



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΑΜΕΡΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΥΡΙΚΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ

Αριθμός Μητρώου: 48017042

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Αικατερίνη Σκουρολιάκου, Αναπλ. Καθηγήτρια

Αθήνα 01/03/2023

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Μέλος

Μέλος

Αικατερίνη Σκουρολιάκου

Ευστράτιος Δαυίδ

Ιωάννης Καλατζής

Αναπλ. Καθηγήτρια

Επίκουρος Καθηγητής

Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Κυριάκος Κυρίκος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 48017042 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

Ο Δηλών



Κυριάκος Κυρίκος

01/03/2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες πρέπει να αποδοθούν στα ακόλουθα άτομα για την συμβολή τους στην εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

- Ορφανίδου Δέσποινα, Καθηγήτρια Γυμνασίου Κερατέας.
- Σαφίκου Μαρίνα, Καθηγήτρια Γυμνασίου Κερατέας.
- Κουκουβίνης Νικόλαος, Καθηγητής Γυμνασίου Κερατέας.
- Συρίγου Σοφία, Πρόεδρος Πολιτιστικού Συλλόγου "Χρυσή Τομή"
- Τσέτσι Δημήτριο, Τελειόφοιτο της τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιά.
- Πολύζου Φωτεινή, Φοιτήτρια του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Τους συμμετέχοντες στην πειραματική διαδικασία της πτυχιακής εργασίας.

Μέρος της εργασίας παρουσιάστηκε στα πλαίσια του συνέδριου RAP (International conference on Radiation Applications) που έγινε στη Θεσσαλονίκη στις 7 Ιουνίου 2022.

K. Kyrikos, S. David, I. Kalatzis, T. Chrysikos, A. Skouroliakou "Infrared thermography as a measure of emotion response", International Conference on Radiation Applications (RAP 2022), 6-10 June, Thessaloniki, Greece, 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η προσπάθεια προσδιορισμού της πιθανής σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας του προσώπου ενός ατόμου και της βίωσης ενός συναισθήματος. Διεγείροντας συναισθηματικά τα άτομα που λαμβάνουν μέρος στο πείραμα και μέσω την καταγραφής του προσώπου τους με μια θερμική κάμερα γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν τυχόν θερμικές μεταβολές στην περιοχή του προσώπου.

Η θερμική κάμερα ανιχνεύει υπέρυθρη ακτινοβολία, η ένταση της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος που την εκπέμπει. Η συναισθηματική διέγερση προκαλείται από μια σειρά εικόνων και ήχων ειδικά σχεδιασμένων ώστε να προκαλούν μια συγκεκριμένη συναισθηματική αντίδραση.

Τα συναισθήματα που ερευνήθηκαν ήταν η χαρά, ο φόβος και η αποστροφή. Από τα θερμογραφήματα υπολογίστηκε η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ουδέτερης συναισθηματικής κατάστασης και της κατάστασης βίωσης ενός συναισθήματος.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη διαφορά θερμοκρασίας του προσώπου μεταξύ ουδέτερης και φορτισμένης συναισθηματικά κατάστασης.

Λέξεις κλειδιά: Νευρώνες, Νευρική Διέγερση, Νωτιαίος Μυελός, Εγκέφαλος, Συναισθήματα, Τύποι Συναισθημάτων, Θερμογραφία, Θερμική Κάμερα, Υπέρυθρη Ακτινοβολία

ABSTRACT

The aim of the thesis is the determination of a possible relationship between the temperature of a person's face and the experience of an emotion. By emotionally stimulating the people taking part in the experiment and by recording their face with a thermal camera, an attempt is made to detect any thermal changes in the facial area.

The thermal camera detects infrared radiation, the intensity of which depends on the temperature of the body emitting it. Emotional arousal is induced by a series of images and sounds specifically designed to evoke a specific emotional response.

The emotions investigated were joy, fear and disgust. From the thermographs, the temperature difference between the neutral emotional state and the state of experiencing an emotion was calculated.

The results demonstrate statistically significant differences in facial temperature difference between neutral and emotionally charged conditions.

Keywords: Neurons, Nerve Stimulation, Spinal Cord, Brain, Emotions, Types of Emotions, Thermography, Thermal Camera, Infrared Radiation

