	14
<i>ABSTRACT</i>	15
<i>KEYWORDS</i>	15

<i>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</i>	17
-----------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	21
-----------------------	----

<i>1.1 Νευρώνες</i>	23
<i>1.1.1 Δυναμικό Μembrάνης</i>	25
<i>1.1.2 Δυναμικό Ηρεμίας</i>	26
<i>1.1.3 Βαθμωτά Δυναμικά</i>	28
<i>1.1.4 Δυναμικά δράσης (Ενεργά δυναμικά)</i>	28
<i>1.1.5 Μετάδοση των ενεργών δυναμικών</i>	29
<i>1.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα</i>	32
<i>1.2.1 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα</i>	33
<i>1.2.2 Τεχνικές Καταγραφής Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος</i>	34
<i>1.2.2.1 Ηλεκτρόδια Καταγραφής</i>	35
<i>1.2.2.2 Ενισχυτές και Φίλτρα</i>	38
<i>1.2.2.3 Μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό</i>	39
<i>1.2.3 Ρυθμοί του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος</i>	41
<i>1.2.4 Προκλητά Δυναμικά (Evoked Potentials)</i>	43
<i>1.2.4.1 Απομόνωση των προκλητών δυναμικών</i>	44
<i>1.2.4.2 Σημασία των προκλητών δυναμικών στη νευρολογική έρευνα</i>	46
<i>1.3 Βιολογικές επιδράσεις από την έκθεση σε πεδία ραδιοσυχνότητας και επίδραση στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα</i>	50
<i>1.3.1 Χρήση ασύρματου τερματικού εξοπλισμού</i>	51
<i>1.3.2 Εξέλιξη της έρευνας στο θέμα της επίδρασης ακτινοβολίας στην ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία</i>	53
<i>1.4 Περιγραφή πειραματικής διάταξης</i>	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<i>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ EEG ΣΗΜΑΤΟΣ</i>	59
<i>2.1 Πειραματική Διαδικασία</i>	60
<i>2.2 Μετασχηματισμός των δεδομένων</i>	63
<i>2.3 Επεξεργασία δεδομένων μέσω του μετασχηματισμού Fourier</i>	65
<i>2.4 Επεξεργασία ενέργειας EEG υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz</i>	71
<i>2.4.1 Στατιστική Επεξεργασία</i>	71

2.4.1.1 Έλεγχος κανονικής κατανομής	72
2.4.1.2 Έλεγχος ομοιογένειας συνδιακύμανσης	74
2.4.1.3 Εφαρμογή παραμετρικών ελέγχων (Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διασποράς)	76
2.4.3 Αποτελέσματα	77
2.4.4 Συμπεράσματα	83
2.5 Επεξεργασία της ενέργειας των ερωτήσεων του EEG και συμπεράσματα.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ.....	89
3.1 Η έννοια της συσχέτισης.....	91
3.1.2 Εφαρμογή της συσχέτισης στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	92
3.2 Συσχέτιση Ποκνότητας Φασματικής Ισχύος των ρυθμών του EEG.....	93
3.2.1 Συντελεστής Cronbach's alpha	94
3.3 Εφαρμογή του συντελεστή Cronbach's alpha στα δεδομένα των πειραμάτων (υπό και χωρίς την επίδραση των Η.Μ πεδίων συχνότητας 900MHz και 1800MHz)	95
3.3.1 Στατιστική επεξεργασία	96
3.3.2 Αποτελέσματα των συντελεστών άλφα των ενεργειών των ρυθμών του EEG.....	99
3.3.3 Συμπεράσματα	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΈΚΘΕΣΗΣ Η/Μ ΠΕΔΙΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ 900 ΚΑΙ 1800MHz ΣΤΟ ERP.....	107
4.1 Επεξεργασία δεδομένων ERP.....	109
4.1.1 Στατιστική Επεξεργασία	111
4.2 Αποτελέσματα	112
4.2.1 ERPs και επίδραση ακτινοβολίας σε σχέση με το είδος ερεθίσματος	112
4.2.3 ERPs και επίδραση ακτινοβολίας σε σχέση με το φύλο	118
4.3 Ομαδοποίηση των ερωτήσεων του πειράματος και σύγκριση των τιμών των προκλητών δυναμικών	128

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ Wi-Fi ΣΤΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ.....	131
5.1 Πειραματική Διαδικασία.....	133
5.2 Μετασχηματισμός των δεδομένων.....	135
5.3 Στατιστική Επεξεργασία.....	137
5.4 Αποτελέσματα	138
5.4.1 Επίδραση των διαφορετικών τμημάτων του Hayling test	138
5.4.2 Αλληλεπίδραση φύλου και ακτινοβολίας	144
5.5 Συμπεράσματα	150

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	153
6.1 Συμπεράσματα και σημεία στα οποία προάγεται η επιστήμη.....	155
6.2 Προοπτικές για μελλοντική έρευνα	156
Βιβλιογραφικές Αναφορές	159
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	169
Μετασχηματισμός Fourier.....	169
Θεώρημα Parseval	171
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	173
Το ακουστικό ψυχιατρικό test Wechsler	173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	177
Το ψυχιατρικό test Hayling.....	177
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.....	181
Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA)	181
Πολυμεταβλητή Ανάλυση Διακύμανσης (MANOVA)	184
Step down Ανάλυση.....	186
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.....	187
Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των προκλητών δυναμικών υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900 και 1800MHz.....	187
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ	203
P-values των κυματομορφών των προκλητών δυναμικών υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900 και 1800MHz	203

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1. 1 Συνάψεις Νευρώνων	24
Σχήμα 1. 2 Συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων μέσα και έξω από τη μεμβράνη	26
Σχήμα 1. 3 Φάσεις του δυναμικού ενέργειας	29
Σχήμα 1. 4 Διάδοση του ενεργού δυναμικού.....	30
Σχήμα 1. 5 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων και τυπικά ηλεκτρόδια καταγραφής σε μορφή δίσκων.....	35
Σχήμα 1. 6 10-20 σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων	37
Σχήμα 1. 7- Οι βασικοί ρυθμοί (ζώνες συχνοτήτων) του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος.....	42
Σχήμα 1. 8 Εφαρμογή του μέσου όρου για την εμφάνιση των Προκλητών Δυναμικών	45
Σχήμα 1. 9 Τυπική κυματομορφή της χρονοσειράς των προκλητών δυναμικών.	48
Σχήμα 1. 10 Η πειραματική διάταξη που υπάρχει στο χώρο του Αιγινήτειου Νοσοκομείου.....	57
Σχήμα 1. 11 Τοποθέτηση των 30 ηλεκτροδίων καταγραφής EEG στην κεφαλή	57
Σχήμα 2. 1 Χαρακτηριστική κυματομορφή λαμβανομένου εγκεφαλικού σήματος μετά την επεξεργασία των δεδομένων	65
Σχήμα 2. 2 Μέσοι όροι ενέργειας του δέλτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	66
Σχήμα 2. 3 Μέσοι όροι ενέργειας του θήτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	66
Σχήμα 2. 4 Μέσοι όροι ενέργειας του άλφα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	67
Σχήμα 2. 5 Μέσοι όροι ενέργειας του βήτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	67
Σχήμα 2. 6 Μέσοι όροι ενέργειας του δέλτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	68
Σχήμα 2. 7 Μέσοι όροι ενέργειας του θήτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	68
Σχήμα 2. 8 Μέσοι όροι ενέργειας του άλφα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	69
Σχήμα 2. 9 Μέσοι όροι ενέργειας του βήτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	69
Σχήμα 2. 10 Ενδεικτικά διαγράμματα μετασχηματισμένου κατά Fourier EEG σήματος για έναν άντρα και μία γυναίκα απουσία και παρουσία ακτινοβολίας (900MHz και 1800MHz) όπου φαίνονται καθαρά οι κορυφώσεις σε χαρακτηριστικές για τέτοιο σήμα συχνότητες	70
Σχήμα 2. 11 Διαφορές της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες (ενέργεια αντρών μείον ενέργεια γυναικών) παρουσία και απουσία ακτινοβολίας για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Οι αστερίσκοι υποδεικνύουν τα ηλεκτρόδια όπου οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές	82
Σχήμα 2. 12 Ενέργεια EEG για το ηλεκτρόδιο Cz για τα δύο φύλα και τις πειραματικές συνθήκες.	83
Σχήμα 3. 1 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG. καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του δέλτα ρυθμού. υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.	101
Σχήμα 3. 2 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG. καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του θήτα ρυθμού. υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.....	101
Σχήμα 3. 3 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG. καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του άλφα ρυθμού. υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.	102
Σχήμα 3. 4 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG. καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του βήτα ρυθμού. υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.....	102
Σχήμα 3. 5 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ των ενεργειών των ρυθμών θήτα, άλφα και βήτα του EEG. υπολογισμένοι στο μέσο όρο των δεκαπέντε ηλεκτροδίων για κάθε φύλο και συνθήκη H/M πεδίου.	105
Σχήμα 4. 1 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης (δεξιά) της κυματομορφής P50 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον χαμηλό τόνο.	113
Σχήμα 4. 2 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης (δεξιά) της κυματομορφής P50 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον υψηλό τόνο.....	114

Σχήμα 4. 3 Τιμές πλάτους της κυματομορφής N100 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον χαμηλό και υψηλό τόνο.....	117
Σχήμα 4. 4 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης ελαχίστου (δεξιά) της κυματομορφής P200 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσά τους για άντρες και γυναίκες για τα 15 ηλεκτρόδια. Η φορά του βέλους δείχνει στατιστικά σημαντική μείωση ή αύξηση των τιμών.....	119
Σχήμα 4. 5 Σύγκριση πλάτους κυματομορφής P200 ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για όλες τις συνθήκες έκθεσης σε ακτινοβολία για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει στατιστικά σημαντική αύξηση για τις γυναίκες.	120
Σχήμα 4. 6 Σύγκριση του χρόνου εμφάνισης ελαχίστου μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες και τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Το κόκκινο υποδεικνύει ηλεκτρόδια όπου εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικές αύξηση του χρόνου.....	121
Σχήμα 4. 7 Μέση τιμή του πλάτους της κυματομορφής N200 για κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και φύλο για το ηλεκτρόδιο F3. Το βέλος δείχνει στατιστικά σημαντική αύξηση του πλάτους της κυματομορφής.....	122
Σχήμα 4. 8 Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια για τις τρεις συνθήκες έκθεσης σε ακτινοβολία. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει στατιστικά σημαντικές διαφορές.....	123
Σχήμα 4. 9 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης ελαχίστου (δεξιά) της κυματομορφής N400 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσά τους για άντρες και γυναίκες για τα 15 ηλεκτρόδια.....	125
Σχήμα 4. 10 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης μεγίστου (δεξιά) της κυματομορφής P600 για άντρες και γυναίκες σε κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσά τους για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Οι αστερίσκοι υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα.....	127
Σχήμα 4. 11 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P50 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους	129
Σχήμα 4. 12 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P200 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους.....	129
Σχήμα 4. 13 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P300 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους.....	130
Σχήμα 5. 1 Μέσος όρος των κυματομορφών των ERP στο FPz ηλεκτρόδιο για όλες τις μετρήσεις στις τρεις διαφορετικές συνθήκες του Hayling test.	136
Σχήμα 5. 2 Μέσες τιμές του πλάτους της κυματομορφής P300 για τα τρία μέρη του Hayling test στα 30 ηλεκτρόδια.....	139
Σχήμα 5. 3 Μέσες τιμές του πλάτους της κυματομορφής N400 για τα τρία μέρη του Hayling test στα 30 ηλεκτρόδια.....	139
Σχήμα 5. 4 Μέσες τιμές πλάτους του P300 στο ηλεκτρόδιο CP6 για τους άντρες και τις γυναίκες παρουσία και απουσία του σήματος Wi-Fi στη συνθήκη B του Hayling test.	144
Σχήμα 5. 5 Μέσες τιμές πλάτους του N400 στο ηλεκτρόδιο T3 για τους άντρες και τις γυναίκες παρουσία και απουσία του σήματος Wi-Fi στη συνθήκη B του Hayling test.	145
Σχήμα 5. 6 Σύγκριση του πλάτους του P300 (αριστερά) και χάρτες ενεργοποίησης (δεξιά) μεταξύ αντρών και γυναικών παρουσία (επάνω) και απουσία (κάτω) του Wi-Fi σήματος στη συνθήκη B του Hayling test. Το κόκκινο χρώμα δείχνει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων.	147
Σχήμα 5. 7 Σύγκριση του πλάτους του N400 (αριστερά) και χάρτες ενεργοποίησης (δεξιά) μεταξύ αντρών και γυναικών παρουσία (επάνω) και απουσία (κάτω) του Wi-Fi σήματος στη συνθήκη B του Hayling test. Το κόκκινο χρώμα δείχνει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων.	149

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2. 1 Διαδικασία καταγραφής σημάτων κατά την ακουστική δοκιμασία Wechsler	62
Πίνακας 2. 2 Έλεγχος Kolmogorov-Smirnov της κανονικής κατανομής για τις ενέργειες των αντρών για όλους τους ρυθμούς και ηλεκτρόδια.....	74
Πίνακας 2. 3 Έλεγχος Kolmogorov-Smirnov της κανονικής κατανομής για τις ενέργειες των γυναικών για όλους τους ρυθμούς και ηλεκτρόδια.....	74
Πίνακας 2. 4 p-values του ελέγχου ομοιογένειας διακυμάνσεων για το συνολικό δείγμα στις ενέργειες των ρυθμών του EEG για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.....	76
Πίνακας 2. 5 Συγκρίσεις για τον δέλτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές.....	78
Πίνακας 2. 6 Συγκρίσεις για τον θήτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές.....	78
Πίνακας 2. 7 Συγκρίσεις για τον άλφα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές.....	79
Πίνακας 2. 8 Συγκρίσεις για τον βήτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές.....	80
Πίνακας 2. 9 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG (μV^2) για άντρες και γυναίκες απουσία Η/Μ.....	81
Πίνακας 2. 10 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG (μV^2) για άντρες και γυναίκες παρουσία του Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800 MHz.....	81
Πίνακας 2. 11 Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή.....	86
Πίνακας 2. 12 Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή μετά την αποθρομβοποίηση.....	87
Πίνακας 3. 1 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.....	100
Πίνακας 3. 2 Συνολικοί και επιμέρους συντελεστές άλφα για τους άντρες για όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας.....	103
Πίνακας 3. 3 Συνολικοί και επιμέρους συντελεστές άλφα για τις γυναίκες για όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας.....	104
Πίνακας 4. 1 Μορφή του πίνακα στον οποίο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα.....	110
Πίνακας 4. 2 Σύγκριση για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο είδος του ερεθίσματος για το πλάτος του P50. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.....	115
Πίνακας 5. 1 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη A και B του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.....	141
Πίνακας 5. 2 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη A και C του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.....	142
Πίνακας 5. 3 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη B και C του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.....	143
Πίνακας 5. 4 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του P300 συστατικού για άντρες και γυναίκες στις συνθήκες με και χωρίς ακτινοβολία για το μέρος B του Hayling test. Οι p-values σε έντονη γραφή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.....	146
Πίνακας 5. 5 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του N400 συστατικού για άντρες και γυναίκες στις συνθήκες με και χωρίς ακτινοβολία για το μέρος B του Hayling test. Οι p-values σε έντονη γραφή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.....	148

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ασύρματο τερματικό εξοπλισμό στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου. Χρησιμοποιήθηκαν ήδη υπάρχοντα δεδομένα και διεξήχθησαν καινούργια πειράματα για τη συλλογή νέων μετρήσεων με σκοπό τη μελέτη εγκεφαλικών σημάτων παρουσία ακτινοβολίας. Έγινε επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των μετρήσεων με διάφορες μεθόδους για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Αρχικά παρουσιάζεται η δομή των νευρικών κυττάρων και τα δυναμικά που αναπτύσσονται σε αυτά με αποτέλεσμα τη δημιουργία και μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων. Περιγράφεται ο τρόπος καταγραφής του εγκεφαλικού σήματος και αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά του, όπως οι φασματικές συνιστώσες και οι βασικές κορυφώσεις σε σχέση με το χρόνο των προκλητών δυναμικών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία βιβλιογραφική επισκόπηση για την εξέλιξη της έρευνας στο θέμα της επίδρασης ακτινοβολίας στην ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία και περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων.

Αναλύεται η πειραματική διαδικασία στην οποία υπεβλήθησαν συνολικά 39 άτομα, κατά τη διάρκεια δύο πειραμάτων, υπό και χωρίς την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις συχνότητες που λειτουργούν τα κινητά τηλέφωνα (900 και 1800 MHz) καθώς και η οργάνωση των καταγεγραμμένων δεδομένων. Όσον αφορά στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα που καταγράφεται εν ηρεμία γίνεται εφαρμογή του μετασχηματισμού Fourier και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την ενέργεια των φασματικών συνιστωσών του σήματος ύστερα από στατιστική επεξεργασία. Στα μετασχηματισμένα δεδομένα εφαρμόζεται η μέθοδος της συσχέτισης φασματικής ισχύος για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων. Ακολούθως περιγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος στο τμήμα που αφορά στα προκλητά δυναμικά, δηλαδή της δραστηριότητας του εγκεφάλου ύστερα από την έλευση ενός εξωτερικού ερεθίσματος. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας όπου μελετώνται οι διαφοροποιήσεις των κορυφώσεων του σήματος σε σχέση με την επίδραση της ακτινοβολίας καθώς και άλλων παραγόντων (φύση ερεθισμού, φύλο εξετασθέντων, σειρά ερωτήσεων).

Στη συνέχεια περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που διενεργήθηκε για τη συλλογή δεδομένων υπό την επίδραση Wi-Fi σήματος και στην οποία υπεβλήθησαν 30 άτομα. Παρουσιάζεται η επεξεργασία αυτών και αναλύονται αποτελέσματα για το τμήμα του σήματος που αφορά στα προκλητά δυναμικά ως προς την επίδραση ακτινοβολίας, φύλου και ψυχολογικής δοκιμασίας που ακολουθήθηκε.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, προκλητά δυναμικά, μετασχηματισμός Fourier, συσχέτιση φασματικής ισχύος, Wi-Fi, φύλο, Hayling test, Wechsler test, ρυθμοί ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

ABSTRACT

The purpose of the present thesis is to study the effect of electromagnetic radiation from wireless terminal equipment on the electrical brain signals. Existing data were used and new experiments were conducted to collect new measurements in order to study brain signals in the presence of radiation. The measurements were processed and statistical analyzed using various methods for the extraction of results and conclusions.

In the beginning of the thesis, the structure of nerve cells and the potentials developed in them resulting in the creation and transmission of electrical signals are described. The technique that brain signals are captured is presented and the main features, such as spectral components and main peaks in relation to time of evoked potentials are analyzed. Then, literatures review on the evolution of research into the effects of radiation on human brain function is presented and the experimental setups used to collect data are described.

The experimental procedure and the organization and processing of the data are then described. A total of 39 subjects participated in two experiments with and without the influence of electromagnetic radiation of 900 and 1800 MHz. Regarding the resting electroencephalogram, Fourier transformation was applied and the results obtained for the energy of the spectral components of the signal are presented. The transformed data were analyzed using the method of spectral power coherence in order to extract further conclusions. The procedure of processing the evoked related potentials, ie the activity of the brain after the onset of an external stimulus, is then explained. The results of this processing are analyzed illustrating the variation of the signal peaks in relation to the effects of radiation and other factors (type of stimulation, gender, sequence of questions).

In addition the experimental procedure that was conducted to collect data under the influence of Wi-Fi signal, in which 30 people participated, is presented. The EEG data processing is described and results for the evoked related potentials are analyzed concerning the effect of the radiation, the gender and the psychological test that was undertaken.

KEYWORDS

Electromagnetic radiation effect, electroencephalogram (EEG), Event Related Potentials (ERPs), Fourier transform, Spectral Power Coherence (SPC), Wi-Fi, gender, Hayling test, Wechsler test, EEG frequency bands

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία έτη η χρήση ασύρματων δικτύων τηλεφωνίας και δεδομένων έχει εξαπλωθεί. Με την ανάπτυξη αυτών των δικτύων έχει αυξηθεί η ανησυχία του κοινού για τις πιθανές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας στην υγεία του ανθρώπου. Ένα από τα πιθανά βιολογικά συστήματα που μπορεί να έχει επίδραση η έκθεση σε τέτοια πεδία είναι το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ).

Η κατανόηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας αποτελεί πρόκληση για τους επιστήμονες. Το επίπεδο των γνώσεων σε αυτόν τον τομέα έχει αναβαθμιστεί τα τελευταία χρόνια λόγω κυρίως της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Παρά την πρόοδο όμως αυτή η μελέτη του της λειτουργίας του εγκεφάλου και η απόκρισή του στα διάφορα ερεθίσματα αποτελεί ακόμα ένα άγνωστο πεδίο το οποίο απαιτεί αρκετή έρευνα.

Ένα εργαλείο για τη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών είναι το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, δηλαδή η καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων του εγκεφάλου. Το εγκεφαλικό σήμα εξετάζεται τόσο όταν ο εξεταζόμενος βρίσκεται εν ηρεμία όσο και όταν υποβάλλεται σε ειδικές δοκιμασίες. Η αξιόπιστη καταγραφή των σημάτων και η σωστή διεξαγωγή των δοκιμασιών αποτελούν αναγκαίες και ικανές συνθήκες για την περαιτέρω μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών.

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογίας μελέτης της επίδρασης H/M ακτινοβολίας από ασύρματο τερματικό εξοπλισμό στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου. Χρησιμοποιήθηκαν ήδη υπάρχοντα δεδομένα και υλοποιήθηκαν καινούργια πειράματα για την καταγραφή εγκεφαλικών σημάτων παρουσία H/M ακτινοβολίας (GSM, UMTS, Wi-Fi). Έγινε επεξεργασία και σύγκριση των μετρήσεων με μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μελέτη τέτοιων σημάτων και εφαρμόστηκαν νέες μέθοδοι επεξεργασίας. Αναλυτικά η πορεία της διδακτορικής διατριβής περιγράφεται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Στο Κεφάλαιο 1 δίνονται γενικά στοιχεία νευροφυσιολογίας, περιγράφεται η δομή των νευρώνων, ο τρόπος δημιουργίας των δυναμικών στην επιφάνεια των κυττάρων καθώς και τα είδη τους και οι μηχανισμοί μετάδοσής τους από μία διέγερση μέσω των νευρικών κυττάρων. Επίσης παρουσιάζεται η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του εγκεφαλικού σήματος. Στη συνέχεια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των εγκεφαλικών σημάτων και γίνεται αναφορά στη βιολογική τους σημασία. Ακολούθως παρουσιάζονται πιθανές βιολογικές επιδράσεις από την έκθεση σε RF H/M πεδία και γίνεται

βιβλιογραφική αναφορά σε μελέτες που έχουν γίνει για την επίδρασή τους στην ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία. Τέλος περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που υπάρχουν στο Αιγινήτειο νοσοκομείο και το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής (Ε.Π.Ψ.Υ.) για την καταγραφή σημάτων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Στο Κεφάλαιο 2 αρχικά περιγράφονται τα πειράματα που έγιναν για την λήψη δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος υπό την παρουσία Η/Μ πεδίου 900 και 1800MHz. Στη συνέχεια αναλύεται η εφαρμογή του μετασχηματισμού Fourier στα εγκεφαλικά σήματα για τον υπολογισμό της ενέργειάς τους. Περιγράφεται η στατιστική επεξεργασία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται περαιτέρω επεξεργασία της ενέργειας του EEG προκειμένου να καταστεί δυνατός ο έλεγχος και άλλων παραμέτρων των πειραμάτων.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η έννοια της συσχέτισης φασματικής ισχύος για το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και εφαρμόζεται μεθοδολογία εύρεσης της συσχέτισης μέσω του συντελεστή άλφα του Cronbach μεταξύ των ενεργειών των ρυθμών του εγκεφαλογραφήματος. Περιγράφονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της μελέτης που έγινε.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος στο τμήμα που αφορά στα προκλητά δυναμικά υπό την επίδραση ακτινοβολίας ή όχι συχνότητας 900 και 1800MHz. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δεδομένα των πειραμάτων ως προς την έκθεση σε Η/Μ πεδίο, το φύλο και το είδος του διαφορετικού ερεθίσματος για το τεστ που χρησιμοποιήθηκε (Wechsler). Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται κάποια αποτελέσματα περαιτέρω επεξεργασίας των προκλητών δυναμικών έτσι ώστε να εξεταστούν άλλες παράμετροι (εξοικείωση, κόπωση).

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη λήψη των δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος υπό την επίδραση του σήματος Wi-Fi συχνότητας 2.45MHz. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας των προκλητών δυναμικών που προέκυψαν από το πείραμα για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς το φύλο, την επίδραση ακτινοβολίας και τη συνθήκη του ψυχιατρικού τεστ που χρησιμοποιήθηκε (Hayling).

Τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης και η συνεισφορά της στο επιστημονικό πεδίο στο οποίο εντάσσεται. Επίσης γίνεται αναφορά σε μελλοντικές πιθανές προεκτάσεις της παρούσας διατριβής.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους εκείνους που με βοήθησαν είτε άμεσα με την καθοδήγηση είτε έμμεσα με την ηθική στήριξη που μου

προσέφεραν και συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Καψάλη ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να υλοποιήσω αυτή τη διατριβή και να ασχοληθώ ερευνητικά με ένα τόσο ενδιαφέρον για εμένα επιστημονικό αντικείμενο.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Χαράλαμπο Παπαγεωργίου για την ηθική και ουσιαστική βοήθεια που προσέφερε. Ειδικότερα η αγάπη το υ για την επιστημονική έρευνα και οι ιατρικές του γνώσεις αποτέλεσαν σημαντικότερη συνεισφορά ως προς τη σύνδεση των αριθμητικών δεδομένων με τις εγκεφαλικές διαδικασίες. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μιλτιάδη Κυπριανού για τον χρόνο, το ενδιαφέρον και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε στην υλοποίηση της διατριβής. Οι συζητήσεις μαζί του αποτελούσαν πάντα πηγή έμπνευσης ενώ η συμβολή του στη στατιστική επεξεργασία ήταν ουσιαστική.

Ευχαριστώ επίσης τη συνάδελφο Έλενα Νάνου για τη βοήθεια που προσέφερε σε όλη την πορεία της διατριβής καθώς και το Βασίλη Τσιαφάκη για την ηθική στήριξη. Θα ήταν παράλειψη να μην εκφράσω την εκτίμησή μου στα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου για το ευχάριστο και δημιουργικό κλίμα στο οποία συντελούν.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την πολύπλευρη στήριξη που μου προσέφερε να φέρω εις πέρας αυτή τη διατριβή και ιδιαίτερα στον αδερφό μου που με «ανέχτηκε» αυτά τα χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θέμα της επίδρασης της ακτινοβολίας από ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο ανθρώπινο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Αρχικά παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία νευροφυσιολογίας. Περιγράφεται η δομή των νευρικών κυττάρων και ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούνται και μεταδίδονται τα ηλεκτρικά σήματα. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου και ο τρόπος καταγραφής του εγκεφαλικού σήματος. Επίσης παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος. Στη συνέχεια του κεφαλαίου και πριν αναλυθούν τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας και οι διαδικασίες για την εξαγωγή τους γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση ερευνών που ασχολούνται με τις βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας και συγκεκριμένα την επίδρασή της στα εγκεφαλικά δυναμικά. Σκοπός της είναι ο αναγνώστης να παρακολουθήσει τις κατευθύνσεις της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας πάνω στο συγκεκριμένο ζήτημα. Τέλος περιγράφεται η πειραματική διάταξη που υπάρχει στο Αιγινήτειο Νοσοκομείο και το Ε.Π.Ι.Ψ.Υ. από την οποία ελήφθησαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.

1.1 Νευρώνες

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, η παρατήρηση του νευρικού συστήματος με τα μικροσκόπια της εποχής αποκάλυπτε λίγες πληροφορίες σχετικά με την οργάνωση του εγκεφάλου. Οι ερευνητές είχαν παρατηρήσει επιμήκεις λεπτές ίνες μεταξύ των νευρικών κυττάρων και υποστήριζαν ότι οι ίνες αυτές στην πραγματικότητα συνένωναν το ένα κύτταρο με το άλλο, δηλαδή δεν παραδέχονταν ότι τα κύτταρα διαχωρίζονται μεταξύ τους. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, ο Santiago Ramón y Cajal απέδειξε ότι τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους [1].

Ο εγκέφαλος ενός ενήλικου ανθρώπου αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό νευρώνων –περίπου 100 δισεκατομμύρια, σύμφωνα με έναν υπολογισμό από τους Williams και Herrup το 1988 [2]. Αυτά τα δισεκατομμύρια κυττάρων συνεργάζονται για να δημιουργήσουν την ενιαία εμπειρία και τη συντονισμένη, οργανωμένη συμπεριφορά, λειτουργούν παράγοντας ηλεκτρικά σήματα τα οποία μεταδίδονται από το ένα μέρος του κυττάρου στο άλλο και ταυτόχρονα ελκύνοντας βιοχημικές ουσίες (αγγελιοφόρους), για να επικοινωνούν με άλλα κύτταρα [3,4]. Οι περισσότεροι νευρώνες αν και παρουσιάζουν ποικιλία μεγεθών και σχημάτων, αποτελούνται από τρία μέρη:

- το κυτταρικό σώμα (cell body), που συνιστά το κυρίως μέρος του νευρώνα
- τους δενδρίτες (dendrites), λεπτές προσεκβολές του σώματος του νευρώνα, που βρίσκονται σε επαφή μέσω των συνάψεων με τις απολήξεις διαφόρων αξόνων
- τον άξονα (axon), που προχωρεί από το σώμα και καταλήγει στην προσυναπτική μεμβράνη, που συμμετέχει στο σχηματισμό της σύναψης.

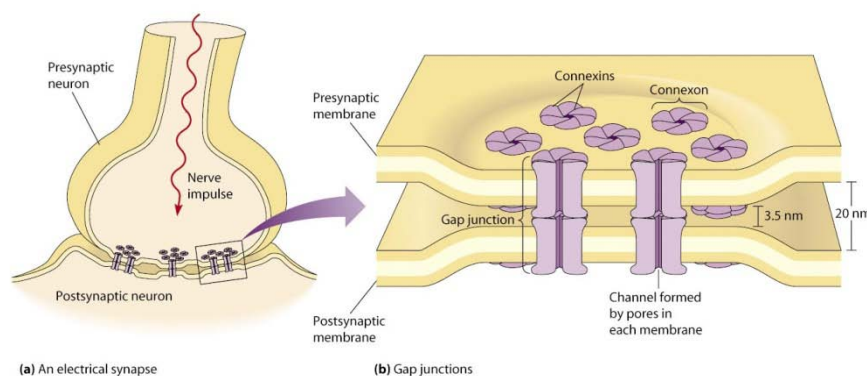
Το κυτταρικό σώμα περιέχει τον πυρήνα, μερικά ριβοσώματα και μιτοχόνδρια, καθώς και άλλα μορφώματα που υπάρχουν στα περισσότερα κύτταρα. Εκεί επιτελείται μεγάλο μέρος της μεταβολικής δραστηριότητας ενός νευρώνα.

Οι δενδρίτες είναι λεπτές διακλαδιζόμενες ίνες, οι οποίες γίνονται μικρότερες καθώς απομακρύνονται από το κυτταρικό σώμα. Στην επιφάνεια των δενδριτών υπάρχουν ειδικές συνδέσεις που ονομάζονται συνάψεις. Μέσω των συνάψεων ο νευρώνας έρχεται σε ηλεκτροχημική επαφή με άλλους νευρώνες για τη μετάδοση σημάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν ενός δενδρίτη τόσο περισσότερες πληροφορίες μπορεί να δεχθεί. Μερικοί δενδρίτες μπορεί να διαθέτουν δενδριτικές ακανθες, δηλαδή μικρές εκφύσεις. Οι ειδικές συνάψεις που σχηματίζονται επί των δενδριτικών ακανθών θεωρείται ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στις διεργασίες της μάθησης και της μνήμης [5].

Ο άξονας αποτελεί μια προέκταση του κυτταρικού σώματος. Το τμήμα του άξονα που βρίσκεται πλησιέστερα στο σώμα του κυττάρου, μαζί με το μέρος του κυττάρου όπου γίνεται η σύνδεση ονομάζεται αρχικό τμήμα. Από αυτό ξεκινούν τα ηλεκτρικά σήματα, που διαδίδονται μακράν του κυττάρου, κατά μήκος του άξονα. Ο άξονας, μπορεί επίσης να εμφανίζει εγκάρσιες διακλαδώσεις, ενώ στις απολήξεις του και στις διακλαδώσεις υπάρχουν περαιτέρω διακλαδώσεις. Κάθε διακλάδωση διογκώνεται στην άκρη της σχηματίζοντας την προσυναπτική απόληξη ή τελικό κομβίο. Αυτό είναι το σημείο από το οποίο ο άξονας απελευθερώνει χημικές ουσίες που διασχίζουν τη σύναψη. Οι άξονες μερικών νευρώνων επικαλύπτονται από ένα μονωτικό υλικό που ονομάζεται έλυτρο μυελίνης, μια λιπώδης μεμβρανική θήκη, η οποία σχηματίζεται από κύτταρα στήριξης, που περιελίσσονται γύρω από τον άξονα. Ο χώρος μεταξύ των κυττάρων της μυελίνης που αποτελείται από μεμβράνη του άξονα, εκτίθεται σε εξωκυττάριο υγρό και ονομάζεται κόμβος του Ranvier (Node of Ranvier) λόγω της ανακάλυψης από το Γάλλο παθολόγο και ανατόμο Louis-Antoine Ranvier. Διάφορα οργανίδια και ουσίες, μετακινούνται από το κυρίως σώμα, κατά μήκος του άξονα και αντιστρόφως, από τις νευρικές απολήξεις προς το σώμα, έτσι ώστε τα διάφορα χημικά σήματα να έχουν τη δυνατότητα να επηρεάζουν τη μορφολογία και βιοχημεία του νευρώνα.

Οι νευρώνες διαιρούνται σε τρεις λειτουργικές κατηγορίες: τους προσαγωγούς, τους απαγωγούς και τους διανευρώνες [6].

Οι προσαγωγοί νευρώνες, μεταφέρουν πληροφορία από τους ιστούς και τα όργανα του κυττάρου στο ΚΝΣ, οι απαγωγοί μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα από το ΚΝΣ προς τους μύες ή τα κύτταρα αδένων και οι διανευρώνες συνδέουν τους απαγωγούς και προσαγωγούς νευρώνες. Οι προσαγωγοί νευρώνες, βρίσκονται στη μεγαλύτερη απόσταση από το ΚΝΣ και έχουν υποδοχείς στα άκρα του κυττάρου που επάγουν τα ηλεκτρικά σήματα, αποκρινόμενοι σε διάφορες φυσικές ή χημικές μεταβολές του περιβάλλοντος.



Σχήμα 1. 1 Συναψεις Νευρώνων

Οι άξονες των νευρώνων, σχηματίζουν τα νεύρα του περιφερειακού νευρικού συστήματος. Οι διανευρώνες βρίσκονται απολύτως μέσα στο ΚΝΣ, αποτελούν το 99% όλων των νευρώνων

Το κυτταρικό σώμα και οι δενδρίτες των απαγωγών βρίσκονται μέσα στο ΚΝΣ, αλλά οι άξονες τους εκτείνονται στην περιφέρεια. Οι

και έχουν ποικίλα σχήματα, χημεία και λειτουργίες. Σε κάθε προσαγωγό νευρώνα που εισέρχεται στο ΚΝΣ, αντιστοιχούν 10 απαγωγείς νευρώνες και περίπου 200.000 διανευρώνες.

Η εξειδικευμένη επαφή μεταξύ δύο νευρώνων, όπου ο ένας επηρεάζει τη λειτουργία του άλλου, ονομάζεται σύναψη (synapse). Το σήμα διαδίδεται από τον έναν νευρώνα στον άλλο με τους νευροδιαβιβαστές (βιοχημικοί αγγελιοφόροι). Ο νευροδιαβιβαστής που εκλύεται από τον ένα νευρώνα μεταβάλλει το δέκτη συνδεδεμένος με ένα ειδικό υποδοχέα του. Οι συνάψεις είναι κρίσιμης σημασίας για τους βιολογικούς μηχανισμούς που κρύβονται κάτω από την αντίληψη και τη σκέψη. Παρέχουν επίσης τον τρόπο μέσω του οποίου το νευρικό σύστημα συνδέεται και ελέγχει τα άλλα συστήματα του σώματος. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει έναν τεράστιο αριθμό χημικών συνάψεων (10^{14} έως 5×10^{14} (100-500 τρισεκατομμύρια)) [7]. Συνάψεις δημιουργούνται συνήθως μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή δενδρίτη του δεύτερου, αλλά μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ των δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή και μεταξύ δύο απολήξεων αξόνων. Ένας νευρώνας που άγει σήματα προς μια σύναψη ονομάζεται προσυναπτικός, ενώ νευρώνες που άγουν σήματα μακράν από τη σύναψη ονομάζονται μετασυναπτικοί [8]. Η θεμελιώδης διαδικασία που αποτελεί τη βάση για τη συναπτική μετάδοση είναι το δυναμικό δράσης, ένα ηλεκτρικό σήμα διάδοσης που παράγεται λόγω της ηλεκτρικά ευαίσθητης μεμβράνης του νευρώνα.

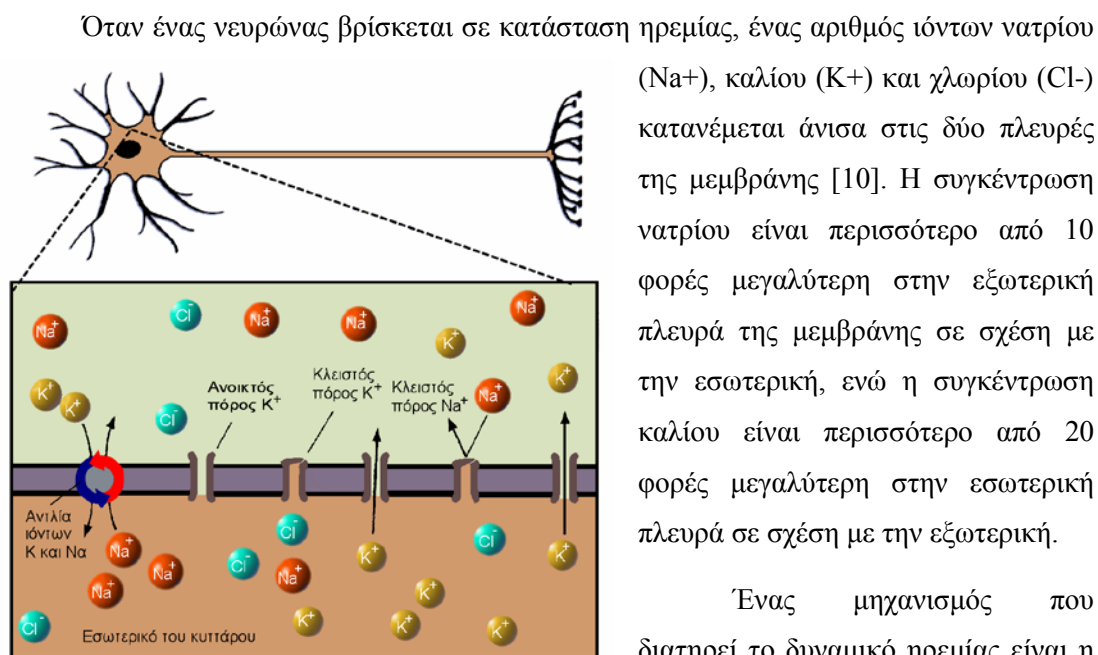
1.1.1 Δυναμικό Μεμβράνης

Το δυναμικό μεμβράνης είναι η διαφορά δυναμικού που παρατηρείται κατά μήκος των πλασματικών μεμβρανών και καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των ιόντων που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτών. Στο μέρος της μεμβράνης που είναι εκτεθειμένο στο κυτταρόπλασμα υπάρχουν αρνητικά φορτισμένα ιόντα (ανιόντα), ενώ στην πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με το εξωκυττάριο υγρό συγκεντρώνεται ποσότητα θετικά φορτισμένων ιόντων (κατιόντα). Το δυναμικό αυτό δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη τη μεμβράνη. Στα νευρικά κύτταρα μια τοπική μεταβολή του δυναμικού συμβαίνει στις συνάψεις [4, 6].

Σε συνθήκες ηρεμίας τα κύτταρα έχουν μία διαφορά δυναμικού (για τους νευρώνες η τιμή κυμαίνεται από -40 έως -75mV), κατά μήκος των μεμβρανών [9]. Στις περισσότερες περιπτώσεις το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικά φορτισμένο ως προς το εξωτερικό. Οι δύο καταστάσεις στις οποίες μπορεί να εισέλθει το δυναμικό της μεμβράνης, κατά τη μεταβολή του από το δυναμικό σε κατάσταση ηρεμίας, είναι η αποπόλωση και η υπερπόλωση. Ο όρος αποπόλωση σημαίνει ότι το δυναμικό είναι λιγότερο αρνητικό από το

δυναμικό ηρεμίας. Αφορά καταστάσεις όπου αντιστρέφεται η πολικότητα της μεμβράνης και το εσωτερικό του κυττάρου γίνεται θετικό. Υπερπόλωση σημαίνει ότι το δυναμικό είναι περισσότερο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας. Όταν μια μεμβράνη επιστρέφει προς την τιμή ηρεμίας, από αποπόλωση ή υπερπόλωση, το φαινόμενο ονομάζεται επαναπόλωση.

1.1.2 Δυναμικό Ηρεμίας



Σχήμα 1. 2 Συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων μέσα και έξω από τη μεμβράνη

σημαίνει ότι κάποια μόρια διαπερνούν πιο εύκολα τη μεμβράνη σε σχέση με κάποια άλλα. Το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, η ουρία και το νερό διασχίζουν ελεύθερα τη μεμβράνη. Μεγαλύτερα ή ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα και μόρια δεν μπορούν να τη διαπεράσουν. Ωστόσο τα ιόντα καλίου, νατρίου και χλωρίου διασχίζουν τη μεμβράνη μέσω διαύλων που διαμορφώνονται σε ειδικές πρωτεΐνες που είναι ενσωματωμένες στη μεμβράνη [11]. Καθένα από τα ιόντα αυτά μεταφέρεται μέσω διαφορετικού καναλιού, τα οποία και ελέγχουν το ρυθμό διέλευσης των ιόντων. Όταν η μεμβράνη βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, οι διάυλοι του καλίου και του χλωρίου επιτρέπουν τη διέλευση ιόντων με μέτριο ρυθμό, ενώ οι διάυλοι του νατρίου είναι κλειστοί περιορίζοντας τη ροή του νατρίου σε πολύ χαμηλό ρυθμό.

Η μεταφορά των ιόντων επιτυγχάνεται με τις ιοντικές αντλίες. Οι ιοντικές αντλίες είναι «ηλεκτρογενετικές» δηλαδή δημιουργούν ανισοκατανομή φορτίου διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης και συμβάλουν στο δυναμικό της. Κάθε αντλία μεταφέρει προς τα έξω τρία μόρια νατρίου, για κάθε δύο μόρια καλίου που εισάγει στο κύτταρο, με αποτέλεσμα να

παρατηρείται πάντα μεταφορά περισσότερων θετικών ιόντων προς τα έξω. Η διαρκής άντληση περισσότερων φορτίων από την εσωτερική προς την εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης οδηγεί τελικά στη δημιουργία του αρνητικού δυναμικού μεμβράνης μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού του κυττάρου. Η αντλία ιόντων νατρίου-καλίου είναι ένα σύστημα ενεργητικής μεταφοράς (απαιτεί ενέργεια), σε αντίθεση με την παθητική μεταφορά ιόντων διαμέσου των διαύλων της μεμβράνης.

Η αντλία ιόντων νατρίου-καλίου μπορεί να δημιουργήσει μόνο μία μικρή ηλεκτρική κλίση ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Η επιλεκτική διαπερατότητα της μεμβράνης αυξάνει κατά πολύ το μέγεθος της διαφοράς. Η δράση της αντλίας ιόντων νατρίου-καλίου δημιουργεί την κλίση συγκέντρωσης για τα ιόντα νατρίου και καλίου, με το νάτριο να βρίσκεται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο εξωτερικό του νευρώνα και το κάλιο στο εσωτερικό του. Επειδή το κάλιο μπορεί να διασχίσει τη μεμβράνη με μέτριο ρυθμό, πολλά από τα ιόντα καλίου που αντλούνται στο εσωτερικό του κυττάρου διέρχονται προς τα πίσω, δηλαδή προς το εξωτερικό του κυττάρου δημιουργώντας ένα θετικό φορτίο. Τα ιόντα νατρίου δεν αντισταθμίζουν αυτή τη ροή εισερχόμενα στο κύτταρο διότι διαπερνούν τη μεμβράνη με πολύ βραδύτερο ρυθμό.

Η συγκέντρωση καλίου είναι αποτέλεσμα εξισορρόπησης ανταγωνιστικών δυνάμεων. Η αντλία ιόντων νατρίου-καλίου μετακινεί ενεργώς ιόντα καλίου στο εσωτερικό του κυττάρου δαπανώντας ενέργεια. Στη συνέχεια τα ιόντα καλίου μεταφέρονται παθητικά από την περιοχή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση προς αυτή με τη μικρότερη. Η ηλεκτρική κλίση επίσης παίζει ρόλο. Επειδή το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικά φορτισμένο σε σχέση με το εξωτερικό τα ιόντα καλίου έλκονται στο εσωτερικό του νευρώνα όπου παραμένουν σε μεγαλύτερο αριθμό από τον αναμενόμενο αν έπαιζε ρόλο μόνο η κλίση συγκέντρωσης.

Παρομοίως, η κλίση συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου είναι αποτέλεσμα της δράσης της αντλίας ιόντων νατρίου-καλίου, η οποία μετακινεί ενεργώς νάτριο έξω από το κύτταρο και της πολύ αργής παθητικής διάχυσης του νατρίου μέσα στο κύτταρο που καθορίζεται τόσο από την κλίση συγκέντρωσης όσο και από την ηλεκτρική κλίση.

Το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση τάσης των Goldman Hodgkin και Katz:

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{P_{Na^+} [Na^+]_o + P_{K^+} [K^+]_o + P_{Cl^-} [Cl^-]_i}{P_{Na^+} [Na^+]_i + P_{K^+} [K^+]_i + P_{Cl^-} [Cl^-]_o} \right)$$

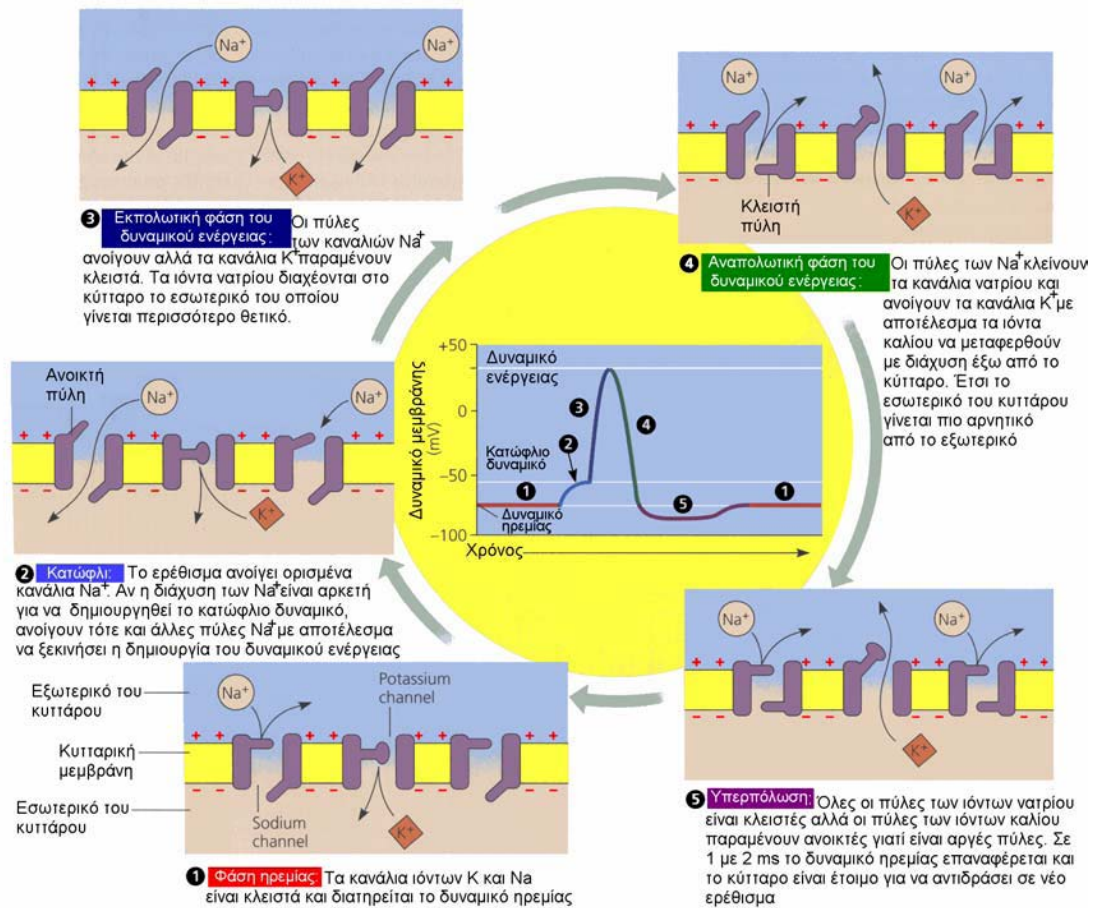
- E_m είναι το δυναμικό μεμβράνης που μετράται σε Volt
- R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων ($8.314 \text{ joules K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)
- T είναι η απόλυτη θερμοκρασία μετρημένη σε βαθμούς Kelvin
- F είναι η σταθερά Faraday ($96.485 \text{ coulombs} \cdot \text{mol}^{-1}$)
- P_X είναι η σχετική διαπερατότητα του ιόντος X σε αυθαίρετες μονάδες (π.χ. Siemens για την ηλεκτρική αγωγιμότητα)
- $[X^{\pm}]_o$ είναι η εξωκυττάρια συγκέντρωση του ιόντος X μετρημένη σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
- $[X^{\pm}]_i$ είναι η ενδοκυττάρια συγκέντρωση του ιόντος X ιόντων μετρημένη σε $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$

1.1.3 Βαθμωτά Δυναμικά

Τα βαθμωτά δυναμικά είναι ένα μέτρο του δυναμικού κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης και είναι ιδιαίτερα σημαντικά στους νευρώνες που εμφανίζουν έλλειψη δράσης. Τα βαθμωτά δυναμικά που αποπολώνουν την μεμβράνη, αυξάνουν δηλαδή το δυναμικό της πάνω από το δυναμικό ηρεμίας είναι σημαντικά ως δυναμικά «σκανδαλισμού» που μπορεί να εξαπλωθούν σε όλη την επιφάνεια των νευρικών κυττάρων και να προκαλέσουν ενεργά δυναμικά. Τα βαθμωτά δυναμικά που υπερπολώνουν την κυτταρική μεμβράνη μειώνοντας το δυναμικό της σε τιμές κάτω από το δυναμικό ηρεμίας, αναστέλλουν τη δημιουργία ενεργών δυναμικών. Τα βαθμωτά δυναμικά μπορούν να προκύψουν είτε σε τμήματα των κυττάρων που λειτουργούν ως αισθητήριοι δέκτες είτε στις συνάψεις και λέγονται αντίστοιχα δυναμικά υποδοχέων και συναπτικά δυναμικά. Είναι υψηλότερα στην πηγή τους, περιορίζονται σε μια μικρή περιοχή αυτής και εξασθενούν μετά από 1-2mm από το σημείο διέγερσης.

1.1.4 Δυναμικά δράσης (Ενεργά δυναμικά)

Τα ενεργά δυναμικά χρησιμοποιούνται κυρίως από το νευρικό σύστημα για την επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων και των μυών καθώς και των αδένων με τους νευρώνες. Σε αντίθεση με τα βαθμωτά δυναμικά, τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι απαραίτητα για τη ζωή καθώς μεταφέρουν πληροφορία ανάμεσα στους ιστούς [12]. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι φάσεις από τις οποίες διέρχεται ένα δυναμικό δράσης:



Σχήμα 1. 3 Φάσεις του δυναμικού ενέργειας

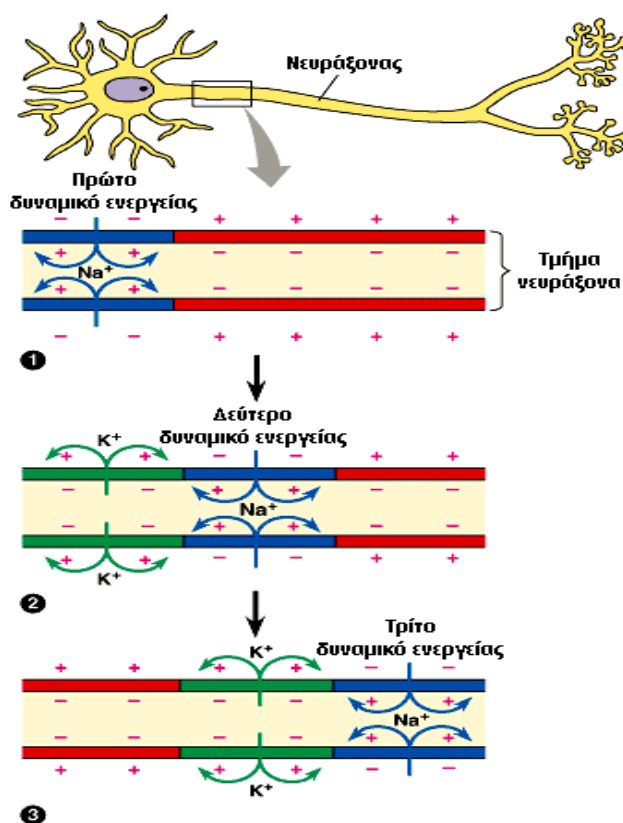
1.1.5 Μετάδοση των ενεργών δυναμικών

Η καθαρή εισροή των θετικών φορτίων που φέρονται από τα ιόντα νατρίου αποπολώνει το δυναμικό της μεμβράνης και οδηγεί στο περαιτέρω άνοιγμα των καναλιών νατρίου. Αυτά τα κανάλια υποστηρίζουν την ανάπτυξη ακόμα μεγαλύτερου ρεύματος προς το εσωτερικό του κυττάρου προκαλώντας την περαιτέρω αποπόλωση, που δημιουργεί έναν κύκλο θετικής ανατροφοδότησης που οδηγεί το δυναμικό της μεμβράνης σε πολύ αποπολωμένο επίπεδο.

Τα ενεργά δυναμικά προκαλούνται όταν μια αρχική αποπόλωση πλησιάζει ένα κατώφλι, περίπου 15 mVolts πάνω από το δυναμικό της μεμβράνης του κυττάρου και εμφανίζεται όταν το προς τα έσω ρεύμα νατρίου υπερβαίνει το προς τα έξω ρεύμα καλίου. Ένα ενεργό δυναμικό, αφού δημιουργηθεί, ενεργοποιεί ένα άλλο σε γειτονική περιοχή της μεμβράνης, μέσω της δημιουργίας ενός τοπικού ρεύματος. Η τοπική ροή ρεύματος είναι αρκετά μεγάλη ώστε να αποπολώσει τη γειτονική περιοχή της μεμβράνης στο δυναμικό κατωφλίου, να επικρατήσει ο κύκλος θετικής ανάδρασης του νατρίου και να δημιουργηθεί

ένα νέο ενεργό δυναμικό σ' αυτή τη θέση. Το νέο ενεργό δυναμικό είναι θεωρητικά ταυτόσημο με αυτό που το προξένησε και παράγει τοπικά ρεύματα από μόνο του, τα οποία αποπολώνουν την περιοχή γύρω από αυτό και δημιουργούν ένα ακόμα ενεργό δυναμικό στη γειτονική περιοχή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια κατά μήκος όλης της μεμβράνης και το ενεργό δυναμικό που φτάνει στο άκρο της μεμβράνης έχει το ίδιο σχήμα με το αρχικό.

Λόγω των τοπικών ρευμάτων που υπάρχουν ανάμεσα σε περιοχές διαφορετικού δυναμικού, ρέει επίσης φορτίο



Σχήμα 1. 4 Διάδοση του ενεργού δυναμικού

προς την αρχική θέση διέγερσης από τις νέες διεγερόμενες γειτονικές περιοχές. Όμως επειδή οι περιοχές της μεμβράνης που έχουν μόλις δεχθεί ένα ενεργό δυναμικό είναι ανενεργές και δεν μπορούν να δεχθούν και άλλο, η μόνη διεύθυνση διάδοσης του ενεργού δυναμικού είναι μακριά από τη περιοχή της μεμβράνης, η οποία έχει πρόσφατα υποστεί ενεργό δυναμικό.

Οι διεγερόμενες μεμβράνες είναι ικανές να άγουν ενεργά δυναμικά προς κάθε κατεύθυνση διάδοσης, η οποία καθορίζεται μάλλον από τη θέση του ερεθίσματος, παρά από κάποια εγγενή ανικανότητα της μεμβράνης να άγει, προς την αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, τα ενεργά δυναμικά σε κύτταρα των σκελετικών μυών ξεκινούν κοντά στο μέσον αυτών των κυλινδρικών κυττάρων και διαδίδονται προς τα δύο άκρα, αλλά στα περισσότερα νευρικά κύτταρα, τα ενεργά δυναμικά ξεκινούν στο ένα άκρο του κυττάρου και διαδίδονται προς το άλλο άκρο.

Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το ενεργό δυναμικό κατά μήκος μιας μεμβράνης εξαρτάται από τη διάμετρο της ίνας και από το εάν ή όχι η ίνα έχει περίβλημα μυελίνης. Όσο μεγαλύτερη η διάμετρος της ίνας, τόσο γρηγορότερη είναι η διάδοση του ενεργού δυναμικού καθώς η μεγαλύτερη ίνα χαρακτηρίζεται από μικρότερη αντίσταση σε τοπικά ρεύματα και κατά συνέπεια, γειτονικές περιοχές της μεμβράνης αποκτούν ταχύτερα την τιμή κατωφλίου.

Τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται πιο γρήγορα σε άξονες με μεγαλύτερη διάμετρο με ταχύτερες που ξεκινούν από 10 και φτάνουν μέχρι 100 μέτρα το δευτερόλεπτο. Ο κύριος

λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η αντίσταση είναι μικρότερη στους άξονες με μεγαλύτερη διάμετρο, λόγω της αύξησης του λόγου της διατομής προς την επιφάνεια της μεμβράνης. Έτσι λόγω της μικρής αντίστασης της μεγαλύτερης ίνας σε τοπικά ρεύματα, γειτονικές περιοχές της μεμβράνης αποκτούν πιο γρήγορα την τιμή κατωφλίου.

Ο άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα του δυναμικού, είναι η ύπαρξη μυελίνης η οποία είναι μονωτής και καθιστά πιο δύσκολη τη ροή φορτίου ανάμεσα στα τμήματα του ενδοκυτταρικού και του εξωκυτταρικού υγρού. Η ύπαρξη λοιπόν της μυελίνης σε ορισμένα τμήματα της μεμβράνης παρεμποδίζει τη παρουσία ενεργών δυναμικών, με αποτέλεσμα τα ενεργά δυναμικά να υφίστανται μόνο όταν το περίβλημα της μυελίνης διακόπτεται στους κόμβους του Ranvier.

Λόγω αυτού του γεγονότος, στους άξονες που επικαλύπτονται από μυελίνη τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται με μια διαδικασία που ονομάζεται αλματώδης αγωγιμότητα ή διάδοση με άλματα (salutatory conduction) κατά την οποία τα δυναμικά αναπηδούν από κόμβο σε κόμβο κατά μήκος του άξονα. Η διάδοση με άλματα αυξάνει την ταχύτητα διάδοσης των δυναμικών γεγονός πολύ σημαντικό για τους οργανισμούς, γιατί με αυτό τον τρόπο δεν είναι αναγκαία η αυξημένη διάμετρος του άξονα, οπότε οι οργανισμοί δεν χρειάζονται μεγάλα νευρικά συστήματα για να λειτουργήσουν. Όσον αφορά την ταχύτητα διάδοσης σε άξονες ίδιας διαμέτρου, είναι μεγαλύτερη στους άξονες που περιβάλλονται από μυελίνη λόγω του ότι λιγότερο φορτίο διαρρέει προς τα έξω μέσω του τμήματος της μεμβράνης που έχει περίβλημα μυελίνης. Άρα σε δεδομένη χρονική στιγμή φτάνει περισσότερο φορτίο στο γειτονικό κόμβο, με αποτέλεσμα ο κόμβος αυτός να αποπολώνεται γρήγορα και να υφίσταται συντομότερα ένα ενεργό δυναμικό σε σχέση με τους άξονες χωρίς μυελίνη [13, 14].

1.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Η ανίχνευση, καταγραφή και περαιτέρω ανάλυση των βιοηλεκτρικών σημάτων τα οποία παράγονται από τα νευρικά κύτταρα, καθώς επίσης η ερμηνεία των μηχανισμών που υπόκεινται σε αυτά, συνιστούν το πεδίο έρευνας της Νευροφυσιολογίας. Η χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEΓ - EEG) στη Νευρολογία είναι ευρύτατη, καθώς αποτελεί μια μέθοδο φθηνή, μη επεμβατική και απλή στην εφαρμογή της. Από τη μελέτη του EEG μπορούν να εξαχθούν εξαιρετικά χρήσιμα συμπεράσματα για τη σωστή εξέλιξη του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος ενός ανθρώπου από τη γέννηση του έως την ενηλικίωση. Επίσης, το EEG μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία στην περίπτωση εγκεφαλοπαθειών και αποτελεί το κύριο μέσο για τη μελέτη του ύπνου.

Η πρώτη καταγραφή ηλεκτρικών σημάτων από μυϊκά νεύρα χρησιμοποιώντας ένα γαλβανόμετρο έγινε από τους Carlo Matteucci (1811-1868) και Emil Du Bois-Reymond (1818-1896) οι οποίοι και εισήγαγαν την έννοια της νευροφυσιολογίας. Το 1875 ο Richard Caton (1842-1926) χρησιμοποίησε ένα γαλβανόμετρο και τοποθέτησε δύο ηλεκτρόδια στο κρανίο ενός ανθρώπου και κατέγραψε για πρώτη φορά την εγκεφαλική λειτουργία σε μορφή ηλεκτρικών σημάτων [15]. Αυτός που ανακάλυψε την ύπαρξη ανθρώπινων ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων ήταν ο Hans Berger (1873-1941). Άρχισε τη μελέτη του ανθρώπινου ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος το 1920 και το 1929 έκανε την πρώτη αναφορά καταγραφής ανθρώπινου ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος διάρκειας ενός έως τριών λεπτών σε φωτογραφικό χαρτί. Επίσης εισήγαγε τον άλφα ρυθμό ως βασική συνιστώσα του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος [16]. Ο πρώτος ενισχυτής βιολογικών σημάτων για την καταγραφή εγκεφαλικών σημάτων κατασκευάστηκε από τον Toennies (1902-1970), ενώ το 1932 κατασκευάστηκε ένας διαφορικός ενισχυτής για την καταγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος από το ίδρυμα Rockefeller. Η σημασία της λήψης ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος με χρήση πολλαπλών ηλεκτροδίων για την κάλυψη μίας ευρείας επιφάνειας της κεφαλής αναγνωρίστηκε από τον Kornmuller [17]. Τέλος πρωτοπόρος στην κλινική εγκεφαλογραφία ήταν ο W. Gray Walter, ο οποίος ασχολήθηκε με την εγκεφαλική δραστηριότητα του δέλτα ρυθμού και τη συσχέτισή της με τη διάγνωση εγκεφαλοπαθειών.

Οι λειτουργικές και φυσιολογικές μεταβολές στο εσωτερικό του εγκεφάλου μπορούν να εντοπιστούν και με τη χρήση άλλων τεχνικών όπως MEG (Magnetoencephalogram) ή fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging). Η χρήση του EEG όμως παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σχέση με την εφαρμογή του fMRI ή του MEG:

- Η χρονική ακρίβεια της ακολουθίας εικόνων που λαμβάνονται με fMRI είναι αρκετά χαμηλή (κατά προσέγγιση 2 frames/s), ενώ δεν υπάρχουν τέτοιοι περιορισμοί με τη χρήση σημάτων EEG ή MEG.
- Αρκετές μορφές νοητικών λειτουργιών και εγκεφαλικές δυσλειτουργίες δεν μπορούν να καταγραφούν με τη χρήση fMRI λόγω του ότι η επίδρασή τους στο επίπεδο του οξυγονωμένου αίματος είναι αρκετά χαμηλή.
- Η προσβασιμότητα σε συστήματα fMRI και MEG είναι περιορισμένη και δαπανηρή.

Μειονέκτημα ωστόσο αποτελεί το γεγονός ότι η χωρική ανάλυση είναι περιορισμένη λόγω του περιορισμένου αριθμού ηλεκτροδίων που μπορούν να τοποθετηθούν. Έτσι το EEG καταγράφει τη δραστηριότητα μεγάλων ομάδων νευρώνων οι οποίες παράγουν ισχυρότερη ηλεκτρική τάση από αυτήν ενός μεμονωμένου νευρώνα. Επιπρόσθετα το EEG έχει περιορισμένη δυνατότητα λεπτομερειακής ανατομικής απεικόνισης σε σχέση με το fMRI [18].

1.2.1 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα

Η διαρκής πρόκληση ερεθισμάτων και η αντίδραση σε αυτά, αποτελεί ένα είδος συστήματος επεξεργασίας πληροφοριών, η λειτουργία του οποίου έχει ως αποτέλεσμα ηλεκτρικές μεταβολές. Η μέτρηση αυτών των μεταβολών είναι δυνατή επειδή ο εγκεφαλικός ιστός, οι μήνιγγες, το κρανίο και το δέρμα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, παρά το γεγονός ότι η πολυπλοκότητα του εγκεφάλου δεν επιτρέπει απλουστεύσεις, το χημικό αντίστοιχο της μεμβράνης ενός νευρώνα με τα κανάλια ιόντων πάνω σε αυτή είναι δυνατόν να δρα ώστε να μετασχηματισθεί σε ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα. Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αποτελεί καταγραφή διαφορών δυναμικού με ηλεκτρόδια προσαρμοσμένα στο τριχωτό της κεφαλής, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας του εγκεφάλου [19, 20] και είναι το διάγραμμα μεταβολής της ηλεκτρικής τάσης του εγκεφάλου με το χρόνο.

Ανιχνεύοντας και καταγράφοντας από το EEG του ανθρώπου και στη συνέχεια αναλύοντας τα ηλεκτρικά αυτά σήματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν διακυμάνσεις των δυναμικών της μεμβράνης των κυττάρων του εγκεφάλου, λαμβάνονται έμμεσες αλλά ουσιαστικές πληροφορίες για τη λειτουργία του εγκεφάλου.

Τα σήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος χαρακτηρίζονται από:

- τη συχνότητα τους

- το δυναμικό ή "εύρος"
- τη μορφή τους
- την περιοχή επιφάνειας του κρανίου από όπου συλλέγονται
- τις φυσιολογικές ή παθολογικές συνθήκες που τα συνοδεύουν

Τα μετρούμενα ηλεκτρικά σήματα είναι ασθενή και κυμαίνονται από περίπου 1 μV ως 100 μV . Για το λόγο αυτό απαιτείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενίσχυση των υπό εξέταση σημάτων, καθώς και πυκνότερη κάλυψη του κεφαλιού με απαγωγά ηλεκτρόδια. Με αυτόν τον τρόπο θεωρείται ότι θα υπάρχει μία ουσιαστική απεικόνιση της επιθυμητής προς μελέτη εγκεφαλικής δραστηριότητας. Στη συνέχεια αναλύονται οι τεχνικές καταγραφής του EEG.

1.2.2 Τεχνικές Καταγραφής Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Οι μετρήσεις EEG περιλαμβάνουν σύστημα καταγραφής που αποτελείται από:

- Ηλεκτρόδια
- Ενισχυτές με φίλτρα
- Μετατροπείς A/D
- Σύστημα καταγραφής

Τα ηλεκτρόδια «διαβάζουν» το σήμα από την επιφάνεια της κεφαλής, οι ενισχυτές ενισχύουν το σήμα που είναι σε microvolt σε επίπεδα που να μπορεί να ψηφιοποιηθεί με ακρίβεια, οι μετατροπείς αλλάζουν το σήμα από αναλογικό σε ψηφιακό και ένας υπολογιστής αποθηκεύει και εμφανίζει τα δεδομένα που καταγράφονται.

Η καταγραφή της δραστηριότητας του εγκεφάλου από την κεφαλή είναι δυνατή μέσω της μέτρησης των πιθανών αλλαγών στο χρόνο με τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια που καταγράφουν το σήμα (ενεργά ηλεκτρόδια) και τα ηλεκτρόδια αναφοράς [21]. Ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο – το ηλεκτρόδιο γείωσης – χρειάζεται για καταγραφή της διαφορικής τάσης που γίνεται αφαιρώντας τις ίδιες διαφορές δυναμικού που παρουσιάζονται στα ενεργά ηλεκτρόδια και τα ηλεκτρόδια αναφοράς. Οι ελάχιστες απαιτήσεις για μέτρηση EEG από ένα κανάλι είναι ένα ενεργό ηλεκτρόδιο, ένα ηλεκτρόδιο (ή δύο ειδικά ενωμένα) αναφοράς και ένα ηλεκτρόδιο γείωσης. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διατάξεις με πολλαπλό αριθμό καναλιών καταγραφής που μπορούν να φτάσουν τα 128 ή 256 ενεργά ηλεκτρόδια.

1.2.2.1 Ηλεκτρόδια Καταγραφής

Τα ηλεκτρόδια καταγραφής του EEG και η σωστή λειτουργία τους είναι σημαντικά για την απόκτηση δεδομένων που έχουν ακρίβεια και επομένως μπορεί να γίνει χρήση της ερμηνείας τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων, που έχουν μερικές φορές διαφορετικά χαρακτηριστικά. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια σε μορφή δίσκων και κάσκες ηλεκτροδίων.



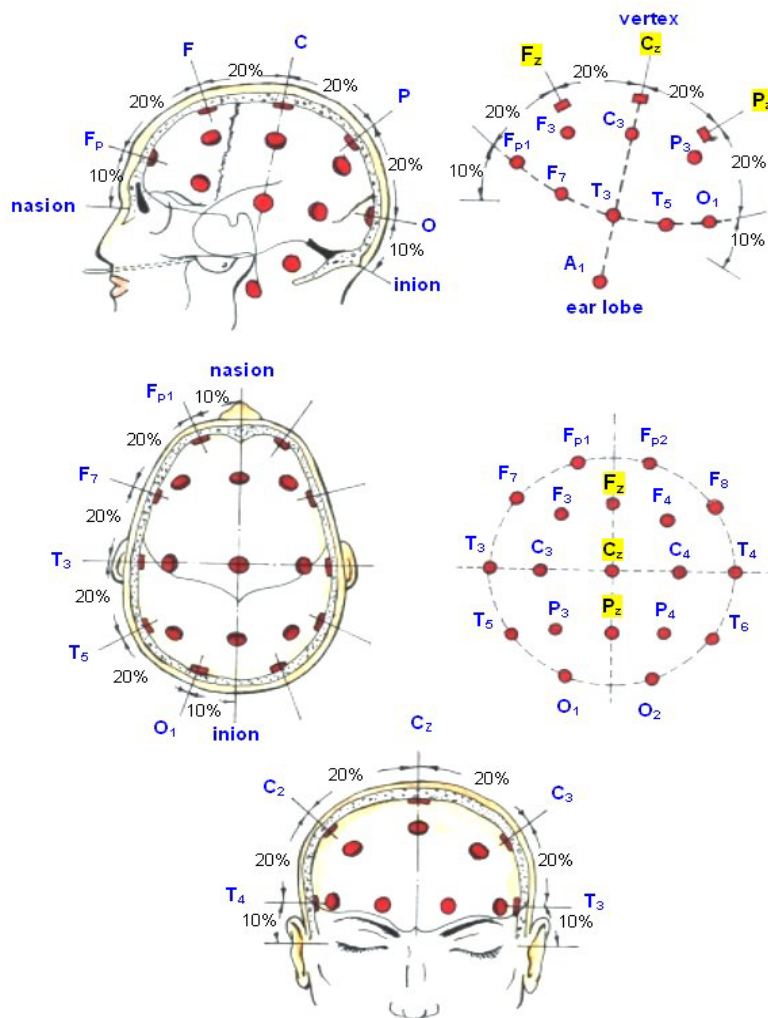
Σχήμα 1. 5 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων και τυπικά ηλεκτρόδια καταγραφής σε μορφή δίσκων

Στα σημεία στα οποία θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια, το δέρμα πρέπει να καθαριστεί από λιπαρές ουσίες και συνήθως εφαρμόζεται αγωγίμο υλικό (σε μορφή gel). Με τον τρόπο αυτό το ηλεκτρόδιο έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με τον υποκείμενο ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Έτσι είναι δυνατή η κίνηση ιόντων μέσω του «συνόρου» ηλεκτροδίου-ηλεκτρολύτη μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η ισορροπία αυτή είναι συνάρτηση της ιοντικής συγκέντρωσης που υπάρχει στις δύο πλευρές του συνόρου. Δημιουργούνται δύο φορτισμένα στρώματα στις δύο πλευρές του συνόρου, ένα στη μεταλλική επιφάνεια και ένα πάνω στις υγρές ουσίες γύρω από το ηλεκτρόδιο, εμφανίζοντας έτσι μια διαφορά δυναμικού η οποία εμποδίζει τη συνέχιση της κίνησης των ιόντων, αλλά είναι ταυτόχρονα ευαίσθητη στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων. Όταν στον εγκέφαλο υπάρξει δραστηριότητα, το σήμα που θα δημιουργηθεί θα προκαλέσει μεταβολή της ιοντικής συγκέντρωσης και αυτόματα μεταβολή της διαφοράς δυναμικού των στρωμάτων, άρα και ροή ηλεκτρονίων από την πλευρά του αγωγίμου ηλεκτροδίου. Είναι επιθυμητό η τάση στο «σύνоро» να επηρεάζεται μόνο από ιοντικά ρεύματα του ανθρώπινου κεφαλιού και όχι από θερμοκρασιακές μεταβολές ή μηχανικές μετακινήσεις των ηλεκτροδίων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν προσδίδεται μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων στα ιόντα της συνοριακής περιοχής. Την απαίτηση αυτή ικανοποιούν ηλεκτρόδια

αποτελούμενα από το συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του. Ένα από τα συνηθέστερα ηλεκτρόδια είναι αυτό που κατασκευάζεται από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) και χρησιμοποιείται με ηλεκτρολύτη που περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου (Cl⁻). Η διάμετρός τους κυμαίνεται από 1mm έως 3mm και είναι έτσι φτιαγμένα ώστε να μπορούν να συνδέονται σε ενισχυτές [22].

Το 1958, η Διεθνής Ομοσπονδία Εγκεφαλογραφίας και Κλινικής Νευροφυσιολογίας (International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology) υιοθέτησε ένα πρότυπο για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο κεφάλι, που ονομάστηκε 10-20 Σύστημα [23]. Το κεφάλι χωρίζεται αναλογικά σε αποστάσεις με βάση σημεία όπως το ινίο ή οι ακουστικοί πόροι για να παρέχει επαρκή κάλυψη όλων των περιοχών του εγκεφάλου. Με αυτόν τον τρόπο οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του κρανίου του εξεταζόμενου. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων επισημαίνονται σύμφωνα με τις εγκεφαλικές περιοχές που βρίσκονται: F (μετωπιαία), C (κεντρικά), T (κροταφικά), P (οπίσθια), and O (ινιακά). Τα γράμματα αυτά συνοδεύονται από μονούς αριθμούς στην αριστερή πλευρά της κεφαλής και από ζυγούς στη δεξιά πλευρά.

Οι διάφορες περιοχές του εγκεφάλου συνδέονται με διαφορετικές λειτουργίες. Κάθε ηλεκτρόδιο τοποθετείται κοντά σε συγκεκριμένα κέντρα, π.χ. το F7 τοποθετείται σε κέντρα για λογικές δραστηριότητες, το Fz σε κέντρα που έχουν να κάνουν με κινητοποίηση ενώ τα C3, C4 και Cz σε κέντρα που ελέγχουν αισθητικές λειτουργίες και λειτουργίες κίνησης. Οι τοποθεσίες κοντά στα ηλεκτρόδια P3, P4 και Pz συνεισφέρουν σε δραστηριότητες αντίληψης και διαφοροποίησης, τα T3 και T4 σε αισθηματικές διαδικασίες ενώ τα T5 και T6 σε συγκεκριμένες λειτουργίες μνήμης. Όμως τα ηλεκτρόδια μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν τις συγκεκριμένες περιοχές του φλοιού επειδή οι ακριβείς τοποθεσίες των ενεργών αυτών πηγών είναι ένα άλλο πρόβλημα λόγω των περιορισμών που προκαλούνται από την ετερογένεια του κρανίου, τις συσχετίσεις μεταξύ των πηγών, κλπ. [24].



Σχήμα 1. 6 10-20 σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων

Η υψηλή αντίσταση μπορεί να οδηγήσει σε αλλοιώσεις οι οποίες να είναι δύσκολο να διαχωριστούν από το πραγματικό σήμα. Μπορεί να επιτρέψει την επαγωγή από εξωτερικές ηλεκτρικές πηγές στα καλώδια που χρησιμοποιούνται ή στο σώμα. Για να αποφευχθούν λοιπόν τέτοιες αλλοιώσεις οι αντιστάσεις σε κάθε ηλεκτρόδιο θα πρέπει να είναι κάτω από 5kΩ. Έλεγχος των αντιστάσεων γίνεται μετά από κάθε μέτρηση.

Το κάθε σήμα το οποίο ενισχύεται στον ηλεκτροεγκεφαλογράφο είναι η διαφορά μεταξύ των δυναμικών που ανά πάσα στιγμή παρουσιάζουν δύο ηλεκτρόδια μεταξύ τους. Ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται «πάνω» από εγκεφαλικές περιοχές, οι οποίες ενδεχομένως θα παρουσιάσουν δραστηριότητα, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε ενεργά σημεία. Αντίθετα, ηλεκτρόδια τοποθετημένα πάνω από περιοχές που θεωρείται ότι δεν έχουν σχέση με εγκεφαλική λειτουργία, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε ανενεργά σημεία. Τέτοια σημεία π.χ. είναι το αυτί ή τα ενωμένα με αγωγίμο δρόμο δύο αυτιά, σημεία του λαιμού, το πόδι, κ.ά.. Διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων αναφοράς αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Κάθε τεχνική έχει τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά της. Η επιλογή των ηλεκτροδίων αναφοράς

μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις εάν δεν υιοθετηθεί σχετικά ουδέτερη περιοχή αναφοράς. Τα ενωμένα ηλεκτρόδια αναφοράς από τα δύο αυτιά μειώνουν την πιθανότητα τεχνητής αύξησης της δραστηριότητας του ενός ημισφαιρίου του εγκεφάλου. Παρ' όλα αυτά η μέθοδος αυτή μπορεί να παρουσιάσει παρεκκλίσεις εάν η ηλεκτρική αντίσταση διαφέρει στα ηλεκτρόδια [25]. Η αναφορά στο Cz ηλεκτρόδιο παρουσιάζει πλεονεκτήματα όταν τοποθετείται στο ενδιάμεσο ενεργών ηλεκτροδίων, αλλά όταν τα ηλεκτρόδια είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους έχει μικρή ακρίβεια.

Με τις σύγχρονες μεθόδους καταγραφής η επιλογή των ηλεκτροδίων γείωσης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη μέτρηση [26], αλλά συνήθως προτιμώνται τοποθεσίες αναφοράς όπως τα αυτιά ή το μέτωπο [27]. Οι συνδυασμοί όλων των ενεργών ηλεκτροδίων με τα ηλεκτρόδια αναφοράς και γείωσης αποτελούν τα κανάλια καταγραφής EEG.

1.2.2.2 Ενισχυτές και Φίλτρα

Τα σήματα χρειάζονται ενίσχυση προκειμένου να οδηγηθούν σε άλλες συσκευές όπως οι μετατροπείς A/D ή για καταγραφή. Το σήμα εισόδου αποτελείται από πέντε συνιστώσες:

- Το επιθυμητό βιοματικό δυναμικό
- Ανεπιθύμητα βιοματικά δυναμικά
- Παρεμβολές από τις γραμμές ρεύματος 50/60Hz και τις αρμονικές τους
- Σήματα παρεμβολών από την επαφή του ιστού με το ηλεκτρόδιο
- Θόρυβο

Έτσι οι ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους σήματα για να είναι επαρκείς πρέπει να ικανοποιούν πολύ συγκεκριμένα κριτήρια. Πρέπει να παρέχουν επιλεκτική ενίσχυση στο σήμα, να απορρίπτουν τον υπερτιθέμενο θόρυβο και σήματα παρεμβολών και να παρέχουν προστασία από αυξομειώσεις τάσεως και ρεύματος για τους ασθενείς αλλά και για τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Κατάλληλος σχεδιασμός του ενισχυτή παρέχει απόρριψη ενός μεγάλου ποσοστού των παρεμβολών στο σήμα. Το επιθυμητό βιοματικό δυναμικό εμφανίζεται ως η διαφορά δύο σημάτων ανάμεσα στις δύο εισόδους του διαφορικού ενισχυτή που συνήθως χρησιμοποιείται σε τέτοιου είδους εφαρμογές.

Το κέρδος του ενισχυτή είναι ο λόγος του σήματος εξόδου προς το σήμα εισόδου. Για να επιτευχθεί βέλτιστη ποιότητα σήματος και επαρκές επίπεδο τάσης έτσι ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία του σήματος, ο ενισχυτής χρειάζεται να παρέχει ένα κέρδος της τάξης του 100-100,000 (για τον καθορισμό του βέλτιστου κέρδους ενίσχυσης

εμπλέκονται και άλλες παράμετροι όπως ο θόρυβος, ο ρυθμός δειγματοληψίας και το εύρος των αναλογισμικών μετατροπών) και πρέπει να μπορεί να συντηρεί το βέλτιστο δυνατό λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) [28]. Για να μειωθεί η επίδραση του θορύβου από το περιβάλλον οι διαφορικοί ενισχυτές πρέπει να έχουν υψηλό λόγο απόρριψης κοινού σήματος (Common Mode Rejection Ratio - CMRR) (τουλάχιστον 100 dB) και υψηλές αντιστάσεις εισόδου (τουλάχιστον 100 MΩ).

Ειδικά θωρακισμένοι θάλαμοι (κλωβοί Faraday ή ανηχοϊκοί θάλαμοι) ελαχιστοποιούν την επίδραση από εξωτερικές ενσύρματες ή ασύρματες ηλεκτρικές συσκευές καθώς επίσης και από τις γραμμές μεταφοράς του ρεύματος. Για συνήθεις ιατρικούς σκοπούς οι θωρακισμένοι θάλαμοι δεν είναι απαραίτητοι, αλλά όταν πρόκειται για ερευνητικούς σκοπούς στους οποίους είναι απαραίτητο το μέγιστο ποσό πληροφορίας η χρήση τέτοιων θαλάμων είναι επιτακτική. Συνήθως οι προς ενδιαφέρον πληροφορίες είναι κάτω από τη συχνότητα των πηγών θορύβου και χρησιμοποιείται ένα βαθυπερατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής κάτω από 50 ή 60 Hz. Αν ενδιαφέρουν και υψηλότερες συχνότητες χρησιμοποιούνται ειδικά φίλτρα, που μπορούν να αποκόψουν μία μικρή ζώνη γύρω στα 50 - 60 Hz.

Στους ενισχυτές υπάρχουν ενσωματωμένα φίλτρα. Ένα υπερπερατό φίλτρο χρειάζεται για τη μείωση των σημάτων χαμηλής συχνότητας που προέρχονται από άλλα ηλεκτρικά βιοματικά δυναμικά του σώματος (αναπνοή, κλπ.), και η συχνότητα αποκοπής του κυμαίνεται από 0.1-0.7Hz. Επίσης χρησιμοποιείται ένα βαθυπερατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής ίση με αυτή της υψηλότερης συχνότητας που ενδιαφέρει να μετρηθεί.

1.2.2.3 Μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Τα αναλογικά σήματα είτε οδηγούνται σε καταγραφική συσκευή και αποτυπώνονται σε χαρτί, σε συμβατικά συστήματα καταγραφής EEG είτε, όπως συνηθίζεται πλέον, μετά από κατάλληλη πολυπλεξία οδηγούνται στον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter), όπου ως ψηφιακά πλέον σήματα λαμβάνονται από τον ηλεκτρονικός υπολογιστή, οπότε υπάρχει η δυνατότητα για ψηφιακή επεξεργασία και απεικόνιση του σήματος, είτε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, είτε σε μεταγενέστερο χρόνο.

Όταν χρησιμοποιούνται υπολογιστές ως συσκευές καταγραφής του σήματος, οι δίαυλοι του αναλογικού σήματος δειγματοληπτούνται συνεχώς σε καθορισμένο χρονικό διάστημα και κάθε δείγμα μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή από έναν μετατροπέα

αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ο μετατροπέας αυτός είναι συνδεδεμένος σε έναν υπολογιστή έτσι ώστε κάθε δείγμα να καταγράφεται στη μνήμη του.

Η ακρίβεια του μετατροπέα καθορίζεται από το μικρότερο πλάτος που μπορεί να διακρίνει. Αυτό λαμβάνεται διαιρώντας το εύρος της τάσης του A/D μετατροπέα με το 2 υψωμένο στη δύναμη του αριθμού των bits του μετατροπέα [22]. Οι A/D μετατροπείς συνήθως χρησιμοποιούν το λιγότερο 12 bits (4,096 επίπεδα τιμών), ενώ συνίσταται ακρίβεια 0.5 μV [29].

Για να είναι δυνατή η αξιόπιστη αναπαράσταση του αναλογικού σήματος από το ψηφιακό θα πρέπει ο ρυθμός ή συχνότητα δειγματοληψίας (sampling rate), δηλαδή ο αριθμός των μετρήσεων ανά sec, να υπακούει σε κάποιους νόμους έτσι ώστε να μην υπάρχει απόκρυψη στοιχείων, δηλαδή απώλεια πληροφορίας, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν το μεσοδιάστημα των παρατηρήσεων είναι μεγάλο. Στον καθορισμό της συχνότητας δειγματοληψίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο 1^{ος} νόμος του Nyquist, ο οποίος ορίζει ότι η συχνότητα της δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα (όχι της συχνότητας που μας ενδιαφέρει). Η εφαρμογή του νόμου του Nyquist αποτρέπει την εμφάνιση του φαινομένου της φασματικής επικάλυψης (aliasing). Για τα βραδέα κύματα είναι ικανοποιητική ακόμη και μια μικρή συχνότητα δειγματοληψίας, για τις αιχμές όμως και τα αιχμηρά στοιχεία είναι αυτονόητο ότι απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας. Όπως γίνεται αντιληπτό, θα πρέπει παράλληλα να αποφεύγεται και η σπατάλη διευθύνσεων μνήμης του υπολογιστή που καταγράφει το σήμα, όπως στην περίπτωση μιας «πυκνής» αλλά μη απαραίτητης (το σήμα δηλαδή θα μπορούσε να περιγραφεί αξιόπιστα και με λιγότερες μετρήσεις) δειγματοληψίας.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του αναλογοψηφιακού μετατροπέα είναι η μέγιστη διακύμανση ή μέγιστο εύρος (fullscale range) δυναμικού, το οποίο καλείται και ευαισθησία, και το οποίο καθορίζει τις ακρότατες (ελάχιστη και μέγιστη) τιμές του δυναμικού εισόδου που μπορεί να χειριστεί ο μετατροπέας χωρίς να αλλοιώσει το σήμα.

Για τις κλινικές εφαρμογές της χαρτογράφησης του ΗΕΓ (όπου οι συχνότητες που ενδιαφέρουν είναι 1-30 Hz) η ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψίας είναι 60 Hz, αλλά καλό είναι η συχνότητα της δειγματοληψίας να ορίζεται τριπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα που περιέχει το σήμα. Στην πράξη λοιπόν η ακρίβεια της δειγματοληψίας και κατ' επέκταση η πιστότητα της αναπαράστασης του αναλογικού σήματος, εξαρτάται από την εκλογή της συχνότητας δειγματοληψίας η οποία στη συνέχεια εξαρτάται από την ακρίβεια και τη διακύμανση του μετατροπέα A/D.

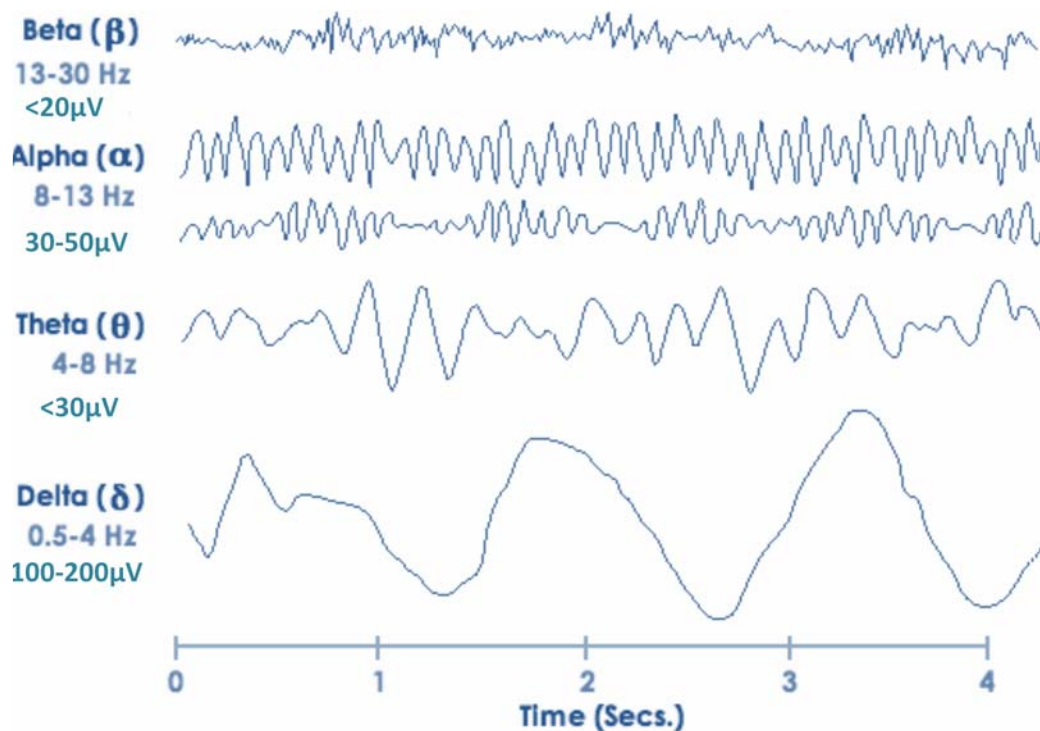
Πριν τη διεξαγωγή των τελικών μετρήσεων πρέπει να γίνεται έλεγχος σε όλη τη διάταξη καταγραφής EEG. Πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση στα ηλεκτρόδια μεταξύ τους με σήματα

που έχουν γνωστές παραμέτρους και να μην υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις. Ο εξωτερικός θόρυβος (αναφορικά με την είσοδο) αποτελείται κυρίως από θόρυβο που προκαλεί το κύκλωμα του ενισχυτή και του αναλογοψηφιακού μετατροπέα. Οι τιμές θα πρέπει να συμμορφώνονται με αυτές των εγχειριδίων των κατασκευαστών, περίπου 0.3-2 μV pp. (εύρος από την αρνητική μέχρι τη θετική κορυφή) αλλά οι τιμές αυτές εξαρτώνται από τον τρόπο υπολογισμού του θορύβου και την όλη διάταξη (ρυθμός δειγματοληψίας, βαθυπερατό φίλτρο, κλπ) [30].

1.2.3 Ρυθμοί του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Η μελέτη του EEG βασίζεται στη διάκριση της ύπαρξης ή μη συγκεκριμένων κυματομορφών, των λεγόμενων ρυθμών, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι οι συχνότητες των αρμονικών από τις οποίες αποτελούνται, δηλ. το φασματικό τους περιεχόμενο. Η κατηγοριοποίηση με βάση τη συχνότητα είναι προσεγγιστική λόγω του γεγονότος ότι ο μεγαλύτερος όγκος της έρευνας στο EEG είχε επιτελεστεί όταν δεν ήταν διαδεδομένη η χρήση ψηφιακών υπολογιστών και οι παρατηρήσεις βασίζονταν στις καταγραφές των δυναμικών πάνω σε βαθμονομημένο καταγραφικό χαρτί [31]. Οι πέντε κυριότεροι ρυθμοί που διακρίνονται από το συχνοτικό εύρος τους είναι οι δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμμα. Οι ρυθμοί άλφα και βήτα παρατηρήθηκαν από τον Berger το 1929. Οι Jasper και Andrews (1938) χρησιμοποίησαν τον όρο γάμμα για να αναφερθούν σε συχνότητες πάνω από 30 Hz. Το 1936 ο Walter εισήγαγε τον δέλτα ρυθμό για όλες τις συχνότητες κάτω από τον άλφα ρυθμό. Επίσης εισήγαγε τα θήτα κύματα για συχνότητες στο εύρος 4–7.5 Hz η έννοια των οποίων καθορίστηκε από τους Wolter και Dovey το 1944 [32]. Με την ακριβέστερη διερεύνηση των σημάτων μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας, οι κατηγορίες των ρυθμών μπορούν να καθοριστούν σαφέστερα και να προστεθούν και άλλες όπως έχει ήδη γίνει (φ, κ, τ, χ, λ) [33, 34].

Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες σχετικές με τα χαρακτηριστικά των ρυθμού πέντε βασικών ρυθμών του EEG.



Σχήμα 1. 7- Οι βασικοί ρυθμοί (ζώνες συχνότητων) του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος

Τα δέλτα κύματα βρίσκονται στην περιοχή 0.5-4 Hz. Σχετίζονται με το βαθύ ύπνο φυσιολογικών ατόμων. Επίσης είναι κυρίαρχα σε νεογέννητα μέχρι το πρώτο έτος της ηλικίας τους και έχουν παρατηρηθεί σε ασθενείς με επιληψία. Έχει συσχετιστεί με την κινητοποίηση φλοιο-υποφλοιωδών κυκλωμάτων και συνδέσεων που υπηρετούν την ανίχνευση-αξιολόγηση του «σήματος» [35, 36]. Τέλος, δραστηριότητες οι οποίες απαιτούν μέγιστη απόδοση μειώνουν το ρυθμό δέλτα όταν απαιτείται μεγάλη προσπάθεια συγκέντρωσης.

Ο θήτα ρυθμός περιλαμβάνει τις συχνότητες 4-7.5 Hz και χαρακτηρίζεται γενικά από χαμηλή δραστηριότητα. Συνδέεται με το υποσυνείδητο τη δημιουργικότητα, τη διαίσθηση, την ονειροπόληση ενώ λειτουργεί και ως «αποθήκη» για την αναμνήσεις, τα συναισθήματα και τις αισθήσεις. Φαίνεται να συνδέεται με μηχανισμούς καταστολής είτε σε φάση χαλάρωσης είτε σε συνδυασμό με τον ρυθμό βήτα σε φάσεις αυξημένης προσοχής. Η έντονη παρουσία του είναι μη φυσιολογική στους ενήλικες που βρίσκονται σε εγρήγορση και θεωρείται ότι προκαλείται από παθολογικά προβλήματα ενώ παίζει σημαντικό ρόλο στην παιδική ηλικία και στα βρέφη. Επίσης η εμφάνισή του κατά τη διάρκεια του ύπνου θεωρείται επίσης φυσιολογική.

Ο ρυθμός άλφα καταλαμβάνει την περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 8 και 12 Hz και υποστηρίζεται ότι αντικατοπτρίζει αυξημένα επίπεδα διεγερσιμότητας στους νευρώνες φλοιϊκών εγκεφαλικών περιοχών που συνδέονται με τη μεταφορά πληροφοριών στα

θαλαμο-φλοιϊκά νευρωνικά κυκλώματα που υπηρετούν και εκφράζουν την λειτουργική μνήμη και τα εγγράμματα μνήμης μακράς διάρκειας [37]. Ο άλφα ρυθμός είναι ο κυρίαρχος ρυθμός της εγκεφαλικής δραστηριότητας. Είναι η πιο συνηθισμένη κατάσταση του εγκεφάλου και παρατηρείται όταν κάποιος βρίσκεται σε εγρήγορση. Πήρε το όνομα του επειδή ήταν ο πρώτος ρυθμός που παρατηρήθηκε από τον Berger.

Ο βήτα ρυθμός απεικονίζει την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου με συχνότητες 12-30 Hz. Είναι ο κυρίαρχος ρυθμός ενός ξύπνιου ατόμου που σχετίζεται με την ενεργή σκέψη, προσοχή, λήψη αποφάσεων ερεθισμάτων από τον εξωτερικό κόσμο ή τη λύση σύνθετων προβλημάτων και υπάρχει σε φυσιολογικούς ενήλικες [38]. Υψηλός βήτα ρυθμός μπορεί να προκύψει όταν το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση πανικού. Είναι πιο έντονος στις μετωπιαίες και κεντρικές περιοχές της κεφαλής ενώ μπορεί να είναι μειωμένος ή απών σε περιοχές όπου ο φλοιός του κρανίου έχει υποστεί βλάβες. Χωρίζεται στον αργό (13-20Hz, <20μV) και ταχύ βήτα ρυθμό (20-30Hz, <20μV) [39].

Οι συχνότητες πάνω από 30Hz (κυρίως μέχρι 45Hz, <20μV) αντιστοιχούν στο γάμμα ρυθμό. Αν και τα πλάτη αυτού του κύματος είναι μικρά και δεν συναντώνται συχνά, η ανίχνευσή τους μπορεί να επιβεβαιώσει ορισμένες εγκεφαλικές δυσλειτουργίες. Εντοπίζεται σε μπροστινές και κεντρικές περιοχές του εγκεφάλου και σχετίζεται με την ανώτερη πνευματική λειτουργία του εγκεφάλου όπως η αντίληψη και κατανόηση θεμάτων, η επίλυση προβλημάτων, ο φόβος και η συνείδηση. Κατά έναν ορισμό ο ρυθμός γάμμα εκδηλώνεται από τα 24Hz και πάνω αν και οι ερευνητές δέχονται ότι διεργασίες κατανόησης υψηλού επιπέδου συμβαίνουν όταν χαμηλής συχνότητας γάμμα ρυθμοί ξαφνικά διπλασιάζονται σε συχνότητες της περιοχής των 40 Hz [40]. Η έρευνα έχει δείξει ότι ο ρυθμός γάμμα είναι παρών κατά τη διαδικασία της αφύπνισης καθώς και κατά τη διάρκεια του ύπνου REM (rapid eye movement).

1.2.4 Προκλητά Δυναμικά (Evoked Potentials)

Προκλητά Δυναμικά – ΠΔ ονομάζονται οι διαφορές δυναμικού που μετρούνται, συνήθως στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού, οι οποίες προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένο γεγονός, το οποίο συμβαίνει είτε στον εξωτερικό φυσικό κόσμο, είτε λαμβάνει χώρα ως ψυχολογική διαδικασία [41, 42]. Τα προκλητά δυναμικά τείνουν να είναι μικρά σε πλάτος, κυμαινόμενα από 1 μVolt (ή και λιγότερο) έως λίγα μVolts, έναντι των δεκάδων μVolts του EEG. Κατά κανόνα επικαλύπτονται τα συγκεκριμένα δυναμικά από

το συμβατικό ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και απαιτούνται κατάλληλες διαδικασίες καταγραφής, ώστε να αναγνωρισθούν και να αποτιμηθούν. Ο κύριος διαχωρισμός των ΠΔ γίνεται ανάλογα με το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που λαμβάνεται:

- Οπτικά προκλητά δυναμικά (*Visual Evoked Potentials – VEP*): Προκαλούνται από οπτικό ερεθισμό, όπως εμφάνιση μιας συγκεκριμένης εικόνας, αλλαγή χρωμάτων, κ.ά..
- Ακουστικά προκλητά δυναμικά (*Auditory Evoked Potentials – AEP*): Προκαλούνται από ακουστικό ερεθισμό, δηλαδή ήχους, λέξεις, τόνους διαφόρων συχνοτήτων και έντασης.
- Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (*Somatosensory Evoked Potentials – SEP*): Προκαλούνται όταν ένα μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικό ρεύμα ερεθίσει κάποιο συγκεκριμένο νεύρο.

Τα ΠΔ μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν σε σχέση με το χρόνο εμφάνισής τους (πρώιμα, μέσα και ύστερα) μετά από το εκλυτικό γεγονός (λανθάνων χρόνος) και οι παράμετροί τους συναρτώνται άμεσα με το είδος του.

Επίσης, τα ΠΔ διακρίνονται σε ενδογενή και εξωγενή:

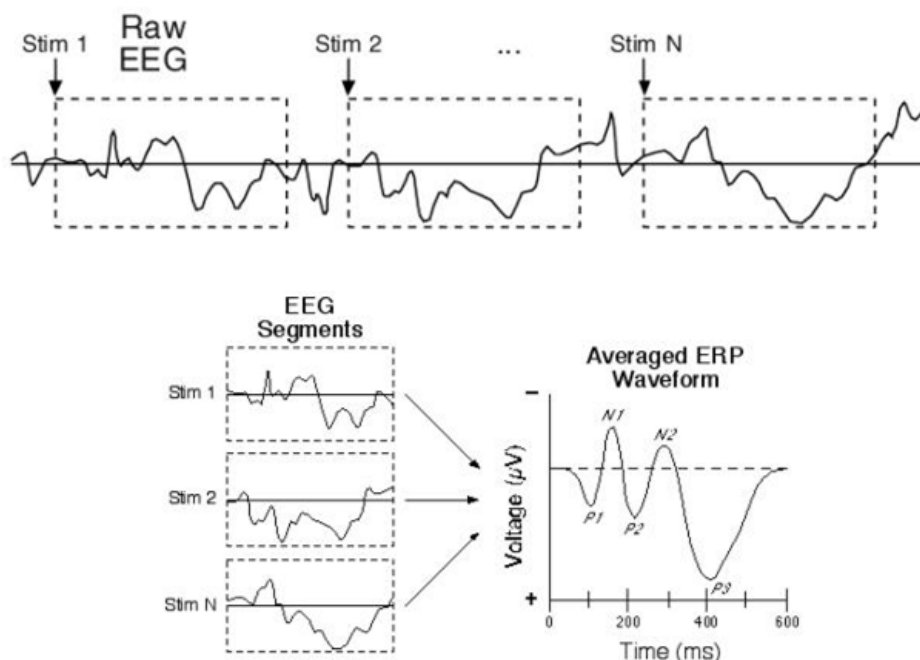
- Τα εξωγενή σχετίζονται άμεσα με τη φύση του εκλυτικού ερεθίσματος και την ακεραιότητα των αισθητικών οδών. Ακολουθούν το ερέθισμα με πολύ μικρό λανθάνοντα χρόνο και δεν έχουν σχέση με την κατάσταση εγρήγορσης του ατόμου.
- Τα ενδογενή ΠΔ εξαρτώνται από την κατάσταση εγρήγορσης του ατόμου και κυρίως από τη σημασία που έχει το εκλυτικό γεγονός για τον οργανισμό τη δεδομένη στιγμή, π.χ. αν είναι γνωστό ή άγνωστο, αν προκαλεί δυσφορία ή ευχαρίστηση κ.ο.κ.. Κατά κανόνα δεν σχετίζονται με τη φύση του ερεθίσματος και ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής τους βρίσκεται συνήθως ανάμεσα στα 100 και 500 msec.

1.2.4.1 Απομόνωση των προκλητών δυναμικών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τιμές του πλάτους των προκλητών δυναμικών είναι μικρές (0.1 ως 20μV) σε σχέση με τα σήματα τα οποία μετρώνται κατά τη διάρκεια του EEG όταν ο εξεταζόμενος βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και τα οποία έχουν ένα πλάτος της τάξης των 50μV. Η μέτρηση των ΠΔ γίνεται με την ίδια διάταξη που χρησιμοποιείται για το EEG. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όμως λειτουργούν εκτός των εγκεφαλικών περιοχών

που δέχονται και επεξεργάζονται το ερέθισμα και όλες οι υπόλοιπες εγκεφαλικές περιοχές οι οποίες ελέγχουν τη γενικότερη λειτουργία του οργανισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το επιθυμητό σήμα που σχετίζεται με την αντίδραση στο ερέθισμα να είναι «κρυμμένο» μέσα στο συνολικό σήμα που καταγράφεται. Το τμήμα του σήματος, το οποίο δε σχετίζεται με το εκλυτικό ερέθισμα, θεωρείται στην περίπτωση αυτή ανεπιθύμητος θόρυβος, του οποίου το σήμα είναι πιο ισχυρό από το επιθυμητό, και αντιστοιχεί στη μέτρηση του EEG αν δεν υπήρχε εκλυτικό γεγονός [43, 44]. Λόγω του ότι ο θόρυβος, δηλαδή το συμβατικό EEG, είναι σαφώς ισχυρότερος από το επιθυμητό σήμα, η μέτρηση των ΠΔ καθίσταται δύσκολη. Αυτός είναι ίσως ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο η μελέτη των ΠΔ άργησε σε σχέση με τη συμβατική ηλεκτροεγκεφαλογραφία. Τα πρώτα ΠΔ που μετρήθηκαν από την εξωτερική επιφάνεια του ανθρώπινου κεφαλιού ήταν τα σωματοαισθητικά δυναμικά, λόγω του ότι είναι πιο ισχυρά. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού (εκτός από τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω όπως η χρήση ενισχυτών μεγάλης ευαισθησίας και η διεξαγωγή των μετρήσεων σε ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένους χώρους) χρησιμοποιείται η εξαγωγή του μέσου όρου (signal averaging) πολλαπλών επαναλήψεων του πειράματος.

Συγκεκριμένα, η λήψη εγκεφαλικού σήματος για τη μέτρηση του επιθυμητού εγκεφαλικού προκλητού δυναμικού επαναλαμβάνεται αρκετές φορές ή το συνολικό σήμα χωρίζεται σε τμήματα μικρότερης διάρκειας (για μέτρηση EEG) [45]. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί το επιθυμητό δυναμικό να αποθρομβοποιηθεί ως ένα βαθμό όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1. 8 Εφαρμογή του μέσου όρου για την εμφάνιση των Προκλητών Δυναμικών

Η συγκεκριμένη μέθοδος αν και εφαρμόζεται αρκετά συχνά παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς. Τέτοιοι περιορισμοί είναι οι μεταβολές στο επίπεδο της κόπωσης, η προσαρμογή, η εξοικείωση, ο βαθμός ή η κατεύθυνση της προσοχής του εξεταζόμενου. Τα παραπάνω επηρεάζουν τα ΠΔ ως προς το πλάτος το εύρος καθώς και το λανθάνοντα χρόνο εμφάνισής τους. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι ο αριθμός επαναλήψεων του πειράματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (συνήθως είναι από 20 έως 50 επαναλήψεις). Επίσης πρέπει να ελέγχεται η κατάσταση του εξεταζόμενου.

Μία άλλη σημαντική παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ο χρόνος μεταξύ των πειραμάτων. Μπορεί να υπάρξουν λανθασμένα συμπεράσματα όταν ο χρόνος μεταξύ των πειραμάτων είναι μικρός και υπάρχει συσχέτιση του θορύβου μεταξύ των μετρήσεων. Τότε με τον υπολογισμό του μέσου όρου ο θόρυβος ενισχύεται ενώ μπορεί η φασματική κατανομή του θορύβου να βρίσκεται γύρω από περιορισμένο εύρος συχνοτήτων, οι οποίες να συμπίπτουν με τις συχνότητες του προκλητού δυναμικού. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό τα σήματα των αλληπάλληλων μετρήσεων χρονίζονται με μη περιοδικό τρόπο ώστε να μειωθεί η συσχέτιση του θορύβου.

Ακόμη κι αν ο θόρυβος είναι λευκός μπορεί να μην ισχύει η πανομοιότυπη αναπαραγωγή του σήματος των προκλητών δυναμικών από μέτρηση σε μέτρηση. Τότε το σήμα που υπολογίζεται με τη μέθοδο του μέσου όρου μπορεί να χάσει μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας σχετικά με το προκλητό δυναμικό, κυρίως ως προς τις κορυφώσεις και το χρόνο εμφάνισής τους. Τότε εφαρμόζονται τεχνικές προσέγγισης κάθε καμπύλης δυναμικού του λανθάνοντος χρόνου και χρονικής μετατόπισης των κυματομορφών των προκλητών δυναμικών, ώστε το προς μελέτη δυναμικό να συμπίπτει όσο το δυνατόν σε όλες, οπότε ο μέσος όρος θα περιέχει τη μέγιστη δυνατή πληροφορία.

1.2.4.2 Σημασία των προκλητών δυναμικών στη νευρολογική έρευνα

Η μελέτη των κυματομορφών των ΠΔ διεξάγεται στηριζόμενη κυρίως στα συστατικά (*components*) του εγκεφαλικού κύματος δυναμικού. Τα συστατικά αυτά είναι τμήματα του συνολικού σήματος, τα οποία καθορίζονται με βάση το πλάτος των κορυφώσεων (αρνητικών ή θετικών) του δυναμικού, τη χρονική στιγμή στην οποία κατά προσέγγιση λαμβάνει χώρα η κορύφωση, καθώς και το χρονικό εύρος το οποίο καταλαμβάνει η μερική κυματομορφή που περιέχει τη συγκεκριμένη κορύφωση [46]. Το πλάτος του συστατικού συνήθως μετράται με αναφορά την ισοηλεκτρική γραμμή (0 Volts), το επίπεδο δυναμικού στην έναρξη της διαδικασίας μέτρησης ή κάποια άλλη προγενέστερη κορύφωση. Οι χρόνοι εκφράζονται με

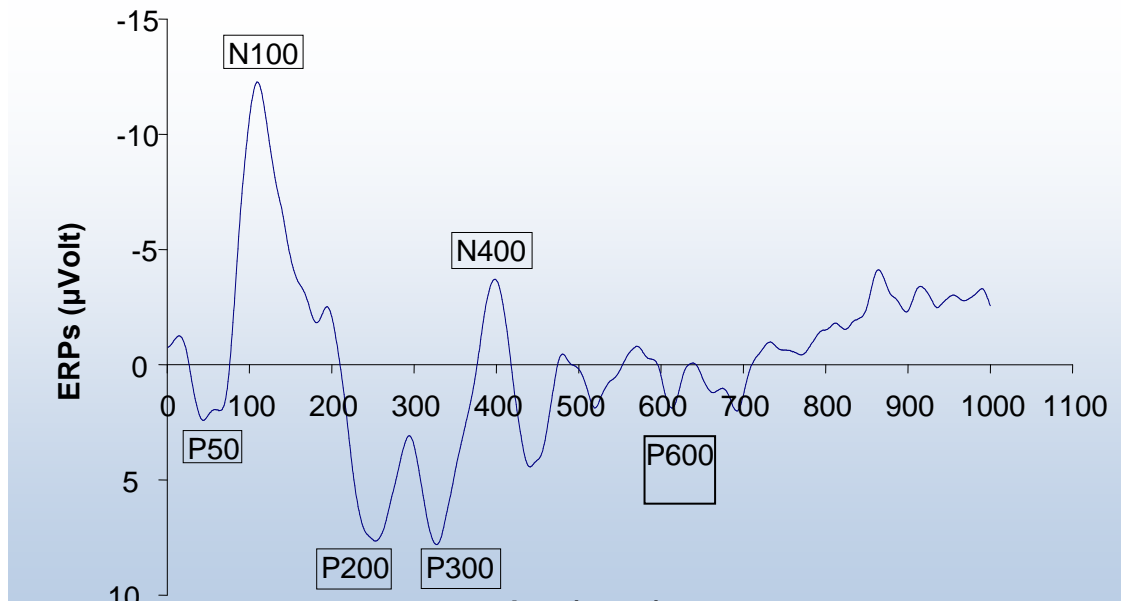
έναρξη τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα το εκλυτικό γεγονός που προκαλεί το συγκεκριμένο ΠΔ.

Στην περίπτωση των ακουστικών προκλητών δυναμικών οι κυματομορφές των ΠΔ χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω κορυφώσεις:

- Πρώιμα δυναμικά: εμφανίζονται 2-12 msec από τη στιγμή που λαμβάνει χώρα το ακουστικό ερέθισμα και αποτελούνται από επτά διαδοχικές κορυφώσεις αριθμούμενες από I έως VII. Σχετίζονται με τη διαβίβαση των νευρωνικών ώσεων κατά μήκος του ακουστικού νεύρου.
- Μέσου χρόνου δυναμικά: εμφανίζονται 12-50 msec μετά το ερέθισμα και αποτελούνται από τα συστατικά N_0 , P_0 , N_a , P_a , N_b . Οι κορυφώσεις N_0 , P_0 λαμβάνουν χώρα πριν τα 20 msec οι δε N_a , P_a , N_b περίπου στα 20, 30, και 40 msec αντίστοιχα.
- Ύστερα δυναμικά: εμφανίζονται 50 msec μετά το ερέθισμα και αποτελούνται από τα συστατικά N_{100} , P_{200} , N_{200} , P_{300} , N_{400} και P_{600} όπου N ή P σημαίνει αρνητική ή θετική κορυφή και ο δείκτης αναφέρεται στον κατά προσέγγιση λανθάνοντα χρόνο εμφάνισης του μέγιστου πλάτους της κυματομορφής σε msec. Αντικατοπτρίζουν την εγκεφαλική δραστηριότητα περιοχών φλοιού ως αντίδραση στην άφιξη της εξωτερικής πληροφορίας.

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι με την αύξηση του λανθάνοντος χρόνου μειώνεται η συχνότητα των κυματομορφών και αυξάνεται το πλάτος τους. Προσεγγιστικά τα πρώιμα δυναμικά έχουν πλάτη της τάξης του 0.1 έως 0.5μV και συχνότητας 100 ως 1000Hz ενώ στα ύστερα δυναμικά παρατηρούνται συχνότητες 0.1Hz ως 5Hz και πλάτη από 1 ως 20μV. Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο έκλυσης των αντίστοιχων δυναμικών [47].

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά και παρουσιάζονται σχηματικά τα σημαντικότερα για την ψυχιατρική συστατικά των ΠΔ:



Σχήμα 1. 9 Τυπική κυματομορφή της χρονοσειράς των προκλητών δυναμικών.

- P_{50} : Χαρακτηρίζει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού από 20 έως 80 msec μετά το ερέθισμα. Υποδηλώνει φαινόμενα προ-συνειδητά συναρτημένα με την προσοχή και αντικατοπτρίζει την κωδικοποίηση της αντιληπτής έντασης ενός ακουστικού ερεθίσματος [48].
- N_{100} : Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού 90 ως 150 msec μετά την παροχή του ακουστικού ερεθίσματος και βρίσκεται πιο έντονο στην κεντρική μετωπιαία περιοχή της κεφαλής. Έχει συνδεθεί με τη λειτουργία της προσοχής και της επιλογής πληροφοριών. Οι περισσότερες έρευνες τείνουν στην παραδοχή ότι η κυματομορφή N_{100} παράγεται στο ειδικό θαλαμοφλοιϊκό σύστημα και αντικατοπτρίζει την άμεση εγρήγορση του ειδικού αισθητικού συστήματος λόγω του ερεθίσματος. Επηρεάζεται κυρίως από μη προβλεπόμενους ερεθισμούς αλλά και από τα χαρακτηριστικά τους όπως, ένταση, διάρκεια, συχνότητα [49]. Με το N_{100} σχετίζονται και αρκετές γνωστικές ή διανοητικές δυσλειτουργίες, όπως η δυσλεξία και η σχιζοφρένεια [50, 51], και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της ανάρρωσης σε ασθενείς που βρίσκονται σε κωματώδη κατάσταση [52]. Επίσης παρατηρούνται μεταβολές σε αυτό σε άτομα με ημικρανίες ή πονοκεφάλους [53]. Η πρώτη καταγραφή του N_{100} έγινε το 1939 από την Pauline A. Davis [54] ενώ η σύνδεσή του με τον ακουστικό φλοιό έγινε το 1970 [55].
- P_{200} : Αντανακλά τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού από 140 ως 250 msec μετά το ερέθισμα. Το συστατικό αυτό έχει συσχετιστεί με την επιλεκτική προσοχή [56] και με διαδικασίες ανίχνευσης οπτικών ερεθισμάτων [57]. Σε άλλες μελέτες έχει θεωρηθεί ως συστατικό που αντικατοπτρίζει βραχυχρόνια μνήμη [58]

και ότι σχετίζεται με επεξεργασία ορθογραφικών και φωνολογικών διαδικασιών [59].

- N_{200} : Περιγράφει την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού από 180 ως 300 msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τις επιδόσεις των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Συνδέεται με νοητικές διαδικασίες αναγνώρισης και διάκρισης ερεθισμάτων [60]. Το N_{200} μερικές φορές παρουσιάζει περισσότερες από μία κορυφές [61], οι οποίες ανάλογα αντικατοπτρίζουν ακούσια ή εκούσια επεξεργασία ερεθισμάτων. Η N_{2a} παρατηρείται στις μπροστινές περιοχές του φλοιού από συνειδητή προσοχή ή παράβλεψη του ερεθίσματος [62], η N_{2b} παρατηρείται μόνο κατά τη συνειδητή προσοχή σε ερέθισμα στα κεντρικά μέρη του εγκεφάλου και η N_{2c} υπάρχει σε κεντρικές και εμπρόσθιες περιοχές κατά τη διάρκεια δοκιμασιών κατηγοριοποίησης [63].
- P_{300} : Πρόκειται για τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού από περίπου 220 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει νευρωνική δραστηριότητα που είναι σχετική με την διαδικασία του επιμερισμού της προσοχής για την κινητοποίηση των προγραμμάτων δράσης και είναι ισχυρά συνδεδεμένο με τη μνήμη. Ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής του φαίνεται να αντανακλά το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να λάβει ένα άτομο μια απόφαση για το ερέθισμα που παρουσιάστηκε [64]. Θεωρείται ότι αποτελείται από δύο επικαλυπτόμενα υποσυστατικά: το P_{300a} (P_{3a} - non-target), που εκφράζει την εκούσια αντίδραση προσανατολισμού, και το P_{300b} (P_{3b} - target) το οποίο εμφανίζεται στο χρονικό διάστημα 300 ως 500 msec και σχετίζεται με την προσοχή και θεωρείται μέτρο των ελεγχόμενων, σκόπιμων, διαδικασιών επεξεργασίας ερεθισμάτων. Το P_{3a} θεωρείται ότι δημιουργείται σε μπροστινές περιοχές του εγκεφάλου ενώ το P_{3b} σε βρεγματικές οπίσθιες περιοχές [65, 66, 67]. Το P_{300} βρέθηκε αρχικά από τους Samuel Sutton, Margery Braren, Joseph Zubin, και E. R. John το 1965 [68] σε μελέτη η οποία περιλάμβανε την παρουσίαση μη προβλεπόμενων ερεθισμάτων σε τεστ διάκρισής τους.
- N_{400} : Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση στο διάγραμμα των ΠΔ η οποία λαμβάνει χώρα από περίπου 280 ως 500 msec μετά το ερέθισμα [69]. Παίζει σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία της γλώσσας, ειδικότερα σε μηχανισμούς που σχετίζονται με το σημασιολογικό και συντακτικό περιεχόμενό της [70]. Αναφέρθηκε πρώτη φορά το 1980 από τους Marta Kutas και Steven Hillyard σε μία έρευνα που εισήγαγε την έννοια της χρησιμοποίησης των ΠΔ για τη μελέτη της επεξεργασίας του λόγου [71].

- P₆₀₀: Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που αρχίζει να εκδηλώνεται περίπου στα 500 msec, φτάνει στην κορύφωση περίπου στα 600 msec και διαρκεί μερικές εκατοντάδες msec μετά το ερέθισμα, συνήθως μέχρι τα 800-1000 msec (διαφορετικοί συγγραφείς δίνουν διαφορετικά χρονικά διαστήματα που διαρκεί). Σχετίζεται με τη γλώσσα και θεωρείται ότι προκαλείται με το άκουσμα ή το διάβασμα γραμματικών λαθών και άλλων συντακτικών προβλημάτων. Έχει καθιερωθεί ως δείκτης συγχρονισμού σημαντικών και συντακτικών διαστάσεων της απάντησης. Για το λόγο αυτό ερευνάται συχνά σε πειράματα που έχουν σχέση με επεξεργασία προτάσεων στον εγκέφαλο. Παρατηρείται πιο έντονο συνήθως στο οπίσθιο μέρος του κέντρου της κεφαλής αλλά και στο μπροστινό μέρος [72]. Μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας MEG έδειξε ότι δημιουργείται στον οπίσθιο κροταφικό λοβό [73]. Το P600 αναφέρθηκε πρώτη φορά από τους Lee Osterhout και Phillip Holcomb το 1992 [74].

1.3 Βιολογικές επιδράσεις από την έκθεση σε πεδία ραδιοσυχνότητας και επίδραση στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχουν τη δυνατότητα να διαδίδονται διαμέσου βιολογικών ιστών, να απορροφούνται από αυτούς και να ανακλώνται στις διαχωριστικές τους επιφάνειες σε βαθμό που εξαρτάται από τις γεωμετρικές και ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες των βιολογικών ιστών και από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής πηγής. Συνεπώς, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχουν μια ιδιαίτερη βιολογική σημασία καθώς μπορούν να συμβάλλουν στην ιατρική, τόσο στη θεραπεία όσο και στη διάγνωση, αλλά παράλληλα μπορούν πιθανώς να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Ο όρος βιολογικές επιδράσεις αναφέρεται στις όποιες μεταβολές στη φυσιολογία, τη χημική σύσταση των ιστών και την συμπεριφορά του εκτιθέμενου σε οποιαδήποτε εξωτερική διέγερση, πρόκειται δηλαδή για τον τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός ανταποκρίνεται και προσαρμόζεται σε εξωτερικά ερεθίσματα. Οι βιολογικές επιδράσεις διακρίνονται, ανάλογα με το μέγεθος της αύξησης της θερμοκρασίας, τοπικά ή συνολικά, σε θερμικές και μη θερμικές.

Με την έκθεση σε μία πηγή ενέργειας όπως αυτή των Η/Μ πεδίων, θα υπάρχει πάντα μία αλλαγή θερμοκρασίας λόγω της πεπερασμένης θερμικής ικανότητας όλων των υλικών. Από πειραματική άποψη όμως, μία επίδραση μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη θερμική εάν κατά τη διάρκεια της έκθεσης η πραγματική μεταβολή της θερμοκρασίας είναι χαμηλότερη από ένα αυθαίρετο διάστημα ΔT , που θεωρείται μη θερμικό. Ένα τυπικό τέτοιο διάστημα είναι το $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$, αλλά εξαρτάται από την κρίση κάθε ερευνητή και από το πείραμα το ποιο

θα επιλεχθεί. Οι μη θερμικές επιδράσεις σχετίζονται με την έλξη ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους κυττάρων εξαιτίας της παρουσίας ηλεκτρικού πεδίου, το οποίο πολώνει το κάθε κύτταρο με αποτέλεσμα αυτό να μετατρέπεται σε ηλεκτρικό δίπολο και να έλκει άλλα ομοίως πολωμένα κύτταρα. Συνεπώς, τα μη θερμικά φαινόμενα συνδέονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ ακτινοβολίας και μεταβολικών ή λειτουργικών διαδικασιών των κυττάρων και των ιστών, χωρίς όμως αυτά να προκαλούν άμεσα παθολογικά αποτελέσματα [75]. Αντίθετα οι θερμικές επιδράσεις χαρακτηρίζονται από αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από ΔT και οφείλονται σε έκθεση σε υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Η κινητική ενέργεια, κυρίως των μορίων του νερού, αυξάνεται εξαιτίας της παρουσίας του εξωτερικά επιβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου μεταφέροντας ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στους βιολογικούς ιστούς, με αποτέλεσμα, λόγω των κρούσεων, να αυξάνεται η θερμοκρασία τοπικά ή συνολικά στον οργανισμό. Η συγκεκριμένη αύξηση θερμοκρασίας πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, ισχυρή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διεισδύει στον οργανισμό, η οποία σε δεύτερο στάδιο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, με την προϋπόθεση ότι διατηρείται το επιβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και η απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας είναι μεγάλη. Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους εκτιθέμενους βιολογικούς ιστούς.

1.3.1 Χρήση ασύρματου τερματικού εξοπλισμού

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εξάπλωση καινούριων υπηρεσιών έχει αυξηθεί η χρήση των ασύρματων τερματικών συσκευών. Τα ασύρματα κινητά τηλέφωνα είναι δημοφιλή σε όλο τον κόσμο, σε βαθμό μάλιστα που η διείσδυσή τους στην αγορά είναι μεγαλύτερη από εκείνη της σταθερής τηλεφωνίας. Τα σύγχρονα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας παρέχουν άμεσα υπηρεσίες φωνητικής κλήσης ή μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας οποιαδήποτε ώρα, οπουδήποτε και με ποιότητα, ανάλογη των σταθερών δικτύων. Τα συστήματα αυτά παρέχοντας δυνατότητες βίντεο-κλήσης, μεταφοράς κινούμενων εικόνων και ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των Mbits/s, ανοίγουν νέους ορίζοντες στην επικοινωνία.

Συγκεκριμένα τα δεύτερης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας (2G) έχουν πλέον καθιερωθεί, με παραπάνω από 2 δισεκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως, ενώ παράλληλα συνεχίζουν να εξελίσσονται. Το GSM (Group Special Mobile) είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς, το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε

χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz και των 1800MHz, από τα 1710 έως τα 1785 MHz και από τα 1805 έως τα 1880 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Τα τρίτης γενιάς συστήματα (3G) παρά την αρχική καθυστέρηση στην εμφάνισή τους είναι πλέον διαδεδομένα. Το UMTS είναι ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς, που είναι στενά συνδεδεμένο με το GSM αφού υλοποιείται πάνω στο GSM πρωτόκολλο. Επιπλέον, οι περισσότερες φορητές συσκευές UMTS, υποστηρίζουν επίσης δίκτυα GSM, επιτρέποντας διπλή λειτουργία. Σε κάποιες χώρες έχει ήδη αρχίσει η λειτουργία συστημάτων τέταρτης γενιάς (4G). Αυτά χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο LTE (Long Term Evolution). Βασίζεται στα πρωτόκολλα GSM και UMTS αυξάνοντας τη χωρητικότητα και την ταχύτητα χρησιμοποιώντας καινούριες τεχνικές διαμόρφωσης.

Όμως, ο ανταγωνισμός μεταξύ των συστημάτων εντείνεται από τις καινούριες τεχνολογίες που έχουν έρθει στο προσκήνιο. Έτσι δίκτυα όπως τα ασύρματα τοπικά (Wireless Local Area Networks (W-LAN), ασύρματης πιστότητας (Wireless fidelity (Wi-Fi)) και παγκόσμιας διαλειτουργικότητας για μικροκυματική πρόσβαση (Worldwide Interoperability For Microwave Access (WiMax)) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην επικοινωνία εσωτερικών χώρων.

Τέλος μία περιοχή η οποία εξελίσσεται ραγδαία τον τελευταίο καιρό είναι οι ασύρματες επικοινωνίες μικρής απόστασης. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι τεχνολογίες BlueTooth, ψηφιακού βελτιωμένου ασυρματικού τηλεφώνου (digital enhanced cordless telecommunications (DECT)) και ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητας (radio frequency identification (RFID)).

Η ταχύτερη αύξηση χρήσης ασύρματου εξοπλισμού έχει ως αποτέλεσμα την ανησυχία για επιπτώσεις λόγω έκθεσης του κεφαλιού σε μικροκυματική ακτινοβολία. Ένα από τα πιθανά βιολογικά συστήματα που μπορεί να έχει επίδραση η έκθεση σε τέτοια πεδία είναι το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ). Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει αρκετές έρευνες που αφορούν εκτίμηση επιπτώσεων στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και σε γνωσιακές διαδικασίες των ανθρώπων.

1.3.2 Εξέλιξη της έρευνας στο θέμα της επίδρασης ακτινοβολίας στην ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία

Για τη μελέτη των γνωσιακών λειτουργιών υπό την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στη μελέτη του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Οι μελέτες ποικίλλουν τόσο όσον αφορά στις συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων όσο και ως προς τα αποτελέσματα. Η κατάσταση του εξεταζόμενου (εγρήγορηση, ηρεμία, κατάσταση ύπνου), η δοκιμασία στην οποία υποβάλλεται, το μέγεθος του δείγματος, τα χαρακτηριστικά της έκθεσης (ισχύς, διαμόρφωση, συχνότητα κ.α.) είναι μερικές ενδεικτικές παράμετροι διαφοροποίησης των ερευνών. Στη συνέχεια αναπτύσσονται επιλεκτικά κάποιες μελέτες από τις οποίες φαίνεται η ετερογένεια των συμπερασμάτων.

Οι Preece et al. (1999) έχουν αναφέρει βελτίωση στο χρόνο αντίδρασης εξεταζόμενων υπό την επίδραση ακτινοβολίας κινητού 915MHz κατά την εκπόνηση ενός τεστ μνήμης [76]. Τα αποτελέσματα αυτά όμως δεν επαληθεύτηκαν σε παρόμοια μελέτη τους σε παιδιά (2005) [77]. Οι Koivisto et al. ανέφεραν ότι η έκθεση σε GSM 902MHz πεδίο σχετίζεται με διευκόλυνση εγκεφαλικών λειτουργιών μνήμης (γρηγορότερος χρόνος ανταπόκρισης) και γι' αυτό βελτιώνει τις γνωσιακές λειτουργίες [78]. Οι Haarala et al. (2003, 2004) όμως δεν επαλήθευσαν τα αποτελέσματα αυτά [79, 80] και δεν βρήκαν κάποια διαφοροποίηση των λειτουργιών αυτών υπό την έκθεση σε μικροκυματικά πεδία (2005) [81].

Μία μελέτη από τους Krause et al. (2004) έδειξε ότι η έκθεση σε παρόμοια πεδία από κινητά δεν έχει επίδραση στο EEG ηρεμίας αλλά προκαλεί μείωση στην εγκεφαλική δραστηριότητα ατόμων που υποβάλλονται σε ακουστικά τεστ μνήμης [82]. Οι Curcio et al. (2004) ανέφεραν μία βελτίωση σε χρόνους αντίδρασης που συνοδευόταν με αυξημένη θερμοκρασία στην περιοχή ακτινοβολήσης από ένα GSM κινητό τηλέφωνο. Βρήκαν μία ανάλογη σχέση μεταξύ της διάρκειας έκθεσης σε μικροκύματα και των μεταβολών στη θερμοκρασία και της απόδοσης των χρόνων αντίδρασης. Οι αυξήσεις αυτές της θερμοκρασίας του κεφαλιού κατά τη διάρκεια της έκθεσης όμως μπορεί να οφείλονται κατά κύριο λόγο στην εγγύτητα του τηλεφώνου και όχι στο πεδίο που εκπέμπει [83].

Οι Hamblin et al. (2004) μελέτησαν ακουστικά προκλητά δυναμικά αρχικά σε 12 άτομα κατά τη διάρκεια μίας ώρας έκθεσης σε πεδίο από GSM κινητό και βρήκαν διαφοροποιήσεις στη N100 και την P300 κυματομορφή [84]. Διεξάγοντας όμως το ίδιο πείραμα (2006) με βελτιωμένη μεθοδολογία και δείγμα 120 ατόμων δεν βρέθηκε καμία επίδραση στο ERP [85].

Οι Croft et al. (2002) χρησιμοποίησαν ένα Nokia κινητό τηλέφωνο (900MHz, διαμορφωμένο στα 217Hz, και 577μs πλάτος παλμού) για να αξιολογήσουν το ΗΕΓ σε

ηρεμία και κατά τη διάρκεια δοκιμασίας ακουστικής επιλογής (auditory discrimination task). Βρέθηκε ότι αυξήθηκε σημαντικά η άλφα δραστηριότητα [8-12Hz] ενώ η δέλτα [1-4Hz] μειώθηκε σημαντικά στο δεξί ημισφαίριο του εγκεφάλου. Οι συνιστώσες των ρυθμών θήτα [4-7Hz] και βήτα [12-30Hz] μειώθηκαν κατά τη δοκιμασία ακουστικής επιλογής [86].

Οι Wagner, Roschke και Mann (1998), διερεύνησαν την επίδραση της ακτινοβολίας των GSM κινητών τηλεφώνων στο EEG στην κατάσταση ύπνου. Το EEG 20 νεαρών υγιών ανδρών καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι οποίοι ακτινοβολούνταν με σήμα συχνότητας 900 MHz, συχνότητας παλμού 217 Hz και διάρκειας παλμού 577 μs. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι δεν υπήρχε καμία σημαντική επίδραση της ακτινοβολίας στις βασικές παραμέτρους του ύπνου ούτε και στη φασματική πυκνότητα ισχύος του EEG του ύπνου [87].

Αντίθετα σε έρευνα των Huber et al. (2000) όπου μελετάται η επίδραση της ακτινοβολίας στην κατάσταση του ύπνου, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η έκθεση σε H/M ακτινοβολία σαν κι αυτή που εκπέμπεται από κινητά, πριν τον ύπνο, μπορεί να τροποποιήσει το EEG κατά τη διάρκεια του ύπνου. Οι εξεταζόμενοι, οι οποίοι ήταν υγιείς νεαροί άνδρες, εκτέθηκαν σε H/M ακτινοβολία (συχνότητας 900 MHz και μέγιστου SAR 1W/kg) για μία περίοδο 30 min που προηγούνταν του ύπνου. Συγκρινόμενη με την περίπτωση της μη έκθεσης στην ακτινοβολία, παρατηρήθηκε ότι η ενέργεια του EEG στη NREM (non rapid-eye movement) φάση του ύπνου είχε αυξηθεί. Η μέγιστη αύξηση συνέβη κατά την αρχική φάση του ύπνου και στις συχνότητες 9.75-11.25 Hz και 12.5-13.25 Hz του EEG. Ο μονόπλευρος τρόπος έκθεσης δεν προκάλεσε καμία ημισφαιρική ασυμμετρία στην ενέργεια του EEG [88].