Περιεχόμενα

1. Σκοπός	8
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	10
2.1 Δομή νευρικού συστήματος.....	10
2.1.1 Νευρώνες	10
2.1.2 Λειτουργία νευρώνων και στοιχεία επικοινωνίας	14
2.2 Νωτιαίος μυελός	17
2.3 Εγκέφαλος	20
2.4 Συναισθήματα	27
2.4.1 Ορισμός	27
2.4.2 Δημιουργία Συναισθημάτων	28
2.4.3 Κατηγορίες Συναισθημάτων.....	30
2.5 Θερμογραφία	31
2.6 Λειτουργία Θερμικής Κάμερας	34
3. Επιστημονικό υπόβαθρο	36
4. Πειραματική διαδικασία	38
4.1 Περιβαλλοντικές Συνθήκες	38
4.2 Συμμετέχοντες.....	39
4.3 Τοποθέτηση Κάμερας.....	40
4.4 Διέγερση Συμμετεχόντων.....	41
4.5 Δείγμα.....	42
4.6 Πείραμα.....	43
5. Αποτελέσματα	44
6. Συμπεράσματα	48
7. Βιβλιογραφία.....	49

1. Σκοπός

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προσπάθεια προσδιορισμού της πιθανής σχέσης μεταξύ της μεταβολής της θερμοκρασίας ενός ατόμου και της βίωσης ή έκφρασης από αυτό το άτομο ενός συναισθήματος. Κατά την συναισθηματική διέγερση ενός ατόμου λαμβάνουν χώρα μια σειρά από αντιδράσεις στον εγκέφαλο του. Όταν ένα άτομο εκτεθεί σε κάποιο ερέθισμα τότε η εγκεφαλική του λειτουργία αλλάζει ώστε να επαχθεί μια αντίδραση στο διεγερτικό αυτό ερέθισμα. Ο εγκέφαλος τότε με μια σειρά χημικών αντιδράσεων ξεκινά την παραγωγή διαφόρων ουσιών οι οποίες θα δεσμευτούν από εξειδικευμένους χημικούς υποδοχείς οι οποίοι στη περίπτωση μας βρίσκονται στην επιφάνεια των νευρικών κυττάρων. Οι υποδοχείς αυτοί είναι ειδικά σχεδιασμένες θέσεις στην επιφάνεια των κυττάρων οι οποίες είναι σε θέση να δεσμεύσουν ένα συγκεκριμένο τύπο χημικής ένωσης και έπειτα να προκαλέσουν την ανάλογη αντίδραση. Κατά την δέσμευση των ουσιών αυτών οι υποδοχείς ενεργοποιούνται και οδηγούν στην έκφραση κάποιου συναισθήματος. Όταν η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα, τόσο η αυξημένη λειτουργία του εγκεφάλου όσο και οι χημικές αντιδράσεις, στους υποδοχείς και στον γενικό εγκεφαλικό χώρο, προκαλούν σχετικές φυσιολογικές μεταβολές.

Η αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ίδιου του εγκεφάλου. Παρ' όλα αυτά όμως, θεωρητικά η φυσιολογική έκφραση του οποιουδήποτε συναισθήματος θα παρουσιάζει κάποιου είδους μεταβολή στην γενικότερη φυσιολογία του ατόμου. Πιο συγκεκριμένα, κατά την εμφάνιση ενός συναισθήματος το αντικείμενο βιώνει αλλαγές στην κυκλοφορική του λειτουργία, για παράδειγμα υπεραιμία κάποιου σημείου του σώματος. Ο λόγος ύπαρξης αυτών των μοτίβων αλλαγών είναι πιθανώς βιολογικός και στηρίζεται σε εξελικτικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές εικάζεται πως βοήθησαν το άτομο να επιβιώσει. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η αντίδραση "Φυγής ή Πάλης" ("Fight or Flight "response), κατά την οποία το άτομο πρέπει να είναι σε εγρήγορση προκειμένου να αποφασίσει αν πρέπει να παραμείνει ή να διαφύγει. Η κατάσταση εγρήγορσης οφείλεται στην αυξημένη καρδιακή λειτουργία την οποία "ζητά" ο εγκέφαλος του ατόμου έτσι ώστε το άτομο να μπορέσει να αντιδράσει γρήγορα και ορθά.

Οι αντιδράσεις αυτές πλέον μας είναι σε ένα βαθμό άχρηστες, δεν παύουν όμως να υπάρχουν ως εξελικτικά κατάλοιπα. Όσο και αν αυτές οι καταστάσεις του ατόμου θεωρούνται απομεινάρια μιας πρωτόγονης ανθρώπινης φύσης, υπάρχουν και επιφέρουν τις ίδιες φυσιολογικές μεταβολές στο άτομο. Όπως ήδη αναφέραμε κυριότερη εκ των αλλαγών αυτών είναι η μεταβολή της καρδιακής και κυκλοφορικής λειτουργίας η οποία επιφέρει αλλαγές στην αιμάτωση. Οι αλλαγές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας είτε σε όλο το σώμα του ατόμου είτε σε συγκεκριμένες περιοχές του. Οι θερμοκρασιακές αυτές μεταβολές, λοιπόν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα μέσο για την ανίχνευση των συναισθημάτων του ατόμου. Η τεχνική αυτή είναι η πιο "φιλική" προς το άτομο καθώς δεν υπάρχει κάποιου είδους παρέμβαση σε αυτό. Με τον όρο παρέμβαση

εννοούμε την χρήση μεθόδων οι οποίες θα είχαν την ανάγκη λήψης δείγματος από το εκάστοτε άτομο (το δείγμα αυτό μπορεί να είναι οποιαδήποτε ουσία όπως για παράδειγμα σωματικά υγρά τα οποία θα περιέχουν ενδείξεις για τις χημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα). Καταλήγουμε έτσι στην χρήση μεθόδων θερμικής καταγραφής του ατόμου προς εξέταση.