Σε έρευνα των Riddervold et al. (2008) για ενδεχόμενες επιπτώσεις RF ηλεκτρομαγνητικών πεδίων από σταθμούς βάσης UMTS κινητών τηλεφώνων σε γνωσιακές λειτουργίες ατόμων σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις (χωρίς ακτινοβολία (sham), συνεχούς κύματος στα 2140MHz και UMTS στα 2140MHz) δεν παρατηρήθηκε καμία αξιολογη αλλαγή στην επίδοση στις γνωσιακές δοκιμασίες μεταξύ των καταστάσεων UMTS και sham [89]. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Kleinlogel et al. (2008) σε μία μελέτη επίδρασης GSM και UMTS ακτινοβολίας από κινητό σε 15 άτομα που υποβλήθηκαν σε μία δοκιμασία διάκρισης ερεθισμάτων [90] καθώς και οι Regel et al. (2006) σε έρευνα επίδρασης σήματος UMTS με χαρακτηριστικά όμοια με εκείνα σήματος από σταθμό βάσης στη γνωσιακή απόδοση [91].

Όσον αφορά την επίδραση WiFi σημάτων στην υγεία οι έρευνες είναι περιορισμένες και αφορούν κυρίως μελέτες δοσιμετρίας [92, 93].

Σε βιβλιογραφικές μελέτες που αφορούν την επίδραση έκθεσης σε H/M πεδία από κινητά στον εγκέφαλο οι D'Andrea et al. (2003) αναφέρουν ότι δεν μπορούν να προκύψουν

συμπεράσματα από την παρούσα έρευνα για το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα λόγω του γεγονότος ότι τα αποτελέσματα των περισσότερων πειραμάτων δεν έχουν αναπαραχθεί από άλλα [94]. Στο ίδιο μήκος κύματος βρίσκονται τα συμπεράσματα των Marino A. και Carrubba S. (2009) οι οποίοι μάλιστα αναφέρουν ότι λόγω του ότι το 87% των ερευνών που διεξάγονται πάνω στο θέμα χρηματοδοτούνται από εταιρείες κινητής τηλεφωνίας υπάρχουν αρκετές αμφιβολίες για την επίδραση των πεδίων αυτών στη φυσιολογία του εγκεφάλου και θεωρούν ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα [95]. Αντίθετα οι Cook et al. σε μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας από το 2001 έως το 2005 σε πειράματα με μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων και RF πεδία με διαμόρφωση χαμηλής συχνότητας αναφέρουν μετρήσιμες μεταβολές στην ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου και ιδιαίτερα στη ζώνη συχνοτήτων του άλφα ρυθμού (8-13 Hz). Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και από μελέτες κατά τη διάρκεια του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος του ύπνου [96].

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των ερευνών ποικίλλουν και διαφοροποιούνται ακόμα και για παρόμοιες συνθήκες διεξαγωγής των πειραμάτων. Αυτό οφείλεται στο ότι το EEG είναι ένα πολύ εύκολα μεταβαλλόμενο σήμα και πρέπει να βελτιωθούν οι μέθοδοι καταγραφής και ανάλυσής του. Συνεπώς χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

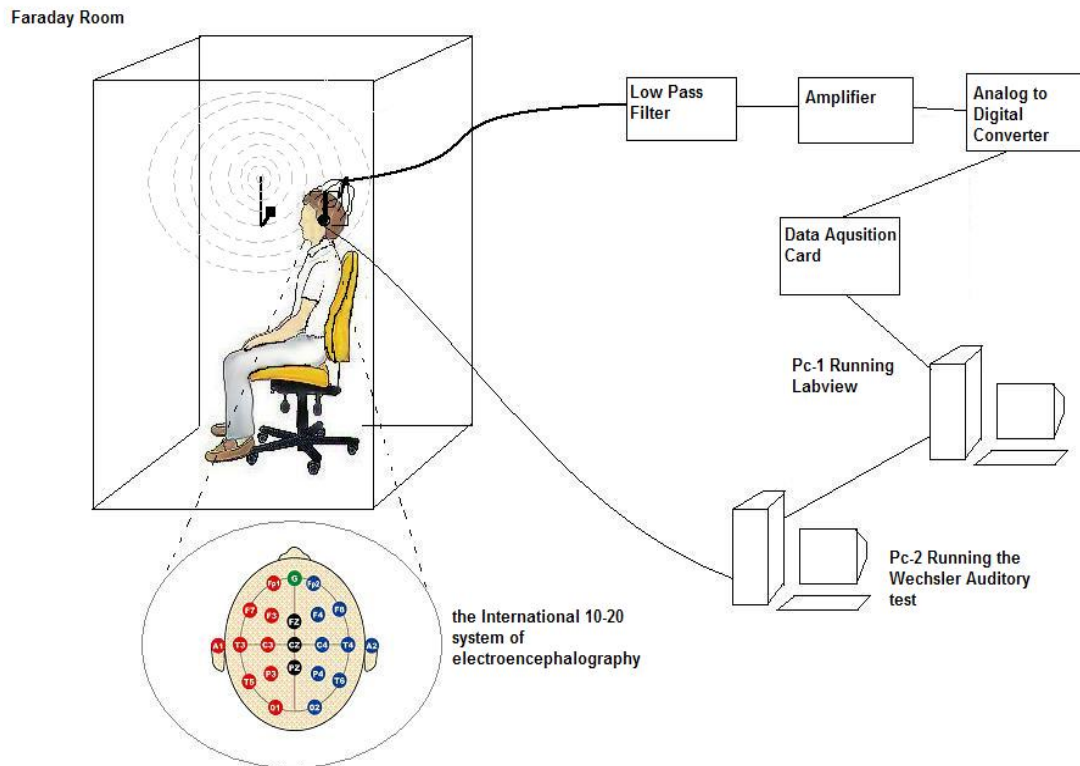
1.4 Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πειράματα που είχαν γίνει σε ήδη υπάρχουσα διάταξη στο Αιγινήτειο νοσοκομείο σε συνεργασία με τη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και συγκεκριμένα στο εργαστήριο ψυχοφυσιολογίας για την καταγραφή εγκεφαλικών σημάτων παρουσία Η/Μ ακτινοβολίας. Τα πειράματα αυτά αφορούσαν την επίδραση ακτινοβολίας από κινητά (συχνότητας 900MHz και 1800MHz) στο EEG. Επίσης δημιουργήθηκε και χρησιμοποιήθηκε πειραματική διάταξη στο Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής (Ε.Π.Ι.Ψ.Υ.) στην οποία υλοποιήθηκε πείραμα για τη μελέτη της επίδρασης ενός Wi-Fi access point στο EEG.

Η διάταξη (σχήμα 1.10), από την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τα πειράματα που είχαν γίνει σε αυτή, περιλαμβάνει 16 ηλεκτρόδια τα οποία παράγουν το ηλεκτρικό σήμα του εγκεφάλου ερχόμενα σε επαφή με το κεφάλι του εξεταζόμενου και τα οποία καταλήγουν στον προενισχυτή. Ο προενισχυτής διαθέτει led ενδεικτικά για κάθε ηλεκτρόδιο ώστε η αντίσταση μεταξύ του κάθε ηλεκτροδίου και της γείωσης να ελέγχεται αν βρίσκεται κάτω από μία τιμή. Την τιμή αυτή την επιλέγει ο χρήστης από τις έξι διαθέσιμες

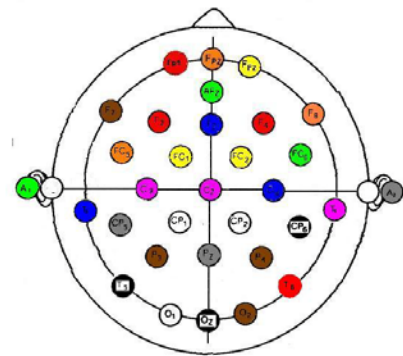
(1,2,5,10,20 και 50kΩ). Στην παρούσα διάταξη έχει επιλεγεί η τιμή των 5 kΩ. Το τμήμα της διάταξης που έχει περιγραφεί ως εδώ βρίσκεται μέσα σε κλωβό Faraday, με μόνωση από αλουμίνιο, με σκοπό την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις. Στη συνέχεια και εκτός του κλωβού Faraday, τα 16 σήματα οδηγούνται στο διαφορικό ενισχυτή όπου και υποβάλλονται σε ενίσχυση. Το κέρδος του ενισχυτή έχει επιλεγεί στις 50000 ενώ κόρος εμφανίζεται αν το σήμα ξεπεράσει τα 5volt. Μετά την ενίσχυση το σήμα εισέρχεται σε ένα βαθυπερατό (low pass) φίλτρο. Το φίλτρο αποκόπτει συχνότητες άνω των 35Hz, ώστε να αποφευχθεί παρεμβολή από το δίκτυο παροχής ρεύματος που λειτουργεί στα 50 Hz. Η έξοδος του ενισχυτή οδηγεί σε ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) ο οποίος καταλήγει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κάρτα ανάκτησης δεδομένων (Data Acquisition (DAQ) PCI 6035) 16 εισόδων των 16-bit. Μέσω της κάρτας λαμβάνονται τα 16 εγκεφαλικά σήματα, αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή και παράλληλα οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη του. Η αναπαράσταση και η αποθήκευση των σημάτων γίνεται σε περιβάλλον σχεδιασμένο με το λογισμικό LabView ενώ η συχνότητα δειγματοληψίας τέθηκε στο 1kHz.

Παράλληλα λειτουργεί δεύτερος υπολογιστής ο οποίος παράγει ακουστικά ερεθίσματα και που συνδέεται μέσω καλωδίου με τα ακουστικά που φορά ο εξεταζόμενος. Τη στιγμή που ξεκινά η αναπαραγωγή του ακουστικού ερεθίσματος ένα σήμα σκανδαλισμού (trigger) φεύγει απ' τον εν λόγω υπολογιστή και πυροδοτεί τον άλλο υπολογιστή να λάβει δεδομένα. Ο υπολογιστής αυτός προϋπήρχε στο εργαστήριο ψυχοφυσιολογίας, και η επικοινωνία των δύο pc (trigger) βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 488.1. Λόγω της φύσης της πειραματικής διαδικασίας ένα κρίσιμο θέμα είναι η ταυτόχρονη έναρξη του ακουστικού ερεθίσματος και της λήψης δεδομένων γιατί μόνο τότε τα προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού σήματος που λαμβάνουμε μπορούν να αποδοθούν πράγματι στο ακουστικό ερέθισμα και να βαθμονομηθούν κατάλληλα. Στην εν λόγω διάταξη η απαίτηση αυτή ικανοποιείται λόγω του γεγονότος ότι το σήμα του trigger ελέγχεται από hardware και δεν παρεμβάλλονται άλλες καθυστερήσεις.



Σχήμα 1. 10 Η πειραματική διάταξη που υπάρχει στο χώρο του Αιγινήτειου Νοσοκομείου

Σε δεύτερη φάση υλοποιήθηκε πειραματική διάταξη με πρότυπο αυτήν που έχει ήδη περιγραφεί αλλά με αρκετά βελτιωμένα χαρακτηριστικά στο Ε.Π.Ι.Ψ.Υ.. Η διάταξη αυτή διαθέτει 32 ηλεκτρόδια (2 ηλεκτρόδια αναφοράς) τα οποία οδηγούνται με τον ίδιο τρόπο όπως περιγράφηκε προηγουμένως σε 32-bit κάρτα DAQ αφού ενισχυθούν και μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή. Η βασική καινοτομία της νέας διάταξης είναι η αντικατάσταση του παλαιού συστήματος παραγωγής ήχου με νέο το οποίο έχει τη δυνατότητα να φιλοξενήσει πολλά ψυχοακουστικά test και όχι μόνο ένα όπως συνέβαινε έως τώρα. Μέχρι αυτή τη στιγμή δύο test έχουν υλοποιηθεί (Wechsler, Hayling –



Σχήμα 1. 11 Τοποθέτηση των 30 ηλεκτροδίων καταγραφής EEG στην κεφαλή

Παράρτημα Β και Γ). Ο υπολογιστής είναι εξοπλισμένος με ειδική κάρτα η οποία μέσω περιβάλλοντος LabView όταν τα ηχητικά μηνύματα αναπαράγονται από την κάρτα ήχου σκανδαλίζει τον άλλο υπολογιστή να λάβει τα δεδομένα δηλαδή τα 32 σήματα των ηλεκτροδίων (Σχήμα 1.11) τα οποία αποθηκεύονται και αναπαρίστανται στην οθόνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι με αυτή τη διάταξη κάποια απ' τα ηλεκτρόδια μπορούν να μην τοποθετηθούν στο κεφάλι αλλά σε μύες του προσώπου και να καταγραφεί με αυτό τον τρόπο ηλεκτρομυογράφημα.

Στις δύο πειραματικές διατάξεις που περιγράφηκαν ανωτέρω, τα δεδομένα που αποθηκεύονται είναι εγκεφαλικά σήματα διάρκειας 1.5sec το καθένα και η αποθήκευση γίνεται κάθε φορά που ο εξεταζόμενος ακούει ένα ηχητικό μήνυμα. Με βάση τη συχνότητα δειγματοληψίας (1kHz) η κάθε σειρά δεδομένων αποτελείται από 1500 τιμές εκ των οποίων οι πρώτες 500 (0.5 sec) είναι εγκεφαλικό σήμα πριν την έναρξη του ηχητικού μηνύματος και οι οποίες βρίσκονται σε buffer πριν την τελική αποθήκευσή τους ενώ οι επόμενες 1000 είναι μετά την έναρξη του ηχητικού μηνύματος. Άρα το σήμα είναι εν μέρει EEG (500 τιμές) και έπειτα (1000 τιμές) ακολουθούν τα προκλητά δυναμικά (ERPs) [97].

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ EEG **ΣΗΜΑΤΟΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά αναλύεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη λήψη των δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων με το μετασχηματισμό Fourier για την εύρεση της ενέργειας των σημάτων του EEG και η μεθοδολογία εύρεσης στατιστικά σημαντικών διαφορών για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ακολούθως περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και κάποια συμπεράσματα για την επίδραση της έκθεσης σε Η/Μ πεδίο στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Προκειμένου να εξεταστεί κατά πόσο μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα που θα αφορούν και άλλες παραμέτρους των πειραμάτων (π.χ. διαδικασία μάθησης) στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται περαιτέρω επεξεργασία της ενέργειας του EEG.

2.1 Πειραματική Διαδικασία

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν εξαχθεί από δύο πειράματα που αφορούν την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz στο EEG. Στο πρώτο πείραμα εξετάστηκε η επίδραση σήματος μονοχρωματικής ακτινοβολίας 900MHz και μέσης ισχύος 64 mW το οποίο οδηγείτο σε διπολική κεραία. Έλαβαν μέρος 19 άτομα εκ των οποίων 9 ήταν άντρες ενώ 10 ήταν γυναίκες. Οι εξεταζόμενοι είχαν ηλικία κατά μέσο όρο 23.3 ± 2.23 έτη και έτη μορφώσεως 16.9 ± 1.82 . Για τη λήψη μετρήσεων υπό την επίδραση ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια που παράγει ηλεκτρομαγνητικά σήματα ποικίλων συχνοτήτων, διαμορφώσεων και ισχύων (Avionics IFR 2031, 10 kHz – 2.7 GHz) και η οποία οδηγούσε διπολική κεραία που ήταν τοποθετημένη δίπλα στη δεξιά πλευρά του κεφαλιού του εξεταζόμενου ατόμου. Το σήμα που μεταδιδόταν από τη γεννήτρια είχε ισχύ -25 dBm το οποίο ενισχυόταν κατά 43 dBm. Το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο που βρισκόταν το κεφάλι των εξεταζομένων είχε ένταση 3V/m [98, 99]. Στο δεύτερο πείραμα χρησιμοποιήθηκε η ίδια γεννήτρια αλλά το σήμα το οποίο οδηγείτο στην κεραία είχε συχνότητα 1800 MHz με μέση ισχύ 128 mW. Έλαβαν μέρος 20 άτομα, εκ των οποίων 10 ήταν άντρες και 10 ήταν γυναίκες. Κατά μέσο όρο η ηλικία τους ήταν 22.75 ± 2.71 έτη ενώ είχαν 16.3 ± 1.71 έτη μορφώσεως [100,101].

Σημειώνεται ότι και στα δύο πειράματα χρησιμοποιήθηκε μονοχρωματική ακτινοβολία με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων παρεμβολών που πιθανώς να παρουσιάζονταν αν γινόταν χρήση διαμορφωμένου σήματος. Το φίλτρο στα 35 Hz εξασφαλίζει ότι στο καταγεγραμμένο σήμα δεν υπάρχει συνιστώσα του σήματος ακτινοβολίας. Επίσης σε κάθε πείραμα το δείγμα ήταν ομογενές ως προς την ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο ενώ ήταν όλοι δεξιόχειρες και δεν είχαν προβλήματα ακοής.

Ο κάθε εξεταζόμενος υποβλήθηκε στο ακουστικό test Wechsler (Παράρτημα Β) δύο φορές, τη μία με ακτινοβολία και την άλλη χωρίς. Μεταξύ των δύο επισκέψεων μεσολάβησε χρόνος δύο εβδομάδων ενώ η σειρά με την οποία γινόταν έκθεση στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (στην πρώτη ή στη δεύτερη επίσκεψη) ήταν τυχαία και ο ίδιος δεν είχε επίγνωση της ύπαρξης ή μη της ακτινοβολίας (single blind experiment).

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε σε κάθε επίσκεψη είναι η εξής: Ο εξεταζόμενος εισέρχεται μέσα στον κλωβό *Faraday* και ο υπεύθυνος ιατρός του εργαστηρίου τοποθετεί τα ηλεκτρόδια στις τυποποιημένες θέσεις (Σύστημα 10/20) του κρανίου. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία, ο εξεταζόμενος φοράει τα ειδικά ακουστικά που συνδέονται με τον υπολογιστή που παράγει τα ακουστικά ερεθίσματα.

Ταυτόχρονα, δημιουργείται ένας φάκελος με τα προσωπικά στοιχεία του εκάστοτε ατόμου και στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία το πρόγραμμα *LABVIEW* και ρυθμίζονται κατάλληλα οι παράμετροί του ανάλογα με το είδος της μέτρησης. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η προπαρασκευαστική διαδικασία, δοθούν από το γιατρό οι απαραίτητες οδηγίες στον εξεταζόμενο και γίνει μία δοκιμαστική ερώτηση, η πόρτα του θαλάμου κλείνει και ξεκινά η διαδικασία του πειράματος. Εάν το πείραμα πραγματοποιείται με έκθεση ή όχι του εξεταζόμενου στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενεργοποιείται ή μένει ανενεργή η γεννήτρια αντίστοιχα.

Ο χειριστής του προγράμματος *Wechsler* ξεκινά τη μετάδοση των ερωτήσεων προς τα ακουστικά κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από μία συγκεκριμένη σειρά ψηφίων. Κάθε τέτοιας σειράς προηγείται η μετάδοση ενός τόνου (συχνότητας 500Hz ή 3KHz) ένα δευτερόλεπτο πριν από το πρώτο ψηφίο, ενώ έπεται ο ίδιος τόνος επίσης ένα δευτερόλεπτο μετά τον τελευταίο αριθμό, δηλώνοντας έτσι το τέλος της συγκεκριμένης ερώτησης. Με τη μετάδοση του αρχικού τόνου δίνεται και ένας παλμός (*trigger*) που σηματοδοτεί το ξεκίνημα της μέτρησης του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος, η οποία γίνεται κατά το διάστημα του ενός δευτερολέπτου που μεσολαβεί μέχρι τη μετάδοση του πρώτου ψηφίου της εκάστοτε σειράς.

Αφού ολοκληρωθεί η μετάδοση κάθε ερώτησης από τα ακουστικά, ο εξεταζόμενος καλείται να επαναλάβει τους αριθμούς είτε με τη σειρά που τους άκουσε είτε με την αντίστροφη σειρά, ανάλογα με το είδος του τόνου που συνόδευε την ακολουθία. Το test *Wechsler* πραγματοποιήθηκε δύο φορές διαδοχικά αποτελούμενο τελικά από 52 ερωτήσεις. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται συνοπτικά η πειραματική διαδικασία για κάθε επανάληψη.

Χρόνος	
AB (500ms)	Εγγραφή σήματος EEG
BC (100ms)	Ηχητικός Τόνος (500 or 3000Hz , 65 dB)
CD (900ms)	Καταγραφή των ERPs
DE (ποικίλει)	Υπαγόρευση των σετ αριθμών του ακουστικού test <i>Wechsler</i> Η διάρκεια ποικίλει ανάλογα με το πλήθος των ψηφίων κάθε ερώτησης(από δύο ως εννιά).Η χρονική διάρκεια μεταξύ των ψηφίων

	είναι 1 sec.
EF (100ms)	Επανάληψη του τόνου (500 or 3000Hz , 65 dB)
FG (ποικίλει)	Καταγραφή των απαντήσεων του εξεταζόμενου.

Πίνακας 2. 1 Διαδικασία καταγραφής σημάτων κατά την ακουστική δοκιμασία Wechsler

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πειράματος, το πρόγραμμα το χειρίζεται είτε ο υπεύθυνος ιατρός είτε κάποιος εξειδικευμένος ερευνητής παρουσία πάντα ιατρού ενώ τηρούνται οι αρχές της Διακήρυξης ανθρωπίνων δικαιωμάτων του Helsinki [102]. Τη στιγμή που ο εξεταζόμενος δίνει τις απαντήσεις αυτές καταγράφονται, ώστε αργότερα να μπορεί να γίνει η απαραίτητη σύγκριση με τις σωστές απαντήσεις, από την οποία τελικά θα προκύψουν τα αποτελέσματα της εξέτασης. Τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη των αποτελεσμάτων, αφορούν στο βαθμό ανταπόκρισης στο αρχικό ερέθισμα και στις διεργασίες εγρήγορσης, αναγνώρισης, σύγκρισης και επεξεργασίας που αφορούν τα λαμβανόμενα ερεθίσματα.

Για κάθε ερώτηση, λαμβάνονται μέσω του *LABVIEW* 16 διαφορετικές γραφικές παραστάσεις, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί στο σήμα που διέρχεται μέσα από ένα ηλεκτρόδιο. Οι κυματομορφές αυτές έχουν διάρκεια 1500ms, όσο δηλαδή διαρκεί η μέτρηση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος εκ των οποίων 500ms αφορούν σε σήμα EEG (σήματα που καταγράφονται πριν το ηχητικό ερέθισμα) και 1000ms αφορούν σε σήμα ERP (σήματα μετά το ηχητικό ερέθισμα). Για κάθε ερώτηση, οι τιμές του πλάτους των κυματομορφών αυτών αποθηκεύονται αυτόματα από το *LABVIEW* με τη μορφή αρχείων *Excel*, ένα για κάθε ηλεκτρόδιο (16 συνολικά – 15 ηλεκτρόδια καταγραφής συν το ηλεκτρόδιο γείωσης) τα οποία αποτελούνται από 1500 γραμμές που αντιστοιχούν σε 1500 χρονικές στιγμές και 52 στήλες που η καθεμιά αντιστοιχεί σε μία ερώτηση του test Wechsler.

2.2 Μετασχηματισμός των δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω τα αρχικά δεδομένα (raw data) που καταγράφονται αποθηκεύονται σε αρχεία. Για την περαιτέρω ανάλυσή τους όμως απαιτείται επιπλέον επεξεργασία.

Αρχικά γίνεται η αφαίρεση της ενίσχυσης για να έρθει το σήμα σε πραγματική κλίμακα. Εν προκειμένω γίνεται κανονικοποίηση του σήματος ως προς 50000 για να αφαιρεθεί το κέρδος του ενισχυτή. Επειδή οι τιμές των σημάτων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος είναι αρκετά μικρές (της τάξεως των 10^{-6} V) πολλαπλασιάζονται 10^6 ώστε να εμφανίζονται με μονάδα το μV . Στη συνέχεια αντιστρέφονται (πολλαπλασιασμός με -1) κάτι το οποίο αποτελεί συνήθη πρακτική των ψυχιάτρων. Έπειτα για κάθε άτομο και κάθε επίσκεψή του (για κάθε αρχείο δηλαδή) υπολογίζεται ο μέσος όρος των ερωτήσεων των σημάτων EEG. Έστω $S(t)$ η συνολική μετρηθείσα κυματομορφή δυναμικού κατά τη διάρκεια της επανάληψης του πειράματος. Το συνολικό αυτό σήμα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα, το επιθυμητό σήμα $EP(t)$ και τον θόρυβο $NS(t)$ που αντιπροσωπεύει το εξελισσόμενο «συμβατικό» EEG και όλες τις υπόλοιπες πηγές εξωεγκεφαλικού θορύβου. Ισχύει:

$$S_i(t) = EP_i(t) + NS_i(t), \quad (2.1)$$

όπου $i=1$ έως N και N είναι ο αριθμός των επαναλήψεων (52 στη συγκεκριμένη περίπτωση).

Ο μέσος όρος των σημάτων των N μετρήσεων θα είναι:

$$E(S_i(t)) = \frac{\sum_{i=1}^N S_i(t)}{N} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N EP_i(t) + \sum_{i=1}^N NS_i(t) \right) \quad (2.2)$$

Υποθέτοντας ότι το σχετικό με το εκλυτικό γεγονός προκλητό δυναμικό αναπαράγεται πανομοιότυπα ισχύει:

$$EP_i(t) = EP_j(t) = EP(t) \forall i, j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.3)$$

Αντίθετα ο θόρυβος, εφόσον δεν σχετίζεται με το εκλυτικό γεγονός, μπορεί να θεωρηθεί ασυσχέτιστη τυχαία διαδικασία από πείραμα σε πείραμα [47], δηλαδή λευκός

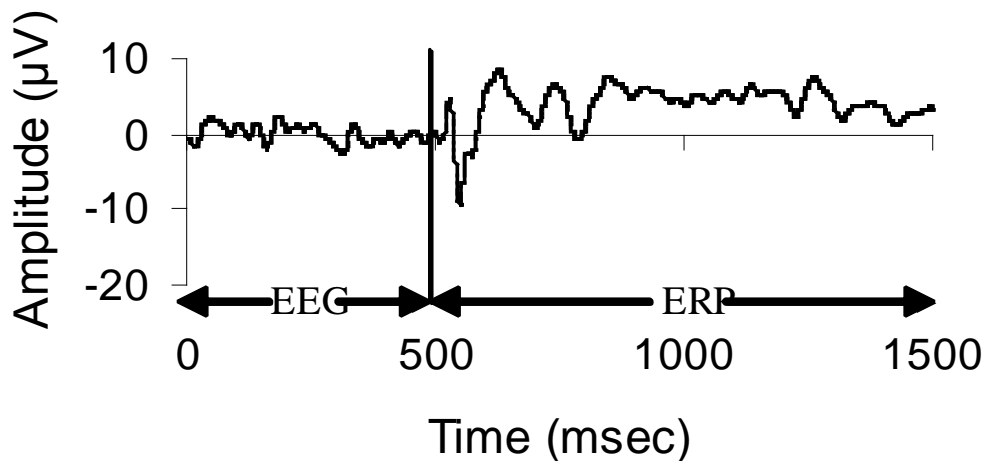
θόρυβος με μηδενική μέση τιμή, με αποτέλεσμα το άθροισμα των $NS_i(t)$ να είναι μηδενικό. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$E(S_i(t)) = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N EP_i(t) + 0 \right) = \frac{1}{N} \times N \times EP(t)$$
$$\Rightarrow E(S_i(t)) = EP(t) \quad (2.4)$$

Πιο συγκεκριμένα για κάθε άτομο, επίσκεψη και ηλεκτρόδιο υπολογίζονται τα παρακάτω:

1. Ο μέσος όρος των EEG σημάτων (52 ερωτήσεις x 500 χρονικές στιγμές)
 2. Ο μέσος όρος των 100 τελευταίων τιμών EEG (background EEG, 401-500msec) για όλες τις ερωτήσεις (52 x 100 τιμές).
- Από κάθε τιμή του EEG (1-500msec) αφαιρείται ο πρώτος μέσος όρος. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 52 επαναλήψεων (ερωτήσεων) για να αποβληθεί ο θόρυβος [45]. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία χρονική ακολουθία 500 τιμών με μηδενική μέση τιμή, η οποία αποτελεί το σήμα EEG για κάθε άτομο, πειραματική συνθήκη και ηλεκτρόδιο.
 - Από κάθε τιμή του ERP (501-1500msec) αφαιρείται ο δεύτερος μέσος (baseline removal). Αυτό γίνεται προκειμένου να μην υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις τελευταίες τιμές του EEG και τις αρχικές τιμές του ERP. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 52 επαναλήψεων (ερωτήσεων) για να αποβληθεί ο θόρυβος. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία χρονική ακολουθία 1000 τιμών η οποία αποτελεί το ERP σήμα για κάθε άτομο, πειραματική συνθήκη και ηλεκτρόδιο.

Μετά από αυτή την επεξεργασία προκύπτουν τα τελικά δεδομένα του πειράματος τα οποία μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω μετασχηματισμούς. Μια τυπική κυματομορφή που λαμβάνεται από ένα ηλεκτρόδιο μετά από αυτήν την επεξεργασία είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 2.1.

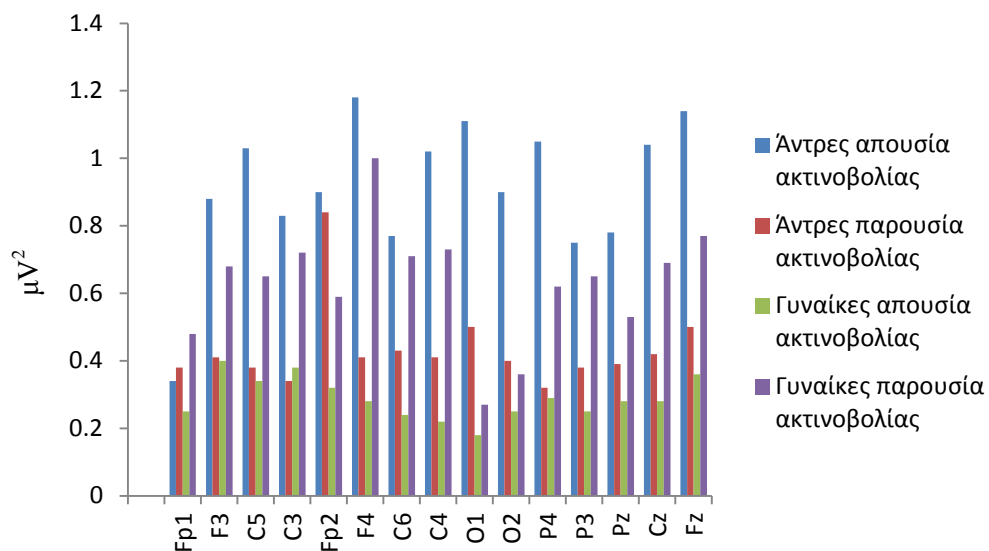


Σχήμα 2. 1 Χαρακτηριστική κυματομορφή λαμβανομένου εγκεφαλικού σήματος μετά την επεξεργασία των δεδομένων

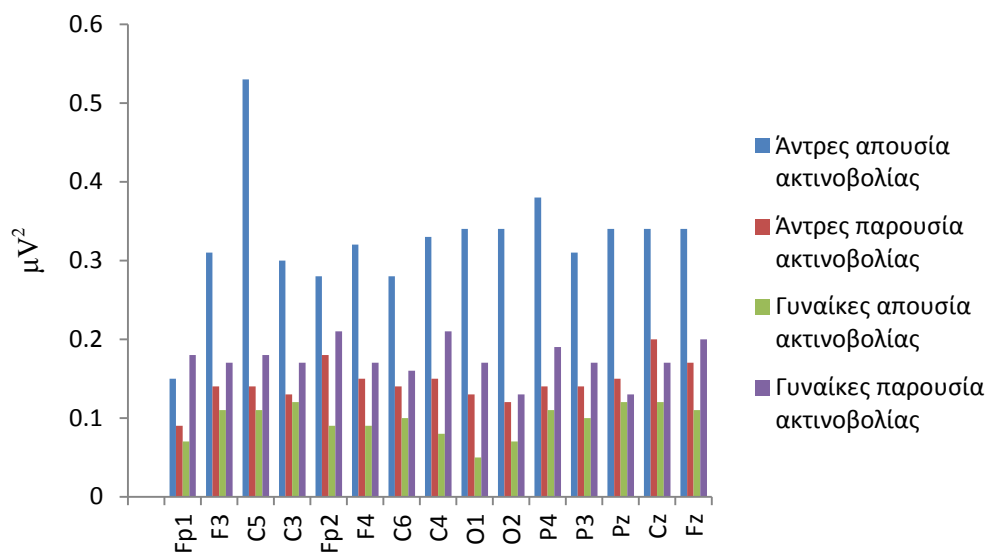
2.3 Επεξεργασία δεδομένων μέσω του μετασχηματισμού *Fourier*

Μετά την πρώτη επεξεργασία των μετρήσεων που κατεγράφησαν στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, ακολούθησε περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων των πειραμάτων με ακτινοβολία συχνότητας 900MHz και 1800MHz με χρήση του μετασχηματισμού *Fourier* για την εύρεση των φασματικών συνιστωσών του σήματος του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος.

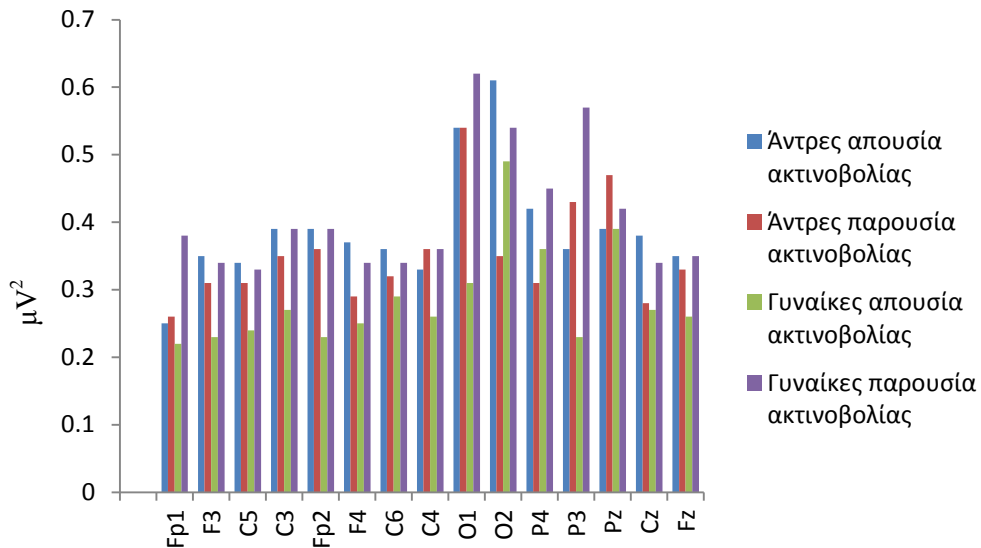
Ο μετασχηματισμός *Fourier* του EEG σήματος (Παράρτημα Α) έγινε ξεχωριστά για κάθε ηλεκτρόδιο και κάθε εξεταζόμενο με την εφαρμογή του αλγορίθμου *Fast Fourier Transform (FFT)* από κώδικα γραμμένο σε *MatLab*. Η πρώτη διαπίστωση ήταν ότι οι αναμενόμενοι ρυθμοί δέλτα (0.5 - 4 Hz), θήτα (4 – 8 Hz), άλφα (8 – 13 Hz) και βήτα (13 – 30 Hz) (βλ. Κεφ. 1, Παρ. 1.2.3) που χαρακτηρίζουν το EEG σήμα εμφανίστηκαν κατά την ανάλυση σε όλα τα EEG σήματα. Αποτελεί σημαντική παρατήρηση ότι οι συχνότητες που χαρακτηρίζουν γενικώς ένα EEG σήμα εμφανίζονται στο σήμα που καταγράφεται στο παρόν πείραμα για το χρονικό παράθυρο των 500 msec. Στη συνέχεια, για να διαπιστωθεί η ισχύς του θεωρήματος *Parseval*, υπολογίστηκε η ενέργεια του σήματος στο πεδίο του χρόνου. Οι ενέργειες βρέθηκαν ίσες στο πεδίο της συχνότητας και του χρόνου. Οι τιμές ανάλογες τις ενέργειας του σήματος ($\mu V^2 \cdot sec$) των ρυθμών του EEG στις δύο πειραματικές συνθήκες (OFF-ON) στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα για κάθε πείραμα. Αυτές είναι υπολογισμένες για το μέσο όρο των ατόμων που έλαβαν μέρος στο πείραμα με ακτινοβολία συχνότητας 900MHz και για το μέσο όρο των ατόμων που έλαβαν μέρος στο πείραμα με ακτινοβολία συχνότητας 1800MHz για άντρες και γυναίκες ξεχωριστά.



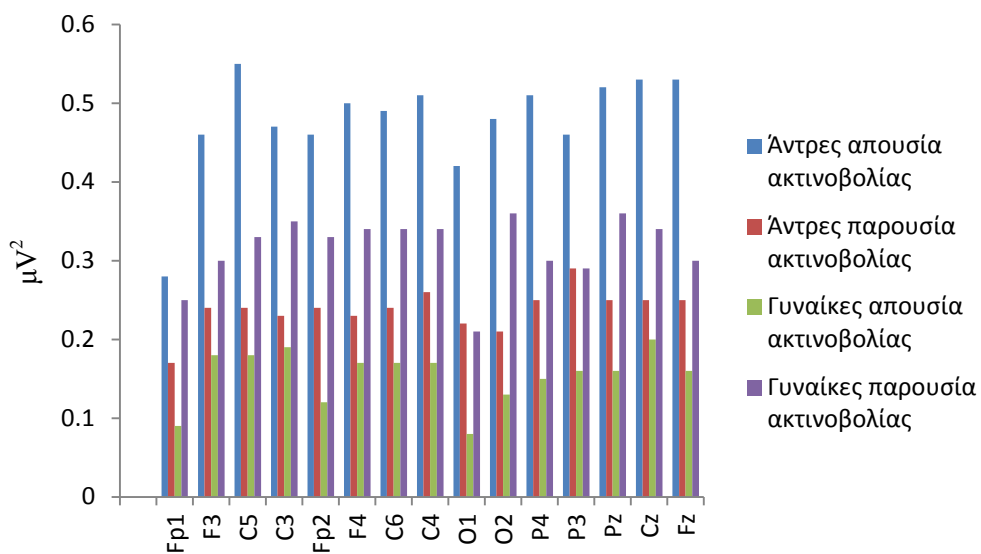
Σχήμα 2. 2 Μέσοι όροι ενέργειας του δέλτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



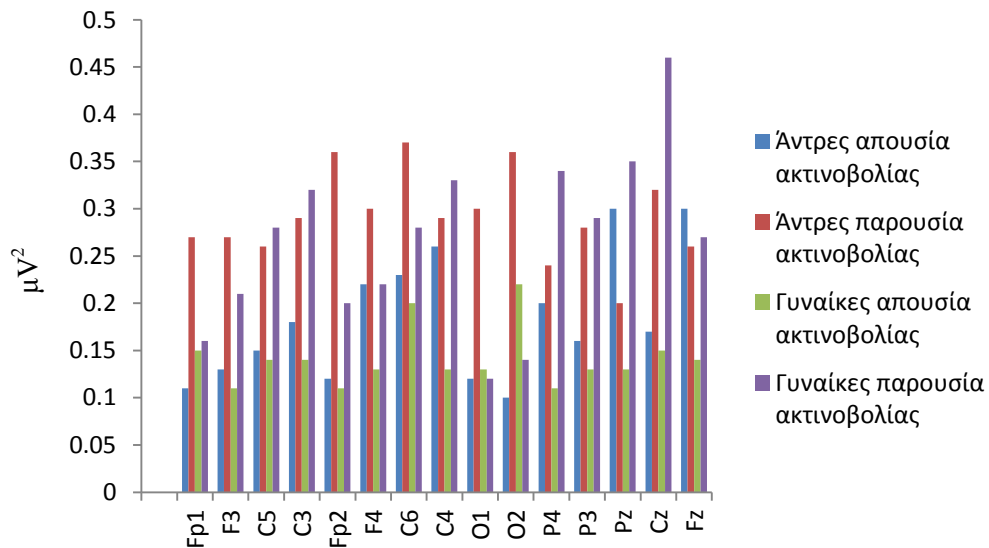
Σχήμα 2. 3 Μέσοι όροι ενέργειας του θήτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



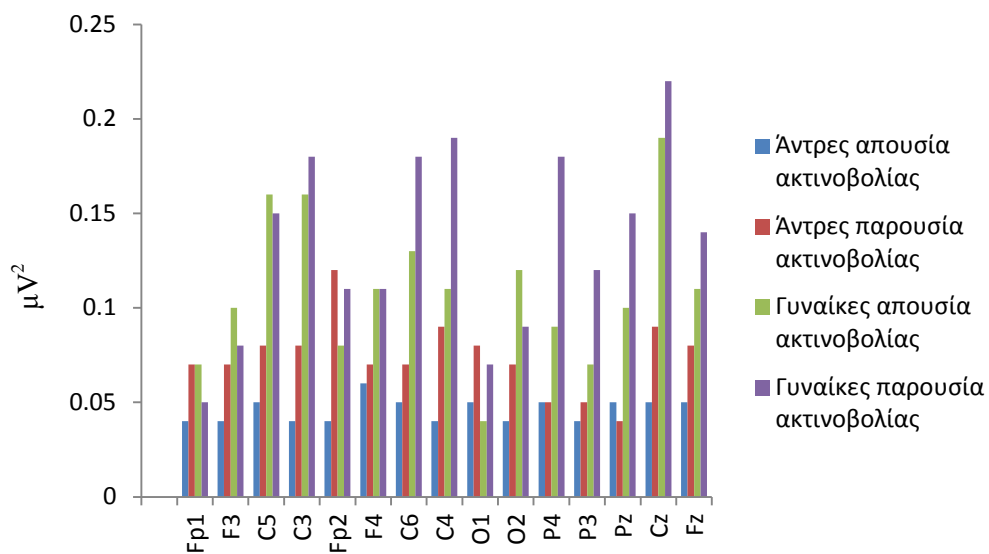
Σχήμα 2. 4 Μέσοι όροι ενέργειας του άλφα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



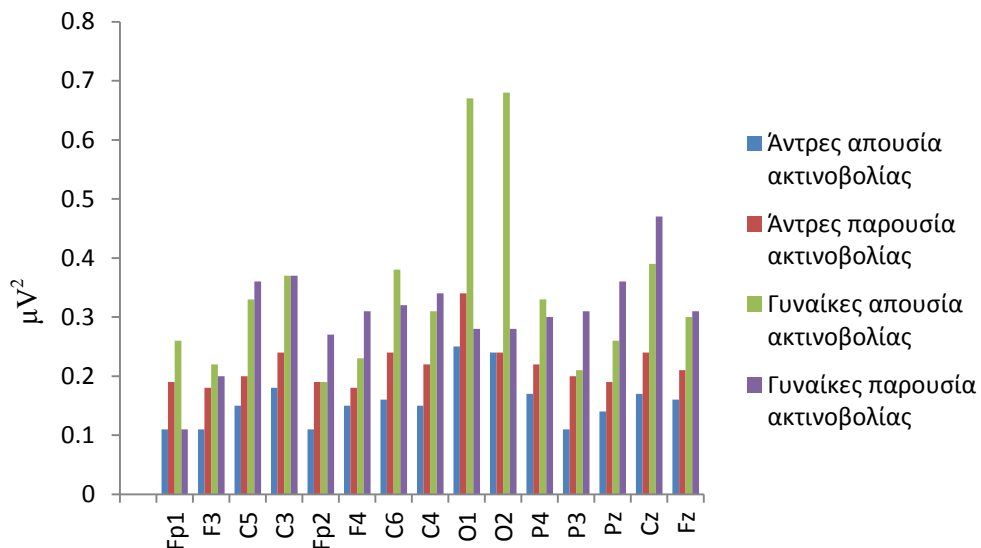
Σχήμα 2. 5 Μέσοι όροι ενέργειας του βήτα ρυθμού στο πείραμα των 900MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



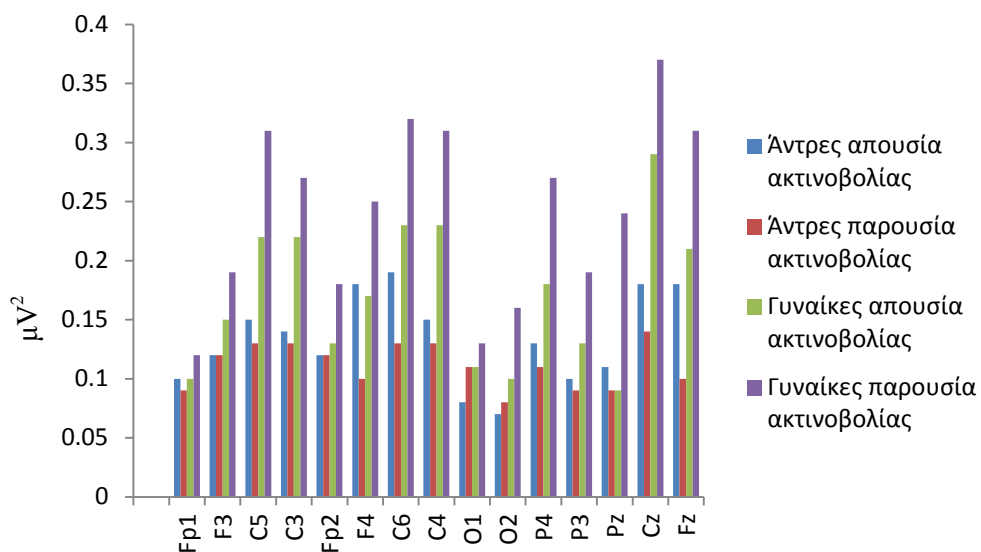
Σχήμα 2. 6 Μέσοι όροι ενέργειας του δέλτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



Σχήμα 2. 7 Μέσοι όροι ενέργειας του θήτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.

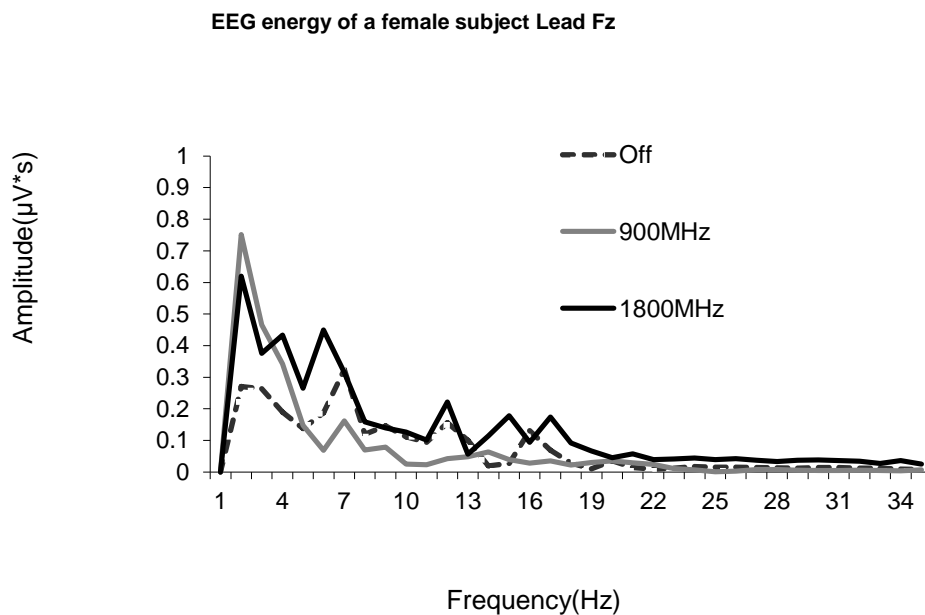
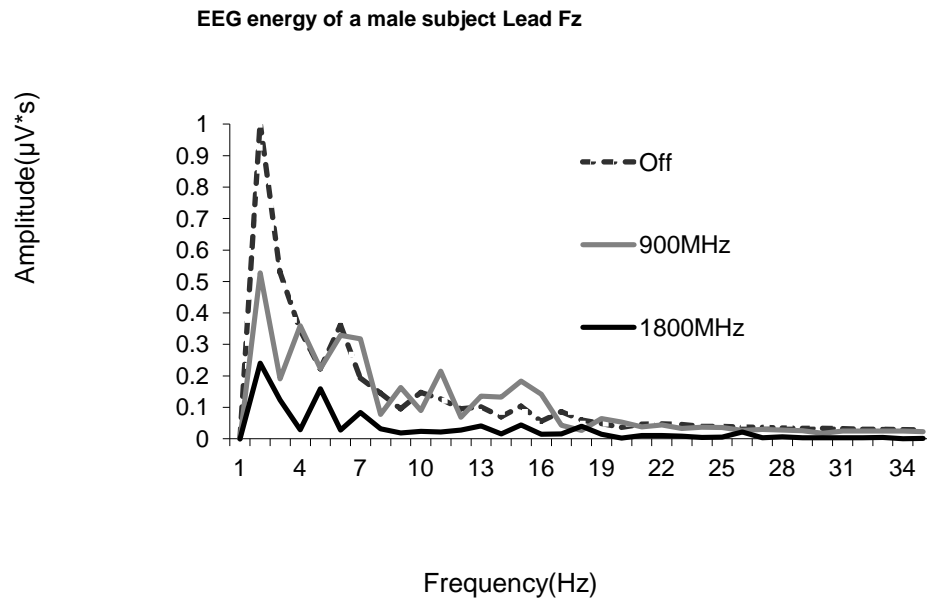


Σχήμα 2. 8 Μέσοι όροι ενέργειας του άλφα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.



Σχήμα 2. 9 Μέσοι όροι ενέργειας του βήτα ρυθμού στο πείραμα των 1800MHz στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται για το ηλεκτρόδιο Fpz οι φασματικές ενέργειες του EEG (μετασηματισμένων με τον αλγόριθμο FFT) δύο ατόμων, ενός άντρα και μίας γυναίκας υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900MHz και 1800MHz και χωρίς ακτινοβολία:



Σχήμα 2. 10 Ενδεικτικά διαγράμματα μετασχηματισμένου κατά Fourier EEG σήματος για έναν άντρα και μία γυναίκα απουσία και παρουσία ακτινοβολίας (900MHz και 1800MHz) όπου φαίνονται καθαρά οι κορυφώσεις σε χαρακτηριστικές για τέτοιο σήμα συχνότητες.

Παρατηρείται ότι το πλάτος των φασματικών συνιστωσών του EEG στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία είναι για τους άντρες αυξημένο σε σχέση με τις γυναίκες και μειώνεται με την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, ενώ για τις γυναίκες ισχύει το αντίθετο. Αυτό συμφωνεί με προηγούμενη έρευνα στην οποία είχε βρεθεί ότι η συνολική ενέργεια του

σήματος EEG για τις γυναίκες αυξάνεται με την ύπαρξη του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ενώ για τους άντρες παρουσιάζει μείωση σε σχέση με την ενέργεια του EEG χωρίς την ύπαρξη του πεδίου [98].

2.4 Επεξεργασία ενέργειας EEG υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz

Για το πείραμα που διεξήχθη υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz υπολογίστηκε αρχικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ενέργεια σε όλους τους ρυθμούς. Στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία στην οποία υποβλήθηκαν οι υπολογισθείσες ενέργειες για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την επίδραση ή όχι της έκθεσης σε H/M πεδίο στο EEG.

2.4.1 Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία στην οποία υποβλήθησαν τα αποτελέσματα έγινε με παραμετρικές μεθόδους ανάλυσης, δηλαδή με αναλύσεις όπου γίνεται η υπόθεση ότι οι κατανομές των μεταβλητών ανήκουν σε παραμετροποιημένες οικογένειες κατανομών πιθανότητας. Πριν την εφαρμογή τους εξετάζονται οι εξής βασικές στατιστικές παραδοχές:

- Κανονικής κατανομής των μεταβλητών. Οι μεταβλητές θεωρούνται ότι ανήκουν σε πληθυσμιακές κατανομές με κανονική μορφή.
- Ομοιογένειας των διασπορών. Οι μεταβλητές θεωρούνται ότι ανήκουν σε πληθυσμιακές κατανομές με ίσες διασπορές ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$). Όταν αυτή η παραδοχή δεν ικανοποιείται τότε θα πρέπει να είναι γνωστός ο λόγος των δύο διασπορών (σ_1^2/σ_2^2). Σε αντίθετη περίπτωση η ανάλυση πρέπει να γίνει με κάποια μη παραμετρική ή άλλη ειδική παραμετρική μέθοδο. Συνήθη τεστ που χρησιμοποιούνται είναι το Levene's test, Box's M test, Bartlett's test, Brown and Forsythe test ή O'Brien test.
- Τυχαίας δειγματοληψίας. Οι μεταβλητές θεωρούνται ότι προήλθαν από δειγματοληψία στην οποία κάθε μέλος του αντίστοιχου πληθυσμού είχε ισότιμη πιθανότητα συμπερίληψης στο δείγμα.

Όταν οι παραπάνω παραδοχές ικανοποιούνται σε επαρκή βαθμό, τότε μεγιστοποιείται η ισχύς των παραμετρικών μεθόδων ανάλυσης, δηλαδή των αντίστοιχων ελέγχων (κριτηρίων) στατιστικής σημαντικότητας [103].

Για τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας χρησιμοποιούνται οι p-values οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα λάθους που εμπεριέχεται στην αποδοχή ή όχι των διαφορών στις μέσες τιμές ανάμεσα σε δύο ομάδες ενός δείγματος.

2.4.1.1 Έλεγχος κανονικής κατανομής

Για να ελεγχθεί εάν οι κατανομές των ενεργειών EEG σε όλα τα ηλεκτρόδια δεν αποκλίνουν από την κανονική κατανομή εφαρμόστηκε ο έλεγχος κανονικότητας Kolmogorov – Smirnov (K-S).

Το κριτήριο K-S χρησιμοποιείται για το έλεγχο καλής προσαρμογής ενός τυχαίου δείγματος σε μία δεδομένη συνεχή κατανομή ($H_0: X_i \sim F_0$), στη συγκεκριμένη περίπτωση στην κανονική κατανομή. Το κριτήριο K-S βασίζεται στην διαφορά της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής X_i (που προέρχεται από το δείγμα) και της αναμενόμενης F_0 (υπό την υπόθεση H_0). Πιο συγκεκριμένα, αν X_1, X_2, \dots, X_n είναι ένα τυχαίο δείγμα, η εμπειρική συνάρτηση κατανομής (ΕΣΚ) του δείγματος αυτού είναι

$$\hat{F}_n(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i \leq x) \quad (2.5)$$

(όπου $I(X_i \leq x) = 1$ ή 0 ανάλογα με το αν $X_i \leq x$ ή όχι) η οποία ως γνωστό αποτελεί εκτίμηση της συνάρτησης κατανομής των X_i διότι (από το νόμο των μεγάλων αριθμών, θέτοντας $Y_i = I(X_i \leq x)$)

$$\begin{aligned} \hat{F}_n(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i \leq x) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} E(Y_1) = 0P(Y_1 = 0) + 1P(Y_1 = 1) = P(Y_1 = 1) \\ &= P(X_1 \leq x) = F(x) \end{aligned} \quad (2.6)$$

για κάθε x . Επομένως, υπό την H_0 , η ΕΣΚ θα πρέπει να είναι «κοντά» στην F_0 . Αντίθετα, αν δεν ισχύει η H_0 αναμένεται σημαντική απόκλιση της ΕΣΚ από την F_0 . Για να κατασκευαστεί ένας έλεγχος με βάση αυτόν τον συλλογισμό, θα πρέπει να οριστεί μία «απόσταση» μεταξύ των δύο κατανομών (της ΕΣΚ και της F_0) και να απορρίπτεται η H_0 όταν αυτή η απόσταση

γίνεται «μεγάλη». Έτσι λοιπόν εάν $F(x)$, $G(x)$ είναι δύο συναρτήσεις στο χώρο R , τότε η ποσότητα

$$d_K(F, G) = \sup_{x \in R} \{|F(x) - G(x)|\} \quad (2.7)$$

καλείται απόσταση Kolmogorov μεταξύ της $F(x)$ και της $G(x)$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα απορρίπτεται η υπόθεση $H_0: X_i \sim F_0$ όταν η στατιστική συνάρτηση

$$D_n = d_K(\hat{F}_n, F_0) = \sup_{x \in R} \{|\hat{F}_n(x) - F_0(x)|\} \quad (2.8)$$

λαβαίνει «ασυνήθιστα» μεγάλες τιμές, δηλαδή όταν $D_n > c = D_n(\alpha)$ δηλαδή δεν υπάρχει καλή προσαρμογή της ΕΣΚ του δείγματος στην κανονική κατανομή. Το κριτήριο αυτό είναι γνωστό ως κριτήριο Kolmogorov – Smirnov (και η στατιστική συνάρτηση D_n καλείται ελεγχοςυνάρτηση Kolmogorov – Smirnov). Προκειμένου να χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο κριτήριο θα πρέπει να προσδιορίζεται η κατανομή της τ.μ. D_n υπό την H_0 έτσι ώστε να υπολογίζεται το c (για δεδομένο επίπεδο σημαντικότητας α) και το p -value ενός δείγματος [104].

Στα δεδομένα του πειράματος ελέγχθηκε εάν η ενέργεια των ρυθμών του EEG σε κάθε ηλεκτρόδιο ακολουθεί την κανονική κατανομή για όλα τα άτομα και τις πειραματικές συνθήκες.

Ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας τέθηκε το 0.05 και επομένως εάν το p -value είναι μικρότερο της τιμής αυτής τότε η κατανομή των δεδομένων διαφέρει με στατιστικά σημαντικό τρόπο από την κανονική κατανομή. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι p -values των συγκρίσεων που έγιναν για τον παραπάνω έλεγχο για όλες τις υποομάδες και συμπεραίνεται ότι η ενέργεια σε κάθε ρυθμό, ηλεκτρόδιο και για κάθε ομάδα ακολουθεί την κανονική κατανομή (p -values > 0.05).

Ηλεκτρόδια	Άντρες απουσία ακτινοβολίας				Άντρες με ακτινοβολία			
	p-values				p-values			
	Δέλτα	Θήτα	Άλφα	Βήτα	Δέλτα	Θήτα	Άλφα	Βήτα
Fp1	0.469	0.511	0.498	0.146	0.153	0.117	0.457	0.182
F3	0.639	0.27	0.737	0.675	0.614	0.420	0.126	0.419

C5	0.82	0.78	0.845	0.822	0.490	0.264	0.276	0.555
C3	0.761	0.362	0.955	0.417	0.116	0.219	0.336	0.166
Fp2	0.514	0.787	0.469	0.536	0.311	0.664	0.400	0.497
F4	0.759	0.746	0.318	0.471	0.362	0.723	0.404	0.372
C6	0.592	0.412	0.377	0.488	0.259	0.571	0.091	0.352
C4	0.823	0.425	0.823	0.451	0.540	0.659	0.218	0.525
O1	0.552	0.205	0.576	0.547	0.507	0.313	0.711	0.241
O2	0.261	0.301	0.738	0.55	0.782	0.926	0.964	0.900
P4	0.519	0.679	0.958	0.595	0.119	0.175	0.205	0.145
P3	0.253	0.275	0.53	0.659	0.489	0.294	0.432	0.218
Pz	0.802	0.508	0.304	0.377	0.375	0.572	0.247	0.290
Cz	0.614	0.539	0.768	0.508	0.336	0.312	0.398	0.625
Fz	0.872	0.933	0.229	0.643	0.480	0.625	0.426	0.772

Πίνακας 2. 2 Έλεγχος Kolmogorov-Smirnov της κανονικής κατανομής για τις ενέργειες των αντρών για όλους τους ρυθμούς και ηλεκτρόδια.

Ηλεκτρόδια	Γυναίκες απουσία ακτινοβολίας				Γυναίκες με ακτινοβολία			
	p-values				p-values			
	Δέλτα	Θήτα	Άλφα	Βήτα	Δέλτα	Θήτα	Άλφα	Βήτα
Fp1	0.331	0.352	0.226	0.102	0.395	0.494	0.258	0.353
F3	0.702	0.884	0.831	0.345	0.558	0.854	0.251	0.362
C5	0.809	0.194	0.539	0.765	0.295	0.795	0.599	0.327
C3	0.656	0.135	0.891	0.342	0.341	0.358	0.472	0.359
Fp2	0.487	0.603	0.187	0.273	0.811	0.792	0.348	0.335
F4	0.603	0.882	0.558	0.266	0.464	0.789	0.894	0.527
C6	0.733	0.068	0.341	0.613	0.316	0.667	0.315	0.264
C4	0.956	0.421	0.306	0.355	0.460	0.710	0.262	0.338
O1	0.783	0.989	0.291	0.798	0.281	0.250	0.867	0.436
O2	0.823	0.221	0.024	0.202	0.709	0.724	0.771	0.651
P4	0.938	0.455	0.363	0.336	0.209	0.528	0.795	0.515
P3	0.946	0.132	0.613	0.766	0.631	0.253	0.459	0.224
Pz	0.917	0.103	0.389	0.843	0.247	0.543	0.557	0.215
Cz	0.971	0.385	0.477	0.331	0.342	0.790	0.190	0.339
Fz	0.367	0.798	0.395	0.269	0.839	0.956	0.340	0.134

Πίνακας 2. 3 Έλεγχος Kolmogorov-Smirnov της κανονικής κατανομής για τις ενέργειες των γυναικών για όλους τους ρυθμούς και ηλεκτρόδια.

2.4.1.2 Έλεγχος ομοιογένειας συνδιακύμανσης

Η ομοιογένεια της συνδιακύμανσης των εξαρτημένων μεταβλητών ελέγχθηκε με το Levene's test. Ελέγχεται η μηδενική υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις σε έναν πληθυσμό είναι

ίσεσ. Εάν οι p-values προκύψουν μικρότερες από την κρίσιμη τιμή (0.05), οι παρατηρούμενες διαφορές στις διακυμάνσεις του δείγματος είναι πιθανό να μην έχουν προκύψει από τυχαία δειγματοληψία. Επομένως το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η μη στατιστική σημαντικότητα (p-values>0.5).

Το στατιστικό τεστ, W, ορίζεται ως:

$$W = \frac{(N-k) \sum_{i=1}^k N_i (Z_i - Z_{i\&j})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - Z_i)^2} \quad (2.9)$$

όπου

k είναι ο αριθμός των ομάδων στις οποίες ανήκουν τα δείγματα, δηλαδή 4 στην περίπτωση μας (άντρες με και χωρίς ακτινοβολία και γυναίκες με και χωρίς ακτινοβολία)

N είναι ο συνολικός αριθμός του πληθυσμού, δηλαδή 2 πειραματικές συνθήκες x 20 άτομα =40

N_i είναι ο αριθμός των δειγμάτων μέσα στην i -οστή ομάδα, δηλαδή τα 10 άτομα που ανήκαν σε κάθε ομάδα

X_{ij} είναι η τιμή του j δείγματος από την i ομάδα

$$Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|, \quad (2.10)$$

είναι ο μέσος όρος της i ομάδας

$$Z_{i\&j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}, \quad (2.11)$$

είναι ο μέσος όρος όλων των Z_{ij} ,

$$Z_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}, \quad (2.12)$$

είναι ο μέσος όρος του Z_{ij} για την ομάδα i .

Ελέγχεται η υπόθεση W έναντι της $F(\alpha, k-1, N-k)$ όπου, F η κατανομή F με $k-1$ (3) και $N-k$ (36) βαθμούς ελευθερίας και α είναι το επιλεγόμενο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας [105].

Στα δεδομένα του πειράματος ελέγχθηκαν οι ομοιογένειες των διακυμάνσεων στις ενέργειες κάθε ρυθμού του EEG σε κάθε ηλεκτρόδιο για όλο το δείγμα και βρέθηκε ότι οι

ενέργειες κάθε ρυθμού για κάθε ηλεκτρόδιο προέκυψαν από τυχαία δειγματοληψία (Πίνακας 2.4, p-values>0.05).

Έλεγχος Ομοιογένειας Διακυμάνσεων του Δείγματος				
Ηλεκτρόδια	p-values			
	Δέλτα	Θήτα	Άλφα	Βήτα
Fp1	0.975	0.884	0.982	0.989
F3	0.898	0.941	0.813	0.879
C5	0.914	0.998	0.919	0.973
C3	0.929	0.927	0.987	0.931
Fp2	0.858	0.974	0.989	0.965
F4	0.988	0.982	0.978	0.899
C6	0.890	0.927	0.834	0.875
C4	0.944	0.929	0.971	0.922
O1	0.959	0.995	0.961	0.927
O2	0.905	0.853	0.712	0.843
P4	0.895	0.928	0.915	0.940
P3	0.863	0.943	0.951	0.996
Pz	0.883	0.931	0.901	0.823
Cz	0.959	0.952	0.907	0.931
Fz	0.973	0.977	0.938	0.946

Πίνακας 2. 4 p-values του ελέγχου ομοιογένειας διακυμάνσεων για το συνολικό δείγμα στις ενέργειες των ρυθμών του EEG για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.

2.4.1.3 Εφαρμογή παραμετρικών ελέγχων (Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διασποράς)

Με τους παραπάνω τρόπους ελέγχθηκαν οι προϋποθέσεις για την χρήση Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διασποράς (MANOVA - Multivariate Analysis of Variance) και

βρέθηκε ότι αυτές πληρούνται. Η MANOVA χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθεί αν οι ανεξάρτητες μεταβλητές πειραματική συνθήκη και φύλο επηρεάζουν την ενέργεια του EEG σήματος. Για την κατανόηση της μεθόδου διεξαγωγής παραμετρικών μεθόδων MANOVA, στο Παράρτημα Δ περιγράφεται η μέθοδος ANOVA και στη συνέχεια η MANOVA που ουσιαστικά είναι μία ANOVA με πολλές εξαρτημένες μεταβλητές.

Εφόσον βρέθηκε ότι ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης, έγινε σύγκριση των δύο φύλων σε κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και της κάθε συνθήκης έκθεσης ανάμεσα στα φύλα, ενώ τα ηλεκτρόδια θεωρήθηκαν ως εμφωλευμένοι όροι. Εφαρμόστηκε λοιπόν μια 2(πειραματική συνθήκη) x 15(ηλεκτρόδιο) x 2(φύλο) MANOVA. Επίσης όσον αφορά τις διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα εφαρμόστηκε step-down ανάλυση (βλ. Παράρτημα Δ) για την εύρεση των πιο σημαντικών ηλεκτροδίων.

Το επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε στο 0.05.

2.4.3 Αποτελέσματα

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας ύστερα από τη διεξαγωγή της μεθόδου MANOVA για τις ενέργειες όλων των ρυθμών. Οι συγκρίσεις που έγιναν ήταν ανάμεσα στο φύλο για τις συνθήκες παρουσία και απουσία ακτινοβολίας και ανάμεσα στη συνθήκη ακτινοβολίας για κάθε φύλο. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.

Ηλεκτρόδια	p-values για τον δέλτα ρυθμό			
	Ανάμεσα στο φύλο		Ανάμεσα στη συνθήκη έκθεσης (Off-1800MHz)	
	Απουσία πεδίου	Παρουσία πεδίου 1800MHz	Άντρες	Γυναίκες
Fp1	0.441	0.248	0.099	0.850
F3	0.707	0.625	0.199	0.065
C5	0.814	0.930	0.509	0.087
C3	0.472	0.841	0.463	0.100

Fp2	0.871	0.403	0.203	0.154
F4	0.160	0.579	0.560	0.178
C6	0.538	0.601	0.397	0.320
C4	0.180	0.847	0.815	0.090
O1	0.861	0.437	0.435	0.878
O2	0.371	0.323	0.240	0.554
P4	0.111	0.554	0.756	0.059
P3	0.650	0.957	0.485	0.158
Pz	0.232	0.263	0.512	0.082
Cz	0.848	0.532	0.447	0.046
Fz	0.126	0.964	0.835	0.142

Πίνακας 2. 5 Συγκρίσεις για τον δέλτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές

Ηλεκτρόδια	p-values για τον θήτα ρυθμό			
	Ανάμεσα στο φύλο		Ανάμεσα στη συνθήκη έκθεσης (Off-1800MHz)	
	Απουσία πεδίου	Παρουσία πεδίου 1800MHz	Άντρες	Γυναίκες
Fp1	0.102	0.338	0.127	0.298
F3	0.013	0.756	0.209	0.271
C5	0.020	0.132	0.336	0.978
C3	0.021	0.073	0.103	0.824
Fp2	0.151	0.909	0.302	0.416
F4	0.137	0.250	0.787	0.971
C6	0.050	0.027	0.336	0.357
C4	0.039	0.065	0.137	0.167
O1	0.631	0.857	0.435	0.134
O2	0.278	0.617	0.287	0.682
P4	0.110	0.022	0.758	0.131
P3	0.329	0.094	0.750	0.211
Pz	0.164	0.027	0.808	0.315
Cz	0.039	0.039	0.157	0.675
Fz	0.049	0.244	0.324	0.576

Πίνακας 2. 6 Συγκρίσεις για τον θήτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές

Ηλεκτρόδια	p-values για τον άλφα ρυθμό			
	Ανάμεσα στο φύλο		Ανάμεσα στη συνθήκη έκθεσης (Off-1800MHz)	
	Απουσία πεδίου	Παρουσία πεδίου 1800MHz	Άντρες	Γυναίκες
Fp1	0.129	0.247	0.210	0.145
F3	0.074	0.720	0.300	0.766
C5	0.122	0.168	0.540	0.812
C3	0.179	0.291	0.611	0.975
Fp2	0.244	0.559	0.333	0.480
F4	0.273	0.270	0.779	0.473
C6	0.074	0.440	0.419	0.587
C4	0.099	0.322	0.441	0.804
O1	0.120	0.689	0.527	0.152
O2	0.151	0.738	0.992	0.166
P4	0.188	0.522	0.576	0.823
P3	0.131	0.421	0.246	0.421
Pz	0.144	0.148	0.524	0.404
Cz	0.194	0.104	0.472	0.663
Fz	0.261	0.389	0.536	0.948

Πίνακας 2. 7 Συγκρίσεις για τον άλφα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντοντοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές

Ηλεκτρόδια	p-values για τον βήτα ρυθμό			
	Ανάμεσα στο φύλο		Ανάμεσα στη συνθήκη έκθεσης (Off-1800MHz)	
	Απουσία πεδίου	Παρουσία πεδίου 1800MHz	Άντρες	Γυναίκες
Fp1	0.966	0.498	0.662	0.637
F3	0.453	0.148	0.985	0.418
C5	0.213	0.047	0.666	0.319
C3	0.218	0.028	0.720	0.546
Fp2	0.936	0.287	0.838	0.391
F4	0.900	0.021	0.112	0.237
C6	0.505	0.007	0.300	0.289

C4	0.197	0.021	0.730	0.296
O1	0.427	0.718	0.393	0.527
O2	0.406	0.048	0.760	0.123
P4	0.300	0.042	0.696	0.265
P3	0.491	0.049	0.708	0.335
Pz	0.628	0.009	0.659	0.010
Cz	0.211	0.001	0.524	0.368
Fz	0.628	0.038	0.180	0.352

Πίνακας 2. 8 Συγκρίσεις για τον βήτα ρυθμό του EEG στα 15 ηλεκτρόδια. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι η συνθήκη έκθεσης και το φύλο δεν επηρεάζουν τις ενέργειες του δέλτα και του άλφα ρυθμού. Για το θήτα ρυθμό οι περισσότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται ανάμεσα στα δύο φύλα απουσία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (ηλεκτρόδια F3, C5, C3, C6, C4, Cz και Fz). Αντίθετα οι ενέργειες του βήτα ρυθμού διαφοροποιούνται παρουσία ακτινοβολίας ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες και για το λόγο αυτό μελετήθηκαν περαιτέρω [100, 101, 106].

Οι τιμές του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG για κάθε φύλο και πειραματική συνθήκη (OFF-1800MHz) σε κάθε ηλεκτρόδιο φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Ηλεκτρόδιο	Άντρες Χωρίς Η/Μ πεδίο		Γυναίκες Χωρίς Η/Μ πεδίο	
	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Fp1	0.100	0.044	0.099	0.058
F3	0.090	0.089	0.119	0.102
C5	0.117	0.111	0.150	0.130
C3	0.116	0.096	0.193	0.166
Fp2	0.148	0.069	0.217	0.106
F4	0.126	0.135	0.307	0.103
C6	0.144	0.145	0.221	0.167
C4	0.128	0.127	0.265	0.136
O1	0.124	0.061	0.127	0.072
O2	0.116	0.056	0.182	0.060

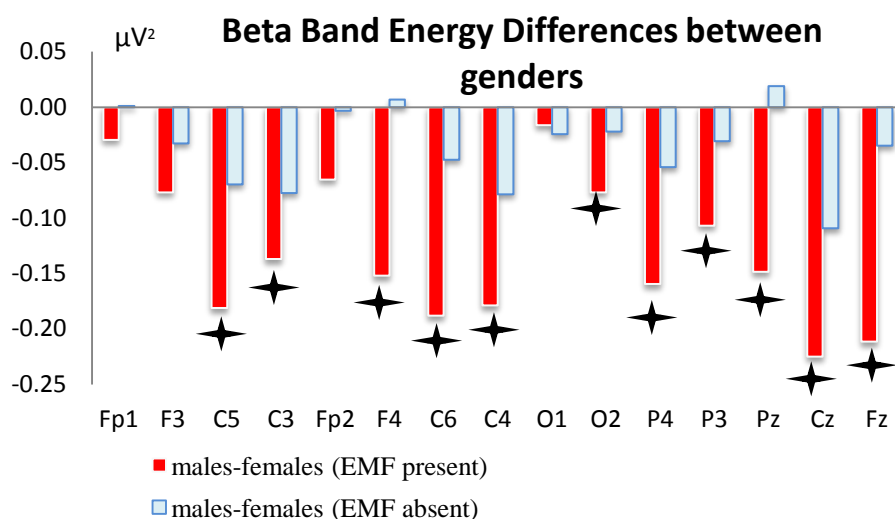
P4	0.177	0.107	0.170	0.120
P3	0.097	0.081	0.250	0.112
Pz	0.186	0.098	0.234	0.073
Cz	0.129	0.146	0.317	0.223
Fz	0.151	0.150	0.230	0.165

Πίνακας 2. 9 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG (μV^2) για άντρες και γυναίκες απουσία Η/Μ.

Ηλεκτρόδιο	Άντρες Παρουσία Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800 MHz		Γυναίκες Παρουσία Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800 MHz	
	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
Fp1	0.090	0.055	0.119	0.123
F3	0.117	0.093	0.150	0.131
C5	0.116	0.112	0.193	0.244
C3	0.148	0.093	0.217	0.155
Fp2	0.126	0.088	0.307	0.167
F4	0.144	0.066	0.221	0.178
C6	0.128	0.087	0.265	0.176
C4	0.124	0.098	0.127	0.201
O1	0.116	0.101	0.182	0.098
O2	0.177	0.064	0.170	0.108
P4	0.097	0.100	0.250	0.207
P3	0.186	0.083	0.234	0.163
Pz	0.129	0.057	0.317	0.148
Cz	0.151	0.086	0.230	0.163
Fz	0.134	0.089	0.312	0.285

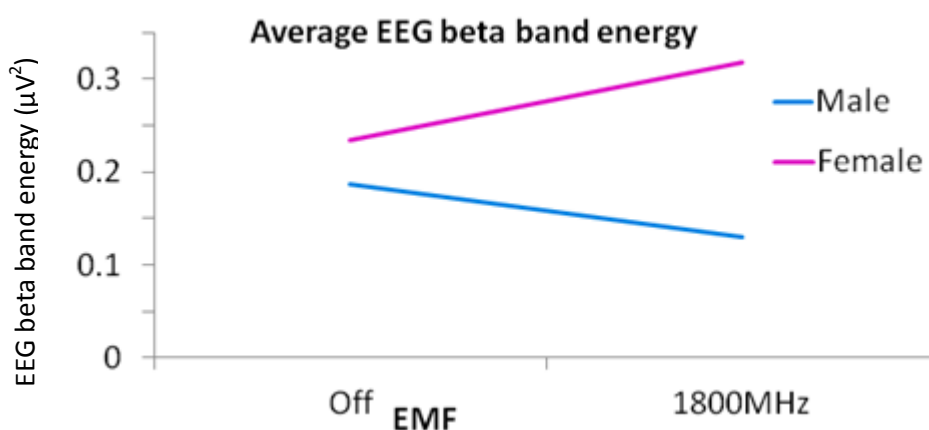
Πίνακας 2. 10 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG (μV^2) για άντρες και γυναίκες παρουσία του Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800 MHz.

Στο σχήμα 2.3 φαίνονται οι μέσοι όροι των διαφορών των ενεργειών μεταξύ των δύο φύλων για κάθε πειραματική συνθήκη. Οι αστερίσκοι δείχνουν τα ηλεκτρόδια όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Απουσία ακτινοβολίας, η ενέργεια του EEG των ανδρών είναι μικρότερη σε 11 ηλεκτρόδια από αυτή των γυναικών ενώ στα υπόλοιπα μεγαλύτερη χωρίς να σημειώνεται κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά. Παρουσία ακτινοβολίας, η κατάσταση αυτή γίνεται πιο έντονη. Η ενέργεια του EEG για τους άνδρες είναι στατιστικά σημαντικά μικρότερη από αυτή των γυναικών για τα ηλεκτρόδια C5, C3, F4, C6, C4, O2, P4, P3, Pz, Cz και Fz (11 από τα 15) πλην των Fr1, F3, Fr2 και O1. Η περαιτέρω στατιστική επεξεργασία (step-down ανάλυση) αποκάλυψε ότι οι διαφορές αυτές παρουσία ακτινοβολίας μπορούν να εξηγηθούν επαρκώς από τη διαφορά που υπάρχει σε ένα μόνο ηλεκτρόδιο, το Cz.



Σχήμα 2. 11 Διαφορές της ενέργειας του βήτα ρυθμού του EEG ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες (ενέργεια αντρών μείον ενέργεια γυναικών) παρουσία και απουσία ακτινοβολίας για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Οι αστερίσκοι υποδεικνύουν τα ηλεκτρόδια όπου οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές.

Αυτό σημαίνει ότι υπό από την επίδραση της ακτινοβολίας η ενέργεια του βήτα ρυθμού του EEG των γυναικών αυξάνεται σημαντικά ενώ των ανδρών μειώνεται ελαφρά. Σχηματικά η κατάσταση αυτή φαίνεται ξεκάθαρα στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2. 12 Ενέργεια EEG για το ηλεκτρόδιο Cz για τα δύο φύλα και τις πειραματικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι το EEG υπό την έκθεση σε Η/Μ πεδίο παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά στα δύο φύλα. Αυτό συμφωνεί με προηγούμενη έρευνα για το πείραμα με ακτινοβολία 900MHz που αφορούσε όμως τη συνολική ενέργεια του EEG. Συγκεκριμένα είχε βρεθεί ότι η συνολική ενέργεια του σήματος EEG για τις γυναίκες αυξάνεται με την ύπαρξη του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ενώ για τους άντρες παρουσίαζε μείωση σε σχέση με την ενέργεια του EEG χωρίς την ύπαρξη του πεδίου [98].

2.4.4 Συμπεράσματα

Όσον αφορά την ορθότητα της μελέτης, οι ενέργειες των ρυθμών του EEG που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις αντιστοιχούν στις τυπικές τιμές των δέλτα, θήτα, άλφα και βήτα ρυθμών του EEG που έχουν αναφερθεί επανειλημμένα στη διεθνή βιβλιογραφία [107, 108, 109] και η ενέργεια του EEG σήματος πρακτικά συγκεντρώνεται σε αυτές τις συχνότητες.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κατά την παρουσία Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800MHz, οι άντρες παρουσιάζουν χαμηλότερη ενέργεια στο βήτα ρυθμό από τις γυναίκες. Επίδραση της έκθεσης σε Η/Μ πεδίο στο βήτα ρυθμό του EEG έχει αναφερθεί επίσης από τους Eulitz's et al. κατά τη διάρκεια ακουστικού τεστ διάκρισης ερεθισμάτων [110]. Παρόμοιες διαφοροποιήσεις έχουν βρεθεί και από τους D'Costa H. et al στους άλφα και βήτα ρυθμούς του EEG με το κινητό να βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία [111]. Παρ' όλα αυτά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι μελέτες αυτές διεξάχθηκαν κατά τη διάρκεια έκθεσης σε Η/Μ

πεδίο συχνότητας 900 MHz και ότι δεν υπήρξαν αποτελέσματα που να σχετίζονται με το φύλο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι βρέθηκαν διαφοροποιήσεις στην ενέργεια του EEG από την έκθεση στο Η/Μ πεδίο παρόλο που το σήμα στα πειράματα που διεξήχθησαν δεν ήταν παλμικά διαμορφωμένο αλλά είχε τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός σήματος που εκπέμπεται από κινητά όσον αφορά τη συχνότητα και την ισχύ. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να έρχονται σε αντίθεση με αυτά που αναφέρθηκαν σε μία έρευνα των Huber et al. [112]. Η έρευνα όμως αυτή περιελάμβανε μόνο άντρες συμμετέχοντες και η ενέργεια του άλφα ρυθμού δεν διαφοροποιείτο ύστερα από την έκθεση σε πεδίο αδιαμόρφωτου σήματος, σε αντίθεση με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης όπου η ενέργεια των αντρών φαίνεται να μειώνεται. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η καταγραφή του EEG γινόταν μετά την έκθεση στο Η/Μ πεδίο και όχι κατά τη διάρκειά της. Υπό το πρίσμα αυτό, οι Krause et al. έχουν επίσης αναφέρει ότι η μόνη στατιστικά σημαντική επίδραση που υπήρξε κατά τη διάρκεια ενός ακουστικού τεστ μνήμης σε πειράματα με συνθήκες έκθεσης σε παλμικά διαμορφωμένα σήματα και ημίτονα ήταν μεγαλύτερος συγχρονισμός (ERS) των δυναμικών του άλφα ρυθμού και μικρότερος αποσυγχρονισμός (ERD) του κατά την έκθεση σε παλμικά διαμορφωμένο πεδίο σε σχέση με αυτήν σε ημίτονο [113]. Η ανακολουθία στα αποτελέσματα μπορεί να αποδοθεί σε μεθοδολογικές διαφορές όπως το φύλο των εξεταζόμενων, οι νοητικές διαδικασίες στις οποίες υποβάλλονται οι εξεταζόμενοι, ο τύπος του ερεθίσματος και οι διαφορές στην καταγραφή του σήματος (τοποθεσία, χρόνος).

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα για το EEG από την παρούσα μελέτη δείχνουν ότι οι διαφοροποιήσεις του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος σε σχέση με το φύλο απουσία Η/Μ πεδίου φαίνεται να είναι συναφείς με διαφοροποιήσεις ως προς το φύλο στη λειτουργική οργάνωση του εγκεφάλου όπως υποδεικνύεται από άλλες νευρολογικές μελέτες και μελέτες που αφορούν τη φυσιολογία του εγκεφάλου [114, 115, 116].

Το νόημα των αποτελεσμάτων που οφείλονται στην επίδραση του Η/Μ πεδίου μπορούν να γίνει κατανοητό αν ληφθούν υπόψη οι διαφορές στα δύο φύλα κατά την επεξεργασία πληροφοριών και η φύση της επίδρασης των Η/Μ πεδίων στα βιολογικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι γυναίκες είναι ανώτερες στην ταχύτητα αντίληψης, στη λεκτική ευχέρεια, στο συντονισμό των κινήσεων και στη νοητική αριθμητική ενώ οι άντρες είναι ανώτεροι σε διαδικασίες αντίληψης χώρου (προσανατολισμός στο χώρο και περιστροφή), στο μαθηματικό συλλογισμό και σε αποκρίσεις σε κινήσεις [117, 118]. Υπό αυτή την έννοια, η σημασία των αποτελεσμάτων αυτών μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτή αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο βήτα ρυθμός θεωρείται ότι σχετίζεται με φλοιϊκές

αλληλεπιδράσεις που αντικατοπτρίζουν την αλλαγή της προσοχής κατά τη διάρκεια της αντίληψης [39].

Οι παρατηρούμενες διαφορές μπορεί να συνδέονται με γενετικές διαφοροποιήσεις στην οργάνωση του εγκεφάλου, που σχετίζονται με διαφορετικές ορμονικές επιδράσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης [119]. Όσον αφορά την επίδραση της ακτινοβολίας στη λειτουργία του εγκεφάλου, πρόσφατες έρευνες υποστηρίζουν την ιδέα ότι τα Η/Μ πεδία μπορεί να επηρεάσουν την εγκεφαλική δραστηριότητα μέσω θερμικών και μη θερμικών μηχανισμών [120, 121].

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης καθώς και προηγούμενων [98, 99] φαίνεται ότι το EEG υπό την έκθεση σε Η/Μ πεδίο παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά στα δύο φύλα.

2.5 Επεξεργασία της ενέργειας των ερωτήσεων του EEG και συμπεράσματα

Τα ανωτέρω αποτελέσματα και συμπεράσματα προέκυψαν μετά από επεξεργασία των μέσων όρων των ερωτήσεων για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και συνθήκη ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz). Θεωρήθηκε λοιπόν σκόπιμο να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατή η επεξεργασία των 52 ερωτήσεων για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και συνθήκη ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό θα μεγιστοποιηθεί η εκμετάλλευση των δεδομένων των πειραμάτων και θα μπορεί να γίνει έλεγχος άλλων παραμέτρων που θα έχουν ενδιαφέρον από ψυχιατρικής απόψεως (π.χ. διαδικασία μάθησης).

Προκειμένου να εξεταστεί εάν μπορεί να γίνει επεξεργασία των ερωτήσεων του EEG ανά άτομο έγινε μετασχηματισμός Fourier για όλα τα άτομα στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια για τις 52 ερωτήσεις. Στη συνέχεια ελέγχθηκε η υπόθεση της κανονικής κατανομής με το κριτήριο Kolmogorov – Smirnov για τις 52 ερωτήσεις στους διάφορους ρυθμούς του EEG καθώς και για τη συνολική ενέργεια. Επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε το 0.05. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων βρέθηκε ότι η κατανομή που ακολουθούσαν οι ενέργειες των ερωτήσεων ξεχωριστά διέφερε σημαντικά από την κανονική κατανομή (p -values<0.05). Η διαφορά αυτή είναι λογική αφού τα πειραματικά δεδομένα (σήματα EEG) δεν υπέστησαν κάποιου είδους αποθορυβοποίηση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια:

Ηλεκτρόδιο	Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή
Fp1	34.62%
F3	43.59%
C5	48.72%
C3	48.72%
Fp2	43.59%
F4	50.00%
C6	50.00%
C4	55.13%
O1	46.15%
O2	55.13%
P4	53.85%
P3	48.72%
Pz	57.69%
Cz	53.85%
Fz	38.46%

Πίνακας 2. 11 Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή.

Για να γίνει ένας διαχωρισμός ανάμεσα στις θορυβώδεις ή όχι ερωτήσεις ακολουθήθηκαν στη συνέχεια τα παρακάτω βήματα:

Βρέθηκε ο μέσος όρος καθώς και η τυπική απόκλιση των μετασχηματισμένων κατά Fourier ερωτήσεων για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και ρυθμό. Για κάθε άτομο αφαιρέθηκαν από την επεξεργασία οι ερωτήσεις οι οποίες είχαν τιμές ενέργειας χαμηλότερες ή υψηλότερες από τη μέση τιμή ± 1 τυπική από κλιση. Για τις εναπομείναντες ερωτήσεις έγινε περαιτέρω έλεγχος της κανονικής κατανομής. Αυτή τη φορά βρέθηκε ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων η υπόθεση της κανονικής κατανομής ικανοποιούταν (p -values>0.05). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται σε κάθε ηλεκτρόδιο το ποσοστό των ατόμων στους οποίους οι μετασχηματισμένες κατά Fourier ερωτήσεις έπειτα από την ανωτέρω επεξεργασία ακολουθούν κανονική κατανομή.

Ηλεκτρόδιο	Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή
Fp1	84.62%
F3	85.90%
C5	89.74%
C3	89.74%
Fp2	83.33%
F4	84.62%
C6	91.03%
C4	87.18%
O1	64.10%
O2	75.64%
P4	82.05%
P3	79.49%
Pz	79.49%
Cz	92.31%
Fz	82.05%

Πίνακας 2. 12 Ποσοστό ατόμων των οποίων οι ερωτήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή μετά την αποθρομβοποίηση.

Παρατηρείται ότι μετά τη συγκεκριμένη μέθοδο αποθρομβοποίησης το ποσοστό των ατόμων των οποίων οι ενέργειες των ερωτήσεων ακολουθούν κανονική κατανομή βελτιώθηκε σημαντικά. Επομένως είναι δυνατός περαιτέρω στατιστικός έλεγχος ανάμεσα στις ενέργειες των ερωτήσεων έτσι ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σε σχέση με παραμέτρους όπως η διαδικασία μάθησης και η επίδραση της ακτινοβολίας σε αυτήν.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μεθοδολογία εύρεσης της συσχέτισης φασματικής ισχύος (SPC) μεταξύ των ενεργειών των ρυθμών του εγκεφαλογραφήματος για τα δεδομένα των πειραμάτων υπό την έκθεση σε ακτινοβολία συχνότητας 900 και 1800 MHz που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται η εφαρμογή της συσχέτισης στο EEG και στη συνέχεια περιγράφεται η έννοια της συσχέτισης φασματικής ισχύος υπό όρους συνοχής η οποία και χρησιμοποιήθηκε. Ακολούθως παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στα δεδομένα, η στατιστική επεξεργασία που ακολουθήθηκε, τα αποτελέσματα και τέλος τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη επεξεργασία.

3.1 Η έννοια της συσχέτισης

Η συσχέτιση μετρά το βαθμό συνάφειας- αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Πρακτικά σημαίνει, ότι από την τιμή ενός δείκτη (συντελεστή συσχέτισης) γίνεται κατανοητό πόσο έντονη ή χαλαρή είναι η συσχέτιση δύο μεταβλητών. Η διαδικασία συσχέτισης παρουσιάζεται όχι μόνο σε ποσοτικές μεταβλητές (συντελεστής Pearson) αλλά και σε ποιοτικές ή κατηγορικές μεταβλητές (συντελεστές Spearman και Kendall). Βέβαια το γεγονός της ύπαρξης ή μη έντονης συνάφειας-συσχέτισης ανάμεσα σε δύο μεταβλητές, δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την ύπαρξη μίας συναρτησιακής σχέσης αυτών.

- **Συντελεστής Pearson**

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης δύο ποσοτικών μεταβλητών ορίζεται από το πηλίκο:

$$\rho = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.1)$$

όπου $\text{cov}(x,y)$ είναι η συνδιακύμανση των μεταβλητών x, y και σ_x, σ_y οι τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) αυτών.

Οι τιμές του συντελεστή αυτού κυμαίνονται ως εξής:

- $-1 \leq \rho \leq 1$ (Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι καθαρός αριθμός)
Όταν παίρνει την τιμή -1 , σημαίνει ότι υπάρχει πλήρης (τέλεια) συσχέτιση και μάλιστα οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνουν, ενώ οι τιμές της άλλης μεταβλητής μειώνονται. Ομοίως η τιμή $+1$ σημαίνει πλήρης (τέλεια) συσχέτιση των δύο μεταβλητών και οι τιμές και των δύο βαίνουν προς την ίδια κατεύθυνση. Για τις τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ισχύει ανάμεσα στις δύο μεταβλητές X και Y η μαθηματική σχέση $Y(t)=\alpha+\beta \cdot X(t)+e(t)$, όπου $e(t)$ είναι τα σφάλματα.
- Αν $\rho=0$ τότε οι μεταβλητές X και Y λέγονται ασυσχέτιστες.

- **Είδη συσχέτισης**

Στη φυσική η συσχέτιση περιγράφει γενικά όλες τις ιδιότητες των σχέσεων ανάμεσα στις φυσικές ποσότητες των κυμάτων (χρονική, τοπική συσχέτιση, συσχέτιση φάσης). Όταν δύο κύματα παρεμβάλλονται μπορούν να συμβάλλουν στη δημιουργία ενός μεγαλύτερου ή μικρότερου κύματος, ανάλογα με τη φύση τους. Έτσι υπάρχουν διάφορες κατηγορίες της συσχέτισης:

- Χρονική συσχέτιση: Η χρονική συσχέτιση είναι το μέτρο της μέσης συσχέτισης μεταξύ των τιμών ενός κύματος σε ανάμεσα σε κάθε δύο χρονικές στιγμές που έχουν μεταξύ τους καθυστέρηση τ .
- Χωρική συσχέτιση: Περιγράφει την ικανότητα δύο σημείων στο χώρο, x_1 και x_2 , του κύματος να παρεμβάλλονται όταν ληφθεί ο μέσος όρος τους στο χρόνο. Ειδικότερα είναι η συνάρτηση συσχέτισης ανάμεσα σε δύο σημεία του σήματος για όλες τις χρονικές στιγμές.
- Φασματική συσχέτιση: Είναι ένα στατιστικό μέτρο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξεταστεί η σχέση ανάμεσα στο φάσμα δύο σημάτων. Η συσχέτιση μεταξύ δύο σημάτων $x(t)$ και $y(t)$ περιγράφεται από τη σχέση:

$$C_{xy} = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (3.2)$$

όπου $G_{xy}(f)$ είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος των σημάτων και οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται από 0 έως 1.

3.1.2 Εφαρμογή της συσχέτισης στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Η ποσοτικοποίηση του EEG στο πεδίο της συχνότητας (συνήθως με το μετασχηματισμό Fourier) είναι μία τυπική μεθοδολογική προσέγγιση μιας και οι υποκείμενες φασματικές συνιστώσες είναι αντικείμενο παρατεταμένης έρευνας. Γίνονται διάφορες αναλύσεις στο πεδίο της συχνότητας για εύρεση συντονισμένης δραστηριότητας και συνεργασίας του εγκεφάλου. Η συσχέτιση της φασματικής ισχύος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος σε μία συγκεκριμένη συχνότητα μπορεί να αποτελέσει μέτρο συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών εγκεφαλικών περιοχών [122]. Η συσχέτιση ανάμεσα στις φάσεις των σημάτων από την άλλη, μετρά το βαθμό συγχρονισμού ανάμεσα

στις χρονικές δομές των σημάτων σε μία συγκεκριμένη συχνότητα, ενώ τα πλάτη τους μπορεί να παραμένουν ασυσχέτιστα. Υψηλή συσχέτιση φάσης δείχνει αυξημένη λειτουργική αλληλεπίδραση ανάμεσα στις υποκείμενες διαδικασίες στο χωρικό και χρονικό πεδίο[123, 124].

3.2 Συσχέτιση Πυκνότητας Φασματικής Ισχύος των ρυθμών του EEG

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος παρουσιάζει μία δομή η οποία που αποτελείται από περιοχές οι οποίες διαφέρουν με σαφή τρόπο στη μορφολογία και λειτουργία τους. Οι περιοχές αυτές δε δρουν απομονωμένα, αλλά συνδέονται, συγχρονίζονται και ολοκληρώνονται μέσω πολύπλοκων κυκλωμάτων. Πολύπλοκες αποκρίσεις, όπως αυτές που προκαλούνται από την έκθεση σε Η/Μ πεδία, είναι πιθανό να σχετίζονται στην δράση πολλών περιοχών του εγκεφάλου, και όχι στη δραστηριότητα μίας μόνο απομονωμένης περιοχής του [125]. Πρόσφατα βρέθηκε ότι η παρατεταμένη έκθεση σε εκπομπές από κινητά τηλέφωνα δεν επηρεάζει μόνο τη δραστηριότητα του φλοιού αλλά και το συγχρονισμό του άλφα ρυθμού του EEG μεταξύ των δύο ημισφαιρίων [126].

Μέχρι τώρα η εφαρμογή της συσχέτισης στο EEG εξετάζει το χρονικό ή τοπικό συγχρονισμό μεταξύ διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου για σήματα συγκεκριμένης συχνότητας. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μία διαφορετική διάσταση του συγχρονισμού, η οποία αντανακλά το επίπεδο συνεργασίας των διαφορετικών φασματικών συνιστωσών του EEG σε συγκεκριμένη τοποθεσία του εγκεφάλου.

Για το λόγο αυτό, μετά τον υπολογισμό της ενέργειας για όλους τους ρυθμούς του EEG στα πειράματα με ακτινοβολία συχνότητας 900 MHz και 1800 MHz και την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά της ενέργειας των ρυθμών του EEG υπό την παρουσία και απουσία ακτινοβολίας, θεωρήθηκε σημαντικό να βρεθεί κάποια σχέση που τους συνδέει, δηλαδή εάν μείωση ή αύξηση της ενέργειας ενός ρυθμού σημαίνει μείωση ή αύξηση των υπόλοιπων αντίστοιχα ή αν συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο.

Ο πιο κατάλληλος όρος για το είδος αυτό του συγχρονισμού είναι η συσχέτιση φασματικής ισχύος (Spectral Power Coherence – SPC) και στην παρούσα εργασία αναλύεται σε όρους συνάφειας [127, 106]. Στη στατιστική και την έρευνα, η εσωτερική συνοχή είναι ένα μέτρο που βασίζεται στις συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών στοιχείων του ίδιου τεστ. Υπολογίζει το κατά πόσο τα διάφορα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε ένα γενικό σύνολο

έχουν παρόμοιες αποκρίσεις. Για την εύρεση της συνοχής αυτής χρησιμοποιείται συνήθως ο συντελεστής άλφα του Cronbach.

3.2.1 Συντελεστής Cronbach's alpha

Ο πιο συχνά αναφερόμενος δείκτης εσωτερικής συνάφειας είναι ο συντελεστής αξιοπιστίας άλφα του Cronbach [128], που εισήχθη από τον Cronbach το 1951 και ορίζεται ως εξής:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{Y_i}^2}{\sigma_X^2} \right), \quad (3.3)$$

όπου k είναι το πλήθος των στοιχείων του δείγματος, σ_X^2 είναι η συνολική διακύμανση του δείγματος και $\sigma_{Y_i}^2$ είναι η διακύμανση της i ομάδας του δείγματος.

Όταν αντί για τον πίνακα διακυμάνσεων εργάζεται κανείς με τον πίνακα συσχετίσεων η σχέση αυτή καταλήγει στην:

$$\alpha = \frac{k\bar{\rho}}{1+(k-1)\bar{\rho}} \quad (3.4)$$

$$\text{όπου } \bar{\rho} = \frac{2}{k(k-1)} \sum \sum_{i<j}^k r_{ij} \quad (3.5)$$

δηλαδή ο μέσος ενός άνω ή κάτω τριγωνικού πίνακα συσχετίσεων με i γραμμές και j στήλες [129].

Γενικά ισχύουν οι ακόλουθες τιμές για το συντελεστή άλφα σύμφωνα με τους George και Mallery (2003) [130].

- a. $\alpha > 0.9$ – Excellent,
- b. $\alpha > 0.8$ – Good,

- c. $\alpha > 0.7$ – Acceptable,
- d. $\alpha > 0.6$ – Questionable,
- e. $\alpha > 0.5$ – Poor,
- f. $\alpha < 0.5$ – Unacceptable

Ο συντελεστής αυτός αυξάνεται παράλληλα με τη συσχέτιση ανάμεσα στα στοιχεία προς εξέταση (στη συγκεκριμένη περίπτωση ανάμεσα στις φασματικές περιοχές), όπως φαίνεται και από την παραπάνω σχέση η οποία δείχνει ότι η αξιοπιστία ενός τεστ εξαρτάται από την πραγματική υποκείμενη συσχέτιση ανάμεσα στα στοιχεία του και από τον αριθμό τους.

Οι Novick και Lewis (1967) έχουν επίσης αποδείξει ότι γενικά ο συντελεστής άλφα αποτελεί το κάτω όριο της αξιοπιστίας σε μία αστάθμιστη κλίμακα N στοιχείων, δηλαδή ότι εάν ρ_x η τιμή της αξιοπιστίας μεταξύ N στοιχείων ισχύει η σχέση:

$$\rho_x \geq \alpha \quad (3.6)$$

Η παραπάνω σχέση ισοδυναμεί με την αξιοπιστία ενός τεστ που αποτελείται από παράλληλα στοιχεία (ασυσχέτιστα λάθη και ίση διακύμανση). Για το λόγο αυτό η αξιοπιστία δεν μπορεί ποτέ να είναι χαμηλότερη από το συντελεστή άλφα ακόμα και εάν τα στοιχεία αποκλίνουν σημαντικά από το να είναι παράλληλα. Με άλλα λόγια ο συντελεστής άλφα του Cronbach παρέχει μία συντηρητική εκτίμηση για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας μίας μέτρησης [131].

3.3 Εφαρμογή του συντελεστή Cronbach's alpha στα δεδομένα των πειραμάτων (υπό και χωρίς την επίδραση των Η.Μ πεδίων συχνότητας 900MHz και 1800MHz)

Για να εξεταστεί εάν η ενέργεια είναι κατανομημένη ανάμεσα στους τέσσερις ρυθμούς του EEG (που υπολογίστηκαν με το μετασχηματισμό Fourier όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο) με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή εάν τα άτομα που έχουν υψηλότερες τιμές ενέργειας σε έναν ρυθμό αναμένεται να έχουν υψηλότερες τιμές ενέργειας και στους άλλους ρυθμούς, υιοθετήθηκε ο συντελεστής άλφα του Cronbach. Παρόμοια αποτελέσματα θα μπορούσαν να εξαχθούν εξετάζοντας τον πίνακα συσχετίσεων των ενεργειών των τεσσάρων

ρυθμών για κάθε ηλεκτρόδιο. Μία τέτοια προσέγγιση όμως παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι για κάθε ηλεκτρόδιο θα έπρεπε να εξεταστεί ένας πίνακας με έξι συντελεστές συσχέτισης.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που κάνουν το συντελεστή άλφα του Cronbach κατάλληλο για την εξέταση του προβλήματος αυτού. Αυτοί είναι:

- Η διαδικασία εμπεριέχει μόνο ένα συντελεστή, ο οποίος είναι στενά συνδεδεμένος με το μέσο όρο των έξι συντελεστών συσχέτισης (βλ. εξίσωση 3.4).
- Το εύρος τιμών του συντελεστή άλφα (0 έως 1) είναι παρόμοιο με το εύρος των τιμών των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των στοιχείων που αναμένεται να έχουν θετική ανταπόκριση. Επιπλέον, το κριτήριο του Nunnally [132] ότι οι συντελεστές θεωρούνται επαρκείς εάν ξεπεράσουν την τιμή 0.7 μπορεί κατά κανόνα να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη περίπτωση.
- Είναι δυνατή η διεξαγωγή μίας παράλληλης διαδικασίας που εξάγει το συντελεστή εάν καθένα από τα προς σύγκριση στοιχεία, και πιο συγκεκριμένα ρυθμός, αφαιρεθεί. Σύγκριση αυτών των επιμέρους συντελεστών με το συνολικό συντελεστή μπορεί να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το κατά πόσο κάποιος ρυθμός επιδρά θετικά στο συνολικό συντελεστή. Από την άλλη, μπορούν να εντοπιστούν τα στοιχεία τα οποία δε συνεισφέρουν στην συνολική αξιοπιστία.

Η μεταβλητή που προέκυψε για τελική ανάλυση ήταν η τιμή των συντελεστών άλφα του Cronbach στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια.

3.3.1 Στατιστική επεξεργασία

Αρχικά εφαρμόστηκαν t-test κατά ζεύγη (paired t-tests) για να διευκρινιστεί εάν η απαλοιφή κάποιου ρυθμού από τον υπολογισμό του συντελεστή άλφα οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις από το συνολικό συντελεστή.

Το t-test κατά ζεύγη εφαρμόζεται σε εξαρτημένα δείγματα και καθορίζει το εξής. Δεδομένων δύο ζευγαρωμένων ομάδων X_i και Y_i αποτελούμενων από n μετρούμενες τιμές το καθένα, το t-test κατά ζεύγη καθορίζει κατά πόσο διαφέρουν με τρόπο στατιστικά σημαντικό υπό την προϋπόθεση ότι οι μεταβλητές ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Για τον έλεγχο της κανονικής κατανομής εφαρμόστηκε το Kolmogorov-Smirnov test στο συνολικό συντελεστή Cronbach άλφα καθώς και στους συντελεστές που προέκυψαν μετά την

απαλοιφή των επιμέρους ρυθμών του EEG και βρέθηκε ότι οι συντελεστές ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Για την εφαρμογή του t-test κατά ζεύγη ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Υπολογίζονται οι τιμές:

$$\hat{X}_i = (X_i - \bar{X}) \quad (3.7)$$

$$\hat{Y}_i = (Y_i - \bar{Y}) \quad (3.8)$$

Όπου \bar{X} και \bar{Y} οι μέσοι όροι των X_i και Y_i αντίστοιχα για $i=1, \dots, n$

Η κρίσιμη τιμή t υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$t = (\bar{X} - \bar{Y}) \sqrt{\frac{n(n-1)}{\sum_{i=1}^n (\hat{X}_i - \hat{Y}_i)^2}} \quad (3.9)$$

και έχει n-1 βαθμούς ελευθερίας.

Αφού υπολογιστεί η τιμή t εντοπίζεται από τους σχετικούς πίνακες της κατανομής Student η κρίσιμη τιμή t_{crit} με βάση το επίπεδο σημαντικότητας α .

Αν $t > t_{crit}$ απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση H_0 ότι τα δείγματα δε διαφέρουν, αλλιώς γίνεται αποδεκτή.

Η επίδραση της συνθήκης της έκθεσης (απουσία ακτινοβολίας – έκθεση σε H/M πεδίο 900MHz – έκθεση σε H/M πεδίο 1800MHz) και του φύλου (άντρες – γυναίκες). καθώς και η αλληλεπίδρασή τους αναλύθηκαν με παραγοντική ανάλυση διακύμανσης δύο μεταβλητών (two-way ANOVA). ακολουθούμενη από πολλαπλές συγκρίσεις κατά ζεύγη (post hoc pairwise comparisons) με διορθώσεις Bonferroni των δύο φύλων σε κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και της κάθε συνθήκης έκθεσης ανάμεσα στα δύο φύλα.

Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας τέθηκε στο 0.05.

Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος διεξαγωγής των πολλαπλών συγκρίσεων ανά ζεύγη και των διορθώσεων Bonferroni.

Πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων όρων ανά ζεύγη (post-hoc tests)

Τα post hoc tests είναι σχεδιασμένα για καταστάσεις όπου έχει ήδη βρεθεί στατιστικά σημαντική διαφορά από τη διαδικασία ANOVA. Όταν το F-test βγει στατιστικά σημαντικό

με έναν παράγοντα που αποτελείται από τρεις ή περισσότερες μεταβλητές, χρειάζεται περισσότερη αναζήτηση για την παροχή επιπρόσθετης πληροφορίας στο ποιες μεταβλητές διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Υπάρχουν δύο είδη post- hoc συγκρίσεων: οι κατά ζεύγη (pairwise) και «οι κατά ζεύγη και με άλλο ψ» (pairwise and otherwise). Στην πρώτη κατηγορία, η οποία αναλύεται παρακάτω και χρησιμοποιήθηκε, γίνονται συγκρίσεις δύο μέσων κάθε φορά, ενώ στη δεύτερη κάθε σύγκριση περιλαμβάνει το ελάχιστο δύο συνθήκες (π.χ η ομάδα 1 και 2 vs 3).

Η μεθοδολογία γενικά για την πραγματοποίηση post – hoc συγκρίσεων κατά ζεύγη είναι η εξής [105]:

Αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός των συγκρίσεων κατά ζεύγη που θα γίνουν χρησιμοποιώντας τον τύπο: $k(k-1)/2$, όπου k είναι ο αριθμός των συνθηκών του παράγοντα που εξετάζεται. Στην περίπτωσή μας ελέγχθηκαν οι τρεις διαφορετικές συνθήκες της ακτινοβολίας (Απουσία Ακτινοβολίας – 900MHz – 1800MHz) επομένως ο αριθμός των συγκρίσεων κατά ζεύγη προέκυψε 3.

Στη συνέχεια κατασκευάζεται ένας πίνακας που δείχνει τις τιμές των μέσων τιμών στις γραμμές και στις στήλες και τις διαφορές των μέσων τιμών στα κελιά. Έτσι φτιάχνεται ένας πίνακας απόλυτων μέσων διαφορών για να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση των post hoc tests.

Τα βήματα για την κατασκευή του πίνακα είναι τα εξής:

- Ταξινομούνται οι ομάδες με βάση τη μέση τιμή τους από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη.
- Οι γραμμές του πίνακα δημιουργούνται αρχίζοντας με τη μεγαλύτερη μέση τιμή μέχρι τη μικρότερη ενώ οι στήλες αρχίζοντας με τη μικρότερη μέση τιμή μέχρι τη μεγαλύτερη.
- Υπολογίζονται οι απόλυτες διαφορές μεταξύ κάθε στήλης και γραμμής ($\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_j$).

Έπειτα υπολογίζεται η κρίσιμη διαφορά η οποία είναι η τιμή που πρέπει να ξεπερνούν οι τιμές του παραπάνω πίνακα για να θεωρηθούν στατιστικά σημαντικές. Η κρίσιμη διαφορά μπορεί να υπολογιστεί από διάφορα test για πολλαπλές συγκρίσεις. Επικρατέστερα είναι το test LSD (Least Significant Difference t-test), το Tukey's HSD test και οι διορθώσεις Bonferroni (Bonferroni corrections). Στη συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν Bonferroni corrections.

Bonferroni Corrections

Για τον υπολογισμό των Bonferroni corrections [133] αρχικά υπολογίζεται το LSD από τον παρακάτω τύπο:

$$LSD_{i-j} = \frac{\bar{\mu}_i - \bar{\mu}_j}{s_{\bar{\mu}_i - \bar{\mu}_j}} \quad (3.10)$$

όπου $s_{\bar{\mu}_i - \bar{\mu}_j} = \sqrt{MSE \cdot \left(\frac{1}{N_i} + \frac{1}{N_j}\right)}$ το τυπικό σφάλμα της διαφοράς των μέσων τιμών των ομάδων i και j , MSE ($SS_{E.O}/df$, κεφάλαιο 2- *ανάλυση διακύμανσης*) είναι η διακύμανση των μέσων τιμών των τετραγώνων των διασπορών εντός των ομάδων, και N το πλήθος των δειγμάτων των ομάδων i και j .

Οι διορθώσεις Bonferroni πολλαπλασιάζουν καθένα από τα επίπεδα σημαντικότητας του LSD test με τον αριθμό των συγκρίσεων κατά ζεύγη που διεξάγονται. Εάν η τιμή προκύψει μεγαλύτερη από 1, τότε το επίπεδο σημαντικότητας τίθεται στο 1. Για παράδειγμα εάν το LSD test αναφέρει ότι η διαφορά δύο ομάδων είναι σημαντική στο επίπεδο σημαντικότητας 0.009574 και ο αριθμός των συγκρίσεων κατά ζεύγη που θα γίνουν είναι 6, τότε οι Bonferroni corrections αναφέρουν επίπεδο σημαντικότητας $6 * 0.009574 = 0.057442$. Αυτό είναι μεγαλύτερο από 0.05 επομένως οι διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ομάδων δεν κρίνεται στατιστικά σημαντική.

3.3.2 Αποτελέσματα των συντελεστών άλφα των ενεργειών των ρυθμών του EEG

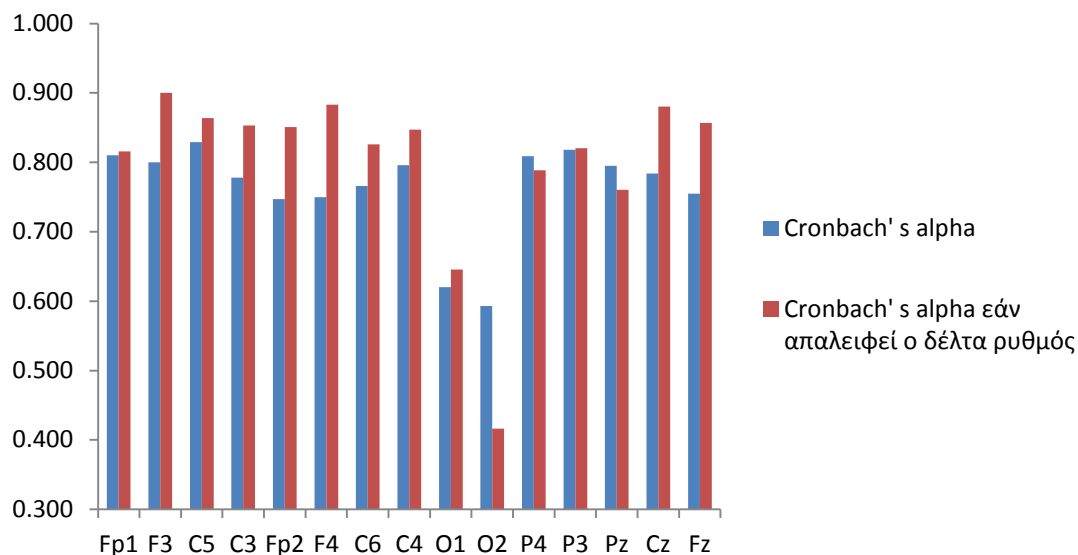
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές Cronbach's alpha ανάμεσα στην ενέργεια των τεσσάρων ρυθμών του EEG στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια για όλο το δείγμα. χωρίς να ληφθεί υπ' όψη η συνθήκη H/M πεδίου ή το φύλο των εξεταζόμενων. Οι συντελεστές αυτοί υπολογίστηκαν επίσης για τις περιπτώσεις όπου κάθε ρυθμός διαγραφόταν. Τα t-test κατά ζεύγη που εφαρμόστηκαν έδειξαν η απαλοιφή καθενός από τους θήτα, άλφα και βήτα ρυθμούς οδηγεί σε σημαντική επιδείνωση του συντελεστή άλφα του Cronbach για το δείγμα για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια ($p < 0.05$). Αντίθετα η απαλοιφή του δέλτα ρυθμού οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του συντελεστή άλφα του Cronbach ($p < 0.05$). Περαιτέρω ανάλυση έδειξε ότι τα παραπάνω ευρήματα ισχύουν για κάθε υποσύνολο

συνθηκών (ακτινοβολία – φύλο) του δείγματος. Όπως δείχνει ο Πίνακας 3.1. η τιμή της συσχέτισης φασματικής ισχύος σε όλα τα ηλεκτρόδια, με την εξαίρεση των O1 και O2, είναι αρκετά παραπάνω από 0.7, τιμή η οποία αποτελεί το κριτήριο του Nunnally για την επάρκεια της εσωτερικής συνεκτικότητας των ενεργειών των ρυθμών του EEG. Τα ηλεκτρόδια O1 και O2 δεν επιτυγχάνουν αυτό το κριτήριο ακόμα και μετά τη διαγραφή του δέλτα ρυθμού.

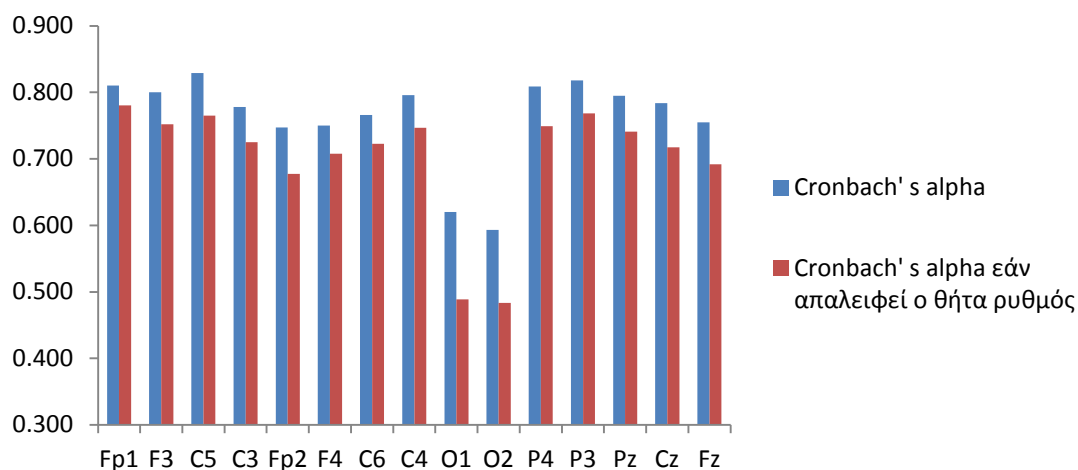
Ηλεκτρόδιο	Συντελεστής Cronbach' s alpha				
	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός	Αν αφαιρεθεί ο θήτα ρυθμός	Αν αφαιρεθεί ο άλφα ρυθμός	Αν αφαιρεθεί ο βήτα ρυθμός
Fp1	0.810	0.816	0.780	0.722	0.734
F3	0.800	0.900	0.752	0.735	0.677
C5	0.829	0.864	0.765	0.803	0.738
C3	0.778	0.853	0.725	0.715	0.659
Fp2	0.747	0.851	0.678	0.656	0.649
F4	0.750	0.883	0.708	0.674	0.612
C6	0.766	0.826	0.723	0.700	0.633
C4	0.796	0.847	0.747	0.743	0.688
O1	0.620	0.645	0.489	0.667	0.448
O2	0.593	0.416	0.483	0.755	0.433
P4	0.809	0.788	0.749	0.801	0.715
P3	0.818	0.820	0.768	0.799	0.716
Pz	0.795	0.761	0.741	0.798	0.676
Cz	0.784	0.880	0.717	0.732	0.660
Fz	0.755	0.857	0.692	0.705	0.595
Μέση Τιμή	0.763	0.800	0.701	0.734	0.642
± Τοπική Απόκλιση	±0.069	±0.123	±0.092	±0.050	±0.092

Πίνακας 3. 1 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.

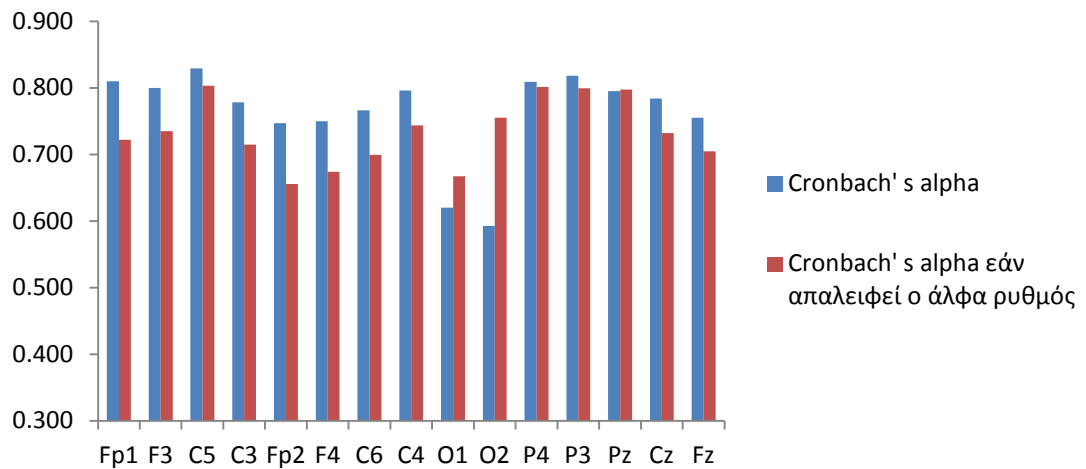
Τα ανωτέρω φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



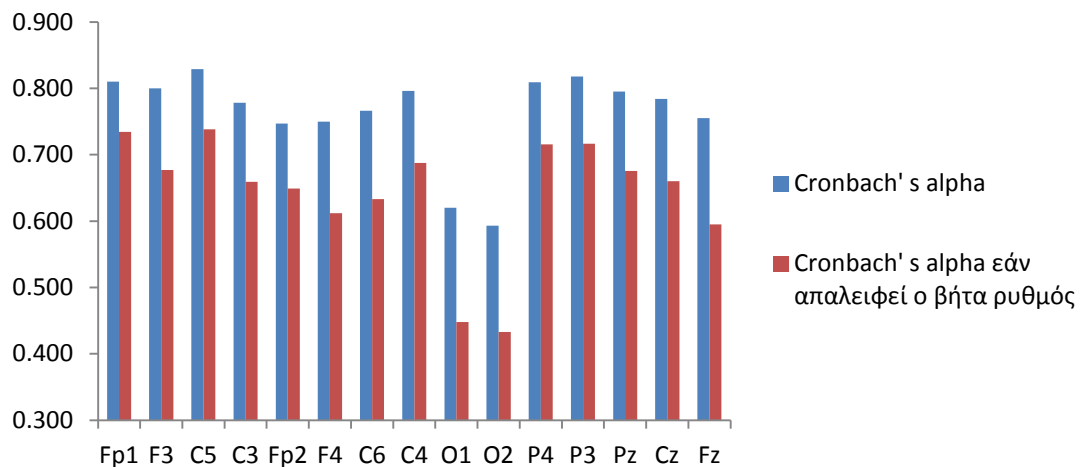
Σχήμα 3. 1 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG, καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του δέλτα ρυθμού, υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.



Σχήμα 3. 2 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG, καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του θήτα ρυθμού, υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.



Σχήμα 3. 3 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG, καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του άλφα ρυθμού, υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.



Σχήμα 3. 4 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ της ενέργειας των τεσσάρων ρυθμών του EEG, καθώς και για την περίπτωση αφαίρεσης του βήτα ρυθμού, υπολογισμένοι για όλο το δείγμα.

Εφόσον ο δέλτα ρυθμός βρέθηκε να επιδεινώνει τη συνολική συνοχή, οι περαιτέρω υπολογισμοί του συντελεστή άλφα για τα υποσύνολα έγιναν με την εξαίρεση του δέλτα ρυθμού. Οι συντελεστές Cronbach άλφα για τα υποσύνολα του δείγματος παρουσιάζονται

στους παρακάτω πίνακες για τις περιπτώσεις που οι υπολογισμοί γίνουν με ή χωρίς τον δέλτα ρυθμό.

Ηλεκτρόδιο	Συντελεστής Cronbach's alpha					
	Άντρες - Απουσία Ακτινοβολίας		Άντρες – Πεδίο Συχνότητας 900 MHz		Άντρες – Πεδίο Συχνότητας 1800 MHz	
	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός
Fp1	0.906	0.89	0.841	0.919	0.474	0.598
F3	0.786	0.908	0.947	0.925	0.525	0.736
C5	0.888	0.895	0.991	0.918	0.675	0.706
C3	0.806	0.848	0.957	0.919	0.67	0.718
Fp2	0.781	0.902	0.684	0.906	0.806	0.85
F4	0.814	0.942	0.867	0.943	0.688	0.61
C6	0.805	0.847	0.932	0.886	0.544	0.61
C4	0.823	0.877	0.935	0.887	0.594	0.635
O1	0.649	0.834	0.849	0.895	0.444	0.482
O2	0.787	0.724	0.773	0.743	0.299	0.521
P4	0.849	0.844	0.965	0.952	0.611	0.557
P3	0.844	0.796	0.928	0.901	0.326	0.231
Pz	0.76	0.726	0.945	0.91	0.619	0.367
Cz	0.788	0.906	0.973	0.972	0.535	0.664
Fz	0.818	0.893	0.903	0.931	0.582	0.797

Πίνακας 3. 2 Συνολικοί και επιμέρους συντελεστές άλφα για τους άντρες για όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας

Συντελεστής Cronbach's alpha

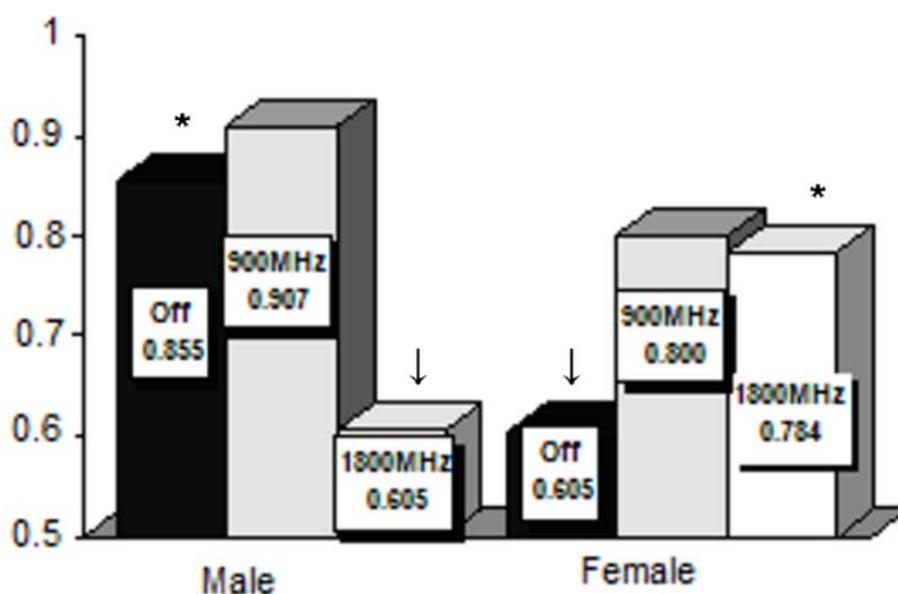
Ηλεκτρόδιο	Γυναίκες - Απουσία Ακτινοβολίας		Γυναίκες – Πεδίο Συχνότητας 900 MHz		Γυναίκες – Πεδίο Συχνότητας 1800 MHz	
	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός	Για όλους τους ρυθμούς	Αν αφαιρεθεί ο δέλτα ρυθμός
Fp1	0.261	0.365	0.832	0.838	0.554	0.746
F3	0.693	0.873	0.787	0.912	0.651	0.67
C5	0.74	0.828	0.714	0.863	0.78	0.684
C3	0.738	0.835	0.692	0.861	0.805	0.782
Fp2	0.571	0.639	0.772	0.799	0.659	0.679
F4	0.587	0.757	0.602	0.748	0.863	0.83
C6	0.738	0.749	0.656	0.851	0.845	0.782
C4	0.774	0.746	0.689	0.826	0.91	0.919
O1	0.15	0.154	0.574	0.436	0.774	0.804
O2	0.157	0.042	0.849	0.722	0.406	0.647
P4	0.004	0.135	0.767	0.804	0.881	0.865
P3	0.782	0.748	0.776	0.849	0.904	0.893
Pz	0.672	0.649	0.765	0.79	0.821	0.74
Cz	0.836	0.845	0.688	0.858	0.871	0.847
Fz	0.49	0.706	0.554	0.849	0.86	0.866

Πίνακας 3. 3 Συνολικοί και επιμέρους συντελεστές άλφα για τις γυναίκες για όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας

Τα αποτελέσματα για τα δύο φύλα ξεχωριστά και για κάθε συνθήκη έκθεσης σε Η/Μ πεδίο υπολογισμένα στο μέσο όρο των δεκαπέντε ηλεκτροδίων παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5. Σημειώνεται ότι η συνθήκη χωρίς ακτινοβολία αναφέρεται στο μέσο όρο των ατόμων και των δύο πειραμάτων (σύνολο 39 άτομα).

Η παραγοντική ANOVA δύο μεταβλητών έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση φύλου x ακτινοβολίας ($F=16.1$, $p < 0.001$). Έγιναν περαιτέρω συγκρίσεις για να βρεθεί το είδος αυτής της αλληλεπίδρασης. οι οποίες έδειξαν τα ακόλουθα: Απουσία ακτινοβολίας οι άντρες παρουσίασαν υψηλότερους συντελεστές συνοχής των ενεργειών από τις γυναίκες. ενώ κατά την παρουσία του Η/Μ πεδίου συχνότητας 900MHz οι διαφοροποιήσεις αυτές δεν υπήρχαν. Επιπλέον. κατά την παρουσία Η/Μ πεδίου συχνότητας 1800MHz η κατάσταση αντιστρέφεται. δηλαδή οι γυναίκες παρουσίασαν υψηλότερες τιμές του συντελεστή άλφα Cronbach από τους άντρες.

Η συσχέτιση φασματικής ισχύος των αντρών ήταν η ίδια απουσία ακτινοβολίας και παρουσία του πεδίου συχνότητας 900MHz. αλλά υπέστη σημαντική μείωση στα 1800 MHz. Παράλληλα οι γυναίκες παρουσίασαν σημαντική αύξηση στην τιμή της συσχέτισης φασματικής ισχύος παρουσία H/M πεδίου συχνότητας 900MHz σε σύγκριση με τη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία. ενώ η αύξηση της συχνότητας του H/M πεδίου (1800MHz) δε συνοδεύτηκε από περαιτέρω αύξηση στο SPC. Οι παραπάνω διαφορές του SPC είναι υπολογισμένες στο μέσο όρο των ηλεκτροδίων, αλλά πρακτικά προέκυψαν ως το αποτέλεσμα των διαφοροποιήσεων στο σύνολο των ηλεκτροδίων.



Σχήμα 3. 5 Συντελεστές Cronbach's alpha μεταξύ των ενεργειών των ρυθμών θήτα, άλφα και βήτα του EEG, υπολογισμένοι στο μέσο όρο των δεκαπέντε ηλεκτροδίων για κάθε φύλο και συνθήκη H/M πεδίου.

* : Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των φύλων για συγκεκριμένη συνθήκη H/M πεδίου.

↓: Στατιστικά σημαντικές διαφορές (μείωση) της συγκεκριμένης συνθήκης H/M πεδίου σε σύγκριση με τις άλλες δύο. για το συγκεκριμένο φύλο.

3.3.3 Συμπεράσματα

Σε μεγάλο βαθμό. η πηγή και οι συσχετίσεις των φασματικών συνιστωσών του EEG παραμένουν άγνωστες. Έχουν παρόλα αυτά συνδεθεί με την προσοχή (α ρυθμός). με τον προσανατολισμό των συντεταγμένων απαντήσεων στις διάφορες φάσεις της εγρήγορσης και

την ανίχνευση-αξιολόγηση του «σήματος» (θ και δ ρυθμός) καθώς και με την εγρήγορση (β ρυθμός) [134].

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τέσσερις ρυθμοί του EEG (δέλτα. θήτα. άλφα. βήτα) έχουν υψηλό βαθμό συσχέτισης σε όλα τα υπό θεώρηση ηλεκτρόδια. με την εξαίρεση των ηλεκτροδίων O1 και O2. Επίσης, ο αποκλεισμός του δέλτα ρυθμού οδηγεί σε μία σημαντική βελτίωση της συνολικής συνοχής. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του δέλτα ρυθμού δεν διαφοροποιείται με τον ίδιο τρόπο ανάμεσα στα άτομα όπως οι ενέργεια των υπόλοιπων τριών ρυθμών του EEG. Επιπλέον, φαίνεται ότι το φύλο και η ακτινοβολία έχουν μία σχέση αλληλεπίδρασης στη συσχέτιση φασματικής ισχύος των ενεργειών των ρυθμών. Κατά την απουσία H/M πεδίου οι άντρες παρουσιάζουν υψηλότερη συνοχή μεταξύ της φασματικής ισχύος από τις γυναίκες. Η διαφοροποίηση αυτή εξαφανίζεται στα 900MHz και αντιστρέφεται στα 1800MHz. Το γεγονός ότι οι διαφοροποιήσεις αυτές εξαπλώνονται στην πλειονότητα των ηλεκτροδίων δείχνουν ότι η συσχέτιση φασματικής ισχύος ακολουθεί έναν παρόμοιο ρυθμό στην επιφάνεια της κεφαλής.

Από όσο είναι γνωστό η προσπάθεια αυτή είναι η πρώτη που έγινε για να αποκαλύψει τις άμεσες επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην εσωτερική συνοχή των διακυμάνσεων της ενέργειας των διαφόρων ζωνών συχνοτήτων του EEG σήματος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι η κατανομή ενέργειας ανάμεσα στους ρυθμούς του EEG φαίνεται να ακολουθούν έναν τυπικό και αναλογικό ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός είναι πιο αυστηρός όσον αφορά τους τρεις ρυθμούς. θήτα. άλφα και βήτα. Το εύρημα αυτό είναι σε συμφωνία με μοντέλο που βασίζεται σε έρευνες ανάμεσα σε οικογένειες και διδύμους, το οποίο υπολογίζει τη συνεισφορά των γενετικών και περιβαλλοντικών επιδράσεων στις διαφορές της συσχέτιση του EEG ανάμεσα στα διάφορα άτομα. Το μοντέλο αυτό τείνει στη θεώρηση ότι η ισχύς των θήτα. άλφα και βήτα ρυθμών του EEG μοιράζονται μία κοινή γενετική πηγή που παρουσιάζει υψηλή κληρονομικότητα σε αντίθεση με τον δέλτα ρυθμό [135, 136, 137, 138].

Αν ληφθεί υπόψη ότι οι ρυθμοί θ. α και β του EEG είναι δείκτες των διαδικασιών της προσοχής και της μνήμης [139, 38, 140, 37, 39]. είναι λογικό να υποτεθεί ότι οι διαφορές που βρέθηκαν σχετικές με το φύλο στη συσχέτιση της φασματικής ενέργειας που εξαρτώνται από την πειραματική συνθήκη (900MHz και 1800MHz) μπορεί να σχετίζονται με διαφορετικούς μηχανισμούς που ενεργοποιούνται. οι οποίοι οφείλονται στη διαφορετική λειτουργική οργάνωση του εγκεφάλου των δύο φύλων όπως έχει υποδειχθεί από άλλες μελέτες [116, 115, 141, 114]. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις ότι η συσχέτιση του EEG ποικίλλει συστηματικά με το φύλο [142]. Λόγω της πολυπλοκότητας του πεδίου και της έλλειψης θεωρητικού υποβάθρου χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για τη μελέτη της επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στις λειτουργίες του εγκεφάλου [127].