Η πιο απλή μέθοδος καταγραφής των θερμικών αλλαγών είναι η θερμογραφία. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε μια κάμερα υπέρυθρων για να καταγράψουμε τις αλλαγές στην θερμοκρασία του ατόμου. Πρόκειται για μια απλή και πρακτική μέθοδο η οποία είναι σε θέση να μας δώσει μια αρκετά καλή και αξιόπιστη βάση για την μελέτη μας. Η θερμογραφία βασίζεται στην καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας την οποία εκπέμπουν όλα τα αντικείμενα. Το ανθρώπινο οπτικό σύστημα είναι ικανό να διακρίνει μόνο ένα μέρος του φάσματος των ακτινοβολιών (ορατό φάσμα), καθιστώντας έτσι τις υπόλοιπες ακτινοβολίες θεωρητικά αόρατες για εμάς. Μέρος του αόρατου φάσματος αυτού αποτελεί και η υπέρυθρη ακτινοβολία η οποία έχει άμεση σχέση με την θερμοκρασία του εκάστοτε σώματος που την εκπέμπει. Η κάμερα αυτή, λοιπόν, είναι σχεδιασμένη για την καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας του αντικειμένου και την εμφάνιση της στην οθόνη του παρατηρητή ως διαβαθμίσεις χρωμάτων. Ο παρατηρητής τότε, έχει την δυνατότητα να αντιστοιχήσει τις διαβαθμίσεις αυτές σε πραγματικές θερμοκρασίες έχοντας έτσι την δυνατότητα ανίχνευσης τυχόν αλλαγών οι οποίες μπορεί να προκύψουν. Η αρχική υπόθεση μας, είναι πως η έκφραση ή ακόμη και η δημιουργία ενός συναισθήματος θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας του ατόμου προς εξέταση, πως όμως θα μπορέσουμε να ελέγξουμε την ορθότητα της υπόθεσης αυτής;

Προκειμένου να εξεταστεί αυτή η υπόθεση σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα πειραματικό πρωτόκολλο με κύριο σκοπό την παρατήρηση των διαφορών στην θερμοκρασία της περιοχής του προσώπου ατόμων όταν αυτά βιώνουν κάποιες συναισθηματικές αλλαγές. Κατά το πρωτόκολλο το κάθε άτομο διεγείρεται συναισθηματικά αρχικά και μέσω της θερμικής κάμερας καταγράφεται η θερμοκρασία στο πρόσωπο του ώστε να ανιχνευθούν πιθανές μεταβολές. Η επίτευξη της διέγερσης επιτυγχάνεται μέσω της έκθεσης των ατόμων σε μια σειρά οπτικοακουστικών μέσων τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα να ενεργοποιούν συγκεκριμένα συναισθήματα. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής λαμβάνονται στοιχεία από το άτομο μέσω ερωτήσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ο τύπος της συναισθηματικής διέγερσης (χαρά, λύπη κ.α.), ώστε να υπάρχει έναν συσχετισμός μεταξύ της οποιασδήποτε αλλαγής και του τι νιώθει το άτομο.

Κατά την πειραματική διαδικασία θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όσο και οι φυσιολογικοί παράγοντες του ατόμου, καθώς και οι δύο επηρεάζουν τις λαμβανόμενες μετρήσεις. Από την πειραματική αυτή διαδικασία προκύπτουν στοιχεία που υποδεικνύουν συσχέτιση μεταξύ των αλλαγών της θερμοκρασίας και την εκδήλωση συναισθήματος.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Δομή νευρικού συστήματος

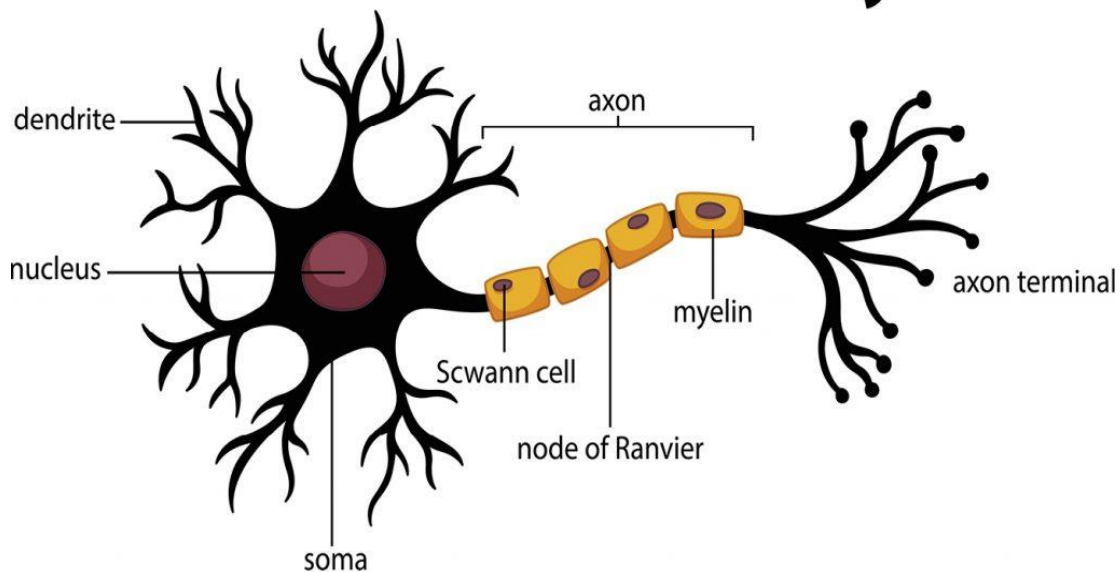
Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός αποτελεί το κέντρο ελέγχου όλων των έμβιων πολυκύτταρων και κατά κύριο λόγο σπονδυλωτών οργανισμών όπως ο άνθρωπος [1]. Τα έντομα καθώς επίσης και άλλα είδη οργανισμών όπως τα μαλάκια αποτελούν ειδικές περιπτώσεις καθώς το κεντρικό νευρικό τους σύστημα (Κ.Ν.Σ.) δεν αποτελείται εξολοκλήρου από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό αλλά και από άλλες δομές (όπως για παράδειγμα τα γάγγλια στα έντομα) [2-3]. Ο δομικός λίθος του νευρικού συστήματος είναι το νευρικό κύτταρο. Πρόκειται για ειδικά και πλήρως εξειδικευμένα κύτταρα τα οποία βρίσκονται διανεμημένα σε όλη την περιφέρεια του σώματος και σχηματίζουν μεγάλες δομές σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος. Στον άνθρωπο τα νευρικά κύτταρα συσσωρεύονται σε πολυπληθείς ομάδες στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Τα νευρικά κύτταρα, παρά το γεγονός ότι παρουσιάζουν μεγάλη εξειδίκευση σε σχέση με τα υπόλοιπα σωματικά κύτταρα, παρουσιάζουν και μεγάλο βαθμό ποικιλομορφίας. Τα νευρικά κύτταρα διαχωρίζονται σε εγκεφαλικά, νωτιαίου μυελού, κινητικά, αισθητικά, συναπτικά και άλλα [4-5]. Κάθε τύπος κυττάρου έχει συγκεκριμένη λειτουργία. Όλοι οι περιφερειακοί νευρώνες συλλέγουν στοιχεία από το περιβάλλον και τα μεταφέρουν αρχικά στον νωτιαίο μυελό και από εκεί στον εγκέφαλο για επεξεργασία. Ας δούμε τη γενική δομή των νευρικών κυττάρων.

2.1.1 Νευρώνες

Τα νευρικά κύτταρα χωρίζονται σε τρεις κύριες περιοχές το σώμα, τον άξονα και τους δενδρίτες (Εικόνα 1). Το κυτταρικό σώμα αποτελεί το κέντρο ελέγχου του νευρικού κυττάρου. Σε αυτό βρίσκεται ο πυρήνας του κυττάρου και είναι υπεύθυνο για την διετέλεση όλων των ζωτικών λειτουργιών του κυττάρου. Το σώμα αποτελείται από μια απλή κυτταρική μεμβράνη στο εσωτερικό της οποίας υπάρχει κυτταρόπλασμα, μια ημίρρευστη ουσία που περιέχει όλα τα λειτουργικά μέρη και δομικά στοιχεία του κυττάρου [5]. Πέραν των άλλων δομών, στο κυτταρόπλασμα απαντάται και ο πυρήνας του κυττάρου. Ο πυρήνας περιέχει το γενετικό υλικό και είναι υπεύθυνος για την ρύθμιση και ομαλή λειτουργία του κυττάρου. Όλα τα νευρικά κύτταρα διαθέτουν πυρήνα ανεξαρτήτως του είδους τους. Η κυτταρική μεμβράνη του νευρώνα προεκβάλλει από το σώμα και δημιουργεί τον άξονα. Ο νευράξονας ή απλώς άξονας είναι η μακρύτερη και παχύτερη μεμβρανική προεκβολή του σώματος του νευρώνα και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του νευρικού κυττάρου, (κάποιοι άξονες νευρικών κυττάρων μπορεί να φτάσουν σε μήκος έως και το ένα μέτρο) [1], [4-6]. Οι άξονες είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά των σημάτων από και προς το κυτταρικό σώμα. Αποτελούνται από την ίδια κυτταρική μεμβράνη με το σώμα του νευρώνα και στο εσωτερικό τους υπάρχει κυτταρόπλασμα και διάφορα ιόντα. Η περιεκτικότητα αυτή σε ιόντα επιτρέπει στους άξονες να άγουν ρεύμα μικρής τάσης, ο μηχανισμός αυτός θα αναλυθεί περαιτέρω παρακάτω. Στο εξωτερικό των αξόνων υπάρχουν ειδικά κύτταρα τα