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΈΚΘΕΣΗΣ Η/Μ ΠΕΔΙΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ 900 ΚΑΙ 1800MHz ΣΤΟ ERP

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά αναλύονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος στο τμήμα του που αφορά στα προκλητά δυναμικά, δηλαδή αυτό που καταγράφεται μετά από την επίδραση ενός εξωτερικού ερεθίσματος.. Στη συνέχεια περιγράφεται η στατιστική επεξεργασία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δεδομένα των πειραμάτων υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται ομαδοποίηση των ερωτήσεων και σύγκριση των τιμών που προκύπτουν για τα προκλητά δυναμικά προκειμένου να εξεταστεί κατά πόσο μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα που θα αφορούν και άλλες παραμέτρους των πειραμάτων (π.χ. εξοικείωση και κόπωση).

4.1 Επεξεργασία δεδομένων ERP

Η διαδικασία για να εξαχθούν τα προκλητά δυναμικά από τα αρχικά δεδομένα περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Συνοπτικά μετά την αφαίρεση της ενίσχυσης για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και κάθε επίσκεψή του υπολογίζεται ο μέσος όρος των ερωτήσεων των σημάτων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Πιο συγκεκριμένα για τα προκλητά δυναμικά για κάθε άτομο, επίσκεψη και ηλεκτρόδιο υπολογίζεται ο μέσος όρος των 100 τελευταίων τιμών EEG (background EEG, 401-500msec) για όλες τις ερωτήσεις (52 x 100 τιμές). Από κάθε τιμή του ERP (501-1500msec) αφαιρείται ο μέσος όρος που υπολογίστηκε προηγουμένως (baseline removal). Αυτό γίνεται προκειμένου να μην υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις τελευταίες τιμές του EEG και τις αρχικές τιμές του ERP. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 52 επαναλήψεων (ερωτήσεων) για να αποβληθεί ο θόρυβος. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία χρονική ακολουθία 1000 τιμών η οποία αποτελεί το ERP σήμα για κάθε άτομο, πειραματική συνθήκη και ηλεκτρόδιο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι για τις κορυφώσεις P50 και N100 η αρχική επεξεργασία που ακολουθείται για την εξαγωγή τους διαφέρει για το test Wechsler. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το είδος του ερεθίσματος που χρησιμοποιείται (χαμηλός ή υψηλός τόνος, βλ. Κεφάλαιο 2) ενδεχομένως να επηρεάζει το μετρούμενο σήμα. Για το λόγο αυτό, αντί του μέσου όρου των 52 ερωτήσεων, λαμβάνονται δύο μέσοι όροι. Ο πρώτος αφορά στις 26 επαναλήψεις που ακούγεται ο υψηλόσυχνος τόνος (3KHz) και ο δεύτερος αυτές που ακούγεται ο χαμηλόσυχνος (500Hz).

Από τα καταγεγραμμένα δεδομένα των ERPs, δηλαδή τα 1000msec μετά το ακουστικό ερέθισμα έγινε επεξεργασία εύρεσης των κορυφώσεων και των χρονικών στιγμών στις οποίες αυτές παρουσιάζονται. Για την εύρεση αυτών αναπτύχθηκε κώδικας σε MatLab ο οποίος εξάγει για κάθε άτομο και ηλεκτρόδιο τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή πλάτους (ανάλογα με το εάν είναι θετική ή αρνητική η κορύφωση) και τον ακριβή χρόνο που εμφανίζεται για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η κάθε κορύφωση. Συγκεκριμένα για κάθε κορύφωση λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω χρονικά παράθυρα:

Κορύφωση	Χρονικό Παράθυρο
P50:	20-80msec
N100:	90-150msec
P200:	140-250msec
N200:	180-300msec

P300:	220-500msec
N400:	280-500msec
P600:	500-800msec

Οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές πλάτους της κυματομορφής και του χρόνου εμφάνισης αυτών για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και πειραματική συνθήκη αποθηκεύονται σε ένα αρχείο/πίνακα (για κάθε κορυφή) της μορφής:

	Μέγιστη/ ελάχιστη τιμή πλάτους ηλεκτρόδιου 1 σε μV	Μέγιστη/ ελάχιστη τιμή πλάτους ηλεκτρόδιου 15 σε μV	Χρόνος εμφάνισης μεγίστου/ ελαχίστου ηλεκτρόδιου 1 σε ms	Χρόνος εμφάνισης μεγίστου/ ελαχίστου ηλεκτρόδιου 15 σε ms
OFF Male1
...
OFF Male19
OFF Female1
...
OFF Female20
900MHz Male1
...
900MHz Male9
900MHz Female1
...
900MHz Female10
1800MHz Male1
...
1800MHz Male 10
1800MHz Female1
...
1800MHz Female10

Πίνακας 4. 1 Μορφή του πίνακα στον οποίο αποθηκεύονται τα αποτελέσματα

Για τις κυματομορφές P50 και N100 οι παραπάνω τιμές εξάγονται ξεχωριστά όταν πρόκειται για το χαμηλόσυχο τόνο και ξεχωριστά για τον υψηλόσυχο.

Από τη στατιστική επεξεργασία αυτών των τιμών προκύπτουν στη συνέχεια συμπεράσματα για την επίδραση της ακτινοβολίας και του φύλου (για τις κορυφώσεις P200, N200, P300, N400 και P600) και της ακτινοβολίας και του ερεθίσματος (για τις κορυφώσεις P50 και N100) στα προκλητά δυναμικά του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Στο Παράρτημα Ε παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του πλάτους των διάφορων κορυφώσεων του ERP και του χρόνου στον οποίο αυτές εμφανίζονται στις τρεις πειραματικές συνθήκες (OFF-900MHz-1800MHz) στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Λόγω της ομοιομορφίας των δειγμάτων στα δύο πειράματα η συνθήκη χωρίς ακτινοβολία (OFF) λήφθηκε ως μία.

4.1.1 Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με παραμετρικές μεθόδους ανάλυσης. Πριν την εφαρμογή τους εξετάστηκαν οι εξής βασικές στατιστικές παραδοχές:

- Παραδοχή της κανονικής κατανομής των μεταβλητών.

Για να ελεγχθεί εάν οι κατανομές των τιμών πλάτους (ελαχίστων/ μεγίστων) και των χρόνων εμφάνισης αυτών σε όλα τα ηλεκτρόδια δεν αποκλίνουν από την κανονική κατανομή εφαρμόστηκε ο έλεγχος κανονικότητας Kolmogorov – Smirnov (K-S).

- Παραδοχή της ομοιογένειας των διασπορών και της τυχαίας δειγματοληψίας.

Η ομοιογένεια της συνδιακύμανσης των εξαρτημένων μεταβλητών ελέγχθηκε με το Levene's test. Ελέγχεται η μηδενική υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις σε έναν πληθυσμό είναι ίσες. Εάν οι p-values προκύψουν μικρότερες από την κρίσιμη τιμή (0.05), οι παρατηρούμενες διαφορές στις διακυμάνσεις του δείγματος είναι πιθανό να μην έχουν προκύψει από τυχαία δειγματοληψία. Επομένως το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η μη στατιστική σημαντικότητα ($p\text{-values} > 0.5$).

Όταν οι παραπάνω παραδοχές ικανοποιούνται σε επαρκή βαθμό, τότε μεγιστοποιείται η ισχύς των παραμετρικών μεθόδων ανάλυσης, δηλαδή των αντίστοιχων ελέγχων (κριτηρίων) στατιστικής σημαντικότητας [103].

Οι παραπάνω μέθοδοι στατιστικών ελέγχων έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας.

Με τους παραπάνω τρόπους ελέγχθηκαν οι προϋποθέσεις για την χρήση Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διασποράς (MANOVA - Multivariate Analysis of Variance) και βρέθηκε ότι αυτές πληρούνται.

Για τις κυματομορφές P200, N200, P300, N400 και P600 χρησιμοποιήθηκε η MANOVA προκειμένου να διερευνηθεί αν οι ανεξάρτητες μεταβλητές πειραματική συνθήκη και φύλο επηρεάζουν τις μέγιστες ή ελάχιστες τιμές πλάτους των κορυφώσεων καθώς και το χρόνο εμφάνισής τους. Εφαρμόστηκε μια 2 (πειραματική συνθήκη) x 15 (ηλεκτρόδιο) x 2 (φύλο) MANOVA (σύγκριση των δύο φύλων σε κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και της κάθε συνθήκης έκθεσης ανάμεσα στα φύλα, ενώ τα ηλεκτρόδια θεωρήθηκαν ως εμφολευμένοι όροι). Για τις κυματομορφές P50 και N100 χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να εξεταστεί εάν οι ανεξάρτητες μεταβλητές πειραματική συνθήκη και είδος ερεθίσματος (χαμηλόσυχνος και υψηλόσυχνος τόνος) επηρεάζουν τις παραπάνω τιμές. Εφαρμόστηκε μια 2(πειραματική συνθήκη) x 15(ηλεκτρόδιο) x 2(είδος ερεθίσματος) MANOVA (σύγκριση των δύο ερεθισμάτων σε κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και της κάθε συνθήκης έκθεσης ανάμεσα στα ερεθίσματα, ενώ τα ηλεκτρόδια θεωρήθηκαν ως εμφολευμένοι όροι). Η μέθοδος διεξαγωγής παραμετρικών μεθόδων MANOVA περιγράφεται στο Παράρτημα Δ.

Το επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε στο 0.05.

4.2 Αποτελέσματα

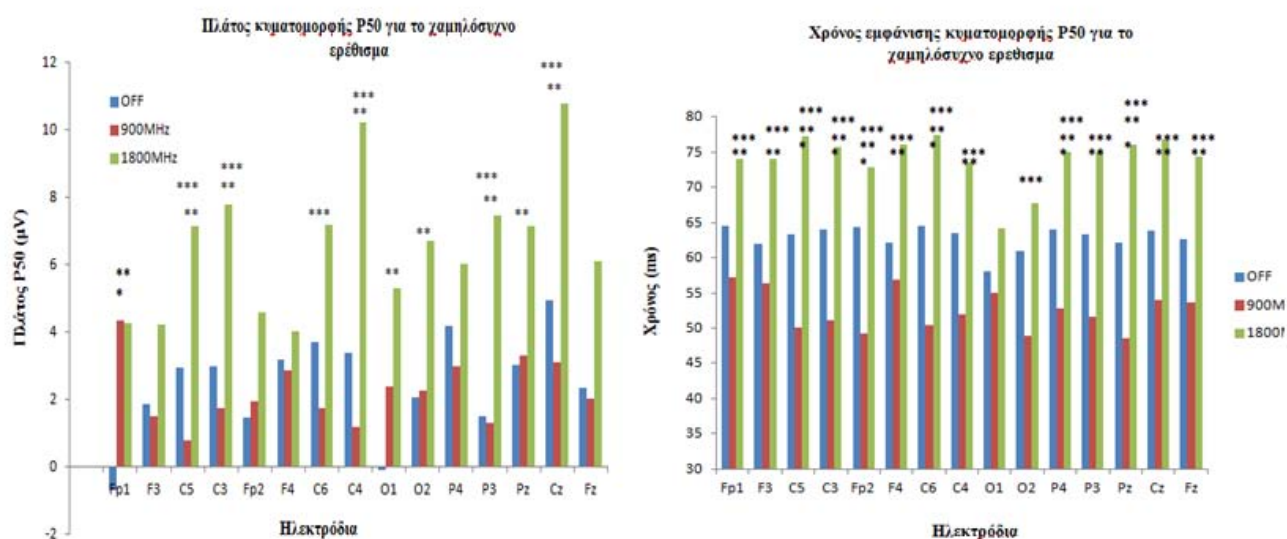
Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από την παραπάνω στατιστική επεξεργασία για κάθε κορυφή. Για τις κυματομορφές P50 και N100 τα αποτελέσματα προκύπτουν σε σχέση με την επίδραση της ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz) και το είδος του ερεθίσματος (χαμηλόσυχνος-υψηλόσυχνος τόνος), ενώ για τις υπόλοιπες κορυφώσεις είναι σχετικά με την επίδραση της ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz) και τον παράγοντα φύλο (άντρες-γυναίκες). Στο Παράρτημα ΣΤ παρουσιάζονται αναλυτικά οι συγκρίσεις που έγιναν για κάθε κυματομορφή ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες που τέθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές στους στατιστικούς ελέγχους.

4.2.1 ERPs και επίδραση ακτινοβολίας σε σχέση με το είδος ερεθίσματος

Κυματομορφή P50

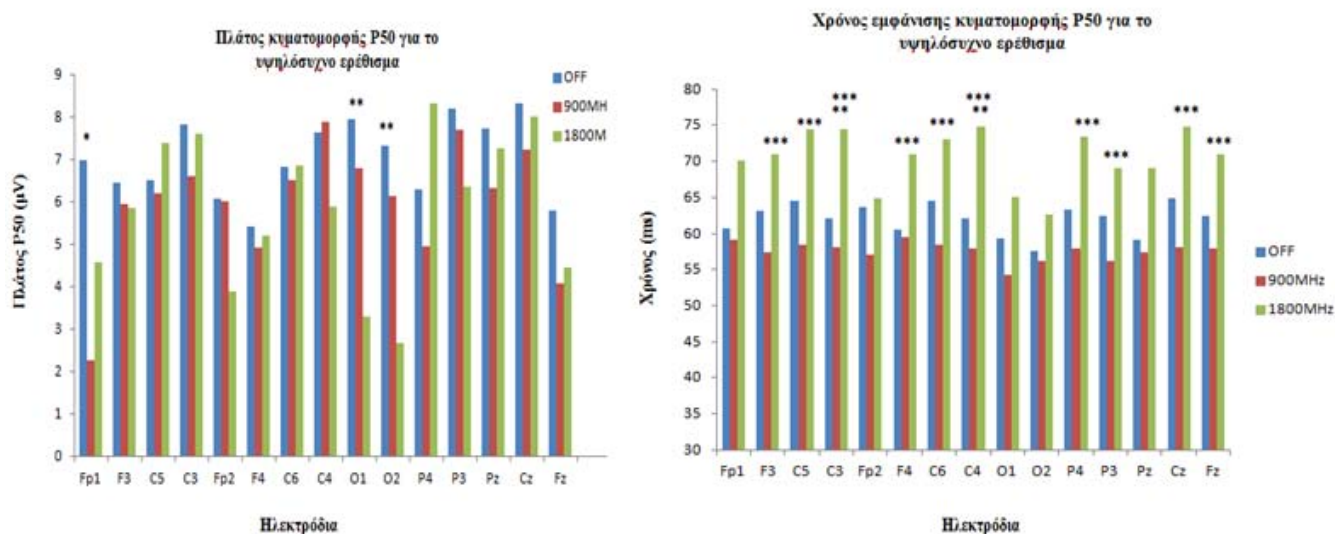
Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης για το χαμηλόσυχνο ερέθισμα έδειξαν τα ακόλουθα. Ανάμεσα στις καταστάσεις απουσία ακτινοβολίας και παρουσία ΗΜ πεδίου συχνότητας 900MHz διαφορές υπήρξαν στα πλάτη της κυματομορφής P50 σε ένα ηλεκτρόδιο (Fp1) ενώ ο χρόνος απόκρισης ήταν στατιστικά σημαντικά μειωμένος σε έξι

ηλεκτρόδια (C5, C3, Fp2, C6, P4, Pz) στα 900MHz σε σχέση με την OFF συνθήκη. Ανάμεσα στην OFF συνθήκη και τη συνθήκη έκθεσης σε πεδίο συχνότητας 1800MHz οι τιμές ήταν στατιστικά σημαντικά αυξημένες στα 1800MHz και για τα πλάτη και για το χρόνο εμφάνισης της κυματομορφής σε δέκα (Fp1, C5, C3, C4, O1, O2, P3, Pz, Cz) και δεκατρία ηλεκτρόδια αντίστοιχα (Fp1, F3, C5, C3, Fp2, F4, C6, C4, P4, P3, Pz, Cz, Fz). Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι και οι συγκρίσεις ανάμεσα στα 900 και 1800MHz οι οποίες δείχνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (αυξημένα πλάτη και χρόνους εμφάνισης στα 1800MHz) σε πέντε ηλεκτρόδια για τα πλάτη και σε δεκατέσσερα για τους χρόνους εμφάνισης της κυματομορφής (Πίνακας ΣΤ.1). Για τον υψηλόσυχο τόνο οι διαφορές είναι της ίδιας φύσης αλλά σημαντικά λιγότερες και εμφανίζονται κυρίως (δέκα ηλεκτρόδια) στους χρόνους εμφάνισης της P50 κυματομορφής ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης συχνοτήτων 900 και 1800MHz (Πίνακας ΣΤ.2). Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν για το χαμηλόσυχο και τον υψηλόσυχο τόνο παρουσιάζονται στα σχήματα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα.



Σχήμα 4. 1 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης (δεξιά) της κυματομορφής P50 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον χαμηλό τόνο.

- * Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz.
- ** Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz.
- *** Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz και 1800MHz.



Σχήμα 4. 2 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης (δεξιά) της κυματομορφής P50 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον υψηλό τόνο.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz.

** Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz.

*** Στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz και 1800MHz.

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο ερέθισμα, το πλάτος της κυματομορφής P50 βρέθηκε αυξημένο για τον υψηλό τόνο στη συνθήκη απουσία ακτινοβολίας. Οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικά σημαντικές σε έντεκα ηλεκτρόδια (Fp1, F3, C5, C3, Fp2, C4, O1, O2, P3, Pz, Fz). Στη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz παρόμοιες διαφορές παρουσιάστηκαν σε τρία ηλεκτρόδια (C4, O1, P3), ενώ στο πεδίο συχνότητας 1800MHz δεν παρουσιάστηκαν διαφορές. Στους χρόνους εμφάνισης της μέγιστης τιμής της P50 κυματομορφής δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.2 και Πίνακας ΣΤ.3):

Σύγκριση ανάμεσα στο χαμηλό και τον υψηλό τόνο για το πλάτος της κυματομορφής P50			
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.000	0.412	0.865
F3	0.005	0.111	0.253
C5	0.022	0.080	0.896
C3	0.002	0.101	0.938
Fp2	0.004	0.111	0.631
F4	0.186	0.478	0.661
C6	0.052	0.084	0.885
C4	0.020	0.013	0.067
O1	0.000	0.050	0.363
O2	0.002	0.092	0.112
P4	0.231	0.425	0.406
P3	0.000	0.018	0.636
Pz	0.007	0.218	0.953
Cz	0.051	0.096	0.206
Fz	0.041	0.466	0.499

Πίνακας 4. 2 Σύγκριση για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο είδος του ερεθίσματος για το πλάτος του P50. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες

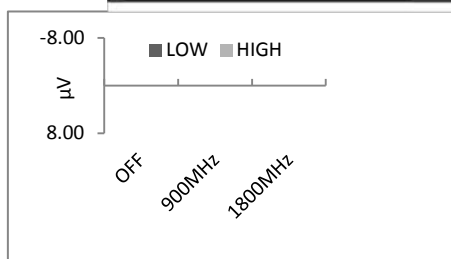
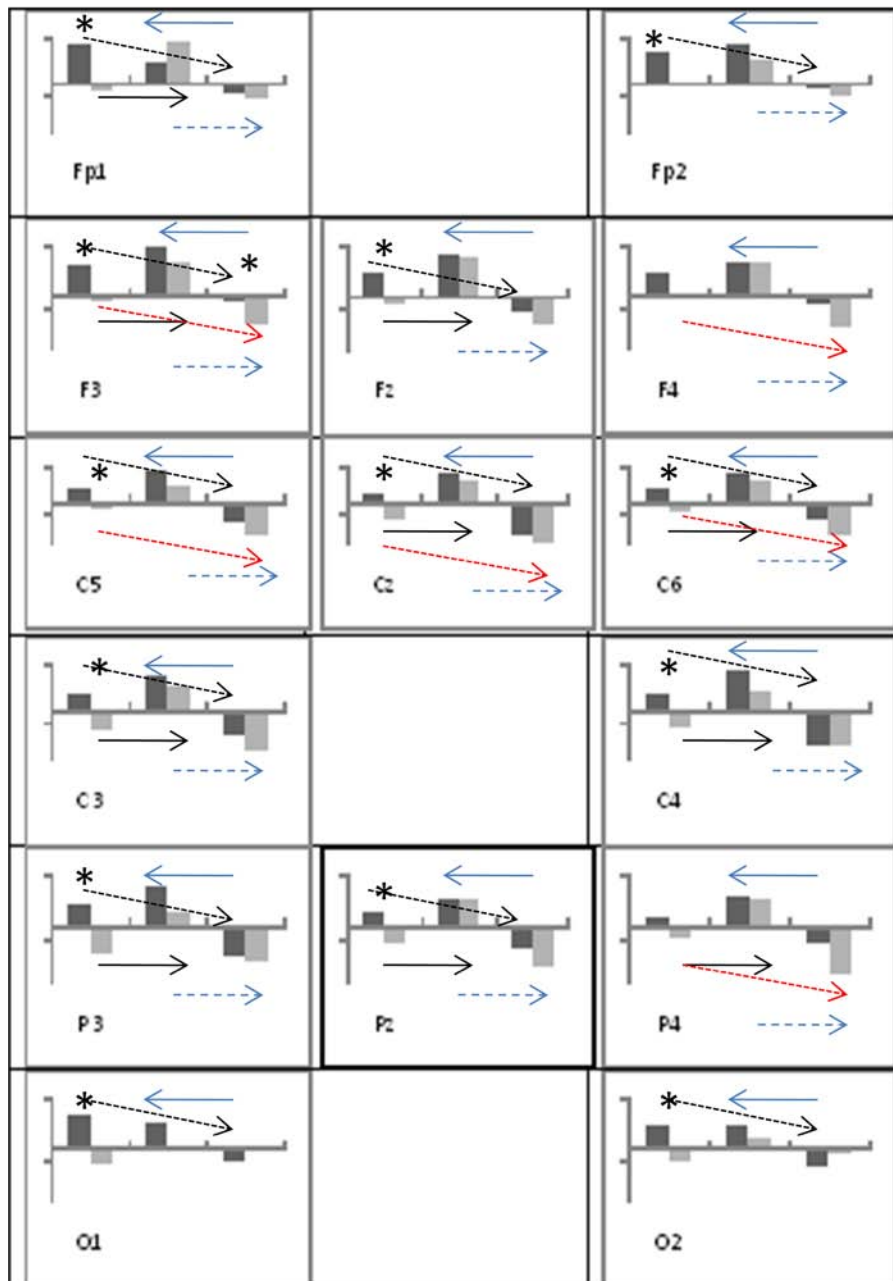
Κυματομορφή N100

Για το χαμηλόσυχο ερέθισμα δε βρέθηκαν διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz. Αντίθετα στατιστικά σημαντικά διαφορές (αύξηση πλάτους για το πεδίο συχνότητας 1800MHz) βρέθηκαν ανάμεσα στις συνθήκες χωρίς ακτινοβολία – ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz (δεκατρία ηλεκτρόδια) και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz – ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz (δεκαπέντε ηλεκτρόδια). Αύξηση του χρόνου εμφάνισης της κυματομορφής παρατηρείται επίσης κατά

την εφαρμογή πεδίου συχνότητας 1800MHz σε σχέση με τις δύο άλλες συνθήκες (OFF – 900MHz) σε δύο και τέσσερα ηλεκτρόδια αντίστοιχα. Για τον υψηλό τόνο βρέθηκαν διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας για τα πλάτη της κυματομορφής ενώ οι χρόνοι εμφάνισής τους δε διέφεραν σημαντικά με εξαίρεση το F4 ηλεκτρόδιο ανάμεσα στις δύο διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας. Στη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz οι τιμές πλάτους ήταν στατιστικά σημαντικά μειωμένες σε σχέση με τη συνθήκη OFF σε δέκα ηλεκτρόδια ενώ σημαντική αύξηση των τιμών σε σχέση με την OFF συνθήκη εμφανίστηκε στη συνθήκη έκθεσης σε H/M πεδίο συχνότητας 1800MHz σε έξι ηλεκτρόδια. Συνέπεια αυτών ήταν και οι διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz σε δεκατρία ηλεκτρόδια. Τα παραπάνω φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας ΣΤ.4 και ΣΤ.5). Όσον αφορά τους χρόνους εμφάνισης ελαχίστου τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται να συμφωνούν με μελέτη των Bak et. Al. (2010) οι οποίοι δε βρήκαν σημαντικές διαφορές στο χρόνο εμφάνισης της N100 κυματομορφής υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 935MHz [143]. Σε σχέση με τα πλάτη της κυματομορφής παρόμοιες διαφορές έχουν βρεθεί από τους Maby et. al. (2004) υπό την έκθεση σε παλμικά διαμορφωμένα σήματα συχνότητας 900MHz [144].

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο ερέθισμα, το πλάτος της κυματομορφής N100 βρέθηκε αυξημένο για τον υψηλό τόνο στη συνθήκη απουσία ακτινοβολίας. Οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικά σημαντικές σε δεκατρία ηλεκτρόδια (Fp1, F3, C5, C3, Fp2, C6, C4, O1, O2, P3, Pz, Cz, Fz). Με την εφαρμογή του πεδίου οι διαφορές αυτές αίρονται. Συγκεκριμένα υπό την επίδραση σε ακτινοβολία συχνότητας 900MHz δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενώ στη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz διαφοροποίηση παρουσιάστηκε σε ένα ηλεκτρόδιο (F3). Ο χρόνος εμφάνισης της κυματομορφής παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντικά μειωμένος σε τέσσερα ηλεκτρόδια (C5, C3, P3, Pz) στο πείραμα υπό την επίδραση H/M πεδίου συχνότητας 1800MHz ενώ στις υπόλοιπες συνθήκες έκθεσης δεν υπήρξαν διαφορές (Πίνακας ΣΤ.6).

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.3):



Σχήμα 4. 3 Τιμές πλάτους της κυματομορφής N100 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας για τον χαμηλό και υψηλό τόνο.

* Στατιστικά σημαντική αύξηση από το χαμηλό στον υψηλό τόνο.

————> Στατιστικά σημαντική μείωση ανάμεσα στις συνθήκες OFF – 900MHz για το υψηλόσυχο ερέθισμα.

-----> Στατιστικά σημαντική αύξηση ανάμεσα στις συνθήκες OFF – 1800MHz για το χαμηλό τόνο.

-----> Στατιστικά σημαντική αύξηση ανάμεσα στις συνθήκες OFF – 1800MHz για το υψηλόσυχο ερέθισμα.

-----> Στατιστικά σημαντική αύξηση ανάμεσα στις συνθήκες 900MHz – 1800MHz για το χαμηλό τόνο.

-----> Στατιστικά σημαντική αύξηση ανάμεσα στις συνθήκες 900MHz – 1800MHz για το υψηλόσυχο ερέθισμα.

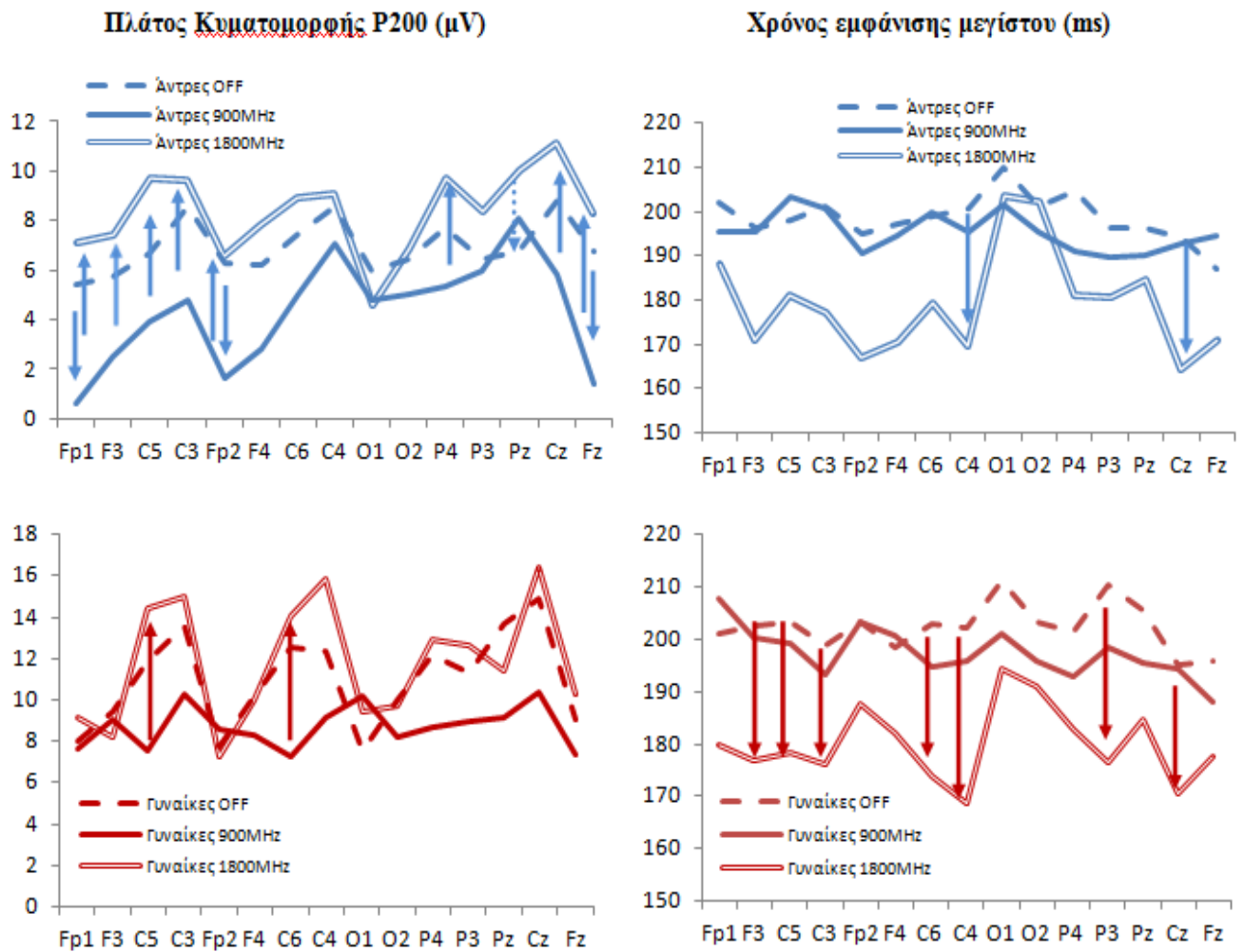
Οι διαφορές που βρέθηκαν ανάμεσα στα δύο διαφορετικά ερεθίσματα για τα πλάτη των κυματομορφών P50 και N100 για τη συνθήκη απουσία ακτινοβολίας μπορούν να ερμηνευθούν ως εξής. Οι κυματομορφές P50 και N100 συνδέονται με μηχανισμούς που ελέγχουν τις εγκεφαλικές λειτουργίες που προηγούνται της προσοχής (P50) και σχετίζονται με την προσοχή (N100). Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στα πλάτη των P50 και N100 απουσία ακτινοβολίας μπορούν να εξηγηθούν αν ληφθεί υπόψη ότι τα συστατικά αυτά ανήκουν στους εξωγενείς συντελεστές των ERP τα οποία εξαρτώνται από το ερέθισμα [64]. Επομένως θα πρέπει να θεωρείται αυτονόητη η διάκριση στις κορυφώσεις που προκλήθηκαν από υψηλόσυχο ερέθισμα και σ' αυτές που προκλήθηκαν από χαμηλόσυχο ερέθισμα.

4.2.3 ERPs και επίδραση ακτινοβολίας σε σχέση με το φύλο

Κυματομορφή P200

Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης για τους άντρες έδειξαν διαφορές στα ηλεκτρόδια Fp1, Fp2 και Fz ανάμεσα στη συνθήκη OFF και παρουσία H/M πεδίου συχνότητας 900MHz, στο ηλεκτρόδιο Pz ανάμεσα στη συνθήκη OFF και παρουσία H/M πεδίου 1800MHz και στα ηλεκτρόδια Fp1, F3, C5, C3, Fp2, P4, Cz και Fz ανάμεσα στα δύο H/M πεδία (900MHz και 1800MHz) για τα πλάτη της κυματομορφής P200. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στη μείωση της τιμής του πλάτους της κυματομορφής με την εφαρμογή του πεδίου συχνότητας 900MHz σε σχέση με τις άλλες δύο συνθήκες. Στους χρόνους εμφάνισης της μέγιστης τιμής της κυματομορφής παρουσιάστηκαν διαφορές σε δύο ηλεκτρόδια (C4, Cz) ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και παρουσία ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz και σε ένα ηλεκτρόδιο (Cz) ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz (Πίνακας ΣΤ.7). Για τις γυναίκες εμφανίστηκαν διαφορές σε δύο ηλεκτρόδια (C5, C6) ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz στα πλάτη της κυματομορφής. Όσον αφορά τους χρόνους εμφάνισης μεγίστου παρατηρήθηκε ότι οι χρόνοι ήταν αυξημένοι στην OFF συνθήκη σε σχέση με τις δύο άλλες συνθήκες ενώ στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν σε επτά ηλεκτρόδια (F3, C5, C3, C6, C4, P3, Cz) ανάμεσα στην OFF συνθήκη και τη συνθήκη έκθεσης σε πεδίο συχνότητας 1800MHz και σε ένα ηλεκτρόδιο (C4) ανάμεσα στις δύο συνθήκες ακτινοβολίας διαφορετικής συχνότητας (Πίνακας ΣΤ.8). Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται να συμφωνούν με αυτά των Maby et. Al. (2006), οι οποίοι βρήκαν διαφορές στο πλάτος της P200 κυματομορφής στα μπροστινά ηλεκτρόδια αν και οι

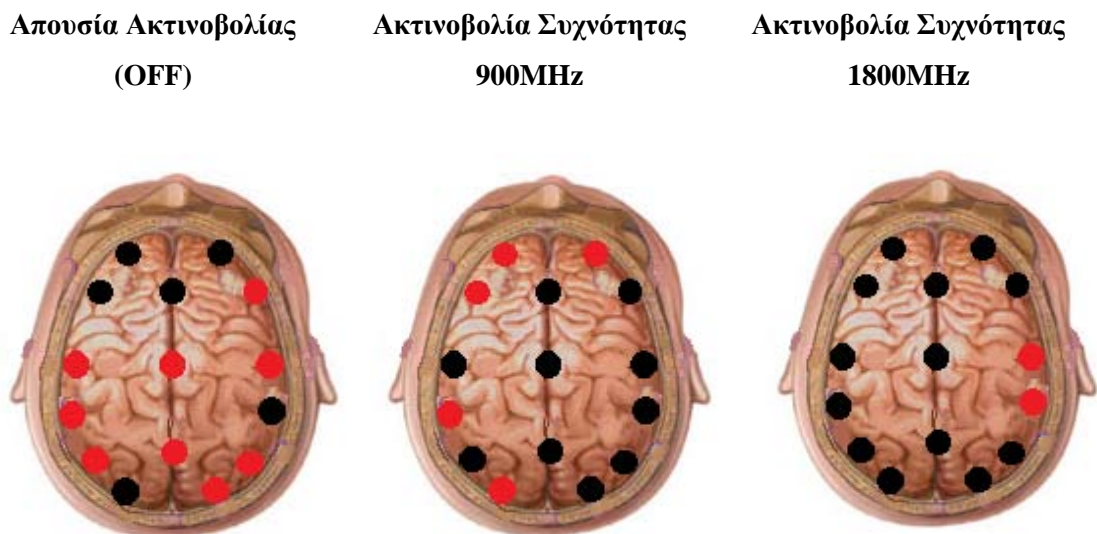
διαφορές αυτές ήταν διαφορετικής φύσης από αυτές που παρατηρήθηκαν στην παρούσα εργασία [145] και παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 4.4.



Σχήμα 4. 4 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης ελαχίστου (δεξιά) της κυματομορφής P200 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσα τους για άντρες και γυναίκες για τα 15 ηλεκτρόδια. Η φορά του βέλους δείχνει στατιστικά σημαντική μείωση ή αύξηση των τιμών.

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο, το πλάτος της κυματομορφής P200 ήταν αυξημένο για τις γυναίκες σε σχέση με τους άντρες σε όλες τις συνθήκες έκθεσης. Στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία στα περισσότερα ηλεκτρόδια (C5, C3, F4, C6, O2, P4, P3, Cz και Pz). Για τη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz οι διαφορές αυτές παρουσιάστηκαν σε 5 ηλεκτρόδια (ηλεκτρόδια Fp1, F3, C3, Fp2, O1), ενώ για αυτήν συχνότητας 1800MHz σε δύο (C6 και C4) (Πίνακας ΣΤ.9). Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.5):

Σύγκριση Πλάτους Κυματομορφής P200 Ανάμεσα στο Φύλο



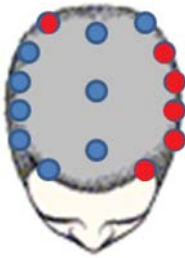

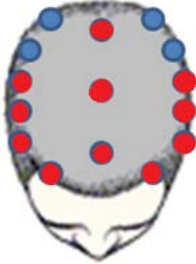



Σχήμα 4. 5 Σύγκριση πλάτους κυματομορφής P200 ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για όλες τις συνθήκες έκθεσης σε ακτινοβολία για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει στατιστικά σημαντική αύξηση για τις γυναίκες.

Στους χρόνους εμφάνισης της μέγιστης τιμής της P200 κυματομορφής δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο φύλο για όλες τις συνθήκες ακτινοβολίας.

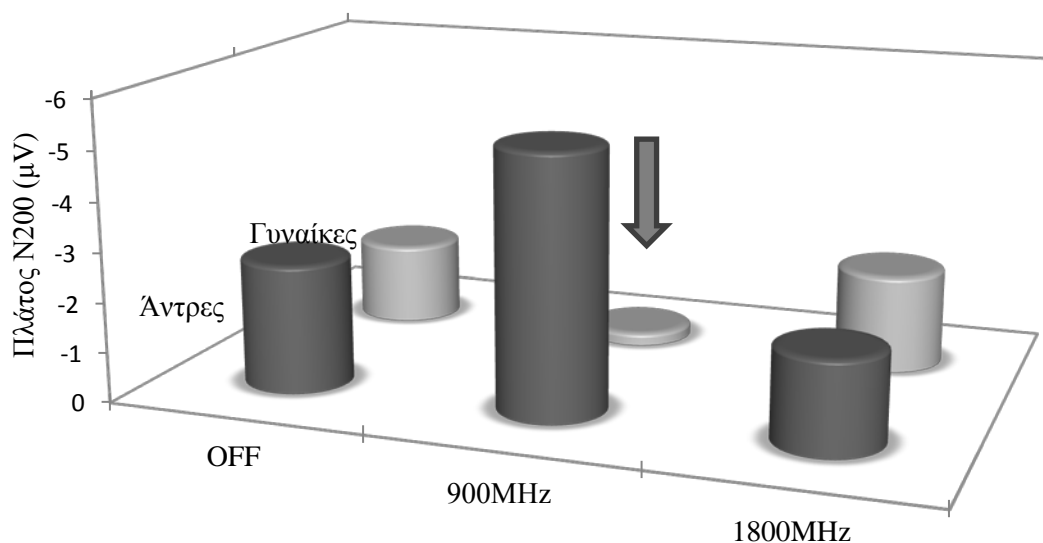
Κυματομορφή N200

Όσον αφορά διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αυξήσεις στο χρόνο εμφάνισης της ελάχιστης τιμής της κυματομορφής ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας 1800MHz και των άλλων δύο συνθηκών (OFF-900MHz). Οι διαφορές αυτές εμφανίστηκαν και στους άντρες και στις γυναίκες (Πίνακες ΣΤ.10 και ΣΤ.11). Όσον αφορά τα πλάτη της κυματομορφής δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης εκτός από ένα ηλεκτρόδιο (Fp1) για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες OFF και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz, κάτι το οποίο συμφωνεί με μελέτη των Kwon et. al. (2010) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η εφαρμογή Η/Μ πεδίου δεν επηρεάζει τις γνωσιακές λειτουργίες όπως αντικατοπτρίζονται από την N200 κυματομορφή σε πείραμα που διεξήχθη σε 17 υγιή παιδιά [146]. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα 4.6:

Σύγκριση του χρόνου εμφάνισης ελαχίστου μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας		
Άντρες	Γυναίκες	
		Σύγκριση ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και τα 900 MHz
		Σύγκριση ανάμεσα στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και τα 1800 MHz
		Σύγκριση ανάμεσα στα 900 και τα 1800 MHz

Σχήμα 4. 6 Σύγκριση του χρόνου εμφάνισης ελαχίστου μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες και τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Το κόκκινο υποδεικνύει ηλεκτρόδια όπου εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικές αύξηση του χρόνου.

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο, στατιστικά σημαντικά διαφορές ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες βρέθηκαν στη συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία συχνότητας 900MHz στα πλάτη της κυματομορφής σε 4 ηλεκτρόδια (Fp1, F3, F4, Fz). Αυτές οφείλονται στα αυξημένα πλάτη των τιμών των γυναικών σε σχέση με τους άντρες. Στην συνθήκη χωρίς ακτινοβολία και παρουσία ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz δεν παρουσιάστηκαν διαφορές (Πίνακας ΣΤ.12). Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται τα παραπάνω για το ηλεκτρόδιο F3, τα οποία ισχύουν και για τα υπόλοιπα 3 ηλεκτρόδια (Fp1, F4, Fz):



Σχήμα 4. 7 Μέση τιμή του πλάτους της κυματομορφής N200 για κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και φύλο για το ηλεκτρόδιο F3. Το βέλος δείχνει στατιστικά σημαντική αύξηση του πλάτους της κυματομορφής.

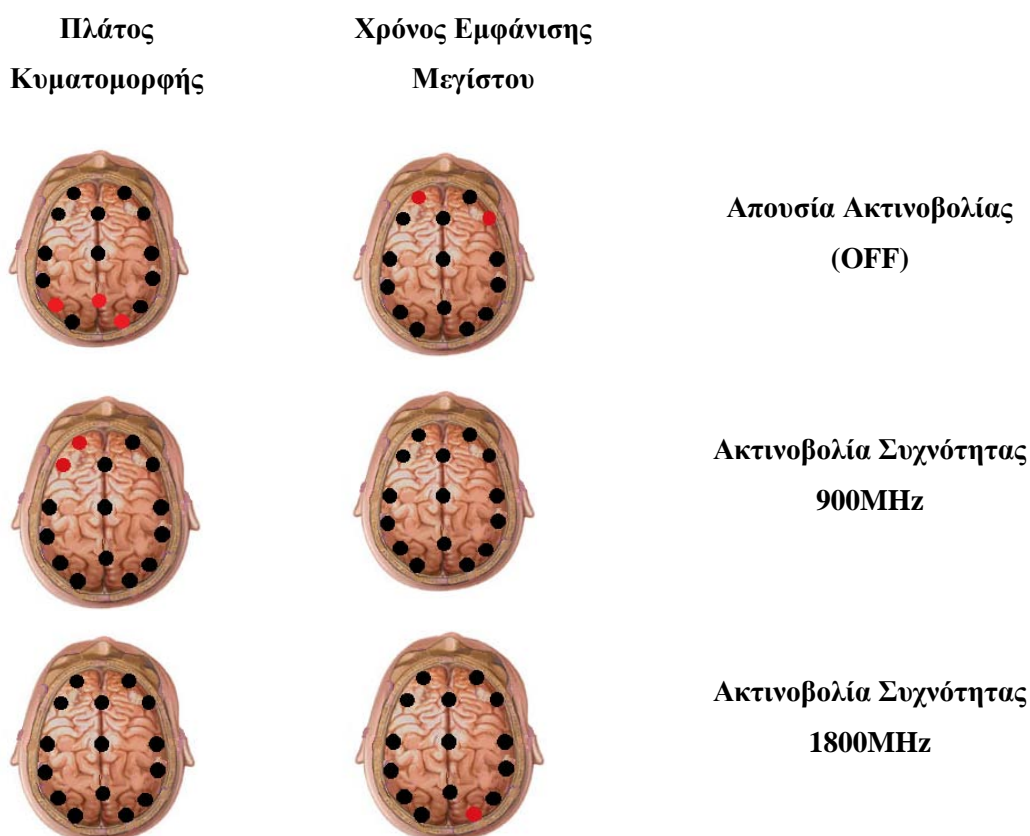
Στους χρόνους εμφάνισης της ελάχιστης τιμής της N200 κυματομορφής δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στον παράγοντα φύλο.

Κυματομορφή P300

Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης για τους άντρες δεν έδειξαν διαφορές στα πλάτη της κυματομορφής P300. Όσον αφορά στο χρόνο εμφάνισης της μέγιστης τιμής της κυματομορφής παρουσιάστηκαν διαφορές σε ένα μόνο ηλεκτρόδιο (O1) ανάμεσα στη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz και στις καταστάσεις χωρίς ακτινοβολία και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz (Πίνακας ΣΤ.13). Παρομοίως δεν εμφανίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές για τις γυναίκες. Σε δύο ηλεκτρόδια (F3, F4) εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική μείωση του πλάτους υπό την επίδραση H/M ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz σε σχέση με αυτήν συχνότητας 900MHz και σε ένα (O2) μειωμένος χρόνος εμφάνισης της κυματομορφής υπό το πεδίο συχνότητας 1800MHz σε σχέση με την OFF συνθήκη (Πίνακας ΣΤ.14). Τα παραπάνω συμφωνούν με έρευνα των Hamblin et al. (2006), στην οποία δε βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στα πλάτη και τους χρόνους εμφάνισης της P300 κυματομορφής κατά την έκθεση σε πεδίο συχνότητας 895MHz [85].

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο, στατιστικά σημαντικά διαφορές ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες βρέθηκαν στις συνθήκες χωρίς ακτινοβολία (ηλεκτρόδια O2, P3 και Pz) και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz (ηλεκτρόδια Fp1 και Fp3) στα πλάτη της κυματομορφής. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε μειωμένες τιμές πλάτους των αντρών σε σχέση με αυτές των γυναικών. Στο πείραμα υπό την επίδραση ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz δεν παρουσιάστηκαν διαφορές. Στους χρόνους εμφάνισης της μέγιστης τιμής της P300 κυματομορφής διαφορές βρέθηκαν στην OFF συνθήκη σε δύο ηλεκτρόδια (Fp1, F4) και σε ένα ηλεκτρόδιο στη συνθήκη ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz (O2). Ο χρόνος εμφάνισης μέγιστου της κυματομορφής ήταν αυξημένος για τους άντρες (Πίνακας ΣΤ.15). Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.8):

Συγκρίσεις Ανάμεσα στο Φύλο



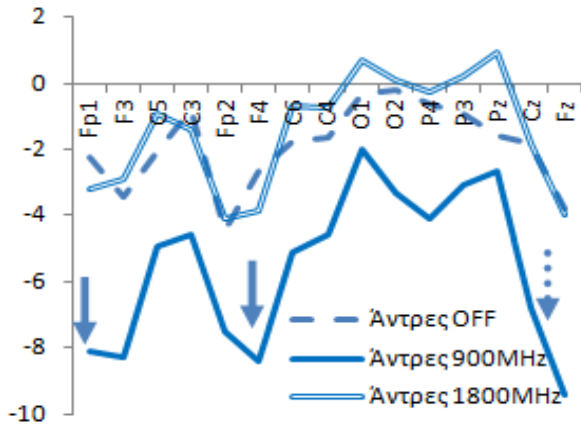
Σχήμα 4. 8 Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια για τις τρεις συνθήκες έκθεσης σε ακτινοβολία. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Κυματομορφή N400

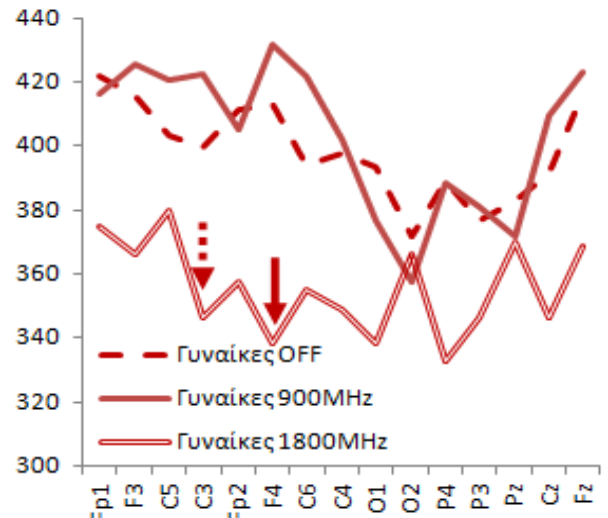
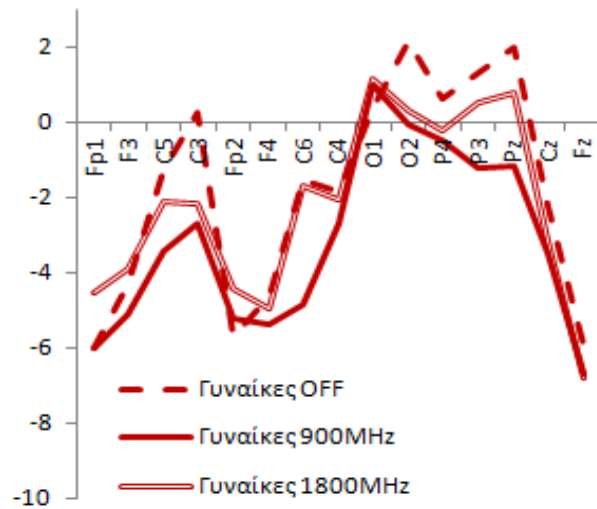
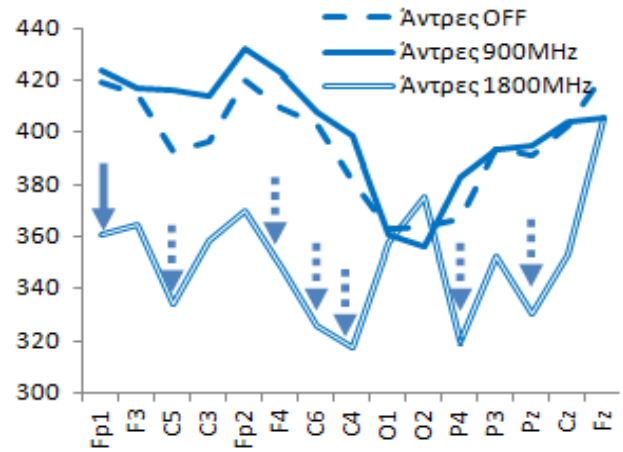
Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης για τους άντρες έδειξαν διαφορές στα ηλεκτρόδια Fp1, F4 και Cz ανάμεσα στις συνθήκες απουσία ακτινοβολίας και παρουσία ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz και στο ηλεκτρόδιο Cz ανάμεσα στα H/M πεδία συχνότητας 900 και 1800MHz για τα πλάτη της κυματομορφής N400. Οι διαφορές αυτές εμφανίστηκαν λόγω της στατιστικά σημαντικής μείωσης του πλάτους της κυματομορφής υπό την έκθεση στο πεδίο συχνότητας 900MHz. Επίσης ο χρόνος εμφάνισης της ελάχιστης τιμής της κυματομορφής ήταν μειωμένος κατά τη συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία συχνότητας 1800MHz σε σχέση με τις άλλες δύο συνθήκες. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν διαφορές σε επτά ηλεκτρόδια (Fp1, C5, F4, C6, C4, P4, Pz) ανάμεσα στις συνθήκες OFF και ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz και σε έξι ηλεκτρόδια (C5, F4, C6, C4, P4, Pz) στις καταστάσεις ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz (Πίνακας ΣΤ.16). Για τις γυναίκες δεν εμφανίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές όσον αφορά τα πλάτη της κυματομορφής. Στους χρόνους εμφάνισής της εμφανίστηκαν διαφορές σε ένα ηλεκτρόδιο (F4) ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης OFF και ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz και σε δύο ηλεκτρόδια (C3, F4) ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz (Πίνακας ΣΤ.17).

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικά διαφορές ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες σε καμία συνθήκη ακτινοβολίας στα πλάτη και στους χρόνους εμφάνισης ελαχίστου της κυματομορφής (Πίνακας ΣΤ.18).

Πλάτος Κυματομορφής N400 (μV)



Χρόνος Εμφάνισης Κυματομορφής N400 (ms)



↓ Στατιστικά σημαντική μείωση του πλάτους στα 900MHz σε σχέση με την κατάσταση χωρίς ακτινοβολία για τους άντρες

⋮ Στατιστικά σημαντική μείωση του πλάτους στα 900MHz σε σχέση με τις δύο άλλες συνθήκες για τους άντρες

↓ Στατιστικά σημαντική μείωση του χρόνου εμφάνισης ελαχίστου στα 1800MHz σε σχέση με την κατάσταση χωρίς ακτινοβολία για τους άντρες (μπλε βέλος) και για τις γυναίκες (κόκκινο βέλος)

⋮ Στατιστικά σημαντική μείωση του χρόνου εμφάνισης ελαχίστου στα 1800MHz σε σχέση με τις άλλες δύο συνθήκες για τους άντρες (μπλε βέλος) και για τις γυναίκες (κόκκινο βέλος)

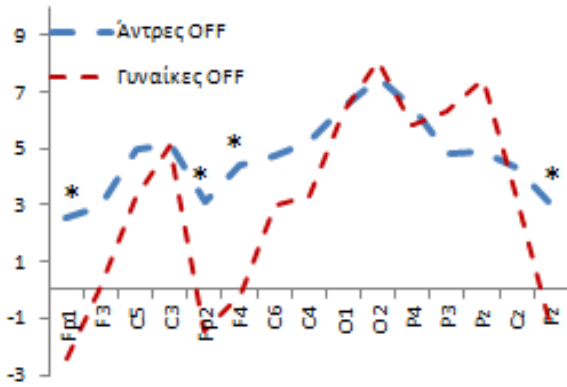
Σχήμα 4. 9 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης ελαχίστου (δεξιά) της κυματομορφής N400 για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσά τους για άντρες και γυναίκες για τα 15 ηλεκτρόδια.

Κυματομορφή P600

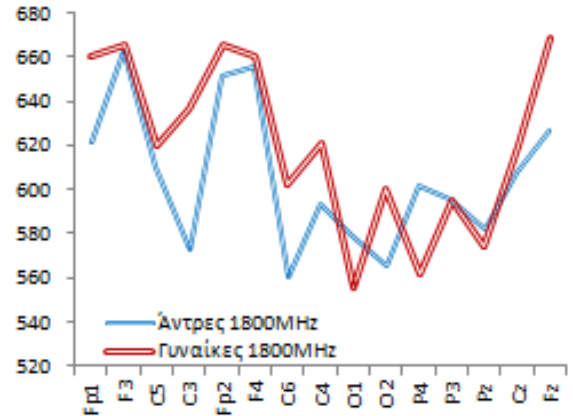
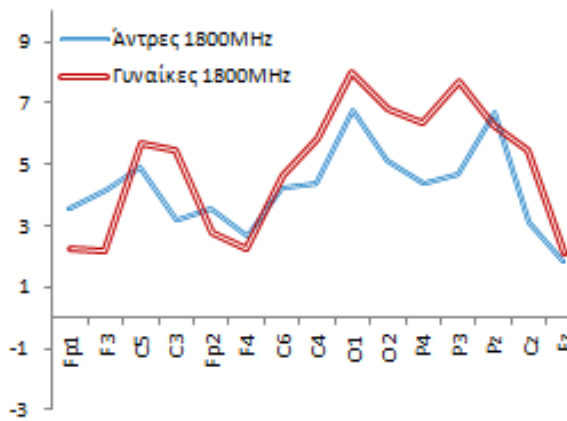
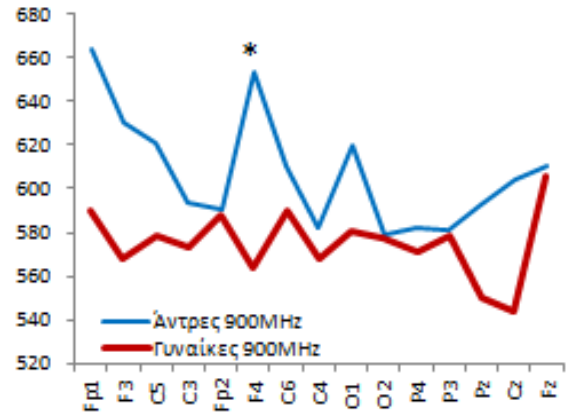
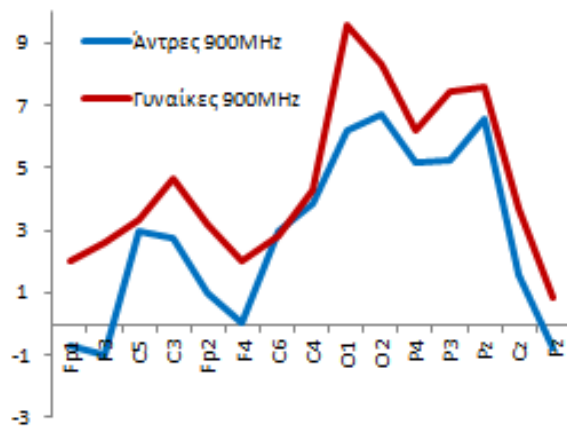
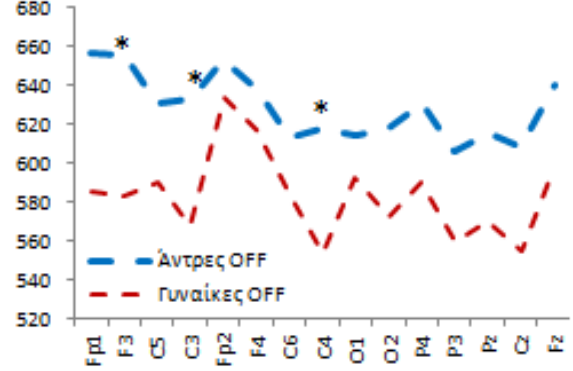
Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις συνθήκες έκθεσης για τους άντρες έδειξαν διαφορές σε ένα ηλεκτρόδιο (F4) ανάμεσα στη συνθήκη απουσία ακτινοβολίας και ακτινοβολίας συχνότητας 900MHz και σε ένα ηλεκτρόδιο (F3) ανάμεσα στις δύο συνθήκες έκθεσης (900 και 1800MHz) για τα πλάτη της κυματομορφής P600. Όσον αφορά στο χρόνο εμφάνισης της μέγιστης τιμής της κυματομορφής δεν παρουσιάστηκαν διαφορές (Πίνακας ΣΤ.19). Παρομοίως δεν εμφανίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές για τις γυναίκες στα πλάτη της κυματομορφής (1 ηλεκτρόδιο (Fp2) ανάμεσα στις συνθήκες OFF και πεδίου συχνότητας 1800MHz). Στους χρόνους εμφάνισης μεγίστου της κυματομορφής εμφανίστηκαν διαφορές σε 4 ηλεκτρόδια (F3, C3, C4, Cz) ανάμεσα στις συνθήκες OFF και ακτινοβολίας συχνότητας 1800MHz και σε τρία ηλεκτρόδια (F3, F4, Fz) ανάμεσα στις συνθήκες πεδίων συχνότητας 900 και 1800MHz για τις γυναίκες (Πίνακας ΣΤ.20). Οι διαφορές αυτές οφείλονται στην καθυστέρηση της εμφάνισης μεγίστου υπό την επίδραση πεδίου συχνότητας 1800MHz σε σχέση με τις άλλες δύο συνθήκες.

Όσον αφορά συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο, στατιστικά σημαντικά διαφορές ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες βρέθηκαν στη συνθήκη χωρίς ακτινοβολία (ηλεκτρόδια Fp1, Fp2, F4, Fz) για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής. Η τιμή του P600 ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη για τους άντρες σε σχέση με τις γυναίκες. Με την εφαρμογή όμως των πεδίων συχνότητας 900 και 1800MHz δεν παρουσιάστηκαν διαφορές. Στους χρόνους εμφάνισης της μέγιστης τιμής της P600 κυματομορφής διαφορές βρέθηκαν στην OFF συνθήκη σε τρία ηλεκτρόδια (F3, C3, C4) και σε ένα ηλεκτρόδιο υπό την έκθεση σε πεδίο συχνότητας 900MHz (F4). Ο χρόνος εμφάνισης μεγίστου βρέθηκε να είναι μειωμένος για τις γυναίκες (Πίνακας ΣΤ.21). Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από μελέτη η οποία είχε ως σκοπό τη χωρική ομαδοποίηση των ηλεκτροδίων αλλά λάμβανε υπόψη την επίδραση του φύλου και της ακτινοβολίας [147]. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.10).

Πλάτος Κυματομορφής P600 (μV)



Χρόνος Εμφάνισης Κυματομορφής P600 (ms)



Σχήμα 4. 10 Τιμές πλάτους (αριστερά) και χρόνου εμφάνισης μεγίστου (δεξιά) της κυματομορφής P600 για άντρες και γυναίκες σε κάθε συνθήκη ακτινοβολίας και συγκρίσεις ανάμεσά τους για τα δεκαπέντε ηλεκτρόδια. Οι αστερίσκοι υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα.

4.3 Ομαδοποίηση των ερωτήσεων του πειράματος και σύγκριση των τιμών των προκλητών δυναμικών

Τα ανωτέρω αποτελέσματα και συμπεράσματα προέκυψαν μετά από επεξεργασία των μέσων όρων των 52 ερωτήσεων του ψυχιατρικού τεστ Wechsler για κάθε άτομο, ηλεκτρόδιο και συνθήκη ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz). Θεωρήθηκε λοιπόν σκόπιμο να εξεταστεί κατά πόσο ο διαχωρισμός των ερωτήσεων σε υποομάδες επηρεάζει ή όχι τις τιμές πλάτους του ERP. Παράμετροι που ενδεχομένως να μπορούν να εξεταστούν με τον τρόπο αυτό είναι η εξοικείωση, η κούραση και το άγχος.

Για το λόγο αυτό βρέθηκε ο μέσος όρος των ερωτήσεων 1 έως 26 και 27 έως 52 για κάθε άτομο ηλεκτρόδιο και συνθήκη ακτινοβολίας ξεχωριστά στο πείραμα των 1800MHz. Σε αυτούς τους μέσους όρους βρέθηκαν οι μέγιστες τιμές πλάτους των κυματομορφών P50, P200 και P300. Έπειτα από τον έλεγχο της κανονικής κατανομής (κριτήριο Kolmogorov – Smirnov) εφαρμόστηκε t-test για να βρεθεί κατά πόσο οι τιμές των δύο ομάδων ερωτήσεων διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ή όχι. Η κρίσιμη τιμή t υπολογίστηκε από τον τύπο:

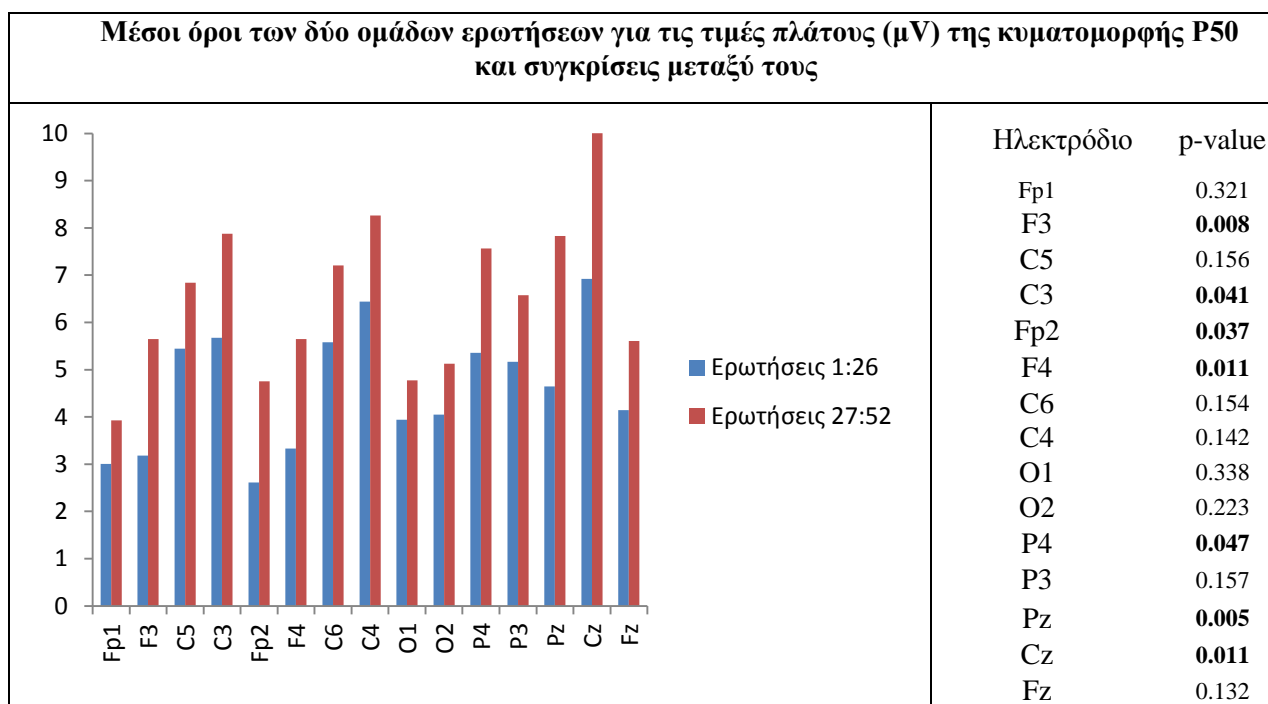
$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{X_1X_2} \sqrt{2/n}}$$

Όπου $S_{X_1X_2} = \sqrt{\frac{1}{2}(S_{X_1}^2 + S_{X_2}^2)}$ και έχει 2n-2 βαθμούς ελευθερίας, όπου n το πλήθος του δείγματος σε κάθε ομάδα.

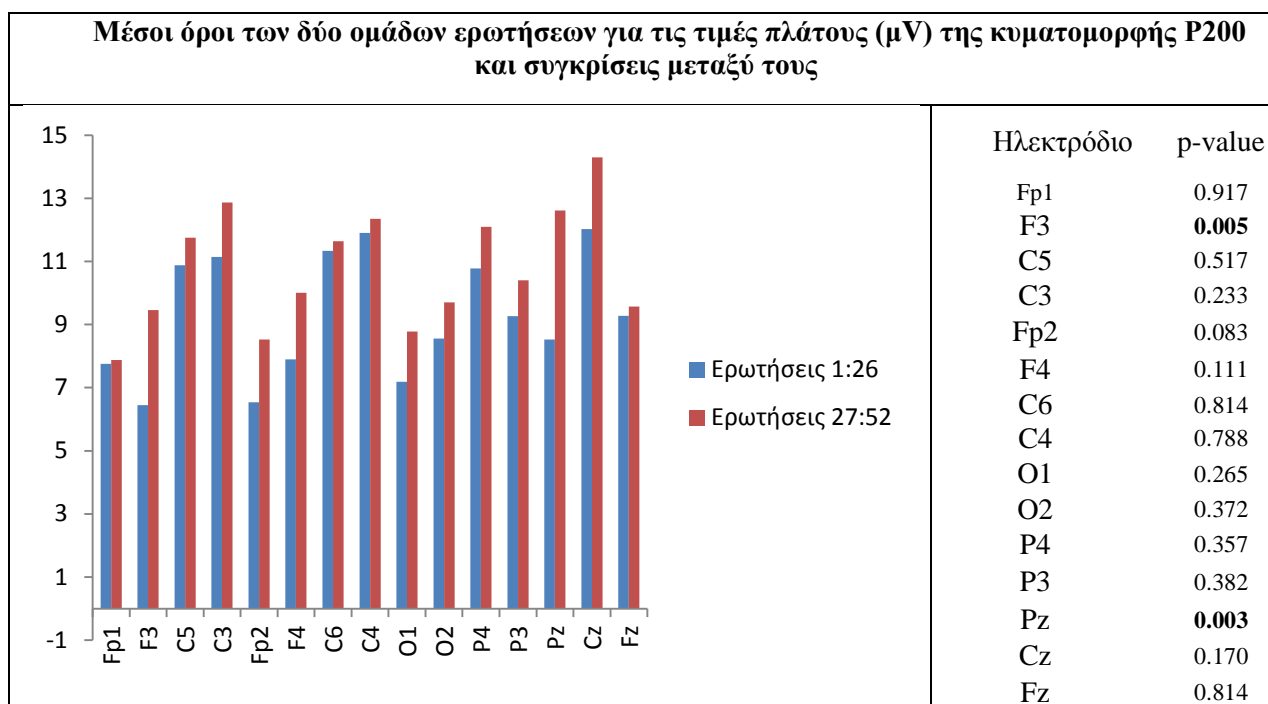
Μετά τον υπολογισμό της τιμής t ελέγχθηκε από τους σχετικούς πίνακες της κατανομής Student η κρίσιμη τιμή t_{crit} με βάση το επίπεδο σημαντικότητας α . Αν $t > t_{crit}$ απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση H_0 ότι τα δείγματα δε διαφέρουν, αλλιώς γίνεται αποδεκτή.

Επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε το 0.05.

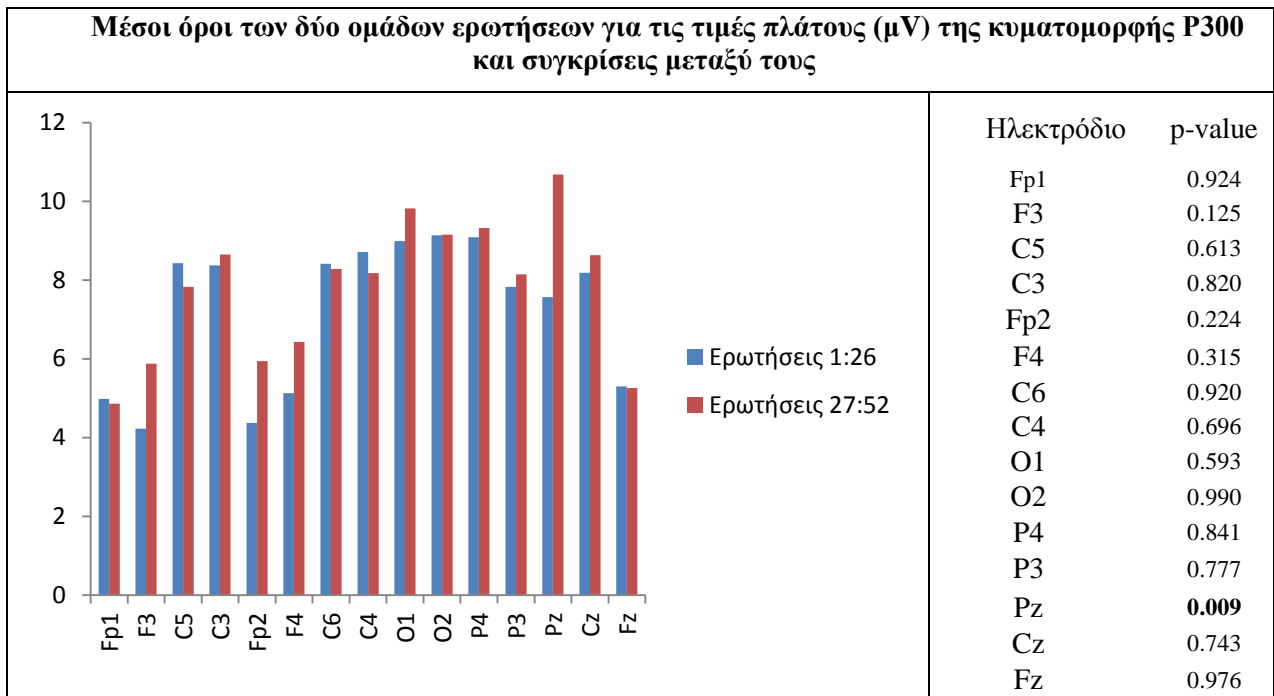
Τα αποτελέσματα για τις τρεις κυματομορφές παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 4. 11 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P50 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους



Σχήμα 4. 12 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P200 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους



Σχήμα 4. 13 Μέσοι όροι των δύο ομάδων ερωτήσεων για τις τιμές πλάτους της κυματομορφής P300 στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια και συγκρίσεις μεταξύ τους

Παρατηρείται ότι στη δεύτερη ομάδα ερωτήσεων (ερωτήσεις 27:52) το πλάτος είναι αυξημένο σε σχέση με την πρώτη ομάδα ερωτήσεων και για τα τρία συστατικά του ERP. Στατιστικά σημαντικές διαφορές υπάρχουν σε επτά ηλεκτρόδια για το P50 (F3, C3, Fp2, F4, P4, Pz, Cz). Για το P200 οι μέσοι όροι της δεύτερης ομάδας ερωτήσεων είναι στατιστικά σημαντικά αυξημένοι σε δύο ηλεκτρόδια (F3, Pz), ενώ για το P300 σε ένα (Pz). Οι διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες ερωτήσεων είναι ότι στη δεύτερη ομάδα τα άτομα ήταν πλέον εξοικειωμένα με το τεστ Wechsler ενώ ενδεχομένως να υπήρχε κόπωση (λόγω του πλήθους των ερωτήσεων). Αντίθετα στην πρώτη ομάδα ερωτήσεων μπορεί να παίζουν ρόλο παράμετροι όπως το άγχος.

Παρόμοιες συγκρίσεις μπορούν να γίνουν για διαφορετικές υποομάδες ερωτήσεων έτσι ώστε να βρεθούν οι πιο ενδεικτικές για την κατανόηση παραγόντων όπως η εξοικείωση και η κόπωση που ενδεχομένως να επηρεάζουν τα διάφορα συστατικά των προκλητών δυναμικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ Wi-Fi ΣΤΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ **ΔΥΝΑΜΙΚΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά αναλύεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη λήψη των δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος υπό την επίδραση του σήματος Wi-Fi συχνότητας 2.45MHz. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος επεξεργασίας των προκλητών δυναμικών που προέκυψαν από το πείραμα και η μεθοδολογία εύρεσης στατιστικά σημαντικών διαφορών για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς το φύλο, την επίδραση ακτινοβολίας και τη συνθήκη του Hayling test. Ακολούθως περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τέλος κάποια συμπεράσματα για την επίδραση της έκθεσης σε Η/Μ πεδίο στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.

5.1 Πειραματική Διαδικασία

Για την αξιολόγηση της επίδρασης Wi-Fi σημάτων στα προκλητά δυναμικά του εγκεφάλου διεξήχθη πείραμα στο Ε.Π.Ι.Ψ.Υ. στη διάταξη με τα 32 ηλεκτρόδια (βλ. Κεφάλαιο 1). Στο πείραμα έλαβαν μέρος τριάντα υγιή άτομα (15 άντρες και 15 γυναίκες) μέσης ηλικίας 23.76 ± 1.67 χρόνια και μέσης εκπαίδευσης 16.9 ± 1.06 χρόνια. Οι συμμετέχοντες ήταν ομοιογενείς όσον αφορά την ηλικία και το επίπεδο εκπαίδευσης και δεν είχαν ακουστικά προβλήματα.

Τα άτομα υποβλήθηκαν στο πείραμα δύο φορές, με και χωρίς ακτινοβολία, σε διάστημα δύο εβδομάδων μεταξύ των μετρήσεων. Η σειρά στην οποία τα άτομα εκτίθονταν σε ακτινοβολία (πρώτη ή δεύτερη επίσκεψη ήταν τυχαία). Η εκπομπή του πεδίου γινόταν από ένα Wi-Fi access point το οποίο λειτουργούσε σε συχνότητα 2.45GHz. Η ισχύς του διαμορφωμένου κατά OFDM σήματος ήταν 20dBm και η ένταση του H/M πεδίου μετρήθηκε στα 0.49V/m στο σημείο που βρισκόταν το κεφάλι του εξεταζόμενου (απόσταση από το Wi-Fi access point 1.5m). Σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη (Karareliotis et al. [148]) το σήμα Wi-Fi δεν προκαλεί παρεμβολές στην καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Το πείραμα διεξήχθη σε έναν κλωβό Faraday έτσι ώστε να μην υπάρχει επίδραση από εξωτερικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Η καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος έγινε από 30 ηλεκτρόδια Ag/AgCl (τα δύο ηλεκτρόδια ήταν ηλεκτρόδια αναφοράς) (F7, FC5, C3, CP1, P3, Frz, Afz, Cz, O1, O2, F8, FC6, T4, CP2, P4, CP6, T6, F3, FC1, T3, CP5, T5, FP1, FP2, Fz, Pz, Oz, F4, FC2, C4) βασισμένα στο διεθνές σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας 10-20.

Το ψυχιατρικό τεστ που χρησιμοποιήθηκε ήταν το τεστ συμπλήρωσης προτάσεων (Hayling) και για τις ανάγκες των πειραμάτων του Εργαστηρίου Ψυχοφυσιολογίας αποτελείτο από τρία μέρη, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ. Στο Α μέρος ο εξεταζόμενος ακούει μια σειρά προτάσεων από τις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση με μια λέξη έτσι ώστε να προκύψει ένα λογικό νόημα (συνθήκη έναρξης ανταπόκρισης). Στο Β μέρος του test ο εξεταζόμενος ακούει πάλι μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση με μια λέξη ούτως ώστε να μην προκύπτει κάποιο λογικό νόημα (συνθήκη αναστολής αντίδρασης). Στο C μέρος του test ο εξεταζόμενος ακούει μια σειρά ολοκληρωμένων προτάσεων στις οποίες καλείται να επαναλάβει την τελευταία λέξη (συνθήκη ελέγχου).

Οι εξεταζόμενοι άκουγαν μέσω ακουστικών τις προς συμπλήρωση προτάσεις, η διάρκεια των οποίων ήταν 3-5sec. Μετά την παρουσίαση των προτάσεων, υπήρχε περίοδος 500ms καταγραφής του EEG και στη συνέχεια ένα ακουστικό ερέθισμα (65dB, 500Hz) διάρκειας 100ms. Ακολουθούσε μία περίοδος 900ms και το ακουστικό ερέθισμα επαναλαμβανόταν. Η καταγραφή του ERP γινόταν 500ms μετά την ακουστική παρουσίαση της πρότασης και είχε διάρκεια 1000ms. Οι εξεταζόμενοι έδιναν τις απαντήσεις τους μετά το πέρας του δεύτερου ηχητικού ερεθίσματος. Κάθε μέρος της δοκιμασίας περιλάμβανε 30 ερωτήσεις, ενώ οι εξεταζόμενοι αρχικά άκουγαν δοκιμαστικές ερωτήσεις για να καταλάβουν τη φύση του τεστ. Η ακολουθία των γεγονότων σε κάθε μέρος της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Ακολουθία γεγονότων σε κάθε μέρος της πειραματικής διαδικασίας.

Ακολουθία γεγονότων	Διάρκεια
Ακουστική παρουσίαση της πρότασης	3-5 s
Καταγραφή EEG	500 ms
Ηχητικός τόνος*	100 ms
Καταγραφή ERP* ⁺	1 s
Επανάληψη ηχητικού τόνου	100 ms
Έναρξη απάντησης από τον εξεταζόμενο	Εντός 5s
Περίοδος ανάμεσα στην συμπλήρωση της απάντησης και την έναρξη της μετάδοσης της επόμενης πρότασης	4-9 s

*Ταυτόχρονη έναρξη του ηχητικού τόνου και της καταγραφής του ERP

Πίνακας 5. 1 Διαδικασία καταγραφής σημάτων κατά την ακουστική δοκιμασία Hayling

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του πειράματος, το πρόγραμμα το χειρίζεται είτε ο υπεύθυνος ιατρός είτε κάποιος εξειδικευμένος ερευνητής παρουσία πάντα ιατρού ενώ τηρούνται οι αρχές της Διακήρυξης ανθρωπίνων δικαιωμάτων του Helsinki [102]. Τη στιγμή που ο εξεταζόμενος δίνει τις απαντήσεις αυτές καταγράφονται, ώστε αργότερα να μπορεί να γίνει η απαραίτητη σύγκριση με τις σωστές απαντήσεις, από την οποία τελικά θα προκύψουν τα αποτελέσματα της εξέτασης.

Για κάθε ερώτηση, λαμβάνονται μέσω του *LABVIEW* 32 διαφορετικές γραφικές παραστάσεις που προφανώς κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί στο σήμα που διέρχεται μέσα

από ένα ηλεκτρόδιο. Οι κυματομορφές αυτές έχουν διάρκεια 1500ms, όσο δηλαδή διαρκεί η μέτρηση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος εκ των οποίων 500ms αφορούν σε σήμα EEG (σήματα που καταγράφονται πριν το ηχητικό ερέθισμα) και 1000ms αφορούν σε σήμα ERP (σήματα μετά το ηχητικό ερέθισμα). Για κάθε ερώτηση, οι τιμές του πλάτους των κυματομορφών αυτών αποθηκεύονται αυτόματα από το *LABVIEW* με τη μορφή αρχείων *Excel*, ένα για κάθε μέρος του τεστ (3 συνολικά). Κάθε αρχείο αποτελείται από 32 στήλες (μία για κάθε ηλεκτρόδιο – 30 ηλεκτρόδια καταγραφής συν δύο ηλεκτρόδια αναφοράς) και 45000 γραμμές (30 ερωτήσεις x 1500 τιμές για κάθε ερώτηση).

5.2 Μετασχηματισμός των δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω τα αρχικά δεδομένα (raw data) που καταγράφονται αποθηκεύονται σε αρχεία. Για την περαιτέρω ανάλυσή τους όμως απαιτείται επιπλέον επεξεργασία.

Αρχικά γίνεται η αφαίρεση της ενίσχυσης για να έρθει το σήμα σε πραγματική κλίμακα. Εν προκειμένω γίνεται διαίρεση του σήματος με 50000 για να αφαιρεθεί το κέρδος του ενισχυτή. Επειδή οι τιμές των σημάτων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος είναι αρκετά μικρές (της τάξεως των 10^{-6} V) πολλαπλασιάζονται 10^6 ώστε να εμφανίζονται με μονάδα το μ V. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται με -1 ώστε να εμφανίζονται σε μορφή με την οποία συνηθίζουν να εργάζονται οι ψυχίατροι. Έπειτα για κάθε άτομο και κάθε επίσκεψή του (για κάθε αρχείο δηλαδή) υπολογίζεται ο μέσος όρος των ερωτήσεων των σημάτων EEG για την αφαίρεση του θορύβου όπως εξηγείται στο Κεφάλαιο 2.

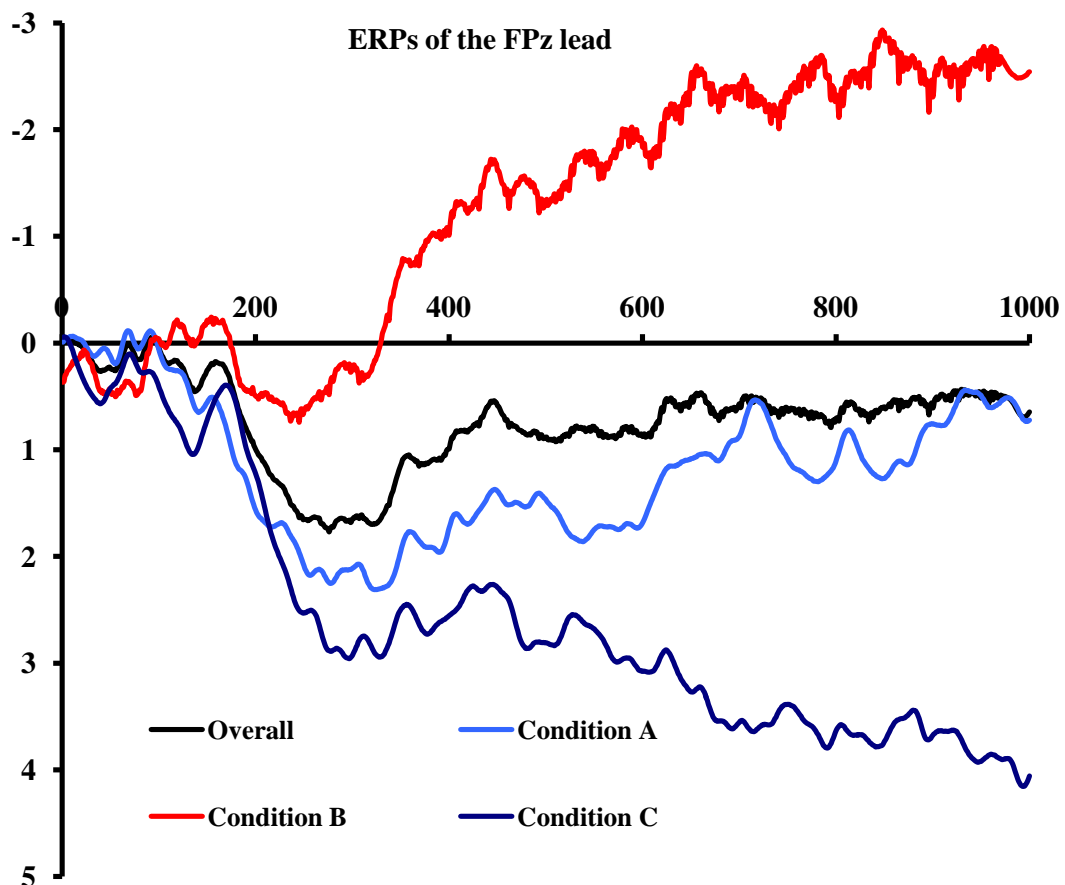
Πιο συγκεκριμένα για κάθε άτομο, επίσκεψη, μέρος του Hayling test (A, B και C) και ηλεκτρόδιο υπολογίζονται τα παρακάτω:

1. Ο μέσος όρος των EEG σημάτων (30 ερωτήσεις x 500 χρονικές στιγμές)
 2. Ο μέσος όρος των 100 τελευταίων τιμών EEG (background EEG, 401-500msec) για όλες τις ερωτήσεις (30 x 100 τιμές).
- Από κάθε τιμή του EEG (1-500msec) αφαιρείται ο πρώτος μέσος όρος. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 30 επαναλήψεων (ερωτήσεων) για να αποβληθεί ο θόρυβος [45]. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία χρονική ακολουθία 500 τιμών με μηδενική μέση τιμή, η οποία αποτελεί το σήμα EEG για κάθε άτομο, πειραματική συνθήκη και ηλεκτρόδιο.

- Από κάθε τιμή του ERP (501-1500msec) αφαιρείται ο δεύτερος μέσος (baseline removal). Αυτό γίνεται προκειμένου να μην υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις τελευταίες τιμές του EEG και τις αρχικές τιμές του ERP. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των 30 επαναλήψεων (ερωτήσεων) για να αποβληθεί ο θόρυβος. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία χρονική ακολουθία 1000 τιμών η οποία αποτελεί το ERP σήμα για κάθε άτομο, πειραματική συνθήκη και ηλεκτρόδιο.

Μετά από αυτή την επεξεργασία προκύπτουν τα τελικά δεδομένα του πειράματος τα οποία μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω μετασχηματισμούς.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι κυματομορφές των προκλητών δυναμικών για το ηλεκτρόδιο FPz. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο μέσος όρος όλων των μετρήσεων για τα τρία μέρη του Hayling test καθώς και ο συνολικός. Όπως παρατηρείται, η κυματομορφή των προκλητών δυναμικών φαίνεται να διαφοροποιείται αρκετά στο μέρος B από αυτή που εμφανίζεται στα δύο άλλα μέρη (A και C).



Σχήμα 5. 1 Μέσος όρος των κυματομορφών των ERP στο FPz ηλεκτρόδιο για όλες τις μετρήσεις στις τρεις διαφορετικές συνθήκες του Hayling test.

Η μεθοδολογία εύρεσης των κορυφώσεων είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στα πειράματα με τα πεδία συχνότητας 900 και 1800MHz και εξηγείται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, με τη διαφορά ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση αντί για 15 τα ηλεκτρόδια ήταν 30.

Στα καταγεγραμμένα δεδομένα ERP μελετήθηκαν οι διαφοροποιήσεις στις οποίες υπόκεινται οι διάφορες κορυφώσεις (όπως ορίζονται στο Κεφάλαιο 1) από την εφαρμογή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Οι παράμετροι αυτή τη φορά ήταν η συνθήκη έκθεσης (OFF-ON), το φύλο (άντρες-γυναίκες) καθώς και τα τρία διαφορετικά τμήματα του Hayling test.

5.3 Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με παραμετρικές μεθόδους ανάλυσης. Πριν την εφαρμογή τους εξετάστηκαν οι εξής βασικές στατιστικές παραδοχές για τη μεγιστοποίηση της ισχύος των παραμετρικών μεθόδων ανάλυσης, δηλαδή των αντίστοιχων ελέγχων (κριτηρίων) στατιστικής σημαντικότητας [103].

- Παραδοχή της κανονικής κατανομής των μεταβλητών.
- Παραδοχή της ομοιογένειας των διασπορών και της τυχαίας δειγματοληψίας.

Οι παραπάνω μέθοδοι στατιστικών ελέγχων έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας.

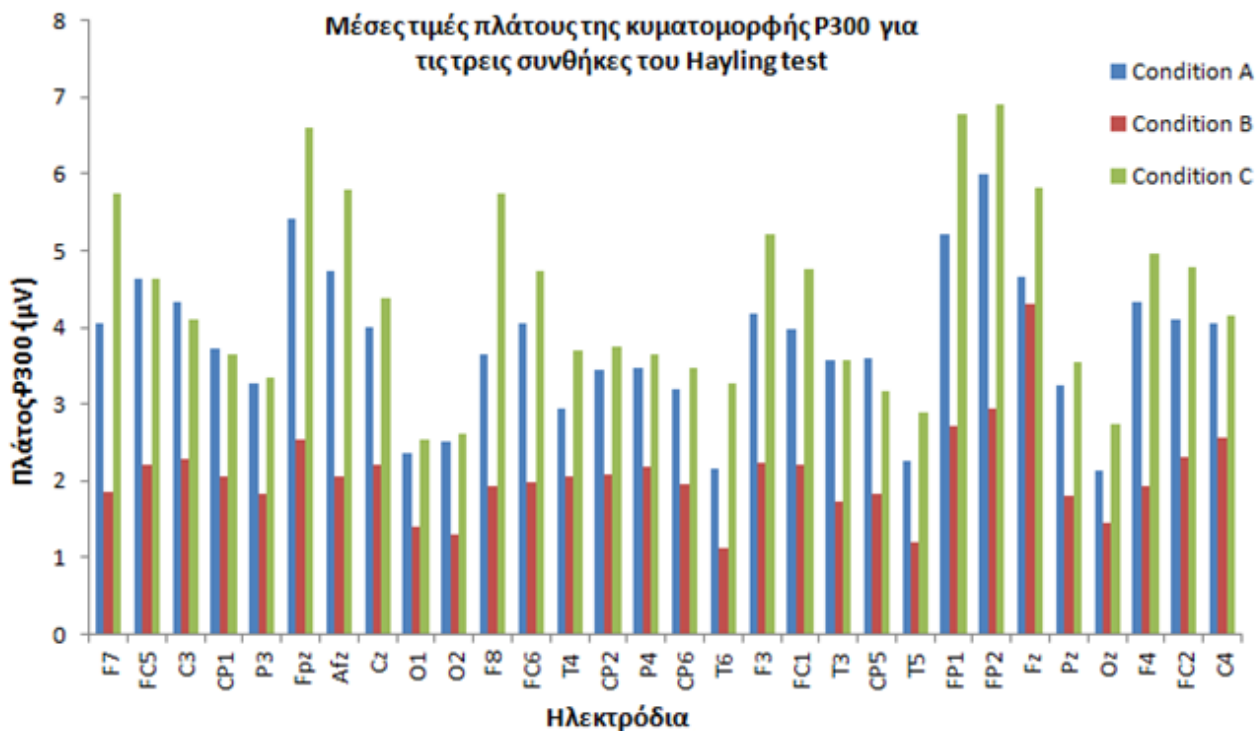
Με τους παραπάνω τρόπους ελέγχθηκαν οι προϋποθέσεις για την χρήση Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Διασποράς (MANOVA - Multivariate Analysis of Variance) και βρέθηκε ότι αυτές πληρούνται. Η μέθοδος διεξαγωγής παραμετρικών μεθόδων MANOVA περιγράφεται στο Παράρτημα Δ.

5.4 Αποτελέσματα

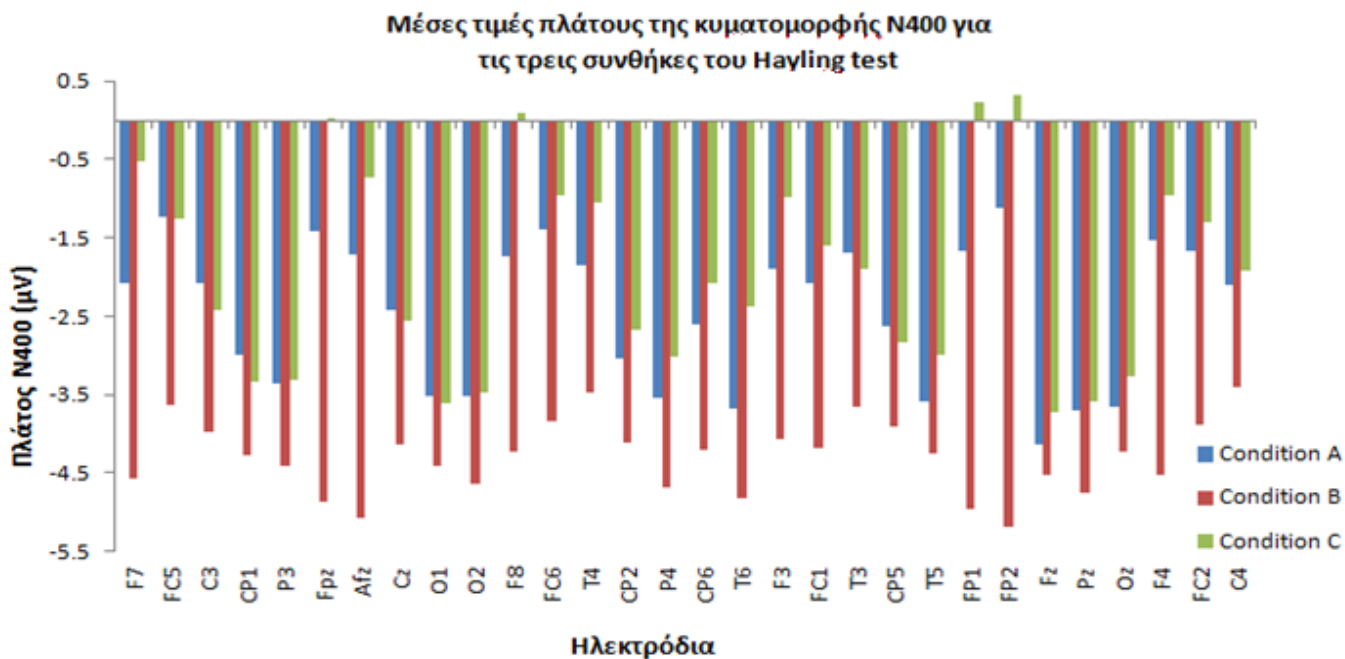
Η MANOVA χρησιμοποιήθηκε για τις κυματομορφές P300 και N400 προκειμένου να διερευνηθεί εάν οι ανεξάρτητες μεταβλητές ακτινοβολία, φύλο και μέρος του Hayling test επηρεάζουν τις μέγιστες ή ελάχιστες τιμές πλάτους των κορυφώσεων καθώς και το χρόνο εμφάνισής τους [149]. Εφαρμόστηκε μια 2(πειραματική συνθήκη) x 30(ηλεκτρόδιο) x 2(φύλο) MANOVA (σύγκριση των δύο φύλων σε κάθε συνθήκη έκθεσης σε ακτινοβολία και της κάθε συνθήκης έκθεσης ανάμεσα στα φύλα, ενώ τα ηλεκτρόδια θεωρήθηκαν ως εμφωλευμένοι όροι) για κάθε μέρος του Hayling test. Επίσης έγινε σύγκριση των τιμών των κορυφώσεων ανάμεσα στα διαφορετικά μέρη του τεστ. Το επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε στο 0.05.

5.4.1 Επίδραση των διαφορετικών τμημάτων του Hayling test

Στα επόμενα διαγράμματα (5.2 και 5.3) παρουσιάζονται οι τιμές πλατών για τα τρία μέρη του Hayling test. Όπως προκύπτει από στατιστικές συγκρίσεις, οι τιμές του πλάτους του P300 καθώς και του N400 στο μέρος B του Hayling test είναι χαμηλότερες από ότι στα άλλα δύο μέρη του test (A και C), ενώ οι τιμές για τα μέρη A και C είναι παρόμοιες.



Σχήμα 5. 2 Μέσες τιμές του πλάτους της κυματομορφής P300 για τα τρία μέρη του Hayling test στα 30 ηλεκτρόδια



Σχήμα 5. 3 Μέσες τιμές του πλάτους της κυματομορφής N400 για τα τρία μέρη του Hayling test στα 30 ηλεκτρόδια

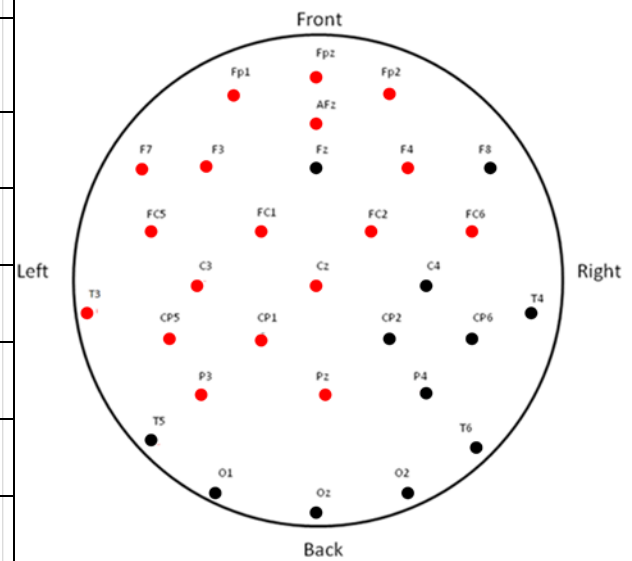
Πιο συγκεκριμένα, οι διαφορές που προέκυψαν ανάμεσα στα Α και Β μέρη του Hayling test είναι στατιστικά σημαντικές σε 18 από τα 30 ηλεκτρόδια για το P300 και σε 15 από τα 30 ηλεκτρόδια για το N400. Ανάμεσα στα μέρη Α και C του Hayling test δεν εμφανίστηκαν διαφορές εκτός από ένα ηλεκτρόδιο (F8) και για τις δύο κορφοφώσεις. Στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν και κατά τη σύγκριση των Β και C μερών του test σε 25 ηλεκτρόδια για το P300 και 15 για το N400 αντίστοιχα.

Στους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται τα ηλεκτρόδια στα οποία προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα διαφορετικά μέρη του Hayling test για το P300 και το N400 αντίστοιχα.

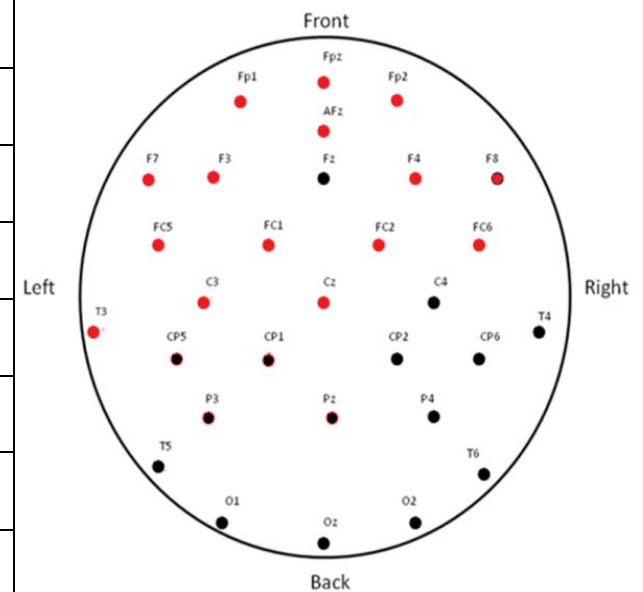
Όσον αφορά τους χρόνους εμφάνισης μεγίστων/ ελαχίστων τιμών των πλατών δεν υπήρξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα Α και Β μέρη του Hayling test		Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα Α και Β μέρη του Hayling test	
	P300	N400		P300	N400
F7	0.022	0.021	CP6	0.095	0.066
FC5	0.001	0.004	T6	0.125	0.170
C3	0.009	0.030	F3	0.022	0.019
CP1	0.024	0.134	FC1	0.033	0.021
P3	0.045	0.213	T3	0.020	0.031
Fpz	0.010	0.002	CP5	0.030	0.158
Afz	0.006	0.001	T5	0.107	0.394
Cz	0.020	0.048	FP1	0.027	0.005
O1	0.141	0.271	FP2	0.020	0.001
O2	0.092	0.209	Fz	0.699	0.725
F8	0.053	0.012	Pz	0.044	0.215
FC6	0.011	0.007	Oz	0.291	0.479
T4	0.265	0.065	F4	0.006	0.002
CP2	0.065	0.202	FC2	0.025	0.013
P4	0.068	0.194	C4	0.073	0.150

P300

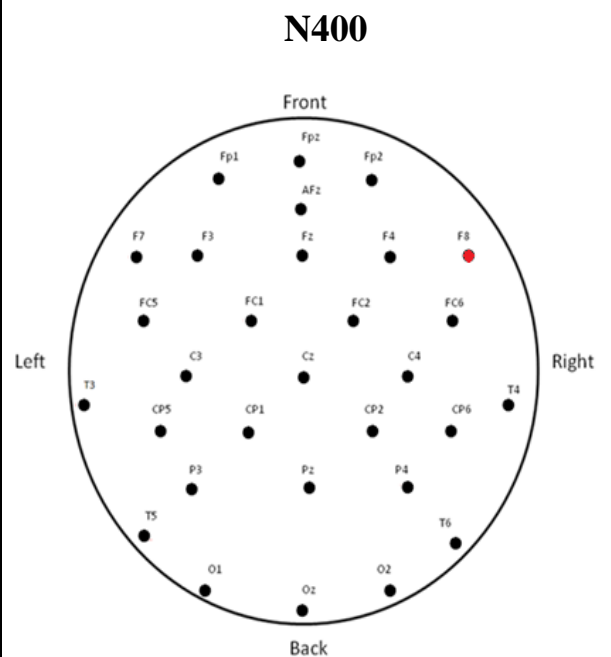
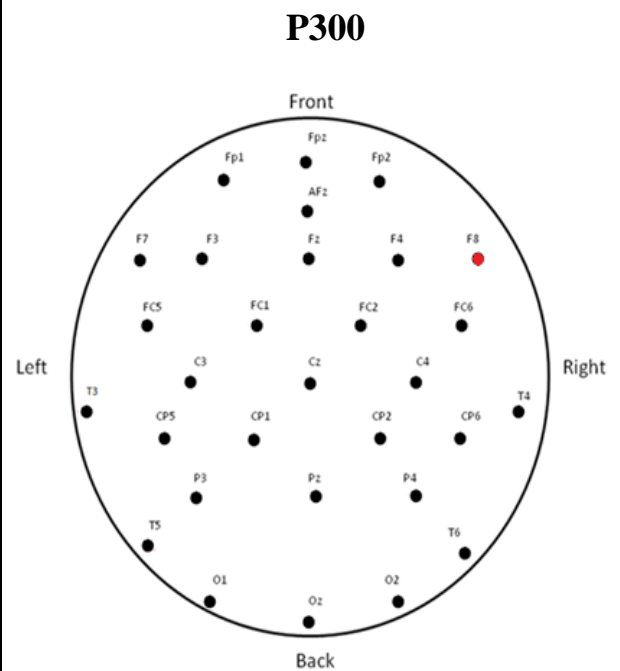


N400



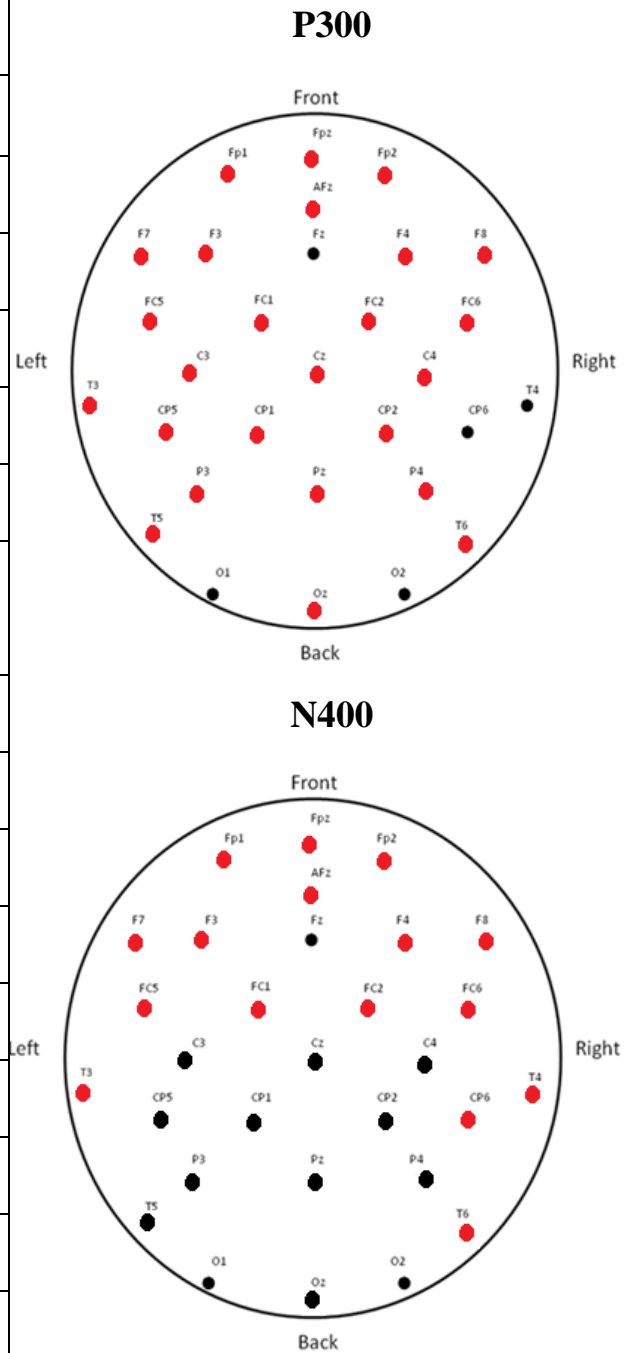
Πίνακας 5. 1 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη Α και Β του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.

Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα Α και C μέρη του Hayling test		Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα Α και C μέρη του Hayling test	
	P300	N400		P300	N400
F7	0.079	0.134	CP6	0.705	0.536
FC5	0.987	0.983	T6	0.126	0.116
C3	0.752	0.681	F3	0.229	0.315
CP1	0.905	0.693	FC1	0.337	0.603
P3	0.928	0.966	T3	0.992	0.819
Fpz	0.281	0.179	CP5	0.572	0.835
Afz	0.280	0.301	T5	0.346	0.488
Cz	0.617	0.876	FP1	0.179	0.082
O1	0.801	0.925	FP2	0.469	0.177
O2	0.876	0.948	Fz	0.263	0.689
F8	0.022	0.044	Pz	0.691	0.902
FC6	0.422	0.628	Oz	0.336	0.630
T4	0.329	0.344	F4	0.459	0.541
CP2	0.630	0.639	FC2	0.413	0.669
P4	0.765	0.531	C4	0.897	0.844



Πίνακας 5. 2 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη Α και C του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.

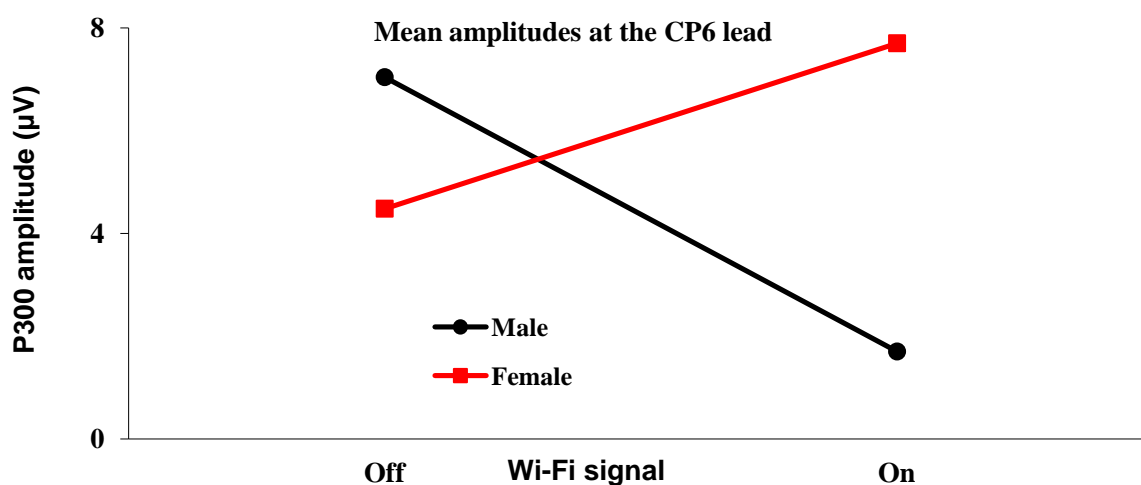
Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα B και C μέρη του Hayling test		Ηλεκτρόδια	Συγκρίσεις ανάμεσα στα B και C μέρη του Hayling test	
	P300	N400		P300	N400
F7	0.000	0.000	CP6	0.052	0.017
FC5	0.001	0.003	T6	0.004	0.004
C3	0.012	0.060	F3	0.000	0.000
CP1	0.021	0.251	FC1	0.001	0.003
P3	0.029	0.191	T3	0.010	0.039
Fpz	0.000	0.000	CP5	0.050	0.187
Afz	0.000	0.000	T5	0.011	0.110
Cz	0.003	0.063	FP1	0.001	0.000
O1	0.109	0.347	FP2	0.000	0.000
O2	0.061	0.170	Fz	0.177	0.478
F8	0.000	0.000	Pz	0.014	0.168
FC6	0.001	0.003	Oz	0.048	0.232
T4	0.054	0.011	F4	0.001	0.000
CP2	0.019	0.077	FC2	0.002	0.004
P4	0.032	0.054	C4	0.048	0.100



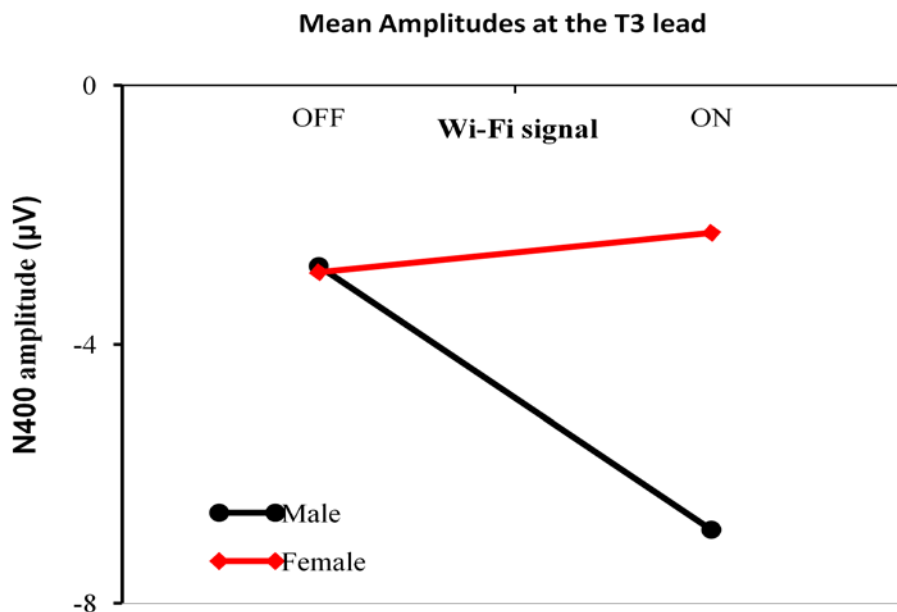
Πίνακας 5. 3 Σύγκριση ανάμεσα στα μέρη B και C του Hayling test για τα πλάτη των κυματομορφών P300 και N400 στα 30 ηλεκτρόδια. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υποδηλώνονται με έντονους χαρακτήρες και κόκκινο χρώμα στα σχήματα.

5.4.2 Αλληλεπίδραση φύλου και ακτινοβολίας

Στο Β μέρος του test Hayling βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση φύλου x ακτινοβολίας. Η φύση αυτής της αλληλεπίδρασης αποσαφηνίζεται στο σχήμα 5.4 που δείχνει τις μέσες τιμές πλάτους του P300 στο ηλεκτρόδιο CP6 για άντρες και γυναίκες παρουσία και απουσία του Wi-Fi σήματος. Συγκεκριμένα, απουσία του Wi-Fi σήματος οι άντρες είχαν μεγαλύτερες τιμές πλάτους του P300 συστατικού από τις γυναίκες, αλλά οι διαφορές μεταξύ τους δεν ήταν σημαντικές. Με την παρουσία του σήματος Wi-Fi οι τιμές πλάτους του P300 μειώθηκαν σημαντικά στους άντρες, ενώ στις γυναίκες αυξήθηκαν. Ως συνέπεια, στη συνθήκη παρουσία ακτινοβολίας οι τιμές πλάτους του P300 είναι στατιστικά σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των γυναικών. Τα ίδια ισχύουν και για το N400 συστατικό των προκλητών δυναμικών. Η συμπεριφορά αυτή, που παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4 και 5.5, είναι παρόμοια για όλα σχεδόν τα ηλεκτρόδια.



Σχήμα 5. 4 Μέσες τιμές πλάτους του P300 στο ηλεκτρόδιο CP6 για τους άντρες και τις γυναίκες παρουσία και απουσία του σήματος Wi-Fi στη συνθήκη Β του Hayling test.



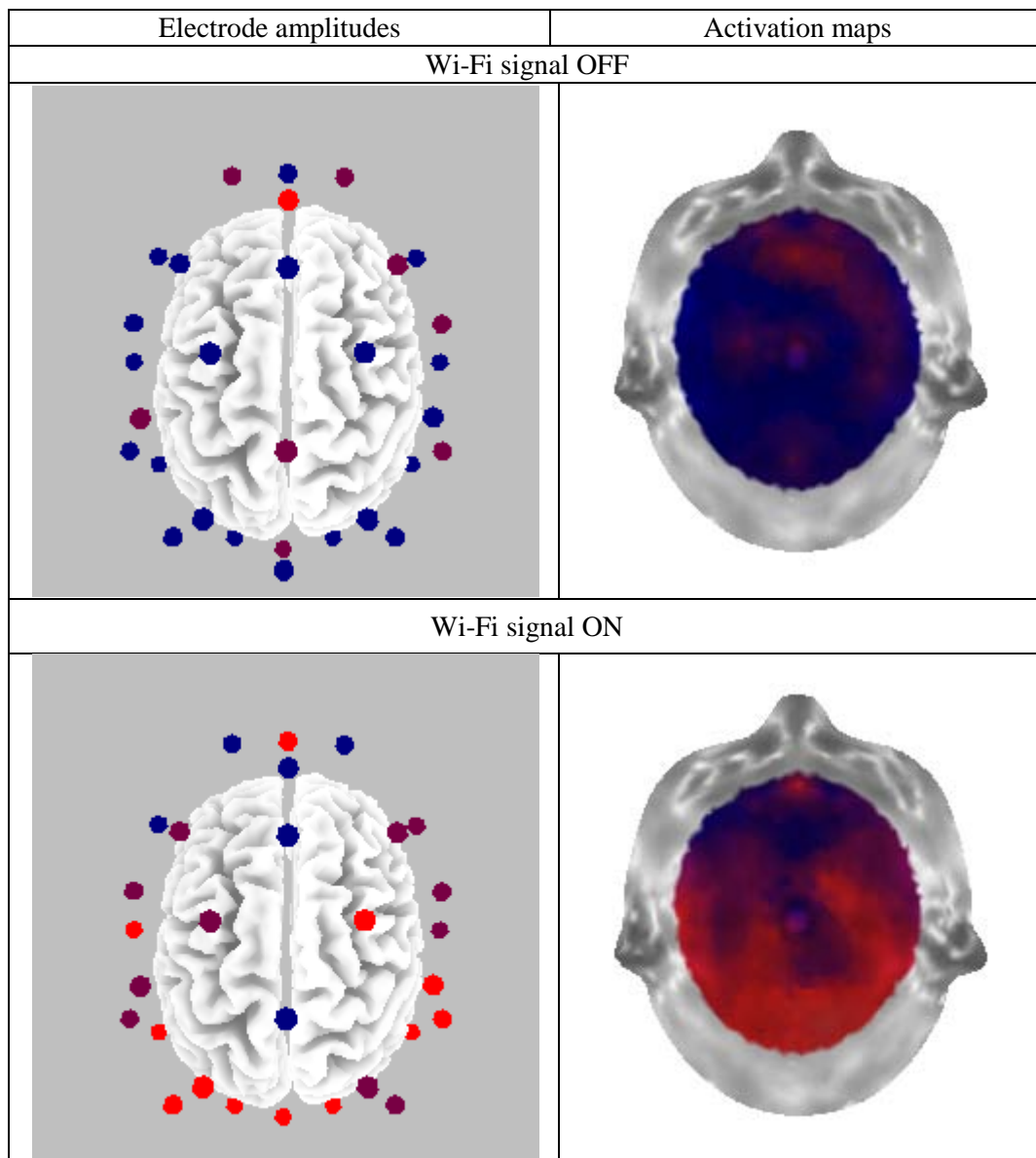
Σχήμα 5. 5 Μέσες τιμές πλάτους του N400 στο ηλεκτρόδιο T3για τους άντρες και τις γυναίκες παρουσία και απουσία του σήματος Wi-Fi στη συνθήκη B του Hayling test.

Ως αποτέλεσμα, ενώ απουσία ακτινοβολίας δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα πλάτη των P300 και N400 ανάμεσα στους άντρες και τις γυναίκες (εκτός από το ηλεκτρόδιο AFz για το P300), παρουσία αυτής παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε 15 από τα 30 ηλεκτρόδια για το P300 (Πίνακας 5.6) και σε 14 από τα 30 ηλεκτρόδια για το N400 (Πίνακας 5.7). Αυτά τα ηλεκτρόδια, καθώς και οι χάρτες ενεργοποίησής τους, όπου προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, παρουσιάζονται στο σχήμα 5.6 για το P300 και στο σχήμα 5.7 για το N400.

Μέσες τιμές πλάτους (µV) και τυπικές αποκλίσεις για το P300						
Leads	OFF		Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες - γυναίκες	ON		Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες - γυναίκες
	Male	Female		Male	Female	
F7	0.74±5.14	2.58±4.57	0.31	1.77±4.50	2.34±4.73	0.74
FC5	2.56±3.19	2.34±4.55	0.88	1.12±2.82	2.79±4.25	0.23
C3	5.62±5.45	2.77±5.34	0.16	1.79±6.53	5.64±4.72	0.08
CP1	2.73±3.34	2.37±4.96	0.81	0.51±2.45	3.43±4.16	0.03
P3	2.89±3.78	2.11±4.82	0.63	0.28±2.41	2.84±3.46	0.03
Fpz	2.25±3.63	2.08±4.57	0.91	-0.25±2.60	3.12±4.17	0.02
Afz	0.62±4.38	4.69±5.71	0.04	1.83±5.37	2.94±6.29	0.62

Cz	1.38±3.76	3.63±5.17	0.18	0.74±4.43	2.40±5.42	0.38
O1	2.88±3.55	2.18±4.61	0.65	0.52±2.61	3.19±3.51	0.03
O2	2.55±3.73	1.36±3.75	0.39	-1.18±2.83	2.65±3.75	0.00
F8	2.54±3.78	0.90±4.67	0.30	-0.21±3.18	1.89±3.24	0.09
FC6	1.21±3.56	2.94±4.59	0.26	0.26±4.48	3.38±5.11	0.09
T4	1.55±3.60	2.86±4.49	0.38	-0.09±6.02	3.73±4.03	0.05
CP2	2.70±3.67	2.19±4.59	0.74	0.40±2.92	2.91±5.06	0.12
P4	2.94±3.89	1.94±4.72	0.53	0.76±2.65	2.97±3.93	0.09
CP6	7.04±5.96	4.48±4.90	0.21	1.70±5.59	7.70±6.38	0.01
T6	2.14±3.74	2.38±4.54	0.88	-0.36±3.13	3.47±4.66	0.02
F3	1.62±3.60	1.82±4.48	0.89	-0.78±3.55	1.70±3.05	0.05
FC1	2.29±3.62	2.88±4.07	0.68	0.50±3.00	3.17±3.96	0.05
T3	2.18±3.87	2.01±4.54	0.92	-0.35±2.85	2.93±4.59	0.03
CP5	2.53±3.59	1.84±4.50	0.65	0.22±2.34	2.67±4.21	0.07
T5	1.78±3.47	1.38±4.32	0.78	-0.50±2.01	2.03±3.51	0.03
FP1	0.71±4.31	3.92±6.09	0.11	2.47±5.62	3.72±7.92	0.63
FP2	1.24±5.21	5.06±5.85	0.07	3.26±5.98	2.27±7.31	0.69
Fz	6.09±7.28	4.27±5.96	0.46	3.29±4.84	3.50±2.86	0.89
Pz	2.50±3.88	1.89±4.50	0.70	0.60±2.11	2.18±4.10	0.21
Oz	2.83±3.63	1.05±4.08	0.22	-0.34±2.76	2.16±3.40	0.04
F4	1.50±3.73	3.37±5.28	0.27	0.11±3.87	2.61±4.87	0.14
FC2	2.48±2.99	3.22±4.33	0.59	-0.09±3.01	3.44±4.37	0.02
C4	2.67±3.81	2.74±4.02	0.96	0.19±4.04	4.42±4.67	0.01

Πίνακας 5. 4 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του P300 συστατικού για άντρες και γυναίκες στις συνθήκες με και χωρίς ακτινοβολία για το μέρος Β του Hayling test. Οι p-values σε έντονη γραφή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

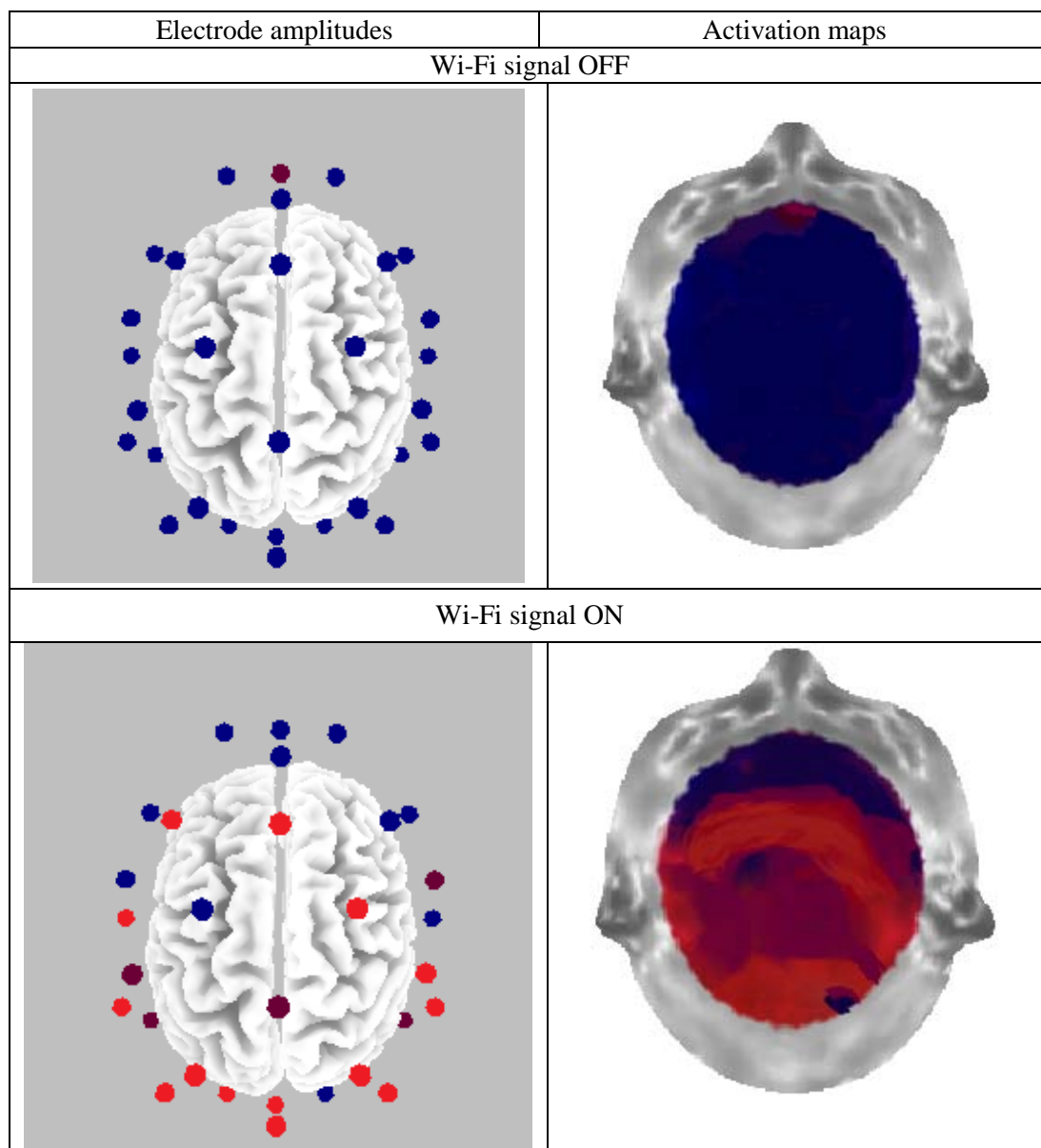


Σχήμα 5. 6 Σύγκριση του πλάτους του P300 (αριστερά) και χάρτες ενεργοποίησης (δεξιά) μεταξύ αντρών και γυναικών παρουσία (επάνω) και απουσία (κάτω) του Wi-Fi σήματος στη συνθήκη B του Hayling test. Το κόκκινο χρώμα δείχνει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων.

Μέσες τιμές πλάτους (μV) και τυπικές αποκλίσεις για το N400						
Leads	OFF		Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες -γυναίκες	ON		Σύγκριση ανάμεσα σε άντρες - γυναίκες
	Male	Female		Male	Female	
F7	-5.95±6.63	-3.61±4.75	0.275	-5.62±5.68	-3.22±4.72	0.225
FC5	-3.48±4.62	-3.42±4.61	0.97	-4.99±3.79	-2.77±4.16	0.147
C3	-3.32±4.63	-3.66±4.82	0.844	-5.90±3.38	-3.11±4.76	0.081
CP1	-3.21±4.73	-3.81±4.99	0.738	-6.55±3.60	-3.70±4.00	0.054
P3	-3.65±4.54	-3.98±4.85	0.845	-6.99±3.72	-3.20±4.51	0.021

Fpz	-6.43±5.75	-2.70±6.22	0.099	-5.33±4.77	-5.11±6.54	0.917
Afz	-5.59±5.26	-3.52±5.77	0.314	-6.26±4.69	-5.01±6.20	0.547
Cz	-3.42±4.99	-3.58±4.91	0.93	-6.13±3.32	-3.55±4.22	0.08
O1	-2.97±4.44	-3.75±4.07	0.618	-7.78±4.10	-3.42±4.05	0.008
O2	-3.09±4.39	-4.29±4.70	0.476	-6.68±4.07	-4.58±4.60	0.204
F8	-4.90±4.69	-3.26±5.57	0.388	-5.51±6.32	-3.31±7.04	0.384
FC6	-3.89±4.81	-2.95±4.53	0.585	-6.08±5.25	-2.60±5.59	0.096
T4	-3.26±4.61	-2.39±4.54	0.604	-5.71±6.29	-2.71±5.24	0.172
CP2	-3.93±4.31	-3.47±4.64	0.78	-6.19±3.53	-3.00±4.89	0.055
P4	-3.83±4.68	-4.38±6.02	0.781	-7.38±4.05	-3.35±4.16	0.013
CP6	-3.72±4.69	-3.01±3.92	0.655	-7.65±4.72	-2.66±4.72	0.008
T6	-3.89±4.47	-3.56±3.94	0.828	-7.93±4.93	-4.13±3.65	0.025
F3	-4.20±4.87	-3.28±4.20	0.583	-6.26±3.95	-2.73±4.86	0.042
FC1	-3.90±4.65	-3.07±5.41	0.653	-5.99±3.53	-3.89±4.45	0.172
T3	-2.79±5.02	-2.88±4.47	0.959	-6.86±4.51	-2.27±3.85	0.006
CP5	-3.12±4.93	-3.31±4.56	0.914	-6.52±3.32	-2.92±4.15	0.016
T5	-3.47±4.73	-3.77±4.05	0.856	-6.98±2.81	-3.01±3.31	0.002
FP1	-6.59±6.18	-3.28±6.21	0.154	-5.34±4.45	-4.67±8.77	0.798
FP2	-5.72±6.65	-3.04±6.31	0.266	-5.51±6.57	-6.55±7.65	0.7
Fz	-3.25±6.45	-5.19±9.69	0.525	-6.58±5.83	-3.25±2.07	0.047
Pz	-3.79±4.94	-4.17±4.62	0.831	-7.07±3.25	-4.10±4.25	0.045
Oz	-2.47±4.36	-3.97±4.45	0.36	-6.79±3.35	-3.83±4.09	0.043
F4	-4.72±5.22	-3.30±5.72	0.483	-6.34±4.82	-3.84±5.33	0.196
FC2	-3.48±4.77	-2.31±4.95	0.516	-6.70±3.82	-3.21±4.84	0.041
C4	-3.48±4.98	-2.38±3.95	0.509	-6.20±5.11	-1.78±4.78	0.023

Πίνακας 5. 5 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του N400 συστατικού για άντρες και γυναίκες στις συνθήκες με και χωρίς ακτινοβολία για το μέρος B του Hayling test. Οι p-values σε έντονη γραφή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 5. 7 Σύγκριση του πλάτους του N400 (αριστερά) και χάρτες ενεργοποίησης (δεξιά) μεταξύ αντρών και γυναικών παρουσία (επάνω) και απουσία (κάτω) του Wi-Fi σήματος στη συνθήκη Β του Hayling test. Το κόκκινο χρώμα δείχνει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων.

5.5 Συμπεράσματα

Υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση ανάμεσα στο φύλο και την ακτινοβολία η οποία εντοπίζεται στο B μέρος του Hayling test. Αυτή οφείλεται στη σχετική μείωση των τιμών των πλατών των ανδρών στην ON από την OFF συνθήκη ακτινοβολίας και στη σχετική αύξηση των αντίστοιχων τιμών για τις γυναίκες. Ως αποτέλεσμα οι τιμές πλάτους του P300 στους άντρες είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές στις γυναίκες σε δεκαπέντε ηλεκτρόδια, ενώ για το N400 οι τιμές πλάτους είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές στις γυναίκες σε 14 ηλεκτρόδια. Η επίδραση αυτή της έκθεσης σε πεδίο (μείωση πλάτους στους άντρες και το αντίστροφο για τις γυναίκες) είναι σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες που αφορούν διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα δύο φύλα υπό την επίδραση πεδίων συχνότητας 900 και 1800 MHz [101, 127, 98, 150].

Πρόσφατες ενδείξεις παρέχουν πιθανούς μηχανισμούς για την εξήγηση αυτών των διαφορών. Πιο συγκεκριμένα οι επιδράσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο κεντρικό νευρικό σύστημα θεωρείται ότι επηρεάζουν ελαφρώς τη διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού [151, 152, 153 154]. Είναι λογικό να υπάρχουν διαφορές στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες, γεγονός το οποίο εξηγεί τις βασικές διαφορές ανάμεσα στα φύλα σε διαδικασίες κατανόησης καθώς και στον τρόπο που επηρεάζονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Άλλες μελέτες υποδεικνύουν ότι η έκθεση σε H/M πεδία κινητών τηλεφώνων επηρεάζει την απελευθέρωση μελατονίνης [155].

Η σύγκριση μεταξύ των τριών τμημάτων του Hayling test έδειξε ότι οι τιμές του P300 καθώς και του N400 μειώνονται στο μέρος B του τεστ σε σχέση με τα άλλα δύο μέρη (A και C) όπου οι αντίστοιχες τιμές είναι παρόμοιες. Η επίδραση αυτή ήταν σημαντική σε 18 από τα 30 ηλεκτρόδια για το P300 και σε 15 από τα 30 ηλεκτρόδια για το N400 σε διάφορες περιοχές της κεφαλής.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να ερμηνευτούν υπό το πρίσμα ψυχοφυσιολογικών μελετών που σχετίζονται με το Hayling test. Οι Collette et al. [156] χρησιμοποιώντας μεθοδολογία PET βρήκαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση στο μπροστινό μέρος της κεφαλής κατά τη διάρκεια της συνθήκης αναστολής της αντίδρασης από τη συνθήκη της έναρξης ανταπόκρισης. Αυτό ερμηνεύθηκε με το ότι η διαδικασία αναστολής της αντίδρασης είναι πιο πολύπλοκη και χρειάζεται περισσότερες γνωστικές λειτουργίες, όπως σχεδιασμός, σημασιολογική αναζήτηση, επιλογή και εκτίμηση της απόκρισης. Διαφορές ανάμεσα στις δύο αυτές συνθήκες του Hayling test βρέθηκαν και από τους Nathaniel-James et al.

χρησιμοποιώντας επίσης μεθοδολογία PET [157]. Αξίζει να σημειωθεί ότι πείραμα ανάμεσα σε αριστερόχειρες και δεξιόχειρες έδειξε επίσης διαφορές ανάμεσα στα δύο μέρη του Hayling test για το P300 καθώς και για το P50 συστατικό του ERP [158, 159]

Στη συνθήκη απουσίας Η/Μ πεδίου, οι γυναίκες είχαν χαμηλότερες τιμές πλάτους του P300 από τους άντρες. Αυτό συμφωνεί με το γεγονός ότι σχετικές με γλωσσολογία εκτελεστικές λειτουργίες έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις γυναίκες σε σύγκριση με τους άντρες [160, 161, 162] και δείχνει ότι οι διαδικασία της προσοχής κατά τη διάρκειά τους είναι πιο εύκολη για τις γυναίκες. Είναι αξιοσημείωτο ότι και σε άλλες μελέτες οι τιμές πλάτους του P300 είναι μεγαλύτερες στους άντρες από τις γυναίκες, κάτι το οποίο δείχνει ότι οι τιμές των προκλητών δυναμικών εξαρτώνται από το φύλο [163].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης και η συνεισφορά της στο επιστημονικό πεδίο στο οποίο εντάσσεται. Επίσης γίνεται αναφορά σε μελλοντικές πιθανές προεκτάσεις της παρούσας διατριβής.