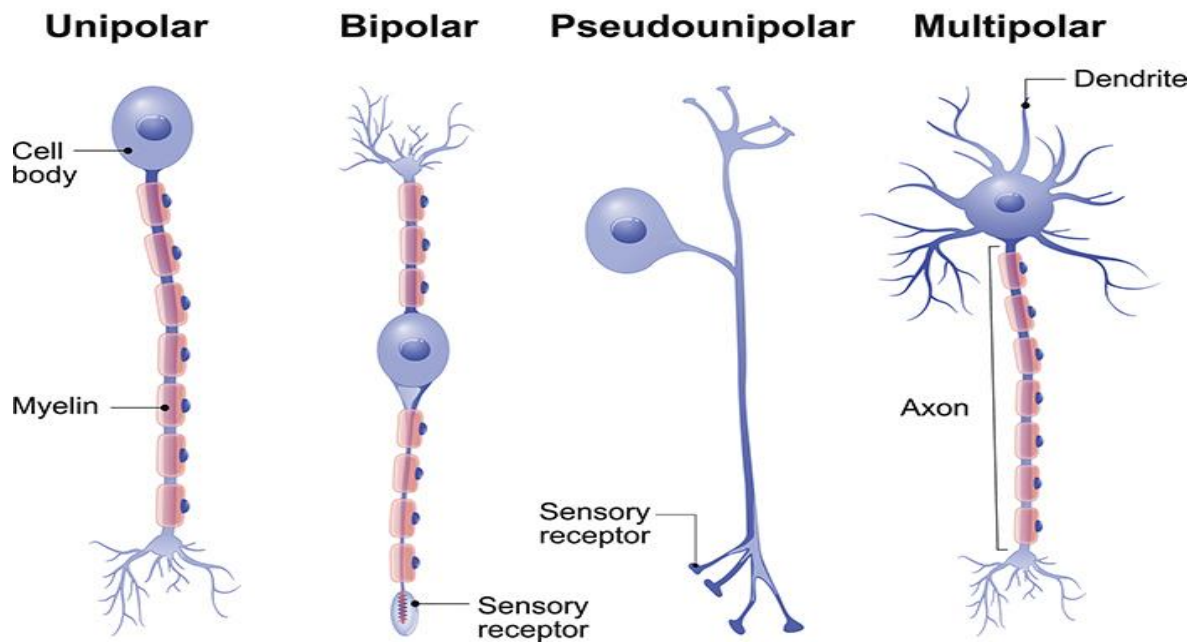
οποία τον καλύπτουν. Τα κύτταρα αυτά ονομάζονται κύτταρα Schwann και αποτελούνται από μυελίνη. Τα κύτταρα αυτά υπάρχουν για να μονώνουν τους νευράξονες και δεν ενώνονται μεταξύ τους αλλά υπάρχουν ως διακριτές μονάδες. Ανάμεσα σε δύο κύτταρα Schwann παρατηρείται ένας κόμβος ο οποίος ονομάζεται κόμβος του Ranvier. Τρίτο και τελευταίο τμήμα του νευρώνα είναι οι δενδρίτες [1-5]. Οι δενδρίτες αποτελούν τις τελικές απολήξεις κάθε νευρώνα και είναι τα συστήματα επικοινωνίας κάθε νευρώνα με τους γειτονικούς του. Οι δενδρίτες καταλήγουν σε συνάψεις οι οποίες καταλήγουν με τη σειρά τους σε ένα τελικό κομβίο το οποίο είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση των δενδριτών ενός άξονα με αυτούς ενός σώματος από έναν γειτονικό νευρώνα. Οι συνάψεις χωρίζονται σε προσυναπτικό (το τελικό κομβίο του δενδρίτη του άξονα) και μετασυναπτικό τμήμα (οι υποδοχείς των δενδριτών των κυτταρικών σωμάτων). Στην επιφάνεια των δύο μερών των συνάψεων υπάρχουν ειδικοί υποδοχείς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την δέσμευση και απελευθέρωση χημικών ενώσεων. Οι νευρώνες του ανθρωπίνου σώματος όμως μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους [6].