6.1 Συμπεράσματα και σημεία στα οποία προάγεται η επιστήμη

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η μελέτη επίδρασης Η/Μ ακτινοβολίας από ασύρματο τερματικό εξοπλισμό στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις που προϋπήρχαν και έγιναν καινούργια πειράματα. Ακολούθησε διεξοδική επεξεργασία των δεδομένων ενώ η στατιστική επεξεργασία των υπολογισμών κατέληξε σε κάποια συμπεράσματα τα οποία έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Η συνεισφορά της διατριβής στο συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα είναι πολύπλευρη.

Η πολλαπλή επεξεργασία των μετρήσεων που αφορούν επίδραση ακτινοβολίας συχνοτήτων 900 και 1800MHz επιβεβαίωσε προηγούμενες μελέτες και συγχρόνως οδήγησε σε πρωτότυπα συμπεράσματα. Όσον αφορά την ενέργεια του εν ηρεμία EEG η επεξεργασία των δεδομένων στο πείραμα με έκθεση σε πεδίο 1800MHz επιβεβαιώνει προηγούμενη έρευνα (έκθεση σε πεδίο 900MHz) σε σχέση με τη διαφοροποίηση της εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ των δύο φύλων υπό την επίδραση Η/Μ ακτινοβολίας. Η αλληλεπίδραση αυτή επαληθεύεται και από την εφαρμογή της συσχέτισης φασματικής ισχύος στα δεδομένα των δύο πειραμάτων. Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής αποδείχθηκε ο υψηλός βαθμός συσχέτισης των τεσσάρων ρυθμών του EEG, ο οποίος με τον αποκλεισμό του δ ρυθμού βελτιώνεται σημαντικά. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του δέλτα ρυθμού δεν διαφοροποιείται με τον ίδιο τρόπο ανάμεσα στα άτομα όπως οι ενέργεια των υπόλοιπων τριών ρυθμών του EEG. Από όσο είναι γνωστό η προσπάθεια αυτή είναι η πρώτη που έγινε για να αποκαλύψει τις άμεσες επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην εσωτερική συνοχή των διακυμάνσεων της ενέργειας των διαφόρων ζωνών συχνοτήτων του EEG σήματος. Όσον αφορά στα προκλητά δυναμικά έγινε εκτενής ανάλυση όλων των κορυφώσεων, όσον αφορά το πλάτος καθώς και το χρόνο εμφάνισής τους. Μελετήθηκε η επίδραση σε αυτά των διαφορετικών πεδίων (OFF-900MHz-1800MHz) και επιβεβαιώθηκε και πάλι η αλληλεπίδραση φύλου και ακτινοβολίας και για τα πρώιμα δυναμικά είδους ερεθίσματος και ακτινοβολίας. Επίσης έγινε μία αρχική προσέγγιση όσον αφορά την επεξεργασία των 52 ερωτήσεων ξεχωριστά που αφορούν την ψυχολογική διαδικασία Wechsler με σκοπό αρχικά τον αποκλεισμό κάποιων ερωτήσεων και στη συνέχεια την ομαδοποίησή τους έτσι ώστε να μελετηθεί πιθανή επίδραση και άλλων παραγόντων στο EEG (κόπωση, εξοικείωση) και πιθανή αλληλεπίδρασή τους με ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Όσον αφορά το πειραματικό μέρος της διατριβής, έγιναν καινούργια πειράματα στο χώρο του Ε.Π.Ι.Ψ.Υ. με την διάταξη που ολοκληρώθηκε εκεί. Τα πειράματα αυτά έγιναν με σκοπό τη μελέτη επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από Wi-Fi σήμα στην

ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία και τα 30 άτομα που έλαβαν μέρος επιδόθηκαν σε δύο διαφορετικές ψυχολογικές δοκιμασίες (Wechsler και Hayling tests). Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων έδειξε για τα προκλητά δυναμικά σημαντική αλληλεπίδραση ανάμεσα στο φύλο και την ακτινοβολία η οποία εντοπίζεται στο Β μέρος του Hayling test. Επίσης τα διαφορετικά μέρη της δοκιμασίας αυτής φαίνεται ότι επηρεάζουν σημαντικά τις τιμές του EEG. Η συμβολή της μελέτης αυτής έχει μεγάλη σημασία αν αναλογιστεί κανείς ότι είναι η πρώτη μελέτη που αφορά άμεσες συνέπειες Wi-Fi σημάτων στην εγκεφαλική δραστηριότητα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ό π οι συγκεκριμένες διατάξεις καθώς και οι διάφορες επεξεργασίες των σημάτων του EEG που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε διαφορετικά πειράματα. Ήδη έχει γίνει εφαρμογή της περιγραφόμενης μεθοδολογίας σε πείραμα που αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη λειτουργία του εγκεφάλου σε αριστερόχειρες και δεξιόχειρες [158, 159].

6.2 Προοπτικές για μελλοντική έρευνα

Από τα δεδομένα των πειραμάτων που περιγράφηκαν και την επεξεργασία τους δεν μπορεί κανείς να εξάγει τελικά συμπεράσματα για το πώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει την εγκεφαλική λειτουργία. Σε πειράματα όπου υπεισέρχεται ο ανθρώπινος οργανισμός, ο οποίος αποτελεί ασταθή παράγοντα, δεν μπορεί κανείς να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό σε πολλές περιπτώσεις είναι σκόπιμη η επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τη διεξαγωγή επαναληπτικών μετρήσεων με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους.

Εκτός από την επαλήθευση των μετρήσεων, η διεξαγωγή νέων πειραμάτων με διαφορετικούς παράγοντες ακτινοβολίας θα είχε ιδιαίτερη αξία μιας και στη σημερινή εποχή χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερες ασύρματες συσκευές για διάφορες υπηρεσίες. Έτσι λοιπόν μπορούν να διεξαχθούν καινούργια πειράματα στα οποία τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που θα εφαρμόζονται να είναι διαφορετικά ως προς τη συχνότητα, τη διαμόρφωση του σήματος και την ισχύ. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων όχι μόνο με τις μετρήσεις που διεξάγονται χωρίς ακτινοβολία αλλά και μεταξύ των διαφορετικών πειραματικών συνθηκών ανοίγει πολλούς ερευνητικούς δρόμους. Εκτός από διαφορετικούς παράγοντες ακτινοβολίας, μπορούν να διενεργηθούν επίσης πειράματα στα οποία τα άτομα θα υποβάλλονται σε διαφορετικές νοητικές διαδικασίες οι οποίες μπορούν να είναι όχι μόνο ακουστικές αλλά για παράδειγμα και οπτικές.

Κατά την επεξεργασία επίσης των δεδομένων μπορούν να μελετηθούν και άλλοι παράγοντες που ενδεχομένως να αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου. Τέτοιοι παράγοντες για παράδειγμα είναι ενδεχομένως η κόπωση και η εξοικείωση. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής έγινε μία αρχική προσέγγιση για τη μελέτη των παραγόντων αυτών η οποία μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω. Επίσης η διαφοροποίηση που σημειώθηκε με βάση το φύλο είναι χρήσιμο να διερευνηθεί σε βάθος αν λάβει κανείς υπόψη πιθανές ορμονικές διαταραχές (κυρίως των γυναικών).

Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν καινούργιες τεχνικές οι οποίες θα βοηθήσουν στην κατανόηση των πολύπλοκων διαδικασιών που διενεργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Οι ερευνητικές προεκτάσεις που έχει αυτό το θέμα είναι απεριόριστες. Η ανάλυση με βάση χρονοσειρές, για παράδειγμα, μπορεί να βοηθήσει στην επεξεργασία ολόκληρου του σήματος των προκλητών δυναμικών και όχι στην κατά τμήμα επεξεργασία που γίνεται έως τώρα με βάση τις κορυφώσεις του. Επίσης μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη χαοτική δυναμική θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ώστε να βοηθήσουν στην κατανόηση και προβλεψιμότητα των εγκεφαλικών σημάτων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Fishman RS. (2007). The Nobel Prize of 1906. Arch Ophthalmol. 125:690-4.PubMed (Review of the work of the 1906 Nobel Prize in Physiology or Medicine winners Camillo Golgi and Santiago Ramon y Cajal)
- [2] Williams RW, Herrup K, The control of neuron number, Annu. Res. Neurosci. (1988) 11:42-53
- [3] A. Robert Martin, Bruce G. Wallace, Paul A. Fuchs, and John G. Nicholls, “From Neuron to Brain: A Cellular and Molecular Approach to the Function of the Nervous System”, Sinauer Associates; 4th edition (January 15, 2001)
- [4] George J. Siegel (Editor), R. Wayne Albers (Editor), Scott Brady (Editor), Donald L. Price (Editor), American Society for Neurochemistry (Editor) Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects (Periodicals) Academic Press; 7 edition (October 31, 2005)
- [5] Koch C, Zador A, The function of dendritic spines: devices subserving biochemical rather than electrical computation, Journal of Neuroscience (1993) 13: 413-422
- [6] Gary G. Matthews, Neurobiology: Molecules, Cells and Systems, Blackwell Publishing, Incorporated; 2 edition (January 15, 2001)
- [7] Carlson Neil R. (2007), Physiology of Behavior (9th edition ed.). Boston, MA: Pearson Education, Inc. (2007) ISBN 0205593895
- [8] Rapport, Richard L. (2005), Nerve Endings: The Discovery of the Synapse, W. W. Norton & Company. pp. 1–37
- [9] Gordon M. Shepherd, “Neurobiology”, Oxford University Press, USA; 3 edition (May 5, 1994)
- [10] Wright, SH Generation of resting membrane potential, Advances in Physiology Education (2004) 28(1-4): 139-142
- [11] Hille B (2001) Ion channels of excitable membranes Sunderland (MA): Sinauer Associates Inc; 3rd ed
- [12] Thompson RF (1985) The Brain: An Introduction to Neuroscience, Freeman
- [13] Γιόβα Δ, Θεοδοσίου Θ, Αλεξανδράτου Ε, Ατλαμαζόγλου Β, Πολτόπουλος Κ (2000) Εισαγωγή στην κυτταρική μηχανική και εφαρμοσμένη βιοφυσική Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [14] Kalat JW (Μετάφραση Καστελλάκης ΑΑ, Χρηστίδης ΔΑ),Βιολογική Ψυχολογία, 5^η έκδοση, Εκδόσεις Έλλην
- [15] Caton R, The electric currents of the brain, Br. Med. J., 2, 1875, 278
- [16] Berger H, Uber das Electroenkephalogramm des Menschen, Arch. Psychiatr. Nervenkr., 87, 1929, 527-580
- [17] Shipton HW, EEG analysis: a history and prospectus, Annual Rev., Univ. of Iowa, USA, 1975, 1–15
- [18] Sanei S. and Chambers J., EEG Signal processing, 2007 John Wiley & Sons, Ltd
- [19] James Moore and George Zouridakis, “Biomedical Technology and Devices Handbook”, CRC (August 14, 2003)
- [20] Joseph D. Bronzino “Biomedical Engineering Fundamentals” (The Electrical Engineering Handbook) CRC; 3rd edition (April 14, 2006)
- [21] Kondraske GV, 1986, Neurophysiological measurements, In: J.D. Bronzino ed. Biomedical Engineering and Instrumentation, pp. 138-179, PWS Publishing, Boston
- [22] Bronzino JD, 1995, Principles of Electroencephalography, In: J.D. Bronzino ed, The Biomedical Engineering Handbook, pp. 201-212, CRC Press, Florida

- [23] Jasper HH, The ten-twenty electrode system of the International Federation, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (1958), 371-375
- [24] Nunez PL, 1995, *Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms*, Oxford University Press, New York
- [25] Kaiser DA, 1994, Interest in Films as Measured by Subjective & Behavioral Ratings and Topographic EEG, *Methodological Issues* at <http://www.skiltopo.com/papers/applied/articles/dakdiss2.htm>, Los Angeles
- [26] Effects of Electrode Placement, <http://www.focused-technology.com/electrod.htm>, California
- [27] Collura T, 1998, *A Guide to Electrode Selection, Location, and Application for EEG Biofeedback*, Ohio
- [28] Nagel HN, 1995, *Biopotential Amplifiers*. In: J.D. Bronzino ed. *The Biomedical Engineering Handbook*, pp. 1185-1195, CRC Press, Florida
- [29] Brunet D, Young G et al., 2000, *Electroencephalography, Guidelines for Clinical Practice and Facility Standards*, College of Physicians and Surgeons of Ontario, Canada
- [30] Teplan M, *Fundamentals of EEG measurement*, *Measurement Science. Review.*, 2(2), 2002
- [31] John T. Cacioppo, Louis G. Tassinary, Gary Berntson, “*Handbook of Psychophysiology*”, Cambridge University Press; 2nd edition (May 8, 2000)
- [32] Serman MB, MacDonald LR, Stone RK, *Biofeedback training of sensorimotor EEG in man and its effect on epilepsy*, *Epilepsia*, 15, 1974, 395–416
- [33] Roldan E, Lepicovska V, Dostalek C, Hrudova L, *Mu-like EEG rhythm generation in the course of Hatha-yogi exercises*, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 52, 1981, 13
- [34] Silbert PL, Radhakrishnan K, Johnson J, and Class DW, *The significance of the phi rhythm*, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 95, 1995, 71–76
- [35] Basar E, Basar-Eroglu C, Karakas S, Schurmann M, *Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes*, *Int. J. Psychophysiol.* (2001), 39: 241–248
- [36] Hughes JR, Fino JJ, *EEG in seizure prognosis: association of slowwave activity and other factors in patients with apparent misleading epileptiform findings*, *Clin. EEG Neurosci.* (2004), 35: 181–184
- [37] Neuper C, Pfurtscheller G, *Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates*, *Int. J. Psychophysiol.* 43 (2001) 41–58
- [38] Kaiser J, Birbaumer N, Lutzenberger W, *Event-related beta desynchronization indicates timing of response selection in a delayed-response paradigm in humans*, *Neurosci. Lett.* (2001) 312: 149–152
- [39] Wrobel A, *Beta activity: a carrier for visual attention* *Acta Neurobiol. Exp.* (2000), 60: 247–260
- [40] Coull JT (1998) *Neural correlates of attention and arousal: Insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology* in *Progress in Neurobiology* 55: 343-361
- [41] Picton TW, “*Human Event-Related Potentials*”, Elsevier Publishing Company (May 1, 1988)
- [42] Michael D. Rugg and Michael G. H. Coles, “*Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*” (Oxford Psychology Series), Oxford University Press, USA; New Ed edition (November 7, 1996)
- [43] *Introduction to Biomedical Engineering (Hardcover)* by Michael M. Domach, Prentice Hall (December 18, 2003)
- [44] Bin He, *Neural Engineering, (Bioelectric Engineering)*, Springer; 1st edition (March 4, 2005)

- [45] Roth WT, Ford JM, Pfefferbaum A and Elbert TR (1995) Methodological issues in event-related potential and magnetic field studies Chapter 78 in “Psychopharmacology: The Fourth Generation of Progress” FE Bloom and DJ Kupfer (Eds), New York, NY: Raven Press 895-910
- [46] Alberto Zani, Alice Proverbio, “The Cognitive Electrophysiology of Mind and Brain”, Academic Press (October 2, 2002)
- [47] Κουτσούρης Δ (2000) Εισαγωγή στη Βιοιατρική Τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [48] Pantev C, Elbert T, Ross B, et al. Binaural fusion and the representation of virtual pitch in the human auditory cortex, *Hear Res* (1996), 100:164–170
- [49] Butler RA, Effect of changes in stimulus frequency and intensity on habituation of the human vertex potential, *J Acoust Soc Am* (1968), 44(4):945-50
- [50] Shaul S (2007). Evoked response potentials (ERPs) in the study of dyslexia: A review. pp. 51-91. In (Breznitz Z. Editor) *Brain Research in Language*. Springer
- [51] Hanlon FM, Miller GA, Thoma RJ, Irwin J, Jones A, Moses SN, Huang M, Weisend MP, Paulson KM, Edgar JC, Adler LE, Cañive JM., Distinct M50 and M100 auditory gating deficits in schizophrenia, *Psychophysiology* (2005), 42(4):417-27
- [52] Fischer C, Luauté J, Adeleine P, Morlet D, Predictive value of sensory and cognitive evoked potentials for awakening from coma, *Neurology* (2004), 63(4):669-73
- [53] Delb W, Strauss DJ, Low YF, Seidler H, Rheinschmitt A, Wobrock T, D'Amelio R, Alterations in Event Related Potentials (ERP) associated with tinnitus distress and attention, *Appl Psychophysiol Biofeedback* Dec (2008), 33(4):211-21
- [54] Davis PA, Effects of acoustic stimuli on the waking human brain, *J Neurophysiol* (1939), 2: 494-499
- [55] Vaughan HG Jr, Ritter W, The sources of auditory evoked responses recorded from the human scalp, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* (1970), 28(4):360-7
- [56] Hackley SA, Woldorff M, Hillyard SA, Cross-modal selective attention effects on retinal, myogenic, brainstem, and cerebral evoked potentials, *Psychophysiology* (1990), 27, 195–208
- [57] Luck SJ, Hillyard SA Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search, *Psychophysiology* (1994), 31, 291–308
- [58] Chapman RM, McCrary JW, Chapman JA, Short-term memory: The storage component of human brain responses predicts recall, *Science* (1978), 202, 1211–1214
- [59] Barnea A, Breznitz Z, Phonological and orthographic processing of Hebrew words: Electrophysiological aspects, *Journal of Genetic Psychology* (1998), 159, 492–504.
- [60] Hoffman JE, Event-related potentials and automatic and controlled processes, In: Rohrbaugh JW, Parasuraman R, Johnson R Jr, editors, *Event Related Brain Potentials*, New York: Oxford University Press; 1990. pp. 145–157
- [61] Näätänen R, Picton TW, N2 and automatic versus controlled processes, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1986;38:169–186
- [62] Näätänen R, The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function, *Behavioral and Brain Sciences*, 1990;13:201–288
- [63] Pritchard WS, Shappell SA, Brandt ME, Psychophysiology of N200/N400: A review and classification scheme. *Advances in Psychophysiology*, 1991;4:43–106
- [64] Fabiani M, Gratton G, Coles M (2000) Event-related potentials: Methods, theory, and applications in “Handbook of psychophysiology” Cacioppo JT, Tassinary Lg, Bernston G (Eds), New York: Cambridge University Press, 2nd edition 53-84

- [65] Dien J, Spencer K, Donchin E, Localization of the event-related potential novelty response as defined by principal components analysis, *Cognitive Brain Research* (2003), Volume 17, Issue 3, Pages 637-650
- [66] Frodl-Bauch T, Bottlender R, Hegerl U., Neurochemical substrates and neuroanatomical generators of the event-related P300, *Neuropsychobiology*. 1999;40(2):86-94
- [67] Comerchero MD, Polich J, P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli, *Clinical Neurophysiology* (1999), 110, 24–30
- [68] Sutton S, Braren M, Zubin J, & John ER, Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty, *Science* (1965), 150(3700): 1187-1188
- [69] Hagoort P, Interplay between Syntax and Semantics during Sentence Comprehension: ERP Effects of Combining Syntactic and Semantic Violations, *Journal of Cognitive Neuroscience* (2003) 15 (6): 883–899
- [70] Zheng Ye, Yue-jia Luo, Angela D. Friederici, and Xiaolin Zhou, Semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from event-related potentials, *Brain Research* (2006) 1071: 186-196
- [71] Kutas M, Hillyard S, Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity, *Science* (1980) 207: 203–205
- [72] Kaan E, Swaab T, Repair, revision, and complexity in syntactic analysis: an electrophysiological differentiation, *Journal of Cognitive Neuroscience* (2003) 15 (1): 98–110
- [73] Service E, Helenius P, Maury S, Salmelin R, Localization of syntactic and semantic brain responses using magnetoencephalography, *Journal of Cognitive Neuroscience* (2007) 19 (7): 1193-1205
- [74] Coulson S, King J, Kutas M, Expect the unexpected: event-related brain response to morphosyntactic violations, *Language and Cognitive Processes* (1998) 13 (1): 21–58
- [75] Michaelson SM, Elson EC, Anderson LE, Interaction of nonmodulated and pulse-modulated radio frequency fields with living matter: Experimental Results in Biological and Medical Aspects of Electromagnetic Fields, Barnes FS and Greenebaum B (eds), CRC Press, 2007
- [76] Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A, Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man, *Int J Radiat Biol* 1999; 75 (4): 447 - 456
- [77] Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, Butler SR, Dunn EJ, Johnson Y, Manktelow TC, Wesnes K, Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children, *Bioelectromagnetics*, 2005, Suppl 7, S138–143
- [78] Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hämäläinen H, Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans, *Neuroreport* 2000; 11 (2): 413 - 415
- [79] Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H, Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study, *Bioelectromagnetics* 2003; 24 (4): 283 - 288
- [80] Haarala C, Ek M, Bjornberg L, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H, 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans, *Bioelectromagnetics* 2004; 25 (6): 452 - 456
- [81] Haarala C, Bergman M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H, Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function, *Bioelectromagnetics* 2005: S144 - S150
- [82] Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L, Koivisto M, Alanko K, Revonsuo A, Laine M, Hämäläinen H, Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study, *Bioelectromagnetics* 2004; 25 (1): 33 - 40

- [83] Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, Cristiani R, D'Inzeo G, Bertini M., Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature, *Neuroreport* 15(1):161-164, 2004
- [84] Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C, Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task, *Clin Neurophysiol* 2004; 115 (1): 171 - 178
- [85] Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, Stough C, Spong J, The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields, *Bioelectromagnetics* 2006; 27 (4): 265 – 273
- [86] Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR, Acute mobile phone operation affects neural function in humans, *Clin Neurophysiol* 2002; 113 (10): 1623 – 1632
- [87] Wagner P, Röschke J, Mann K, et al., Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions, *Bioelectromagnetics* (1998) 19:199-202
- [88] Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbély AA, Achermann P., Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG, *Neuroreport*. 2000 Oct 20;11(15):3321-5
- [89] Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen NT, Pedersen AD, Andersen JB, Zachariae R, Molhave L, Sigsgaard T, Kjaergaard SK, Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations, *Bioelectromagnetics* 2008; 29 (4): 257 - 267
- [90] Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R, Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG, *Bioelectromagnetics* 2008; 29 (6): 479 – 487
- [91] Regel SJ, Negovetic S, Rösli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P, UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance, *Environ Health Perspect* 2006; 114 (8): 1270 – 1275
- [92] Marino C, Galloni P, Nasta F, Pinto R, Pioli C and Lovisolo GA, Measures For The Exposure Of Newborn Animals To Wifi Signals, Workshop, Stuttgart, 2008
- [93] Foster, KR, Radiofrequency Exposure from Wireless LANS Utilizing Wi-Fi Technology, *Health Physics* 92: 280-289; 2007
- [94] D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA, Adair ER Microwave effects on the nervous system *Bioelectromagnetics* 2003, Suppl 6, S107-S147
- [95] Marino AA, Carrubba S, The effects of mobile-phone electromagnetic fields on brain electrical activity: A critical analysis of the literature, *Electromagnetic Biology and Medicine* (2009), 28(3):250-274
- [96] Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS, Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields. The time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005), *Bioelectromagnetics* (2006) 27, 613-627
- [97] Νάνου Ελένη (Αθήνα 2007) Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Μελέτης και Αξιολόγησης της Επίδρασης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας στα Ηλεκτρικά Σήματα του Εγκεφάλου Διδακτορική Διατριβή ΕΜΠ
- [98] Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VSG, Capsalis CN and Rabavilas A, “Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal”, *Neuroreport*, Vol 15(16), 2557-2560, 2004
- [99] Nanou E, Tsiafakis V, Kapareliotis E, Papageorgiou C, Rabavilas A and Capsalis CN, Influence of the interaction of a 900MHz signal with gender on EEG Energy: Experimental study on the influence of 900MHz Radiation on EEG, *The Environmentalist*, 25, 173-180, 2005

- [100] Nanou E, Hountala C, Maganioti A, Papageorgiou C, Tsiafakis V, Capsalis C, Fourier Analysis of the effect of a 1800MHz Electromagnetic Field on the EEG Energy, 5th International Workshop, Biological Effects of Electromagnetic Fields, Palermo, Italy, October 2008
- [101] Nanou ED, Hountala CD, Maganioti AE, Papageorgiou CC, Tsiafakis VG, Rabavilas AD, Capsalis CN, Influence of a 1,800 MHz electromagnetic field on the EEG energy, *Environmentalist* (2009) 29 (2): 205-209.
- [102] Declaration of Helsinki of the World Medical Association on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, adopted in 1964 and amended in 1975, 1983, 1989, 1996 and 2000
- [103] Field A (2006) *Discovering Statistics Using SPSS*, Sage Publications
- [104] Boutsikas M.V. (2004), Σημειώσεις μαθήματος «Στατιστικά Προγράμματα», Τμήμα Στατ. & Ασφ. Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- [105] Stevens JP (2002), *Applied multivariate statistics for the social sciences*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- [106] Hountala CD, Nanou ED, Maganioti AE, Papageorgiou CC, Tsiafakis VG, Capsalis CN, Experimental Study of the Influence of 900 And 1800 MHZ Simulated Mobile Phone Signals on EEG: Gender Effects, FGF-Workshop, “Radiofrequency Fields and Health – Conclusions after 17 years work of the FGF”, November 2009, Stuttgart, Germany
- [107] Fisch BJ (1999), *Fisch & Spehlmann’s EEG primer*, Elsevier, Amsterdam, pp 148
- [108] Epstein CM (1983) *Introduction to EEG and evoked potentials*, Lippincot Williams & Wilkins, Philadelphia
- [109] Hughes JR (1994), *EEG in clinical practice*, Butterworth–Heinemann, Newton, pp 15
- [110] Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T., Mobile phones modulate response patterns of human brain activity, *NeuroReport* 1998;9:3229 – 3232
- [111] D’Costa H, Trueman G, Tang L, Abdel-Rahman U, Abdel-Rahman W, Ong K, Cosic I, Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones, *Australas Phys Eng Sci Med* 2003; 26 (4): 162 – 167
- [112] Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P, Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG, *J Sleep Res* (2002); 11(4):289–295.
- [113] Krause CM, Pesonen M, Haarala Björnberg C, Hämäläinen H, Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing, *Bioelectromagnetics* 2007; 28 (4): 296 – 308
- [114] Skrandies W, Reik P, Kunze C (1999) Topography of evoked brain activity during mental arithmetic and language tasks: sex differences. *Neuropsychologia* 37(4):421–430
- [115] Dimpfel W, Wedekind W, Keplinger I (2003) Gender difference in electrical brain activity during presentation of various film excerpts with different emotional content. *Eur J Med Res* 8(5):192–198
- [116] Briere ME, Forest G, Chouinard S, Godbout R (2003) Evening and morning EEG differences between young men and women adults. *Brain Cogn* 53(2):145–148
- [117] Kimura D, Harshman RA (1984), Sex differences in brain organization for verbal and non-verbal functions, *Prog Brain Res* 61:423–441
- [118] Kimura D, Seal BN (2003), Sex differences in recall of real or nonsense words, *Psychol Rep* 93(1):263–264
- [119] Kimura D (2002), Review-sex hormones influence human cognitive pattern, *Neuroendocrinol Lett* 23(Suppl. 4):67–77
- [120] Challis LJ (2005), Review-mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue, *Bioelectromagnetics* 26(Suppl. 7):S98–S106

- [121] Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M (2007) Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: a comprehensive review. *Bioelectromagnetics* 28(6):415–432
- [122] Horwitz B, The elusive concept of brain connectivity, *NeuroImage* 19 (2003) 466–470.
- [123] Rosenblum MG, Pikovsky AS, Kurths J, Schäfer C, Tass PA, Phase synchronization: from theory to data analysis, in: F. Moss, S. Gielen (Eds.), *Neuro-informatics*, in: *Handbook of Biological Physics*, vol. 4, Elsevier, Amsterdam, 2001, pp. 279–321.
- [124] Varela F, Lachaux JP, Rodriguez E, Martinerie J, The brainweb: phase synchronization and large-scale integration, *Nat. Rev. Neurosci.* 2 (2001) 229–239.
- [125] Hunt PS, Fanselow MS, Richardson R, Mauk MD, Freeman JH, Stanton ME, Synapses, circuits, and the ontogeny of learning, *Dev. Psychobiol.* 49 (2007) 649–663
- [126] Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM, Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms, *Eur J Neurosci* 2007; 25 (6): 1908 – 1913
- [127] Hountala C, Maganioti A, Papageorgiou C, Nanou E, Kyprianou M, Tsiafakis V, Rabavilas A, Capsalis C, The spectral power coherence of the EEG under different EMF conditions, *Neuroscience Letters* 441 , 188-192, September 2008
- [128] Cortina JM, What is coefficient alpha? An examination of theory and applications, *J. Appl. Psychol.* 78 (1993) 98–104
- [129] Winer B, 1991, *Statistical principles in experimental design*, McGraw-Hill, New York
- [130] George D, & Mallery P (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update (4th ed.)*. Boston: Allyn & Bacon
- [131] Carmines EG, Zeller RA (1979), *Reliability and validity assessment*, Thousand Oaks, CA: Sage.
- [132] Nunnally JC, Bernstein IH (1994), *Psychometric theory (3rd ed.)* New York: WCB/McGraw-Hill
- [133] Abdi H (2007), Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons, in Salkind NJ (ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, Thousand Oaks, CA: Sage
- [134] Chang PF, Arendt-Nielsen L, Chen AC (2002) Dynamic changes and spatial correlation of EEG activities during cold pressor test in man *Brain Res Bull* 57: 667– 675
- [135] Begleiter H, Porjesz B, Genetics of human brain oscillations, *Int. J. Psychophysiol.* 60 (2006) 162–171
- [136] van Beijsterveldt CE, Molenaar PC, de Geus EJ, Boomsma DI, Genetic and environmental influences on EEG coherence, *Behav. Genet.* 28 (1998) 443–453
- [137] Steriade M, Grouping of brain rhythms in corticothalamic systems, *Neuroscience* 137 (2006) 1087–1106
- [138] Smit DJ, D. Posthuma, Boomsma DI, Geus EJ, Heritability of background EEG across the power spectrum, *Psychophysiology* 42 (2005) 691–697
- [139] Hughes JR, Fino JJ, EEG in seizure prognosis: association of slowwave activity and other factors in patients with apparent misleading epileptiform findings, *Clin. EEG Neurosci.* 35 (2004) 181–184
- [140] Klimesch W, Doppelmayr M, Yonelinas A, Kroll NE, Lazzara M, Rohm D, Gruber W, Theta synchronization during episodic retrieval: neural correlates of conscious awareness, *Cogn. Brain Res.* 12 (2001) 33–38
- [141] Razumnikova OM, Vol'f NV, Gender differences in interhemisphere interactions during distributed and directed attention, *Neurosci. Behav. Physiol.* 37 (2007) 429–434
- [142] Barry RJ, Clarke AR, McCarthy R, Selikowitz M, Johnstone SJ, Rushby JA, Age and gender effects in EEG coherence. I. Developmental trends in normal children, *Clin. Neurophysiol.* 115 (2004) 2252–225

- [143] Bak M, Dudarewicz A, Zmyslony M, Sliwinska-Kowalska M, Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs), *Int J Occup Med Environ Health* 2010; 23 (2): 191 – 199
- [144] Maby E, Le Bouquin Jeanes R, Liegeois-Chauvel C, Gourevitch B, Faucon G, Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method., *Med Biol Eng Comput* 2004; 42 (4): 562 – 568
- [145] Maby E, Jeanes Rle B, Faucon G, Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields., *Int J Radiat Biol* 2006; 82 (7): 465 – 472
- [146] Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Näätänen R, Hämäläinen H, No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study., *Bioelectromagnetics* 2010; 31 (3): 191 – 199
- [147] Maganioti AE, Hountala CD, Papageorgiou CC, Kyprianou MA, Rabavilas AD and Capsalis CN, Principal component analysis of the P600 waveform: RF and gender effects., *Neuro Lett* 478(1):19-23 (2010)
- [148] Kapareliotis E, Nanou E, Tsiafakis V, Sotiriou A, Pragiatis L, Capsalis C, Electromagnetic compatibility between Wi-Fi access point and EEG signals, *Proceedings*
- [149] Papageorgiou C.C., Hountala C.D., Maganioti A.E., Kyprianou M.A, Rabavilas A.D., Papadimitriou G.N., Capsalis C.N., Effects of Wi-Fi signals on the P300 component of event related potentials during an auditory Hayling task, *Journal of Integrative Neuroscience* (2011) 10(2): 1-14
- [150] Smythe JW, Costall B, Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects, *Neuroreport* 14(2):243-246, 2003.
- [151] Eberhardt JL, Persson BRR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LOG, Blood–brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones, *Electromagn Biol Med* 27:215–229, 2008.
- [152] Salford LG, Brun A, Stuesson K, Eberhardt JL, Persson BR, Permeability of the blood brain barrier induced by 915MHz electromagnetic radiation continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz, *Microsc Res Tech* 27:535–542, 1994.
- [153] Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR, Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones, *Environ Health Persp* 111:881–883, 2003.
- [154] Schirmacher A, Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability of sucrose of the blood–brain barrier in vitro, *Bioelectromagnetics* 21:338–345, 2000.
- [155] Burch JB, Reif JS, Noonan CW, Ichinose I, Bachand AM, Koleber TL, Yost MG, Melatonin metabolite excretion among cell phone users, *Int J Radiat Biol* 78:1029–1036, 2002.
- [156] Collette F, Van der Linden M, Delfiore G, Degueldre C, Luxen A, Salmon E, The functional anatomy of inhibition processes investigated with the Hayling task, *NeuroImage* 14(2):258-267, 2001.
- [157] Nathaniel-James DA, Fletcher P, Frith CD, The functional anatomy of verbal initiation and suppression using the Hayling test, *Neuropsychologia* 35:559-566, 1997.
- [158] Beratis I, Rabavilas A, Nanou E, Hountala C, Maganioti A, Capsalis C, Papadimitriou G, Papageorgiou C, Effect of initiation-inhibition and handedness on the patterns of the P50 event-related potential component: a low resolution electromagnetic tomography study, *Behav Brain Funct* 5:51, 2009.
- [159] Beratis I, Rabavilas A, Nanou E, Hountala C, Maganioti A, Capsalis C, Papadimitriou G, Papageorgiou C, Hemispheric lateralization of executive control and handedness: A P300 event related potential study, 10th World Congress of Biological Psychiatry, 29 May - 2 June 2011, Prague, Czech Republic
- [160] Canli T, Desmond JE, Zhao Z, Gabrieli JD, Sex differences in the neural basis of emotional memories, *Proc Natl Acad Sci U S A.* 99(16):10789-10794, 2002.

- [161] Kansaku K, Kitazawa S, Imaging studies on sex differences in the lateralization of language, *Neurosci Res* 41(4):333-337, Review, 2001.
- [162] Kemp AH, Silberstein RB, Armstrong SM, Nathan PJ, Gender differences in the cortical electrophysiological processing of visual emotional stimuli, *Neuroimage* 21(2):632-646, 2004.
- [163] Oliver-Rodriguez JC, Guan Z, Johnston VS, Gender differences in late positive components evoked by human faces, *Psychophysiology* 36(2):176–185, 1999.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Μετασχηματισμός Fourier

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα μαθηματικό εργαλείο με τη βοήθεια του οποίου περιγράφονται περιοδικές και μη περιοδικές συναρτήσεις στο πεδίο της συχνότητας. Ονομάστηκε έτσι από τον Γάλλο μαθηματικό και φυσικό Joseph Fourier (1768-1830) ο οποίος ανακάλυψε ότι μια περιοδική και συνεχής συνάρτηση μπορεί να γραφεί σαν άθροισμα ημιτόνων και συνημιτόνων. Ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος $f(t)$ ορίζεται από το ολοκλήρωμα:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{A.1})$$

Όταν είναι γνωστός ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος $f(t)$, μπορεί να γίνει ανασύνθεσή του από το φάσμα των φασματικών συνιστωσών του μέσω του αντίστροφου μετασχηματισμού Fourier που ορίζεται από το ολοκλήρωμα:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (\text{A.2})$$

Οι συναρτήσεις $f(t)$ και $F(\omega)$ αποτελούν ένα ζεύγος μετασχηματισμού Fourier που συχνά υποδηλώνεται μέσω του συμβολισμού:

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega) \quad (\text{A.3})$$

Για να είναι δυνατός ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος $f(t)$, είναι αρκετό το $f(t)$ να ικανοποιεί τις συνθήκες Dirichlet:

- Η συνάρτηση $f(t)$ είναι μονοσήμαντη, με ένα πεπερασμένο αριθμό μέγιστων και ελαχίστων και ένα πεπερασμένο αριθμό ασυνεχειών, σε κάθε πεπερασμένο διάστημα χρόνου.
- Η συνάρτηση $f(t)$ είναι απόλυτα ολοκληρώσιμη, δηλαδή το ολοκλήρωμα της $f(t)$ να έχει πεπερασμένη τιμή:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)| dt < \infty \quad (\text{A.4})$$

Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν όλα τα ενεργειακά σήματα, για τα οποία ισχύει:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (\text{A.5})$$

δηλαδή η ενέργειά τους είναι πεπερασμένη.

Ένας σημαντικός αριθμός ιδιοτήτων του μετασχηματισμού Fourier επιτρέπουν τη λύση πολλών προβλημάτων με πολύ απλό και σύντομο τρόπο. Οι κυριότερες από αυτές είναι η γραμμικότητα, η ολίσθηση στο χρόνο και τη συχνότητα, η συμμετρία, η συσχέτιση και η αυτοσυσχέτιση.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι ανάλυσης Fourier για την αναπαράσταση των σημάτων. Η συγκεκριμένη μορφή, που χρησιμοποιείται στην πράξη εξαρτάται από τον τύπο του υπό επεξεργασία σήματος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι τύποι του μετασχηματισμού Fourier:

Όνομα	Πεδίο Χρόνου	Πεδίο Συχνότητας	Τύπος
Σειρές Fourier	Συνεχές Περιοδικό	Διακριτό Απεριοδικό	$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S_k e^{j\omega_k t}$
Συνεχής Μετασχηματισμός Fourier	Συνεχές Απεριοδικό	Συνεχές Απεριοδικό	$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega$
Διακριτός στο χρόνο Μετασχηματισμός Fourier (DTFT)	Διακριτό Απεριοδικό	Συνεχές Περιοδικό	$X(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega_k n}$
Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT)	Διακριτό Περιοδικό	Διακριτό Περιοδικό	$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}$

Πίνακας Α. 1 Τύποι μετασχηματισμού Fourier

Εάν ήταν στη διάθεση μας η συνάρτηση, $x(t)$, δηλαδή οι τιμές της συνάρτησης στο άπειρο διάστημα $(-\infty, \infty)$ τότε η $x(t)$ θα μπορούσε να αναλυθεί κατά Fourier και να υπολογιστεί η ισχύς του φάσματος του σήματος σε κάθε συχνότητα (power spectrum). Συνήθως, όμως, υπάρχει μόνο ένα μικρό δείγμα της $x(t)$, ένας πεπερασμένος αριθμός τιμών

(μετρήσεων) από ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier, ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{k}{N} n} \quad (\text{A.6})$$

όπου $X[k]$ είναι ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier του σήματος $x[n]$, με μήκος σήματος N .

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Διακριτού Μετασχηματισμού Fourier (DFT) είναι ο Γρήγορος Μετασχηματισμός Fourier (FFT). Ο FFT έχει μεγάλο φάσμα εφαρμογών και χρησιμοποιείται στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος και στην επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων.

Ο DFT έχει πολυπλοκότητα $O(N^2)$. Ο FFT είναι ένας αλγόριθμος που υπολογίζει το ίδιο άθροισμα πιο αποδοτικά με πολυπλοκότητα $O(N \log N)$. Η διαφορά στην ταχύτητα μπορεί να είναι ουσιαστική, ειδικά για μεγάλο όγκο δεδομένων και μπορεί να φθάσει σε μια τάξη διαφοράς σε πολυπλοκότητα περίπου $N/\log N$.

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι υλοποίησης του FFT με πιο διαδεδομένο αυτόν των Cooley και Tukey. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί την τεχνική «διαίρει και βασίλευε», δηλαδή διαιρεί αναδρομικά τον DFT οποιουδήποτε μεγέθους σε μικρότερους.

Θεώρημα Parseval

Το θεώρημα του Parseval προέρχεται από ένα θεώρημα του 1799 για σειρές από τον Marc-Antoine Parseval, το οποίο αργότερα εφαρμόστηκε στις σειρές Fourier. Είναι γνωστό επίσης ως θεώρημα ενέργειας του Rayleigh, ή ταυτότητα του Rayleigh από τον John William Strutt, Lord Rayleigh.

Σύμφωνα με το θεώρημα του Parseval η ενέργεια ενός σήματος μπορεί να υπολογιστεί, είτε υπολογίζοντας την ενέργεια στη μονάδα του χρόνου και ολοκληρώνοντας σε ολόκληρο το χρονικό διάστημα, είτε υπολογίζοντας την ενέργεια στη μονάδα της συχνότητας και ολοκληρώνοντας σε όλη την περιοχή συχνοτήτων. Δηλαδή αν $x(t)$ και $X(f)$ ένα ζεύγος μετασχηματισμού Fourier, τότε ισχύει ότι:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df \quad (\text{A.7})$$

Η ποσότητα $|X(f)|^2$ αναφέρεται συχνά ως φασματική πυκνότητα ενέργειας.

Για το διακριτό μετασχηματισμό Fourier το θεώρημα Parseval γράφεται ως εξής:

$$\sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X[k]|^2 \quad (\text{A.8})$$

Βιβλιογραφία Παραρτήματος Α

Bracewell RN (1999) "The Fourier Transform & Its Applications" McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 3rd edition

Hardy GH, Rogosinski WW (1999) Fourier Series Dover Publications, New Ed edition

Cooley, JW, Tukey JW (1965) An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series, Mathematics of Computation 19(90): 297-301

Parseval des Chênes, Marc-Antoine "Mémoire sur les séries et sur l'intégration complète d'une équation aux différences partielles linéaire du second ordre, à coefficients constants" presented before the Académie des Sciences (Paris) on 5 April 1799. This article was published in Mémoires présentés à l'Institut des Sciences, Lettres et Arts, par divers savants, et lus dans ses assemblées. Sciences, mathématiques et physiques. (Savants étrangers.), vol. 1, pages 638-648 (1806)

Rayleigh, J.W.S. (1889) "On the character of the complete radiation at a given temperature," Philosophical Magazine, vol. 27, pages 460-469

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Το ακουστικό ψυχιατρικό test Wechsler

Η δοκιμασία ακουστικής λειτουργικής μνήμης που έχει αυτοματοποιηθεί στο εργαστήριο Ψυχοφυσιολογίας του Αιγινήτειου Νοσοκομείου και στο Ε.Π.Ι.Ψ.Υ. είναι τμήμα του γενικού test νοημοσύνης (IQ) για ενήλικες του Wechsler (Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS)) το οποίο εκδόθηκε το 1955.

Ο Αμερικανός ψυχολόγος David Wechsler, εργάστηκε στον αμερικανικό στρατό κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, με σκοπό την ανάθεση σε νεοσύλλεκτους στρατιώτες, αποστολών τέτοιων που να ταιριάζουν καλύτερα στις ικανότητές τους. Εκεί, αντιλαμβανόμενος την ανεπάρκεια των ήδη υπαρχόντων στρατιωτικών τεστ, συμπέρανε ότι ο ακαδημαϊκός τρόπος προσέγγισης της ευφυΐας έπρεπε να αναθεωρηθεί και να διευρυνθεί έτσι ώστε η εγκυρότητά του να ανταποκρίνεται στην γενικότερη κοινωνική πραγματικότητα.

Ο κατά Wechsler ορισμός της ευφυΐας ως 'η σφαιρική ικανότητα του ανθρώπου να ενεργεί σκοπίμως, να σκέφτεται λογικά και να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το περιβάλλον του', εμπεριέχει την ιδέα πως η ευφυΐα δεν είναι μια μεμονωμένη ικανότητα, αλλά ένα πολύπλευρο σύνολο παραγόντων. Δηλαδή αντιμετώπισε την ευφυΐα όχι σαν «αιτία» αλλά σαν «αποτέλεσμα». Τα πρώτα του τεστ ευφυΐας τα ανέπτυξε όταν δούλευε στην ψυχιατρική κλινική Bellevue της Νέας Υόρκης (1932-1967), τα οποία σε σύντομο χρονικό διάστημα έγιναν τα δημοφιλέστερα στις Η.Π.Α. Μέχρι το 1974 δημοσίευσε διάφορα ακόμα τεστ τόσο για ενήλικες όσο και για παιδιά, τα οποία μάλιστα συνεχώς αναθεωρούσε, με απώτερο στόχο να μπορούν να εφαρμοστούν σε όλο το πληθυσμιακό εύρος. Ένα από τα πρότυπα που ανέπτυξε, κυρίως για τη μέτρηση της μνήμης, είναι το 'Wechsler Auditory Task'.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το WAIS αποτελείται από δεκατέσσερα test, επτά λεκτικά και επτά «εκτελεστικά» ενώ προτυποποιήθηκε το 1981 σε δείγμα 1880 ανθρώπων από 16 έως 74 ετών που χωρίστηκαν σε εννέα ηλικιακές ομάδες. Θεωρείται test μεγάλης αξιοπιστίας και η τελευταία έκδοσή του είναι το WAIS-III (1997).

Ένα εκ των επτά λεκτικών test αφορά στο «διάστημα» μνήμης (digital span) δηλαδή στο πόσα νούμερα μπορεί να συγκρατήσει ένας άνθρωπος και να τα επαναλάβει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι αξιολογεί την λειτουργική μνήμη (working memory) παρότι η προσοχή και η κατανόηση είναι σημαντικοί παράγοντες για τη διεξαγωγή του test. Με βάση τις σύγχρονες νευροψυχολογικές μελέτες υποστηρίζεται ότι η λειτουργική μνήμη αναφέρεται στην ικανότητα του να διατηρούνται πληροφορίες στη συνείδηση και να υφίστανται χειρισμούς ανάλογους με τις απαιτήσεις δεδομένων αποστολών. Πέραν των προαναφερθέντων εκτιμάται επίσης ότι βρίσκεται στην υπηρεσία σύνθετων γνωστικών λειτουργιών όπως

- Γλωσσικών διαδικασιών
- Οπτικοχωρικής θεώρησης
- Συλλογισμών και επίλυσης προβλημάτων
- Λήψης αποφάσεων

Για τις ανάγκες των πειραμάτων που διεξήχθησαν το test αναπτύχθηκε όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Η δοκιμασία στην οποία υποβάλλονται τα εξεταζόμενα άτομα βασίζεται στην αποστολή ακουστικών ερεθισμάτων από έναν υπολογιστή. Τα ηχητικά αυτά μηνύματα οδηγούνται σε ειδικά ακουστικά που φοράει ο εξεταζόμενος, ο οποίος μάλιστα κατά την εκτέλεση του πειράματος πρέπει να είναι απομονωμένος από κάθε λογής εξωτερικά ερεθίσματα.

Συγκεκριμένα το test αποτελείται από 26 ακολουθίες αριθμών (ερωτήσεις), κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει στην αρχή τη μετάδοση ενός ακουστικού τόνου, ακολουθεί η σειρά των ψηφίων (από 1 έως 9) και τελειώνει με την επανάληψη του αρχικού τόνου. Σε κάθε ένα από αυτά τα ηχογραφημένα μηνύματα, μεταξύ της μετάδοσης του αρχικού τόνου και του πρώτου ψηφίου καθώς και του τελευταίου αριθμού και του τελικού τόνου, μεσολαβούν παύσεις ορισμένων δευτερολέπτων για τη διευκόλυνση του εξεταζόμενου, ο οποίος καλείται αμέσως μετά να εκφωνήσει δυνατά τους αριθμούς που άκουσε. Σε κάθε ερώτηση αντιστοιχεί ένας βαθμός ώστε να είναι δυνατή η αποτίμηση της απόδοσης του εξεταζόμενου.

Οι τόνοι που ακούει ο εξεταζόμενος είναι διαθέσιμοι σε δύο διαφορετικές συχνότητες. Ο πρώτος από τους δύο είναι βραχύς, η συχνότητα του οποίου είναι 500 Hz, ενώ ο δεύτερος είναι οξύτερος και μεταδίδεται με συχνότητα 3 KHz. Το άκουσμα του υψίσυχνου τόνου σημαίνει ότι το εξεταζόμενο άτομο καλείται, μετά το τέλος της ερώτησης, να επαναλάβει τα ψηφία που ακολουθούν με σειρά αντίστροφη από αυτή που τα άκουσε. Αντίθετα, ο βραχύς τόνος σηματοδοτεί την απαίτηση για απαγγελία των μεταδιδόμενων ψηφίων με την ορθή ακολουθία.

Κάθε μία από τις 26 σειρές ερωτήσεων είναι διαφορετική από την άλλη, με σταδιακή αύξηση των μεταδιδόμενων ψηφίων από δύο σε εννέα. Το πρωτόκολλο των ερωτήσεων δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα. Η ηχογράφηση των ερωτήσεων και η επεξεργασία τους έγινε με το λογισμικό επεξεργασίας ήχου Cool Edit. Κατά την επεξεργασία ρυθμίστηκε το πλάτος της κυματομορφής να μην ξεπερνά τα 65dB, τοποθετήθηκαν στην αρχή και το τέλος οι προκαθορισμένης συχνότητας τόνοι και μετρήθηκε ο χρόνος μεταξύ των ψηφίων να είναι ακριβώς 1sec. Οι τύποι των αρχείων ήχου είναι .wav stereo 16bit.

QUESTION	ORDER	NUMBERS
1	2	8 - 5
2	2	9 - 2 - 6
3	1	6 - 9 - 4
4	2	5 - 1 - 4
5	2	9 - 7 - 2 - 3
6	1	6 - 4 - 3 - 9
7	2	8 - 6 - 9 - 4
8	1	7 - 2 - 8 - 6
9	1	4 - 2 - 7 - 3 - 1
10	1	7 - 5 - 8 - 3 - 6
11	2	6 - 8 - 2 - 5 - 1
12	1	6 - 1 - 9 - 4 - 7 - 3
13	2	3 - 4 - 8 - 1 - 6
14	2	8 - 1 - 4 - 9 - 3 - 5
15	1	3 - 9 - 2 - 4 - 8 - 7
16	1	5 - 9 - 1 - 7 - 4 - 2 - 8
17	2	6 - 5 - 8 - 4 - 2 - 7
18	1	4 - 1 - 7 - 9 - 3 - 8 - 6
19	1	5 - 8 - 1 - 9 - 2 - 6 - 4 - 7
20	2	5 - 6 - 3 - 9 - 2 - 1 - 8
21	1	3 - 8 - 2 - 9 - 5 - 1 - 7 - 4
22	2	8 - 2 - 1 - 9 - 3 - 7 - 4
23	1	2 - 7 - 5 - 8 - 6 - 2 - 5 - 8 - 4
24	2	8 - 5 - 2 - 6 - 7 - 3 - 4 - 9
25	1	7 - 1 - 3 - 9 - 4 - 2 - 5 - 6 - 8
26	2	3 - 5 - 6 - 9 - 1 - 8 - 2 - 7

QUESTION: Αύξων αριθμός ερώτησης

ORDER: Σειρά απομνημόνευσης

1: Ορθά

2: Ανάποδα

Πίνακας Β. 1 Το πρωτόκολλο ερωτήσεων του test Wechsler

Βιβλιογραφία Παραρτήματος Β

Wechsler D (1955), Manual for the Wechsler adult intelligence scale New York: Psychological Corporation

Weschler, D. “Weschler Intelligence Scale for Children” (3rd ed.). New York: The Psychological Corporation. (1991)

Wechsler D, (1945/1997), Wechsler Memory Scale®- Third edition- (WMS---III), San Antonio, TX: Harcourt Assessment

Wechsler, D. (1997), Wechsler Adult Intelligence Scale—3rd Edition (WAIS-3®) San Antonio, TX: Harcourt Assessment

Epstein O, Perkin D, Cookson J, de Bono DP (2003) Clinical Examination. London: Mosby, 294, ISBN 0-7234-3229-5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Το ψυχιατρικό test Hayling

Το test συμπλήρωσης προτάσεων Hayling (Hayling Sentence Completion Test (HSCT)) δημιουργήθηκε από τους Burgess και Shallice. Αποτελείται από δύο μέρη. Στο Α' μέρος ο εξεταζόμενος ακούει μια σειρά προτάσεων από τις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση με μια λέξη έτσι ώστε να προκύψει ένα λογικό νόημα. Η τελευταία λέξη που λείπει συνδέεται άμεσα με την υπόλοιπη πρόταση. Για παράδειγμα, στην πρόταση «Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς...» η απάντηση «γραμματόσημο» είναι αναμενόμενη με 99% πιθανότητα σύμφωνα με τα ευρήματα των Bloom και Fishler. Δύο δοκιμές γίνονται και αφού ο εξεταζόμενος δώσει ικανοποιητικές απαντήσεις ξεκινά η διαδικασία. Ο εξεταστής σημειώνει την απάντηση και τον χρόνο στον οποίο αυτή δίνεται. Εάν ο εξεταζόμενος δεν απαντήσει σε 60 δευτερόλεπτα προχωρά στην επόμενη ερώτηση. Στο Β' μέρος του test ο εξεταζόμενος ακούει πάλι μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη και καλείται να συμπληρώσει την κάθε πρόταση με μια λέξη ούτως ώστε να μην προκύπτει κάποιο λογικό νόημα. Για παράδειγμα στην πρόταση «Μην πιστεύεις σε όλα όσα σου ...» μία αναμενόμενη απάντηση είναι «κολυμπάνε». Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ίδια όπως και στο Α' μέρος.

Το test αυτό για τις ανάγκες των πειραμάτων του Εργαστηρίου Ψυχοφυσιολογίας συμπληρώθηκε με ένα Γ' μέρος. Αποτελείται από μια σειρά ολοκληρωμένων προτάσεων, όπου μετά την αναπαραγωγή της καθεμίας, ο εξεταζόμενος καλείται να επαναλάβει την τελευταία λέξη. Η ηχογράφηση και επεξεργασία των μηνυμάτων έγινε με το λογισμικό Cool Edit και οι τύποι αρχείων που δημιουργήθηκαν είναι 16bit stereo.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πρωτόκολλο ερωτήσεων που χρησιμοποιήθηκε για τα τρία μέρη του Hayling test.

Hayling test

Μέρος Α

1. Αυτός ταχυδρόμησε το γράμμα χωρίς ΓΡΑΜΜΑΤΟΣΗΜΟ.
2. Ο Καπετάν-Νικόλας ήθελε να παραμείνει στο(/η) βυθιζόμενο(/η) ΠΛΟΙΟ (/ΣΧΕΔΙΑ).
3. Οι περισσότερες από τις γάτες βλέπουν πολύ καλά τη ΝΥΧΤΑ /στο ΣΚΑΡΦΑΛΩΜΑ.
4. Είναι δύσκολο να το παραδεχτεί κάποιος ότι έχει κάνει ΛΑΘΟΣ.

5. Η δουλειά της ήταν εύκολη στο μεγαλύτερο διάστημα της ΩΡΑΣ / ΗΜΕΡΑΣ.
6. Όταν πας για ύπνο κλείσε το ΦΩΣ / ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ ΣΤΕΡΕΟΦΩΝΙΚΟ.
7. Οι περισσότερες επιθέσεις καρχαριών γίνονται πολύ κοντά στην(στο) ΑΚΤΗ / ΣΤΕΡΙΑ / ΝΕΡΟ.
8. Το παιχνίδι διεκόπη όταν άρχισε να ΒΡΕΧΕΙ / ΧΙΟΝΙΖΕΙ / ΑΣΤΡΑΦΤΕΙ.
9. Τρεις άνθρωποι σκοτώθηκαν σε ένα (μια) μεγάλο(ή) αυτοκινητιστικό(ή) ΑΤΥΧΗΜΑ / ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ / ΔΥΣΤΥΧΗΜΑ.
10. Το εύπορο παιδί πήγαινε σε ένα (μια) ιδιωτικό(ή) ΣΧΟΛΕΙΟ / ΠΑΡΤΙ / ΣΧΟΛΗ / ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ.
11. Το ποσοστό εγκληματικότητας μειώθηκε αυτό το ΧΡΟΝΟ / ΜΗΝΑ / (σε αυτή την) ΠΟΛΗ / (την) ΕΒΔΟΜΑΔΑ / ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.
12. Ψεκάσαμε την αυλή για να απομακρύνουμε τα ΖΩΥΦΙΑ / ENTOMA / ΣΚΥΛΙΑ / ΜΥΡΜΗΓΚΙΑ / ΨΥΛΛΟΥΣ / ΚΟΥΝΟΥΠΙΑ.
13. Ο δικηγόρος φοβόταν ότι ο πελάτης του ήταν ΕΝΟΧΟΣ / ΨΕΥΤΗΣ / ΤΡΕΛΟΣ / ΑΡΡΩΣΤΟΣ.
14. Η φυγή από το σπίτι εξέπληξε όλους τους ΦΙΛΟΥΣ / (την) ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ / ΣΥΓΓΕΝΕΙΣ.
15. Τελικά η ώρα της δράσης είχε ΕΡΘΕΙ / ΦΤΑΣΕΙ / ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ.
16. Ο χειρουργός προσπαθούσε μάταια _____ να σώσει τον/την ΑΣΘΕΝΗ / ΖΩΗ / ΓΙΟ του.
17. Χωρίς τροφή ένας άνθρωπος θα μπορούσε να πεθάνει σε μερικές/ους ΜΕΡΕΣ / ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ / ΜΗΝΕΣ.
18. Ο Παύλος πάντοτε ήθελε να γίνει ΓΙΑΤΡΟΣ / ΔΙΚΗΓΟΡΟΣ ...
19. Οι περισσότεροι σπουδαστές προτιμούν να δουλεύουν κατά τη διάρκεια της ΗΜΕΡΑΣ / ΝΥΧΤΑΣ...
20. Ο Ντίνος ανακάλυψε ότι δεν είχε εφεδρικό ΛΑΣΤΙΧΟ / ΚΛΕΙΔΙ...
21. Το ψωμί φαγόθηκε εκτός από ένα μικρό ΚΟΜΜΑΤΙ / ΜΕΡΟΣ.
22. Ελάχιστα κράτη κυβερνώνται τώρα από ΒΑΣΙΛΙΑ / ΔΙΚΤΑΤΟΡΑ.
23. Στη θεία μου άρεσε να διαβάζει τις καθημερινές ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ (τα καθημερινά) ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ.
24. Η γη έχει το σχήμα ΣΦΑΙΡΑΣ / ΜΠΑΛΛΑΣ / ΑΒΓΟΥ.
25. Ο Μάριος έψαξε στην τσέπη του για να βρει τα ΛΕΦΤΑ / ΚΛΕΙΔΙΑ / ΡΕΣΤΑ.

Μέρος Β

1. Για να κρατάει τους σκύλους έξω από το κτήμα τοποθέτησε
2. Ο Βασίλης πήδηξε στη λίμνη και έκανε μια μεγάλη
3. Το νερό και ο ήλιος βοηθούν τα φυτά να
4. Ο πατέρας τεμάχισε τη γαλοπούλα με
5. Στον αγενή σερβιτόρο δεν δόθηκε
6. Η Κατερίνα στέγνωσε τις κούπες με

7. Κάθισαν μαζί χωρίς να ανταλλάσσουν
8. Ο Γρηγόρης συνειδητοποίησε ότι το σπίτι ήταν έτοιμο προς
9. Απορούσε που η καταιγίδα είχε κάνει τόσο μεγάλη
10. Ο Μιχάλης έκανε πρόταση γάμου, αλλά εκείνη
11. Η Ιωάννα τάισε το μωρό της με ζεστό
12. Τη νύχτα η γυναίκα κλείδωσε
13. Το βενζινάδικο βρισκόταν περίπου δύο χιλιόμετρα απόσταση από.....
14. Αυτός χαλάρωσε τη γραβάτα γύρω από
15. Η δουλειά του ήταν να διατηρεί το πεζοδρόμιο
16. Η διάλεξη έπρεπε να διαρκέσει περίπου 1
17. Τα παιδιά τάισαν τις πάπιες με λίγο μπαγιάτικο
18. Το ακαδημαϊκό έτος ξεκίνησε
19. Άφησαν τα βρώμικα πιάτα στ
20. Εκείνος ξάπλωσε για να
21. Ο Γιάννης ήταν στεναχωρημένος , αλλά δεν ήταν δικό του
22. Ο δάσκαλος έγραψε το πρόβλημα στον
23. Τα γουρούνια κυλιούνταν στη
24. Ο Θανάσης έπεσε και γρατσούνισε τοτου
25. Η Εύη δεν είχε ρούχα να

Μέρος Γ

1. Το τελικό αποτέλεσμα του παιχνιδιού ήταν ΙΣΟΠΑΛΙΑ / ΕΚΠΛΗΚΤΙΚΟ / ΑΠΟΓΟΗΤΕΥΤΙΚΟ.
2. Ο άνθρωπος που έπιασε τον κλέφτη είναι άξιος ΣΥΓΧΑΡΗΤΗΡΙΩΝ / ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ.
3. Χτύπησε το καρφί στο ΞΥΛΟ / ΤΟΙΧΟ.
4. Ο Χρήστος έχτισε το καινούργιο του σπίτι σε μια ήσυχη / έναν ήσυχο ΔΡΟΜΟ / ΛΙΜΝΗ.
5. Η αδελφή μου έφερε εισιτήρια για το ΠΑΙΧΝΙΔΙ / ΚΟΝΤΣΕΡΤΟ.
6. Το φορτηγό που οδηγούσε ο Βασίλης σφηνώθηκε σε ένα ΔΕΝΤΡΟ.
7. Η καταιγίδα έκανε τον αέρα ΚΡΥΟ / ΨΥΧΡΟ.
8. Ηρέμησε από την απαλή ΜΟΥΣΙΚΗ / ΑΓΓΙΓΜΑ / ΦΩΝΗ.
9. Ο δικαστής προειδοποίησε για τους κινδύνους ΤΩΝ ΝΑΡΚΩΤΙΚΩΝ / ΤΗΣ ΚΛΟΠΗΣ.
10. Λίγο είχαν την τόλμη να πάρουν τις απαραίτητες ΠΡΟΦΥΛΑΞΕΙΣ / ΧΡΗΜΑΤΑ / ΜΕΤΡΑ.

11. Ανακάτεψε τα χαρτιά πριν παίξει τράπουλα
12. Η Κατερίνα ξύπνησε μετά από ένα(ν) άσχημο όνειρο.
13. Όταν κόπηκε το ρεύμα έγινε σκοτάδι.
14. Η επιτυχία είναι συνήθως αποτέλεσμα σωστής, σκληρής δουλειάς .
15. Μην πιστεύεις όλα όσαλέγονται
16. Το πλοίο εξαφανίστηκε μέσα στην πυκνή ομίχλη.
17. Η Άννα έπλενε τα δόντια της μετά από κάθε γεύμα
18. Αυτός φώναξε με όλη του τη δύναμη.
19. Κόπηκε το ρεύμα και όλο το φαγητό χάλασε
20. Δεν μπορείς να ανοίξεις την πόρτα με λάθος κλειδί.
21. Το τρένο ήταν ακόμα στην αφετηρία του.
22. Ο σκύλος έχει ανεπτυγμένη την αίσθηση της όσφρησης
23. Ο Χάρης της έγραψε ένα ερωτικό
24. Τηλεφώνησε στο σύζυγό της στο γραφείο του
25. Τρόμαξαν από τον ξαφνικό θόρυβο.....

Βιβλιογραφία Παραρτήματος Γ

Burgess PW, Shallice T (1996) Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions *Neuropsychologia* 34: 263-273

Burgess PW, Shallice T (1997) *Hayling Sentence Completion Test* Suffolk, England: Thames Valley Test Co. Ltd

Bloom PA, Fishler I (1980) Completion norms for 329 sentence contexts *Memory and Cognition* 3: 631-642

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA)

Η Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) ελέγχει τη σχέση μιας ποιοτικής και μιας ποσοτικής μεταβλητής, μόνο που η ποιοτική έχει παραπάνω από δύο ομάδες ή αλλιώς επίπεδα. Η Ανάλυση Διακύμανσης αποτελεί γενίκευση του t-test. Ουσιαστικά είναι μια συλλογή στατιστικών μοντέλων και των σχετικών διαδικασιών τους όπου η μεταβλητότητα που παρατηρείται διαχωρίζεται σε τμήματα εξαιτίας διαφορετικών μεταβλητών. Υπάρχουν διάφορα είδη μοντέλων ανάλογα με τον αριθμό των συνθηκών και πώς εφαρμόζονται στα εξεταζόμενα άτομα, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι:

- **One-way ANOVA:** χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των διαφορών μεταξύ δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα δύο ή περισσότερων ομάδων ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Για να γίνει αυτό υπολογίζεται ο λόγος της διακύμανσης της μέσης τιμής μεταξύ των ομάδων προς τη διακύμανση της μέσης τιμής εντός των ομάδων. Εάν οι ομάδες ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, η διακύμανση της μέσης τιμής μεταξύ των ομάδων θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή εντός των ομάδων, σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα. Ένας υψηλός λόγος επομένως υποδηλώνει ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ομάδες και ότι δεν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.
- **Repeated measures ANOVA:** χρησιμοποιείται όταν τα ίδια άτομα υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, δηλαδή οι μετρήσεις για κάθε άτομο συλλέγονται πολλαπλές φορές αλλά κάτω από διαφορετικές συνθήκες.
- **Παραγοντική ANOVA (Factorial ANOVA):** χρησιμοποιείται όταν πρόκειται να μελετηθούν οι παράγοντες αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις μετρήσεις. Στη στατιστική, ένα «παραγοντικό πείραμα» είναι ένα πείραμα το οποίο αποτελείται από δύο ή περισσότερους παράγοντες, καθένας με διακριτές πιθανές τιμές ή επίπεδα. Τέτοια πειράματα επιτρέπουν τη μελέτη της επίδρασης κάθε παράγοντα στις εξαρτημένες μεταβλητές καθώς επίσης και την αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων στις εξαρτημένες μεταβλητές.

Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος διεξαγωγής ελέγχων με τη μέθοδο ANOVA.

Ο γενικός τύπος της διακύμανσης είναι:

$$s^2 = V = MS = \frac{SS}{df} = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad (\Delta.1)$$

Δηλαδή η διακύμανση είναι η μέση τιμή των τετραγώνων των διασπορών (MS) ή αλλιώς ο λόγος του αθροίσματος των τετραγώνων των διασπορών προς τους βαθμούς ελευθερίας.

Βασική αρχή της ανάλυσης διακύμανσης είναι ότι η συνολική διασπορά που παρατηρείται σε μία μέτρηση, προέρχεται από δύο πηγές:

- Τη διακύμανση μεταξύ των ομάδων (M.O.): Για κάθε ομάδα-δείγμα της έρευνας προκύπτει διαφορετικός μέσος όρος. Όσο περισσότερο οι μέσοι όροι διαφέρουν, δηλαδή μεταβάλλονται οι μετρήσεις μεταξύ των διαφορετικών ομάδων, τόσο πιθανότερο είναι να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση.
- Τη διακύμανση εντός των ομάδων (E.O.): Από όλα τα υποκείμενα της ίδιας ομάδας δεν λαμβάνεται η ίδια τιμή. Υπάρχουν ατομικές διαφορές. Αυτή η πηγή διαφοροποίησης των μετρήσεων αναφέρεται και ως σφάλμα. Όσο μικρότερο είναι το σφάλμα της μέτρησης, τόσο πιθανότερο είναι να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση.