Neuron Anatomy

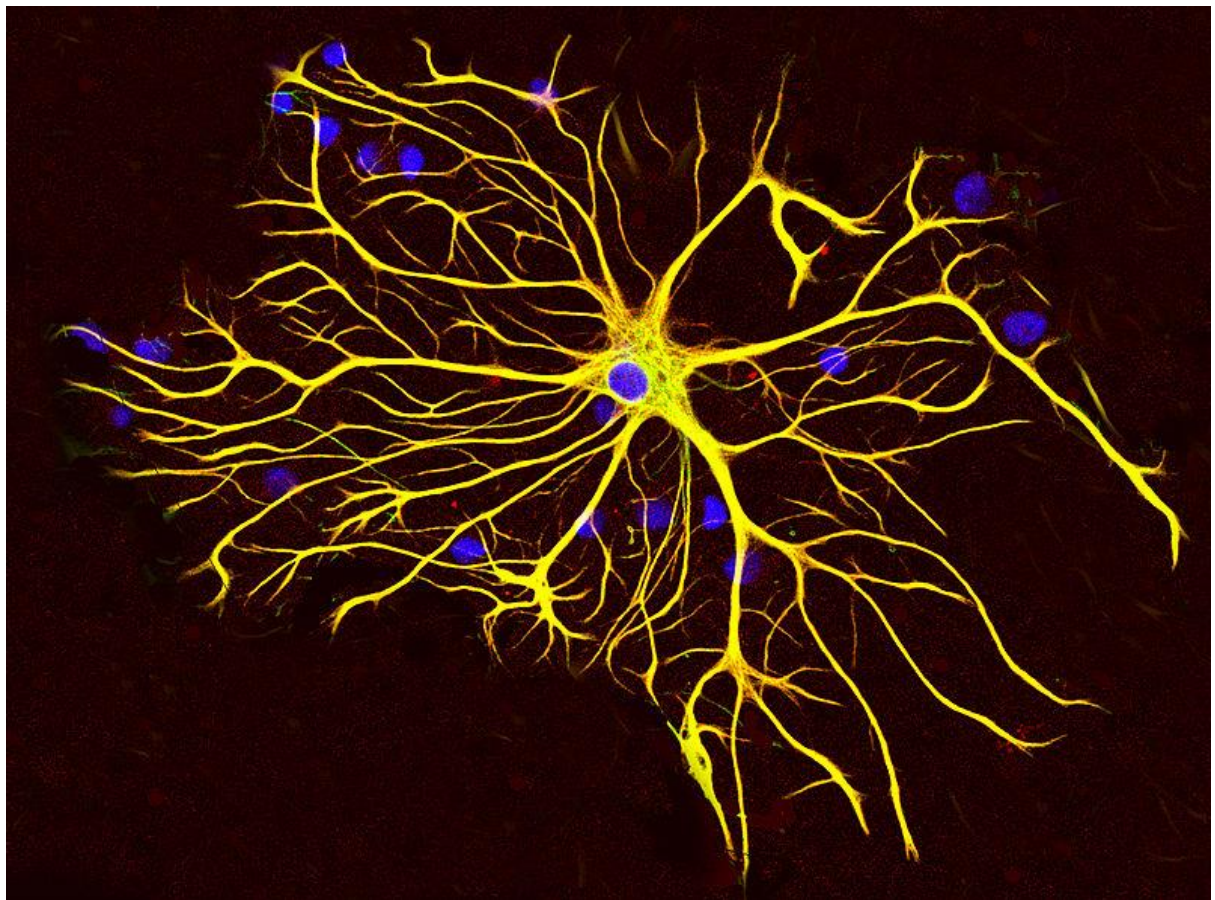


Εικόνα 1. Μοντέλο νευρικού κυττάρου. Στο μοντέλο αυτό είναι εμφανή όλα τα ανατομικά μέρη του νευρώνα τα οποία είναι αναφορικά το σώμα (soma), ο νευράξονας (axon), οι δενδρίτες (dendrite), ο πυρήνας (nucleus), τα τελικά κομβία (axon terminal), τα κύτταρα Schwann από μυελίνη και οι κόμβοι του Ranvier (node of Ranvier). (LifeXchange, 2009)

Οι νευρώνες ανάλογα με την κατανομή του σώματός τους, αλλά και βάση του άξονα τους, διακρίνονται σε μονόπολους, ψευδομονόπολους, δίπολους, αστροκύτταρα και πολυπολικούς (Εικόνες 2,3).



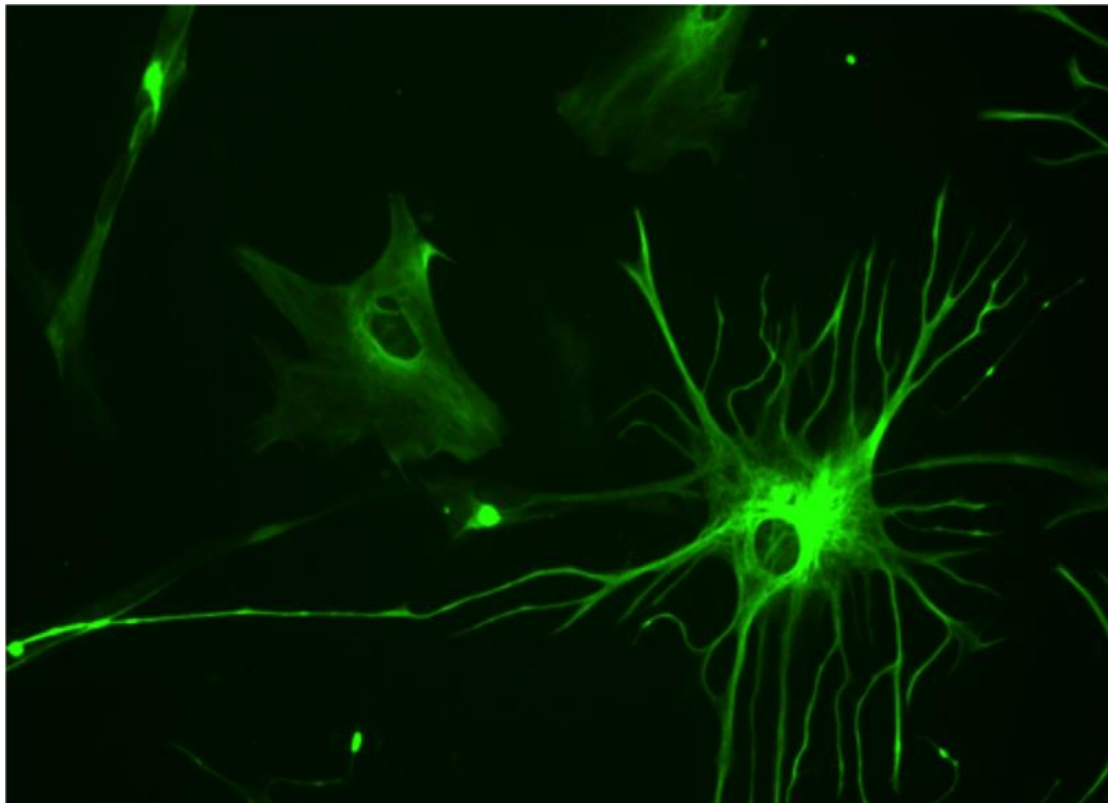
Εικόνα 2. Απεικόνιση νευρώνων. Από αριστερά προς τα δεξιά μονόπολος, δίπολος, ψευδομονόπολος, πολυπολικός (THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND AUSTRALIA, Queensland Brain Institute 2001)



Εικόνα 3. Αστροκύτταρο εγκεφάλου αρουραίου. (EnCor Biotechnology Inc.,1999)

Οι μονόπολοι νευρώνες αποτελούνται από το κυτταρικό σώμα και έναν νευράξονα οποίος καταλήγει σε δενδρίτες. Ειδική περίπτωση αυτών είναι οι ψευδομονόπολοι