Τα βήματα για την υπολογιστική διαδικασία αξιολόγησης των δύο παραπάνω πηγών διασποράς έχουν ως εξής:

Υπολογίζεται το άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων (SS) των τιμών από το μέσο όρο. Ισχύει η εξής σχέση:

$$SS_{O.A.} = SS_{M.O.} + SS_{E.O.} \quad (\Delta.2)$$

Το συνολικό άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$SS_{O.A.} = (\sum X_1^2 + \sum X_2^2 + \dots + \sum X_K^2) - \frac{(\sum X_1 + \sum X_2 + \dots + \sum X_K)^2}{N_1 + N_2 + \dots + N_K} \quad (\Delta.3)$$

Όπου:

$\sum X_i^2$ για $i=1, 2, \dots, K$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων των τιμών της i ομάδας

$\sum X_i$ για $i=1, 2, \dots, K$ είναι το άθροισμα των τιμών της i -ομάδας

N_i για $i=1, 2, \dots, K$ είναι ο αριθμός των δειγμάτων της i ομάδας

Το άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων μεταξύ των ομάδων υπολογίζεται ως εξής:

$$SS_{M.O.} = \left(\frac{(\sum X_1)^2}{N_1} + \frac{(\sum X_2)^2}{N_2} + \dots + \frac{(\sum X_K)^2}{N_K} \right) - \frac{(\sum X_{O.A.})^2}{N_{O.A.}} \quad (\Delta.4)$$

Όπου:

$\sum X_{O.A.}$ είναι το άθροισμα των τιμών όλων των ομάδων

$N_{O.A.}$ είναι το σύνολο του πληθυσμού

Το άθροισμα τετραγώνων των αποκλίσεων εντός της i ομάδας για $i=1, 2, \dots, K$ υπολογίζεται ως εξής:

$$SS_{E.O.i} = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{N_i} \quad (\Delta.5)$$

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ομάδα και στο τέλος προστίθενται όλες οι μετρήσεις για να βρεθεί το άθροισμα τετραγώνων εντός των ομάδων:

$$SS_{E.O.} = SS_{E.O.1} + SS_{E.O.2} + \dots + SS_{E.O.K} = \sum_{i=1}^K SS_{E.O.i} \quad (\Delta.6)$$

Τα αθροίσματα τετραγώνων διαιρούνται διά τους βαθμούς ελευθερίας ($df_{M.O.}$ και $df_{E.O.}$) και έτσι προκύπτουν τα μέσα τετράγωνα ($MS_{M.O.}$ και $MS_{E.O.}$) των αποκλίσεων:

$$MS_{M.O.} = \frac{SS_{M.O.}}{df_{M.O.}} \quad (\Delta.7)$$

και

$$MS_{E.O.} = \frac{SS_{E.O.}}{df_{E.O.}} \quad (\Delta.8)$$

Οι βαθμοί ελευθερίας που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ολοκλήρωση του προηγούμενου βήματος προκύπτουν ως εξής:

$$df_{M.O.} = K - 1 \quad (\Delta.9)$$

και

$$df_{E.O.} = N - K \quad (\Delta.10)$$

δηλαδή εάν υποθέσουμε ότι το δείγμα μας είναι 40 άτομα και σε αυτό υπάρχουν 4 ομάδες των 10 ατόμων (στην προκειμένη περίπτωση άντρες με και χωρίς ακτινοβολία και γυναίκες με και χωρίς ακτινοβολία), τότε οι βαθμοί ελευθερίας μεταξύ των ομάδων είναι $df_{M.O.} = 4 - 1 = 3$ και εντός των ομάδων είναι $df_{E.O.} = 40 - 4 = 36$

Επίσης, ισχύει ότι οι βαθμοί ελευθερίας όλου του δείγματος είναι:

$$df_{O.A.} = df_{M.O.} + df_{E.O.} \text{ και } df_{O.A.} = N_{O.A.} - 1 \quad (\Delta.11)$$

Τα μέσα τετράγωνα των αποκλίσεων μεταξύ των ομάδων και εντός των ομάδων αποτελούν δύο ανεξάρτητες εκτιμήσεις της διασποράς του πληθυσμού. Το πηλίκο των δύο αυτών εκτιμήσεων έχει τη μορφή της F-κατανομής και υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$F = \frac{MS_{M.O.}}{MS_{E.O.}} \quad (\Delta.12)$$

Ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητα της F-τιμής, για συγκεκριμένους βαθμούς ελευθερίας του αριθμητή και του παρονομαστή, με βάση τον πίνακα των κρίσιμων F-τιμών. Εάν $F > F_{crit}$ τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση.

Πολυμεταβλητή Ανάλυση Διακύμανσης (MANOVA)

Συνήθως, όταν διεξάγονται μελέτες, υπάρχουν πολλές μεταβλητές. Σε αυτές λοιπόν τις περιπτώσεις έρχεται να δώσει λύση η Πολυμεταβλητή Στατιστική (MANOVA). Η MANOVA ελέγχει τις διαφορές ομάδων μέσα από πολλαπλές ποσοτικές εξαρτημένες μεταβλητές βασισμένη σε ποιοτικές μεταβλητές που παίζουν το ρόλο των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Στην ουσία η MANOVA είναι ένας έλεγχος σημαντικότητας μιας ομάδας διαφορών σε χώρο μ- διαστάσεων όπου κάθε διάσταση ορίζεται από τους γραμμικούς συνδυασμούς των εξαρτημένων μεταβλητών.

Οι στόχοι της πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης είναι οι παρακάτω:

- Μείωση των δεδομένων/ μεταβλητών υπό διερεύνηση. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή περιληπτικών μεταβλητών και την ερμηνεία κρυμμένων χαρακτηριστικών της πραγματικότητας
- Δημιουργία ομάδων. Με διάφορες προσεγγίσεις μπορούν να καταταχθούν τα υπό μελέτη αντικείμενα σε ομοειδείς ομάδες για τον καλύτερο χειρισμό των δεδομένων.
- Μελέτη των σχέσεων των μεταβλητών. Εξετάζονται οι σχέσεις μεταξύ μεταβλητών
- Πρόβλεψη. Δημιουργία κατάλληλων μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη τους την πολυπλοκότητα της πραγματικότητας και προβλέπουν τη μελλοντική συμπεριφορά ενός συστήματος.
- Έλεγχος πολυμεταβλητών υποθέσεων και πολύπλοκων επιστημονικών σεναρίων(υποθέσεων). Μέσω σύνθετων μαθηματικών υποδειγμάτων μπορούν να επεκταθούν οι έλεγχοι υποθέσεων σε πολυμεταβλητά δεδομένα με σκοπό τον έλεγχο πιο ρεαλιστικών υποθέσεων.

Ουσιαστικά η MANOVA είναι μια ANOVA με πολλές εξαρτημένες μεταβλητές. Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι αντίστοιχα αυτών της ANOVA μόνο που εδώ είναι οργανωμένα σε πίνακες των οποίων οι κύριες διαγώνιοι αφορούν σε κάθε μια μεταβλητή ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία στις μεταξύ τους σχέσεις.

Διάφορα κριτήρια χρησιμοποιούνται για να μελετήσουν τις κύριες επιδράσεις και την αλληλεπίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών στο πολυμεταβλητό επίπεδο. Για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητάς τους χρησιμοποιείται η F-κατανομή. Αντί για μία τιμή F υπολογίζεται μια πολλαπλή F τιμή βασισμένη στη σύγκριση του πίνακα

μεταβλητότητας/συμμεταβλητότητας για το λάθος και την πειραματική συνθήκη. Η συμμεταβλητότητα χρησιμοποιείται εδώ γιατί μπορεί δύο μεταβλητές να συσχετίζονται και αυτή η συσχέτιση πρέπει να ληφθεί υπόψη στον έλεγχο σημαντικότητας. Αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα εξής:

- Κριτήριο Wilks' Lambda (Λ ή U): Είναι ο πιο διαδεδομένος δείκτης, δηλ. αυτός που ανακοινώνεται στην πλειοψηφία των ερευνών. Χρησιμοποιείται όταν οι συγκρινόμενες ομάδες που δημιουργούνται με βάση τις τιμές-επίπεδα της ανεξάρτητης μεταβλητής είναι περισσότερες από δύο. Δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\Lambda = \frac{S_{E.O.}}{S_{M.O.} + S_{E.O.}} \quad (\Delta.13)$$

Από το δείκτη Λ μπορούμε να έχουμε μια γρήγορη εκτίμηση για το μέγεθος της επίδρασης, ως εξής: $\eta^2 = 1 - \Lambda$. Άρα, όσο μικρότερος ο δείκτης Wilks' Λ , τόσο μεγαλύτερες οι διαφορές μεταξύ των ομάδων.

- Κριτήριο Hotteling's T^2 : Χρησιμοποιείται όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή έχει μόνο δύο τιμές-επίπεδα, οπότε αποτελεί την πολυμεταβλητή προέκταση του απλού t-test. Δίνεται από τον τύπο:

$$T^2 = \frac{S_{M.O.}}{S_{E.O.}} \quad (\Delta.14)$$

Αντί του δείκτη αυτού αναφέρεται και ο δείκτης Hotteling's Trace που χρησιμοποιήθηκε στα δεδομένα του πειράματος. Η μεταξύ τους σχέση έχει ως εξής: η τιμή του Hotteling's T^2 προκύπτει από το γινόμενο του Hotteling's Trace επί την ποσότητα $N - k$ (όπου N : το μέγεθος του συνολικού δείγματος και k : ο αριθμός των συγκρινόμενων ομάδων).

- Κριτήριο Pillai's Trace, γνωστό και ως Pillai-Bartlett's Trace: Ο δείκτης αυτός αντιστοιχεί ουσιαστικά στη διασπορά μεταξύ των συνδυαστικών ομάδων ($S_{M.O.}$). Αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως ο πλέον σταθερός πολυμεταβλητός δείκτης σε περίπτωση που οι συγκρινόμενες ομάδες είναι ανισοπληθείς και μερικές φορές προτείνεται για τον λόγο αυτό.

Από τις τιμές F που υπολογίζονται από την μέθοδο ANOVA ή MANOVA υπολογίζονται οι αντίστοιχες p-values.

Step down Ανάλυση

Η ανάλυση step down προτείνεται ως διαδικασία μετά από εξαγωγή στατιστικά σημαντικών αποτελεσμάτων στην πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης για την εύρεση των σημαντικότερων από τις εξαρτημένες μεταβλητές. Η διαδικασία περιλαμβάνει εφαρμογή σε πολλά βήματα γραμμικών μοντέλων μίας μεταβλητής με τον τρόπο της ANOVA.

Στο πρώτο βήμα τοποθετούνται οι εξαρτημένες μεταβλητές κατά φθίνουσα σειρά θεωρητικής σημασίας. Στο δεύτερο βήμα εφαρμόζεται ANOVA στην οποία συγκρίνονται οι μέσες τιμές των ομάδων της μεταβλητής με τη μεγαλύτερη σημασία. Στη συνέχεια η μεταβλητή αυτή εξυπηρετεί ως συμμεταβλητότητα και οι μέσες τιμές της δεύτερης πιο σημαντικής μεταβλητής συγκρίνονται χρησιμοποιώντας ανάλυση ANOVA. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή στη σειρά. Έχει αποδειχθεί ότι όταν υπάρχουν δύο ομάδες μεταβλητών, το στατιστικό της step down ανάλυσης μπορεί να δοθεί από το κριτήριο Hotteling's T^2 .

Βιβλιογραφία Παραρτήματος Δ

Lindman HR (1974), Analysis of variance in complex experimental designs, San Francisco: W. H. Freeman & Co

Tabachnick BG, Fidell LS (2007), Using multivariate statistics (5th ed.), Boston: Allyn and Bacon

Mudholkar GS, Subbaiah P (1980), A review of step-down procedures for multivariate analysis of variance, In Gupta RP (Ed), Multivariate statistical analysis, pp. 160-178, New York: North-Holland

Stevens JP (2002), Applied multivariate statistics for the social sciences, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των προκλητών δυναμικών υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900 και 1800MHz

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των κορυφώσεων των ERP στα πειράματα υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900 και 1800MHz.

Συγκεκριμένα οι υπολογισμοί έχουν γίνει για τις κορυφώσεις P50 και N100 ξεχωριστά για το χαμηλόσυχο και το υψηλόσυχο ερέθισμα, την πειραματική συνθήκη ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz) και τα 15 ηλεκτρόδια. Όσον αφορά τις υπόλοιπες κυματομορφές οι υπολογισμοί έγιναν ξεχωριστά στα 15 ηλεκτρόδια για κάθε φύλο (άντρες-γυναίκες) και πειραματική συνθήκη ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz).

Οι παρακάτω μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις αφορούν τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή πλάτους της κάθε κυματομορφής καθώς και το χρόνο στον οποίο αυτή εμφανίζεται.

Κυματομορφή P50

Ηλεκτρόδιο	Off				900MHz				1800MHz			
	Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-0.69	6.58	6.97	6.51	4.34	6.88	2.28	8.34	4.24	4.87	4.57	7.28
F3	1.88	7.60	6.45	6.48	1.49	7.48	5.96	9.28	4.20	4.77	5.86	4.30
C5	2.93	6.88	6.50	6.55	0.79	9.49	6.19	8.99	7.13	6.57	7.39	5.86
C3	2.99	7.34	7.82	6.09	1.76	8.48	6.60	9.19	7.78	7.03	7.61	6.28
Fp2	1.48	7.17	6.07	6.55	1.95	7.40	6.00	7.89	4.59	5.06	3.88	4.32
F4	3.19	7.89	5.42	6.84	2.85	8.35	4.91	9.33	4.03	8.14	5.21	8.80
C6	3.70	7.68	6.84	6.31	1.74	8.66	6.51	7.87	7.16	7.39	6.86	5.72
C4	3.39	8.63	7.63	7.08	1.18	6.91	7.89	8.71	10.19	8.21	5.88	6.08
O1	-0.10	8.22	7.94	8.23	2.38	5.91	6.78	7.39	5.31	6.44	3.30	7.30
O2	2.07	7.57	7.32	6.57	2.25	6.82	6.15	7.02	6.69	8.22	2.69	7.30
P4	4.16	7.84	6.28	7.68	2.98	7.51	4.94	7.47	6.02	9.43	8.32	7.80
P3	1.52	7.36	8.19	6.54	1.29	8.21	7.69	7.64	7.47	6.73	6.35	8.00
Pz	3.01	7.49	7.73	7.41	3.32	8.08	6.33	6.63	7.15	6.58	7.27	5.92
Cz	4.92	8.22	8.33	6.92	3.10	7.26	7.24	7.68	10.75	7.62	8.01	5.68
Fz	2.33	7.62	5.81	7.11	2.03	8.58	4.08	8.50	6.10	8.52	4.46	6.55

Πίνακας Ε. 1 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P50 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για το χαμηλό και τον υψηλό τόνο στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF				900MHz				1800MHz			
	Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	64.59	16.07	60.72	22.12	57.21	21.65	59.21	17.58	73.95	8.67	70.05	18.25
F3	61.90	17.75	63.08	20.75	56.32	21.18	57.47	15.27	74.10	8.73	71.00	17.30
C5	63.38	18.07	64.56	20.33	50.05	24.12	58.53	16.07	77.30	5.96	74.45	14.06
C3	63.97	17.22	62.15	21.08	51.16	25.62	58.05	16.43	75.70	7.96	74.40	14.16
Fp2	64.31	17.11	63.59	20.55	49.26	21.23	57.05	16.12	72.80	9.84	64.80	22.25
F4	62.08	19.86	60.54	20.71	56.84	21.34	59.47	16.86	76.00	7.37	71.05	17.79
C6	64.59	17.82	64.56	19.82	50.37	21.71	58.47	16.35	77.45	4.26	73.05	15.46
C4	63.44	18.80	62.13	21.96	51.89	24.98	57.89	16.29	73.50	13.31	74.85	13.49
O1	58.08	21.72	59.23	22.03	55.05	25.85	54.32	20.20	64.10	17.52	65.00	20.08
O2	60.97	20.44	57.54	23.05	48.89	25.38	56.11	19.87	67.75	16.87	62.60	21.24
P4	63.97	18.69	63.26	20.97	52.79	21.17	57.95	17.14	75.00	7.84	73.35	16.85
P3	63.36	19.00	62.41	20.52	51.63	26.45	56.26	14.11	75.05	8.58	69.05	21.28
Pz	62.10	19.38	59.13	22.59	48.63	24.76	57.42	17.01	76.10	6.46	69.05	19.76
Cz	63.92	19.16	64.92	20.81	53.95	23.04	58.05	16.56	76.70	6.33	74.75	14.17
Fz	62.59	18.99	62.51	21.75	53.68	22.45	57.95	16.52	74.45	9.42	71.05	17.43

Πίνακας Ε. 2 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων εμφάνισης μεγίστου της κυματομορφής P50 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για το χαμηλό και τον υψηλό τόνο στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή N100

Ηλεκτρόδιο	OFF				900MHz				1800MHz			
	Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-6.86	8.01	1.67	6.99	-3.49	9.58	-7.31	9.73	1.92	5.66	2.86	5.57
F3	-5.07	9.11	1.01	7.85	-7.9	8.54	-5.46	13.74	0.92	5.28	4.89	4.56
C5	-3.27	8.95	1.58	8.88	-7.02	9.47	-3.54	12.88	3.87	6.72	6.56	5.86
C3	-3.13	9.43	3.16	8.2	-6.26	10.03	-4.15	13.04	4.08	7.96	7.02	5.84
Fp2	-5.36	8.47	0.45	6.31	-6.76	8.89	-4.16	11.55	0.8	5.79	2.45	4.8
F4	-3.83	10.19	-0.09	7.46	-5.36	9.25	-5.28	14.66	1.45	9.27	4.97	9.64
C6	-2.96	9.44	1.99	8.41	-6.46	9.44	-4.55	12.58	3.45	7.39	6.74	5.35
C4	-3.08	10.61	2.86	8.81	-6.79	9.21	-3.44	13.83	5.98	8.52	6.15	5.52
O1	-5.36	9.89	2.88	8.45	-4.14	7.79	-0.11	9.72	2.13	6.84	-0.44	8.59
O2	-3.4	8.34	2.29	6.27	-3.52	8.01	-1.63	8.7	3.13	8.73	0.92	7.71
P4	-1.56	9.3	1.59	8.34	-4.65	7.73	-4.21	10.57	2.66	8.89	7.49	7.41
P3	-3.52	9.17	4.18	6.91	-5.98	10.02	-1.99	10.46	4.38	6.53	5.42	7.95
Pz	-2.29	9.8	2.47	7.82	-4.09	10.14	-3.99	9.65	3.57	5.65	6.26	5.26
Cz	-2.17	10.85	3.31	10.11	-6.4	10.7	-4.66	13.02	6.66	7.54	8.46	5.12
Fz	-3.78	9.52	1.17	8.24	-6.61	9.8	-6.32	12.27	2.4	8.92	4.35	6.76

Πίνακας Ε. 3 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής N100 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για το χαμηλό και τον υψηλό τόνο στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF				900MHz				1800MHz			
	Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος		Χαμηλός Τόνος		Υψηλός Τόνος	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	115.41	19.73	116.95	22.10	114.11	17.51	114.95	22.26	122.85	21.23	112.70	22.83
F3	115.23	18.93	112.74	20.86	114.74	16.14	113.21	16.13	119.20	19.31	110.80	21.69
C5	117.56	18.50	116.21	20.68	113.26	18.67	112.63	15.97	128.35	18.10	110.95	22.19
C3	118.79	20.26	113.51	20.64	115.00	19.46	112.26	17.26	129.75	18.81	109.90	20.72
Fp2	117.33	17.96	113.79	21.84	117.00	16.89	116.74	19.88	121.15	18.36	109.75	21.69
F4	118.44	19.64	116.03	22.24	112.74	15.26	120.89	16.95	120.90	20.31	107.75	21.82
C6	119.10	20.25	118.33	22.12	109.74	15.55	118.16	19.33	122.75	19.86	110.40	23.35
C4	119.54	20.63	117.28	22.79	113.05	18.17	116.00	17.39	121.45	19.45	112.45	25.39
O1	116.03	21.82	120.74	23.81	119.42	19.81	109.79	21.36	116.45	18.82	114.50	19.69
O2	114.05	21.28	117.82	24.06	116.95	21.02	123.05	20.18	117.50	24.25	108.35	22.12
P4	117.79	19.41	118.31	23.02	115.53	18.64	116.21	20.95	120.65	20.61	111.95	21.63
P3	117.23	20.94	120.00	22.27	116.84	20.22	108.68	16.14	126.95	18.23	111.55	19.42
Pz	119.90	19.64	116.69	21.47	113.00	19.64	112.26	20.60	129.85	18.58	116.20	22.35
Cz	119.64	20.42	116.23	21.44	115.05	17.49	115.42	18.18	122.20	21.31	113.45	25.20
Fz	121.85	20.37	116.87	21.75	114.37	15.61	116.37	18.14	114.40	19.98	109.80	23.28

Πίνακας Ε. 4 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων εμφάνισης ελαχίστου της κυματομορφής N100 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για το χαμηλό και τον υψηλό τόνο στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή P200

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	5.408	3.215	0.641	5.658	7.090	2.971
F3	5.774	4.265	2.477	5.673	7.459	2.824
C5	6.694	4.250	3.900	6.479	9.734	3.213
C3	8.589	4.692	4.804	4.963	9.672	3.833
Fp2	6.262	4.297	1.639	6.123	6.585	3.288
F4	6.227	3.512	2.846	6.379	7.821	3.861
C6	7.509	4.163	5.059	5.863	8.965	3.891
C4	8.555	4.774	7.107	5.157	9.089	4.434
O1	5.947	3.812	4.762	3.767	4.561	4.594
O2	6.435	3.568	5.041	3.956	6.888	2.623
P4	7.673	3.909	5.342	3.963	9.701	3.134
P3	6.424	3.436	5.958	4.970	8.369	3.756
Pz	6.786	3.291	8.077	5.081	10.036	3.936
Cz	8.812	5.133	5.839	6.454	11.103	3.303
Fz	6.793	4.859	1.421	7.144	8.284	4.591

Πίνακας Ε. 5 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	201.84	42.44	195.33	30.01	188.00	31.56
F3	196.11	40.24	195.56	29.42	171.10	28.03
C5	198.16	36.91	203.56	33.14	181.00	23.45
C3	201.05	38.23	200.56	37.89	176.90	27.66
Fp2	194.79	41.61	190.78	28.42	167.10	29.28
F4	197.37	39.45	194.67	30.66	170.60	29.52
C6	199.11	35.73	199.89	30.65	179.10	23.29
C4	200.63	37.54	195.44	39.04	169.60	16.28
O1	210.16	29.03	201.44	28.24	203.40	31.90
O2	201.37	34.42	195.33	23.87	202.20	20.98
P4	204.63	40.97	190.89	28.18	181.30	23.27
P3	196.21	36.74	189.67	29.82	180.80	20.24
Pz	196.53	36.52	190.11	31.44	184.60	24.33

Cz	194.05	42.17	192.89	36.34	164.30	19.73
Fz	187.11	41.91	194.44	30.50	170.80	30.38

Πίνακας Ε. 6 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	8.027	8.875	7.594	7.934	9.119	6.433
F3	9.452	7.716	9.036	6.019	8.182	4.834
C5	11.915	8.560	7.524	5.273	14.473	6.447
C3	13.562	8.451	10.284	4.975	14.961	7.323
Fp2	7.764	7.272	8.625	8.020	7.258	4.761
F4	10.166	7.594	8.288	6.709	9.980	6.685
C6	12.589	8.443	7.270	6.192	14.026	4.633
C4	12.325	7.320	9.117	6.463	15.878	8.393
O1	7.576	4.742	10.184	3.362	9.388	6.510
O2	10.015	4.125	8.202	4.284	9.707	5.956
P4	12.179	6.383	8.667	4.751	12.965	7.548
P3	11.347	8.369	8.941	2.721	12.619	6.058
Pz	13.709	7.815	9.191	4.620	11.396	5.412
Cz	14.871	9.490	10.413	6.323	16.432	7.913
Fz	9.031	8.845	7.395	8.220	10.307	5.672

Πίνακας Ε. 7 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	201.25	33.91	207.90	39.40	180.00	27.56
F3	202.50	32.71	200.50	38.32	176.80	19.04
C5	203.35	28.74	199.10	35.53	178.50	20.78
C3	198.85	31.51	193.10	31.02	176.20	19.72
Fp2	203.40	34.43	203.40	44.80	187.80	27.69
F4	198.30	34.16	200.80	39.31	182.00	26.05
C6	203.05	29.61	194.90	34.33	174.00	26.63
C4	202.25	30.79	195.80	32.73	168.80	23.57
O1	211.20	19.96	201.00	21.46	194.30	35.07
O2	203.20	22.60	196.00	31.99	191.20	41.14
P4	201.45	28.26	193.00	30.78	182.70	26.68

P3	210.25	24.48	198.50	32.60	176.50	23.18
Pz	205.50	23.84	195.50	32.16	184.60	33.29
Cz	195.10	32.58	194.30	42.99	170.70	21.95
Fz	195.75	36.91	188.00	37.78	177.70	24.62

Πίνακας Ε. 8 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή N200

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-2.065	4.441	-6.241	4.269	-1.896	4.739
F3	-2.580	5.879	-5.244	3.440	-1.871	4.177
C5	-1.443	5.099	-2.982	3.265	-0.054	3.741
C3	0.528	5.055	-2.288	2.368	-0.466	4.293
Fp2	-3.352	6.024	-5.624	4.361	-2.766	4.368
F4	-2.254	5.188	-5.512	4.200	-2.433	4.200
C6	-0.726	5.547	-2.515	3.465	-0.064	3.581
C4	-0.193	5.544	-2.009	2.944	-0.236	3.165
O1	0.204	4.665	-1.612	3.834	0.217	3.691
O2	-0.116	5.388	-2.014	3.387	1.434	3.611
P4	0.089	5.413	-2.093	3.425	0.819	3.378
P3	-0.543	4.457	-1.492	2.604	0.929	3.505
Pz	-0.419	4.761	-1.197	2.790	1.846	2.812
Cz	-0.276	5.414	-4.039	2.994	-0.742	4.045
Fz	-3.257	5.841	-7.058	4.994	-2.600	5.265

Πίνακας Ε. 9 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής N200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	229.21	50.57	246.78	45.62	289.40	11.04
F3	243.79	50.40	247.44	36.45	280.30	22.21
C5	243.74	50.10	233.56	41.02	279.30	22.19
C3	242.42	51.59	228.78	41.82	286.00	12.43
Fp2	250.21	51.94	248.22	32.01	280.30	28.56
F4	241.11	48.52	240.56	40.95	281.80	17.94
C6	253.00	52.03	242.56	41.73	282.10	18.68
C4	255.11	50.04	240.00	41.30	281.00	20.46
O1	243.58	46.74	247.78	28.07	247.50	40.79
O2	227.21	42.48	230.78	33.75	261.90	33.25
P4	241.47	47.94	241.00	43.61	273.40	24.71
P3	235.47	48.69	243.44	44.46	274.10	23.55
Pz	255.42	45.66	234.11	47.91	271.80	26.52
Cz	247.79	49.69	234.78	47.79	281.30	18.81
Fz	245.05	50.07	242.11	43.07	277.90	28.38

Πίνακας Ε. 10 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή της κυματομορφής N200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-2.820	6.508	-1.080	5.386	-2.534	4.658
F3	-1.656	6.566	-0.260	4.813	-1.986	3.648
C5	0.843	5.617	-0.138	5.069	0.258	5.082
C3	2.047	6.745	1.433	6.265	-0.012	5.508
Fp2	-2.692	5.978	-0.870	6.257	-2.419	4.126
F4	-1.800	5.447	-1.032	4.964	-3.970	3.691
C6	0.268	7.211	-0.805	6.171	0.757	5.876
C4	0.789	7.240	0.611	6.941	-0.109	6.083
O1	0.115	4.438	1.749	2.845	0.647	4.471
O2	2.046	4.620	0.745	5.686	0.758	4.232
P4	1.239	5.685	0.622	6.010	0.800	5.176
P3	2.236	5.815	1.504	4.090	1.747	3.685
Pz	2.718	6.812	0.912	5.293	2.117	5.317
Cz	0.678	7.969	0.559	6.248	-0.902	6.537
Fz	-3.217	5.875	-1.906	5.299	-3.972	4.116

Πίνακας Ε. 11 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής N200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	259.45	50.52	252.20	48.83	296.10	4.18
F3	261.95	50.85	262.40	51.47	295.30	6.57
C5	257.35	43.83	254.70	51.85	286.40	15.06
C3	255.40	40.20	249.00	54.27	285.50	14.54
Fp2	265.90	47.84	250.30	52.00	291.00	11.31
F4	261.90	49.94	246.80	53.18	291.10	9.37
C6	257.10	46.05	250.30	55.21	289.80	14.35
C4	256.40	43.37	246.10	53.23	286.10	12.65
O1	246.15	37.33	250.70	31.29	274.40	26.15
O2	242.80	36.67	235.70	38.65	258.90	44.71
P4	252.90	38.52	242.60	50.20	279.20	17.43
P3	249.85	40.08	243.40	40.77	283.20	17.45
Pz	253.95	39.27	235.40	48.35	284.60	18.06
Cz	260.65	44.38	250.40	55.75	288.70	10.47
Fz	260.65	48.20	260.30	46.59	292.20	10.18

Πίνακας Ε. 12 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή της κυματομορφής N200 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή P300

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	4.840	5.247	2.306	6.611	3.991	4.008
F3	4.886	5.534	3.503	5.251	3.689	4.542
C5	5.450	4.526	5.926	3.767	5.922	4.090
C3	6.979	4.984	6.922	3.633	5.149	4.251
Fp2	4.372	5.445	3.158	6.401	3.621	5.242
F4	5.464	4.955	4.114	4.685	3.730	4.976
C6	6.242	4.867	7.075	4.234	5.933	3.599
C4	6.864	5.106	7.977	3.490	5.602	3.226
O1	6.430	3.481	7.352	4.879	7.023	6.455
O2	7.246	4.053	7.961	3.581	7.304	5.576
P4	6.999	4.318	8.119	3.984	6.481	2.803
P3	5.737	5.187	8.568	3.394	6.087	3.194
Pz	6.375	5.229	9.834	3.811	8.611	3.603

Cz	6.858	5.648	5.972	4.536	5.564	4.520
Fz	4.824	5.828	2.027	6.133	3.250	5.196

Πίνακας Ε. 13 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P300 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	327.63	82.42	327.44	80.61	293.80	97.07
F3	308.79	87.39	297.00	27.58	330.30	109.93
C5	325.21	87.87	312.11	69.79	335.60	104.13
C3	353.11	83.89	311.67	69.40	333.90	97.49
Fp2	305.68	88.21	343.89	88.77	324.90	112.21
F4	350.42	96.96	292.89	31.75	302.20	94.77
C6	337.16	89.79	314.00	69.75	334.80	100.00
C4	324.11	75.65	311.56	70.89	332.80	98.45
O1	368.58	71.37	351.33	78.75	436.50	51.94
O2	370.16	87.03	378.89	97.32	390.60	78.13
P4	351.95	87.55	341.56	88.77	326.10	89.90
P3	342.53	75.34	344.33	84.27	370.40	98.75
Pz	351.26	93.76	319.33	74.52	368.70	101.31
Cz	299.05	71.45	307.11	70.43	335.20	88.01
Fz	305.84	78.42	334.89	91.48	278.00	70.82

Πίνακας Ε. 14 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P300 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	5.141	7.789	10.104	7.656	4.020	5.763
F3	6.279	6.405	11.055	7.694	4.179	4.396
C5	8.470	5.865	9.645	6.932	7.488	5.229
C3	9.692	6.283	11.339	7.308	7.143	5.516
Fp2	5.088	7.288	10.608	8.715	4.270	4.792
F4	6.324	6.964	9.510	6.808	3.214	4.436
C6	8.487	6.248	9.519	8.331	7.719	5.652
C4	8.636	5.904	10.039	8.066	8.009	6.668
O1	8.088	5.084	11.638	6.080	10.082	5.538
O2	10.000	3.885	10.326	6.946	7.799	4.259
P4	9.462	3.720	10.342	7.255	8.457	5.826

P3	9.326	5.522	11.289	6.663	7.691	3.675
Pz	10.781	5.358	11.728	7.632	8.711	4.900
Cz	9.521	7.366	11.554	7.261	7.416	6.235
Fz	4.641	6.948	8.350	8.776	3.807	5.137

Πίνακας Ε. 15 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P300 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	268.15	50.69	292.70	59.70	292.00	96.28
F3	310.95	87.54	321.40	73.61	308.60	109.78
C5	325.90	87.58	322.50	73.63	323.40	103.37
C3	324.90	84.93	320.50	75.07	342.30	103.82
Fp2	284.10	66.36	309.30	76.70	316.10	113.00
F4	288.80	70.52	302.60	74.97	314.10	115.37
C6	318.55	81.02	321.70	74.45	328.00	88.40
C4	325.30	85.62	301.60	55.53	327.00	87.59
O1	365.00	87.40	344.30	68.23	389.10	95.23
O2	384.90	78.86	368.20	69.60	315.00	80.65
P4	341.15	94.41	333.00	67.70	355.90	93.05
P3	365.95	90.49	362.00	79.94	359.80	91.09
Pz	342.55	82.31	343.70	72.27	334.70	91.31
Cz	337.90	81.77	317.70	77.67	328.80	88.62
Fz	284.30	64.24	277.40	47.12	294.40	108.48

Πίνακας Ε. 16 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P300 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή N400

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-2.252	5.880	-8.099	8.079	-3.212	5.034
F3	-3.438	6.728	-8.272	7.082	-2.867	4.352
C5	-2.073	6.126	-4.936	6.624	-0.896	3.478
C3	-0.772	5.248	-4.558	6.036	-1.384	4.132
Fp2	-4.431	7.191	-7.486	7.905	-4.099	5.148

F4	-2.664	5.754	-8.428	6.258	-3.863	4.269
C6	-1.741	5.902	-5.135	6.219	-0.672	3.156
C4	-1.613	5.771	-4.547	6.077	-0.737	3.136
O1	-0.303	4.960	-2.001	6.391	0.682	4.262
O2	-0.183	5.272	-3.325	5.457	0.091	3.685
P4	-0.609	5.455	-4.102	5.838	-0.257	2.917
P3	-0.922	5.077	-3.069	6.517	0.243	3.168
Pz	-1.602	5.032	-2.681	7.071	0.944	2.931
Cz	-1.822	5.507	-6.773	6.425	-1.800	3.206
Fz	-3.801	7.145	-9.429	8.553	-3.992	5.537

Πίνακας Ε. 17 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής N400 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	419.21	70.21	424.00	73.51	361.00	61.65
F3	415.05	73.59	417.33	53.71	364.80	70.72
C5	392.32	79.00	416.56	67.62	333.80	43.88
C3	396.74	69.22	413.78	58.41	358.60	80.52
Fp2	420.21	76.18	432.44	59.91	369.50	75.49
F4	409.11	77.14	422.67	59.50	348.60	52.25
C6	403.37	73.04	407.67	54.09	326.00	38.44
C4	380.95	72.62	398.67	50.26	317.30	39.36
O1	363.16	67.25	360.89	54.57	357.40	68.08
O2	364.00	59.19	356.22	50.75	375.00	86.43
P4	366.63	66.78	382.44	76.76	319.60	33.14
P3	394.53	73.14	393.56	60.32	352.20	72.39
Pz	391.37	77.65	394.67	57.54	330.00	43.05
Cz	402.74	75.28	404.22	54.77	353.30	70.45
Fz	422.53	76.88	405.89	71.87	405.80	82.59

Πίνακας Ε. 18 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή της κυματομορφής N400 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-5.991	6.453	-5.977	5.465	-4.536	6.280
F3	-4.314	5.357	-5.105	5.623	-3.901	4.757
C5	-1.287	5.027	-3.445	4.950	-2.102	4.166

C3	0.269	6.065	-2.709	5.761	-2.169	3.505
Fp2	-5.696	4.491	-5.203	6.382	-4.428	5.288
F4	-4.651	4.825	-5.347	6.583	-4.936	5.068
C6	-1.533	6.447	-4.816	6.111	-1.671	3.548
C4	-1.848	5.437	-2.691	6.154	-2.034	3.816
O1	0.379	4.591	0.963	5.159	1.150	5.241
O2	2.168	3.529	-0.041	5.637	0.301	4.262
P4	0.638	4.666	-0.481	6.455	-0.214	3.544
P3	1.310	5.358	-1.227	6.045	0.509	3.314
Pz	1.985	6.415	-1.145	6.127	0.770	3.611
Cz	-2.199	6.411	-3.469	5.734	-3.175	4.576
Fz	-5.955	5.699	-6.669	7.147	-6.764	6.566

Πίνακας Ε. 19 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής N400 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	421.95	73.05	416.20	70.44	375.00	71.89
F3	415.45	73.24	425.80	66.17	366.00	81.69
C5	403.15	83.38	420.40	60.11	379.90	90.47
C3	399.75	89.78	422.70	69.10	346.50	80.19
Fp2	411.35	75.86	405.30	80.18	357.60	79.45
F4	412.95	83.72	431.60	62.02	338.60	62.15
C6	394.10	84.75	421.70	72.25	354.80	72.76
C4	397.45	86.18	402.30	72.96	349.10	81.62
O1	393.60	81.02	376.90	71.78	338.10	89.85
O2	372.00	75.44	357.30	64.53	366.40	83.93
P4	388.95	91.07	388.20	85.89	333.10	59.18
P3	376.55	82.04	381.00	79.46	346.40	80.00
Pz	382.95	82.94	371.60	60.27	369.80	91.65
Cz	391.70	92.23	409.80	70.56	346.70	86.68
Fz	416.60	86.23	423.20	64.35	368.60	88.28

Πίνακας Ε. 20 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή της κυματομορφής N400 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Κυματομορφή P600

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση

	(μV)		(μV)		(μV)	
Fp1	2.514	5.536	-0.709	8.919	3.555	4.217
F3	2.990	4.873	-1.012	5.553	4.163	4.121
C5	4.985	5.658	2.940	3.599	4.866	3.715
C3	5.116	4.821	2.761	3.488	3.189	3.895
Fp2	3.081	4.578	0.977	8.480	3.567	5.522
F4	4.407	4.838	0.019	5.737	2.681	5.060
C6	4.738	4.082	2.977	4.359	4.253	3.209
C4	5.243	4.668	3.828	3.676	4.346	3.512
O1	6.456	3.165	6.207	4.124	6.770	6.111
O2	7.463	5.069	6.687	3.786	5.149	3.207
P4	6.423	4.822	5.163	4.196	4.353	2.505
P3	4.807	4.159	5.219	4.048	4.644	3.198
Pz	4.875	5.469	6.589	4.684	6.708	3.670
Cz	4.295	4.998	1.543	5.399	3.100	4.584
Fz	3.070	5.586	-0.797	9.858	1.847	3.707

Πίνακας Ε. 21 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P600 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	656.63	111.74	663.44	130.25	621.10	87.67
F3	656.05	106.90	630.11	118.67	662.70	94.21
C5	631.26	101.67	621.33	106.53	609.80	115.10
C3	633.42	109.51	593.67	88.27	572.70	78.52
Fp2	653.63	106.93	590.00	95.20	652.00	91.77
F4	637.95	108.68	653.56	113.36	656.20	84.18
C6	613.05	95.78	609.89	86.84	559.80	70.20
C4	618.11	111.06	582.11	87.16	593.30	103.01
O1	614.89	89.55	620.11	59.85	578.70	76.64
O2	617.89	100.55	579.44	94.87	565.70	59.21
P4	631.05	99.65	582.22	85.95	602.20	82.14
P3	605.79	95.03	581.11	84.21	595.50	94.54
Pz	615.00	98.54	592.78	113.90	581.60	88.48
Cz	608.68	101.15	604.22	94.70	607.90	81.61
Fz	639.89	108.83	610.11	117.21	626.30	97.02

Πίνακας Ε. 22 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P600 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τους άντρες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (μV)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	-2.441	5.798	2.044	8.269	2.214	6.684
F3	0.199	4.988	2.640	8.671	2.188	3.325
C5	3.231	5.289	3.322	7.381	5.694	4.828
C3	5.080	5.538	4.649	7.074	5.440	5.142
Fp2	-1.478	4.177	3.198	9.919	2.775	4.353
F4	-0.145	6.033	2.042	9.209	2.235	6.595
C6	3.009	5.710	2.812	8.914	4.643	3.760
C4	3.317	4.892	4.308	7.515	5.805	6.904
O1	6.331	6.421	9.580	8.164	7.992	6.073
O2	8.075	3.680	8.317	4.805	6.789	4.014
P4	5.837	4.181	6.172	6.512	6.357	4.882
P3	6.268	5.852	7.441	7.000	7.664	3.394
Pz	7.449	5.089	7.625	8.057	6.271	3.294
Cz	3.123	5.609	3.711	7.540	5.477	6.628
Fz	-1.497	5.297	0.874	8.976	2.091	5.174

Πίνακας Ε. 23 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πλατών της κυματομορφής P600 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

Ηλεκτρόδιο	OFF		900MHz		1800MHz	
	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση	Μέση Τιμή (ms)	Τυπική Απόκλιση
Fp1	585.50	111.80	590.50	71.25	660.10	87.26
F3	582.80	94.03	567.50	69.86	665.40	89.54
C5	590.00	82.38	578.70	68.98	619.40	105.55
C3	568.40	72.45	573.60	70.86	636.60	100.21
Fp2	633.25	110.47	587.70	95.40	665.90	94.78
F4	617.10	107.60	564.30	63.49	659.90	100.71
C6	582.65	87.84	589.60	95.71	602.60	90.28
C4	553.85	51.66	567.50	70.78	621.40	86.58
O1	592.25	97.62	580.70	65.97	555.30	66.44
O2	571.95	63.66	577.30	70.69	600.70	85.78
P4	589.70	95.33	570.90	68.91	561.50	63.26
P3	559.10	64.80	578.00	73.21	595.20	105.75
Pz	569.90	81.37	550.50	49.87	574.20	77.72
Cz	554.95	61.61	543.80	45.98	619.40	80.70
Fz	597.25	109.10	606.00	112.23	668.30	96.64

Πίνακας Ε. 24 Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των χρόνων στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της κυματομορφής P600 στις τρεις πειραματικές συνθήκες για τις γυναίκες στα δεκαπέντε ηλεκτρόδια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

P-values των κυματομορφών των προκλητών δυναμικών υπό την επίδραση ακτινοβολίας 900 και 1800MHz

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από τη στατιστική επεξεργασία που εφαρμόστηκε για τα πλάτη και τους χρόνους εμφάνισης κάθε κορυφώσεως των προκλητών δυναμικών για τα πειράματα υπό την επίδραση ή όχι ακτινοβολίας συχνότητας 900 και 1800MHz. Για τις κυματομορφές P50 και N100 τα αποτελέσματα προκύπτουν σε σχέση με την επίδραση της ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz) και το είδος του ερεθίσματος (χαμηλόσυχνος-υψηλόσυχνος τόνος), ενώ για τις υπόλοιπες κορυφώσεις προκύπτουν για την επίδραση της ακτινοβολίας (OFF-900MHz-1800MHz) και τον παράγοντα φύλο (άντρες-γυναίκες). Παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι συγκρίσεις που έγιναν (p-values) για κάθε κυματομορφή ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες που τέθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές στους στατιστικούς ελέγχους.

Κυματομορφή P50

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για το χαμηλόσυχνο τόνο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz
Fp1	0.009	0.005	0.957	0.150	0.019	0.003
F3	0.854	0.220	0.184	0.296	0.005	0.001
C5	0.332	0.028	0.020	0.022	0.001	0.000
C3	0.572	0.019	0.021	0.028	0.006	0.000
Fp2	0.819	0.089	0.198	0.005	0.045	0.000
F4	0.881	0.702	0.657	0.362	0.004	0.001
C6	0.385	0.102	0.042	0.010	0.002	0.000
C4	0.336	0.005	0.001	0.054	0.037	0.002
O1	0.246	0.013	0.148	0.642	0.288	0.207
O2	0.931	0.035	0.075	0.056	0.207	0.009
P4	0.587	0.425	0.274	0.045	0.015	0.000
P3	0.916	0.004	0.014	0.058	0.012	0.001
Pz	0.884	0.041	0.112	0.027	0.003	0.000

Cz	0.414	0.011	0.003	0.087	0.005	0.000
Fz	0.893	0.090	0.146	0.120	0.011	0.001

Πίνακας ΣΤ. 1 P-τιμές για το χαμηλόσυχο ερέθισμα ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P50. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τον υψηλόσυχο τόνο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.023	0.204	0.366	0.796	0.110	0.067
F3	0.814	0.716	0.968	0.300	0.148	0.014
C5	0.883	0.611	0.623	0.262	0.057	0.002
C3	0.550	0.905	0.688	0.460	0.023	0.002
Fp2	0.972	0.182	0.301	0.230	0.836	0.223
F4	0.813	0.922	0.916	0.846	0.058	0.044
C6	0.867	0.989	0.876	0.251	0.100	0.007
C4	0.905	0.351	0.408	0.459	0.021	0.001
O1	0.605	0.038	0.148	0.416	0.331	0.106
O2	0.534	0.017	0.141	0.817	0.416	0.331
P4	0.531	0.342	0.176	0.343	0.068	0.007
P3	0.797	0.348	0.597	0.245	0.250	0.034
Pz	0.488	0.810	0.643	0.772	0.102	0.057
Cz	0.592	0.862	0.723	0.214	0.063	0.002
Fz	0.418	0.481	0.876	0.423	0.134	0.021

Πίνακας ΣΤ. 2 P-τιμές για το υψηλόσυχο ερέθισμα ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P50. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο ερέθισμα						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.000	0.412	0.865	0.379	0.756	0.393
F3	0.005	0.111	0.253	0.788	0.848	0.479
C5	0.022	0.080	0.896	0.787	0.211	0.409
C3	0.002	0.101	0.938	0.677	0.330	0.722
Fp2	0.004	0.111	0.631	0.867	0.211	0.150
F4	0.186	0.478	0.661	0.739	0.676	0.257
C6	0.052	0.084	0.885	0.995	0.202	0.227
C4	0.020	0.013	0.067	0.778	0.386	0.752

O1	0.000	0.050	0.363	0.816	0.923	0.881
O2	0.002	0.092	0.112	0.488	0.336	0.401
P4	0.231	0.425	0.406	0.874	0.415	0.694
P3	0.000	0.018	0.636	0.833	0.505	0.249
Pz	0.007	0.218	0.953	0.534	0.210	0.138
Cz	0.051	0.096	0.206	0.826	0.532	0.577
Fz	0.041	0.466	0.499	0.987	0.509	0.448

Πίνακας ΣΤ. 3 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο είδος του ερεθίσματος του P50. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες

Κυματομορφή N100

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για το χαμηλόσυχο τόνο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.164	0.000	0.037	0.807	0.187	0.170
F3	0.261	0.009	0.000	0.923	0.452	0.440
C5	0.147	0.003	0.000	0.411	0.037	0.015
C3	0.250	0.005	0.001	0.501	0.049	0.021
Fp2	0.562	0.005	0.003	0.946	0.446	0.468
F4	0.583	0.057	0.027	0.272	0.654	0.166
C6	0.191	0.010	0.001	0.081	0.513	0.029
C4	0.198	0.002	0.000	0.248	0.733	0.172
O1	0.640	0.004	0.011	0.569	0.941	0.634
O2	0.959	0.007	0.018	0.627	0.576	0.940
P4	0.216	0.100	0.010	0.674	0.602	0.422
P3	0.357	0.001	0.000	0.947	0.084	0.109
Pz	0.519	0.017	0.006	0.215	0.066	0.009
Cz	0.167	0.002	0.000	0.405	0.655	0.261
Fz	0.297	0.019	0.005	0.164	0.186	0.996

Πίνακας ΣΤ. 4 P-τιμές για το χαμηλόσυχο ερέθισμα ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N100. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τον υψηλόσυχο τόνο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.000	0.511	0.000	0.748	0.492	0.758
F3	0.026	0.047	0.003	0.932	0.739	0.697
C5	0.082	0.027	0.003	0.511	0.371	0.788
C3	0.012	0.067	0.001	0.821	0.528	0.702
Fp2	0.054	0.219	0.024	0.622	0.502	0.302
F4	0.078	0.030	0.014	0.404	0.179	0.043
C6	0.022	0.025	0.001	0.977	0.206	0.267
C4	0.040	0.134	0.007	0.830	0.461	0.615
O1	0.234	0.162	0.912	0.095	0.318	0.478
O2	0.055	0.465	0.339	0.417	0.147	0.037
P4	0.027	0.010	0.000	0.739	0.310	0.536
P3	0.009	0.539	0.017	0.053	0.156	0.620
Pz	0.008	0.056	0.000	0.458	0.935	0.571
Cz	0.013	0.037	0.000	0.888	0.659	0.782
Fz	0.008	0.142	0.002	0.931	0.253	0.334

Πίνακας ΣΤ. 5 P-τιμές για το υψηλόσυχο ερέθισμα ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N100. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο ερέθισμα						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.000	0.231	0.602	0.747	0.898	0.154
F3	0.002	0.515	0.015	0.583	0.772	0.204
C5	0.019	0.348	0.186	0.761	0.911	0.010
C3	0.002	0.579	0.191	0.258	0.649	0.003
Fp2	0.001	0.441	0.333	0.437	0.965	0.081
F4	0.068	0.985	0.247	0.613	0.128	0.056
C6	0.017	0.600	0.115	0.873	0.148	0.079
C4	0.009	0.386	0.941	0.648	0.613	0.216
O1	0.000	0.167	0.302	0.365	0.158	0.751
O2	0.001	0.490	0.400	0.466	0.367	0.220
P4	0.119	0.883	0.070	0.916	0.916	0.201
P3	0.000	0.239	0.653	0.573	0.178	0.014
Pz	0.020	0.976	0.128	0.494	0.911	0.042

Cz	0.024	0.654	0.381	0.474	0.950	0.243
Fz	0.016	0.936	0.439	0.300	0.718	0.507

Πίνακας ΣΤ. 6 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο είδος του ερεθίσματος του N100. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες

Κυματομορφή P200

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF-	OFF-	900MHz-	OFF-	OFF-	900MHz-
Fp1	0.008	0.181	0.006	0.684	0.373	0.611
F3	0.098	0.272	0.025	0.971	0.092	0.081
C5	0.183	0.058	0.022	0.712	0.195	0.102
C3	0.061	0.536	0.028	0.975	0.089	0.136
Fp2	0.029	0.837	0.040	0.796	0.073	0.092
F4	0.080	0.271	0.053	0.858	0.071	0.100
C6	0.214	0.369	0.102	0.955	0.123	0.112
C4	0.471	0.772	0.380	0.739	0.020	0.072
O1	0.448	0.393	0.919	0.461	0.569	0.890
O2	0.359	0.727	0.242	0.640	0.945	0.513
P4	0.154	0.169	0.016	0.373	0.109	0.428
P3	0.774	0.172	0.246	0.646	0.231	0.454
Pz	0.424	0.026	0.358	0.655	0.363	0.673
Cz	0.199	0.213	0.036	0.944	0.045	0.045
Fz	0.027	0.431	0.022	0.644	0.287	0.109

Πίνακας ΣΤ. 7 P-τιμές για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P200. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τις γυναίκες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.897	0.733	0.643	0.635	0.098	0.083
F3	0.883	0.640	0.731	0.882	0.030	0.097
C5	0.150	0.413	0.017	0.727	0.022	0.131
C3	0.269	0.659	0.112	0.640	0.048	0.163
Fp2	0.770	0.844	0.649	1.000	0.224	0.361
F4	0.513	0.948	0.579	0.859	0.196	0.224
C6	0.089	0.622	0.013	0.506	0.014	0.146
C4	0.250	0.242	0.059	0.600	0.005	0.048
O1	0.133	0.391	0.735	0.208	0.102	0.613
O2	0.272	0.869	0.525	0.480	0.308	0.774
P4	0.136	0.767	0.145	0.460	0.092	0.434
P3	0.387	0.673	0.097	0.277	0.001	0.099
Pz	0.104	0.410	0.340	0.344	0.058	0.466
Cz	0.192	0.658	0.076	0.955	0.042	0.139
Fz	0.629	0.682	0.369	0.595	0.175	0.479

Πίνακας ΣΤ. 8 P-τιμές για τις γυναίκες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P200. Οι έντονοι χαρακτήρες υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.233	0.044	0.377	0.962	0.449	0.554
F3	0.076	0.026	0.688	0.588	0.758	0.601
C5	0.022	0.197	0.052	0.626	0.782	0.804
C3	0.030	0.028	0.058	0.845	0.643	0.949
Fp2	0.441	0.050	0.718	0.485	0.479	0.122
F4	0.046	0.089	0.388	0.937	0.712	0.372
C6	0.023	0.437	0.016	0.709	0.744	0.654
C4	0.066	0.467	0.036	0.884	0.983	0.931
O1	0.246	0.004	0.071	0.896	0.969	0.551
O2	0.006	0.114	0.188	0.845	0.960	0.461
P4	0.012	0.118	0.223	0.778	0.878	0.902
P3	0.023	0.118	0.076	0.167	0.548	0.664
Pz	0.001	0.623	0.528	0.367	0.717	1.000

Cz	0.019	0.137	0.065	0.931	0.940	0.502
Fz	0.337	0.111	0.392	0.498	0.690	0.584

Πίνακας ΣΤ. 9 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο φύλο για το P200. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.

Κυματομορφή N200

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.027	0.925	0.052	0.385	0.001	0.011
F3	0.221	0.738	0.073	0.848	0.039	0.028
C5	0.417	0.455	0.088	0.601	0.043	0.007
C3	0.126	0.602	0.276	0.496	0.015	0.001
Fp2	0.322	0.788	0.172	0.917	0.102	0.034
F4	0.113	0.926	0.129	0.977	0.017	0.010
C6	0.385	0.736	0.149	0.604	0.101	0.015
C4	0.367	0.982	0.225	0.439	0.131	0.013
O1	0.320	0.994	0.304	0.806	0.825	0.987
O2	0.343	0.422	0.047	0.827	0.034	0.059
P4	0.280	0.702	0.080	0.980	0.060	0.059
P3	0.561	0.373	0.109	0.681	0.026	0.074
Pz	0.655	0.180	0.030	0.266	0.307	0.046
Cz	0.064	0.813	0.062	0.518	0.051	0.011
Fz	0.105	0.769	0.076	0.881	0.067	0.045

Πίνακας ΣΤ. 10 P-τιμές για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N200. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τις γυναίκες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.473	0.903	0.526	0.711	0.031	0.011
F3	0.557	0.884	0.378	0.982	0.050	0.060
C5	0.646	0.784	0.864	0.884	0.053	0.080
C3	0.812	0.411	0.591	0.717	0.031	0.055
Fp2	0.445	0.898	0.522	0.420	0.116	0.026
F4	0.711	0.267	0.150	0.451	0.080	0.018
C6	0.691	0.854	0.569	0.724	0.038	0.042
C4	0.949	0.739	0.808	0.574	0.044	0.033
O1	0.300	0.760	0.519	0.743	0.041	0.083
O2	0.506	0.466	0.995	0.627	0.301	0.230
P4	0.785	0.839	0.944	0.538	0.051	0.043
P3	0.725	0.811	0.890	0.683	0.019	0.011
Pz	0.470	0.809	0.618	0.268	0.027	0.007
Cz	0.967	0.593	0.616	0.588	0.061	0.047
Fz	0.557	0.719	0.343	0.985	0.052	0.049

Πίνακας ΣΤ. 11 P-τιμές για τις γυναίκες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N200. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.677	0.035	0.765	0.070	0.806	0.089
F3	0.647	0.020	0.948	0.270	0.480	0.055
C5	0.192	0.170	0.878	0.372	0.342	0.413
C3	0.433	0.113	0.839	0.385	0.380	0.935
Fp2	0.733	0.075	0.857	0.333	0.919	0.285
F4	0.791	0.050	0.396	0.196	0.780	0.164
C6	0.634	0.474	0.710	0.796	0.737	0.315
C4	0.639	0.309	0.954	0.932	0.785	0.511
O1	0.951	0.043	0.818	0.850	0.834	0.096
O2	0.186	0.223	0.705	0.227	0.772	0.867
P4	0.522	0.250	0.992	0.416	0.942	0.552
P3	0.104	0.078	0.617	0.320	0.998	0.339
Pz	0.106	0.301	0.888	0.915	0.954	0.223

Cz	0.666	0.061	0.948	0.399	0.523	0.291
Fz	0.983	0.044	0.525	0.328	0.391	0.151

Πίνακας ΣΤ. 12 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο φύλο για το N200.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.

Κυματομορφή P300

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες						
Ηλεκτρόδιο	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz
Fp1	0.282	0.659	0.506	0.996	0.332	0.426
F3	0.536	0.562	0.935	0.698	0.569	0.390
C5	0.787	0.785	0.998	0.699	0.779	0.576
C3	0.976	0.333	0.345	0.210	0.584	0.579
Fp2	0.606	0.724	0.864	0.295	0.616	0.690
F4	0.500	0.379	0.865	0.097	0.211	0.783
C6	0.664	0.861	0.533	0.502	0.949	0.610
C4	0.561	0.485	0.142	0.679	0.793	0.600
O1	0.570	0.749	0.902	0.568	0.013	0.012
O2	0.655	0.974	0.767	0.813	0.539	0.775
P4	0.517	0.735	0.310	0.773	0.460	0.711
P3	0.149	0.848	0.119	0.955	0.402	0.547
Pz	0.089	0.239	0.482	0.380	0.647	0.247
Cz	0.685	0.537	0.847	0.782	0.242	0.456
Fz	0.254	0.480	0.644	0.393	0.357	0.146

Πίνακας ΣΤ. 13 P-τιμές για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P300. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τις γυναίκες						
Ηλεκτρόδιο	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz	OFF-900MHz	OFF-1800MHz	900MHz-1800MHz
Fp1	0.109	0.691	0.060	0.248	0.378	0.985
F3	0.082	0.361	0.025	0.748	0.950	0.763
C5	0.630	0.658	0.442	0.917	0.945	0.982
C3	0.527	0.286	0.165	0.891	0.627	0.597
Fp2	0.077	0.751	0.059	0.360	0.335	0.877
F4	0.244	0.210	0.025	0.624	0.461	0.795
C6	0.706	0.746	0.579	0.919	0.772	0.865
C4	0.592	0.795	0.547	0.435	0.960	0.449
O1	0.102	0.334	0.557	0.518	0.495	0.242
O2	0.869	0.167	0.340	0.575	0.031	0.132
P4	0.661	0.569	0.530	0.810	0.688	0.537
P3	0.399	0.406	0.152	0.908	0.862	0.955
Pz	0.696	0.314	0.307	0.970	0.814	0.810
Cz	0.480	0.445	0.188	0.522	0.782	0.769
Fz	0.217	0.740	0.175	0.766	0.750	0.655

Πίνακας ΣΤ. 14 P-τιμές για τις γυναίκες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P300. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο						
Ηλεκτρόδιο	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.889	0.030	0.990	0.010	0.297	0.967
F3	0.473	0.024	0.809	0.939	0.363	0.664
C5	0.081	0.171	0.465	0.981	0.757	0.796
C3	0.145	0.120	0.377	0.304	0.794	0.854
Fp2	0.731	0.051	0.776	0.392	0.375	0.863
F4	0.661	0.063	0.809	0.029	0.723	0.804
C6	0.220	0.440	0.410	0.501	0.819	0.874
C4	0.324	0.489	0.318	0.963	0.736	0.891
O1	0.245	0.111	0.270	0.890	0.837	0.184
O2	0.037	0.372	0.826	0.582	0.785	0.047
P4	0.064	0.427	0.346	0.714	0.815	0.476
P3	0.044	0.286	0.311	0.387	0.645	0.806

Pz	0.013	0.511	0.959	0.759	0.479	0.441
Cz	0.215	0.064	0.457	0.123	0.760	0.873
Fz	0.930	0.090	0.812	0.353	0.098	0.694

Πίνακας ΣΤ. 15 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο φύλο για το P300. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.

Κυματομορφή N400

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.039	0.665	0.128	0.869	0.036	0.058
F3	0.092	0.811	0.058	0.935	0.088	0.089
C5	0.270	0.581	0.109	0.436	0.040	0.005
C3	0.101	0.752	0.195	0.530	0.193	0.109
Fp2	0.318	0.898	0.279	0.676	0.099	0.062
F4	0.023	0.568	0.078	0.646	0.035	0.010
C6	0.174	0.600	0.061	0.877	0.004	0.001
C4	0.227	0.661	0.099	0.516	0.016	0.001
O1	0.448	0.599	0.292	0.930	0.829	0.904
O2	0.157	0.885	0.125	0.737	0.688	0.577
P4	0.134	0.851	0.082	0.581	0.047	0.030
P3	0.349	0.516	0.170	0.973	0.149	0.197
Pz	0.646	0.154	0.155	0.911	0.029	0.012
Cz	0.045	0.991	0.044	0.958	0.097	0.099
Fz	0.079	0.942	0.115	0.590	0.592	0.998

Πίνακας ΣΤ. 16 P-τιμές για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N400. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τις γυναίκες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.995	0.562	0.591	0.839	0.106	0.212
F3	0.710	0.838	0.612	0.710	0.104	0.089
C5	0.275	0.662	0.520	0.566	0.490	0.254
C3	0.208	0.252	0.803	0.485	0.124	0.035
Fp2	0.807	0.498	0.771	0.841	0.082	0.198
F4	0.744	0.882	0.877	0.539	0.019	0.004
C6	0.192	0.951	0.176	0.386	0.221	0.054
C4	0.705	0.924	0.778	0.880	0.152	0.142
O1	0.755	0.682	0.937	0.586	0.099	0.300
O2	0.198	0.213	0.880	0.603	0.855	0.789
P4	0.590	0.616	0.910	0.983	0.090	0.112
P3	0.251	0.670	0.436	0.889	0.347	0.345
Pz	0.212	0.584	0.406	0.704	0.695	0.959
Cz	0.601	0.672	0.901	0.591	0.210	0.091
Fz	0.769	0.730	0.975	0.833	0.165	0.131

Πίνακας ΣΤ. 17 P-τιμές για τις γυναίκες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το N400. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.067	0.507	0.609	0.906	0.816	0.646
F3	0.655	0.293	0.618	0.987	0.765	0.972
C5	0.663	0.583	0.491	0.680	0.897	0.164
C3	0.571	0.504	0.652	0.908	0.766	0.740
Fp2	0.512	0.496	0.889	0.718	0.419	0.735
F4	0.249	0.312	0.615	0.882	0.753	0.702
C6	0.917	0.911	0.515	0.717	0.641	0.283
C4	0.896	0.518	0.417	0.523	0.902	0.282
O1	0.658	0.279	0.829	0.211	0.595	0.595
O2	0.109	0.215	0.908	0.716	0.968	0.824
P4	0.447	0.219	0.976	0.391	0.880	0.537
P3	0.190	0.531	0.857	0.476	0.705	0.867

Pz	0.061	0.618	0.907	0.746	0.407	0.230
Cz	0.846	0.252	0.447	0.686	0.851	0.854
Fz	0.303	0.454	0.321	0.822	0.587	0.343

Πίνακας ΣΤ. 18 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο φύλο για το N400.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.

Κυματομορφή P600

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τους άντρες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.249	0.608	0.193	0.887	0.391	0.413
F3	0.063	0.523	0.033	0.567	0.870	0.514
C5	0.332	0.953	0.268	0.814	0.610	0.824
C3	0.203	0.286	0.805	0.351	0.133	0.591
Fp2	0.398	0.802	0.436	0.141	0.968	0.167
F4	0.044	0.377	0.297	0.729	0.648	0.954
C6	0.306	0.747	0.474	0.934	0.133	0.183
C4	0.433	0.599	0.757	0.401	0.563	0.803
O1	0.861	0.856	0.819	0.876	0.288	0.210
O2	0.687	0.202	0.351	0.345	0.145	0.706
P4	0.508	0.217	0.611	0.218	0.440	0.611
P3	0.807	0.915	0.734	0.512	0.783	0.732
Pz	0.426	0.351	0.952	0.600	0.378	0.813
Cz	0.196	0.534	0.506	0.912	0.983	0.929
Fz	0.195	0.540	0.440	0.515	0.743	0.746

Πίνακας ΣΤ. 19 P-τιμές για τους άντρες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P600. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών ακτινοβολίας για τις γυναίκες						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz	OFF- 900MHz	OFF- 1800MHz	900MHz- 1800MHz
Fp1	0.095	0.059	0.960	0.899	0.076	0.066
F3	0.334	0.266	0.879	0.653	0.029	0.014
C5	0.969	0.227	0.406	0.712	0.409	0.321
C3	0.856	0.865	0.778	0.853	0.041	0.122
Fp2	0.078	0.015	0.903	0.276	0.432	0.082
F4	0.440	0.332	0.958	0.165	0.304	0.021
C6	0.942	0.421	0.557	0.844	0.566	0.758
C4	0.666	0.262	0.648	0.552	0.012	0.145
O1	0.243	0.502	0.628	0.739	0.292	0.402
O2	0.879	0.389	0.450	0.836	0.308	0.514
P4	0.866	0.764	0.943	0.584	0.406	0.754
P3	0.632	0.493	0.929	0.476	0.255	0.677
Pz	0.942	0.513	0.629	0.497	0.891	0.428
Cz	0.811	0.316	0.585	0.618	0.021	0.019
Fz	0.369	0.089	0.715	0.839	0.092	0.200

Πίνακας ΣΤ. 20 P-τιμές για τις γυναίκες ανάμεσα στις συνθήκες ακτινοβολίας για το P600. Οι έντονοι χαρακτήρες υπονοούν τις στατιστικά σημαντικά διαφορές.

Συγκρίσεις ανάμεσα στο φύλο						
	Πλάτος Κυματομορφής			Χρόνος Εμφάνισης		
Ηλεκτρόδιο	OFF	900MHz	1800MHz	OFF	900MHz	1800MHz
Fp1	0.010	0.494	0.598	0.054	0.143	0.332
F3	0.086	0.296	0.254	0.029	0.174	0.948
C5	0.324	0.890	0.673	0.171	0.310	0.848
C3	0.983	0.479	0.284	0.034	0.590	0.130
Fp2	0.002	0.609	0.726	0.562	0.959	0.743
F4	0.014	0.579	0.867	0.551	0.046	0.930
C6	0.286	0.960	0.806	0.308	0.636	0.252
C4	0.217	0.865	0.559	0.025	0.692	0.517
O1	0.939	0.280	0.659	0.456	0.192	0.475
O2	0.668	0.427	0.326	0.095	0.956	0.302
P4	0.687	0.697	0.263	0.193	0.754	0.230

P3	0.377	0.416	0.055	0.080	0.932	0.995
Pz	0.136	0.740	0.783	0.127	0.300	0.845
Cz	0.496	0.486	0.363	0.051	0.090	0.755
Fz	0.013	0.704	0.905	0.230	0.939	0.345

Πίνακας ΣΤ. 21 P-τιμές για κάθε συνθήκη ακτινοβολίας ανάμεσα στο φύλο για το P600.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται με έντονους χαρακτήρες.