νευρώνες οι οποίοι διαθέτουν έναν άξονα ο οποίος διακλαδίζεται σε δύο. Τόσο οι μονόπολοι όσο και οι ψευδομονόπολοι νευρώνες αποτελούν αισθητικούς νευρώνες, δουλειά των οποίων είναι η συλλογή πληροφοριών από τα αισθητήρια όργανα και η μεταφορά τους προς στο κεντρικό νευρικό σύστημα για επεξεργασία. Οι δίπολοι νευρώνες απαρτίζονται από ένα κυτταρικό σώμα και δύο άξονες οι οποίοι προεκβάλλουν από αυτό. Το μήκος των νευρώνων αυτών μπορεί να διαφέρει καθώς ο ένας μπορεί να είναι κατά πολύ μικρότερος από τον άλλον. Ο ρόλος των δίπολων νευρώνων είναι ίδιος με αυτό των μονόπολων και των ψευδομονόπολων. Έπειτα έχουμε τους πολυπολικούς νευρώνες οι οποίοι διαθέτουν ένα κύριο άξονα και αρκετές απολήξεις στο κυτταρικό τους σώμα [7-10]. Οι πολύπολοι νευρώνες επιτρέπουν την διασύνδεση μεταξύ των αισθητικών νευρώνων και του ΚΝΣ και είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά σημάτων από το ΚΝΣ στους γραμμωτούς και λείους μύες του σώματος. Οι πρώτοι ονομάζονται ενδιάμεσοι νευρώνες και οι δεύτεροι κινητικοί με αυτούς να χωρίζονται σε άνω κινητικούς (ανάμεσα στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό) και κάτω κινητικούς (ανάμεσα στους μυς και τον νωτιαίο μυελό), τέλος ιδιαίτερη περίπτωση νευρώνων είναι τα λεγόμενα αστεροκύτταρα. Τα αστεροκύτταρα διαθέτουν ένα κυτταρικό σώμα από το οποίο βγαίνει ένας μεγάλος αριθμός δενδριτών οι οποίοι σχηματίζουν συνάψεις (μερικά αστεροκύτταρα μπορεί να έχουν έως και δύο εκατομμύρια συνάψεις σε μια δεδομένη στιγμή). Βρίσκονται διανεμημένα σε όλο το σώμα καθώς επίσης και στα όργανα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος και διαχωρίζονται σε ινώδη (στη λευκή ουσία) πρωτοπλασμικά (στη φαιά ουσία) και σε αξονικά (σε όλο το σώμα). Τα δύο πρώτα είναι υπεύθυνα για την διασύνδεση με διάφορα οργανίδια (όπως για παράδειγμα τα τριχοειδή του εγκεφάλου) ενώ τα αξονικά παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και μετανάστευση, σε συγκεκριμένες θέσεις, των πρώιμων νευρικών κυττάρων (Εικόνα 4) [9].



Εικόνα 4. Αστροκύτταρα ανθρώπινου εμβρύου 23 εβδομάδων (Bruno Pascal, 2012)

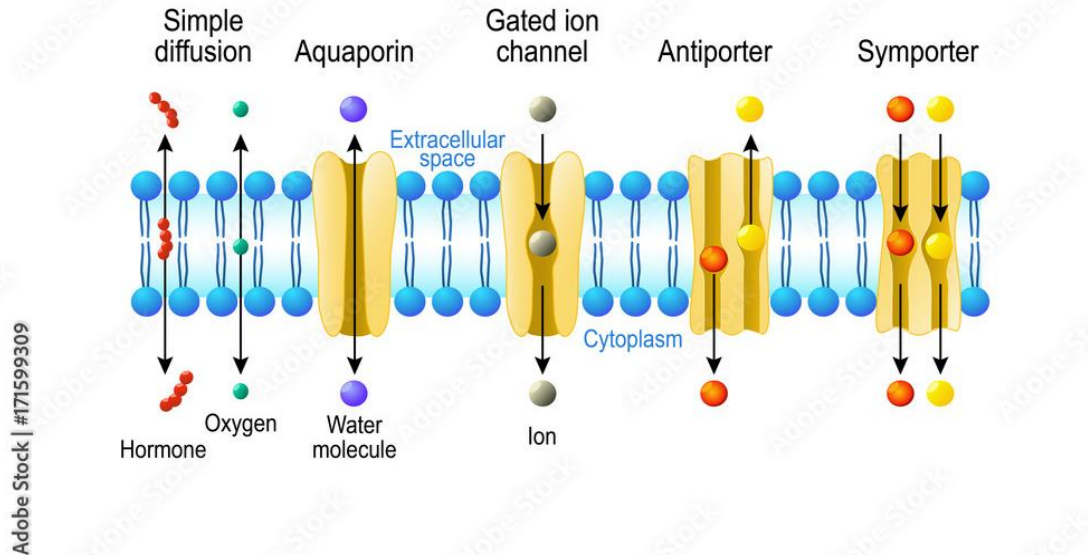
Τα ινώδη και πρωτοπλασματικά κύτταρα συνδυάζονται με τους υπόλοιπους νευρώνες και καθορίζουν τις βασικές λειτουργίες του σώματος μαζί με την διατήρηση των ισορροπιών που είναι απαραίτητες για την ομαλή του λειτουργία καθώς τα οργανίδια με τα οποία συνδέονται είναι υπεύθυνα για την ανίχνευση των επιπέδων της γλυκόζης στο αίμα, ρύθμιση της συγκέντρωσης ιόντων στην εξωκυττάρια ουσία, επισκευή του νευρικού συστήματος και πολλές άλλες [11]. Πως όμως μπορούν και επικοινωνούν μεταξύ τους τα κύτταρα του νευρικού συστήματος ;

2.1.2 Λειτουργία νευρώνων και στοιχεία επικοινωνίας

Όλα τα σωματικά κύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω χημικών σημάτων τα οποία είτε απελευθερώνουν είτε δεσμεύουν τα κύτταρα μέσω των μεμβρανών τους. Στις κυτταρικές μεμβράνες υπάρχουν δομές οι οποίες εξυπηρετούν την λειτουργία διαύλων. Οι διάυλοι αυτοί είναι εξειδικευμένοι στο να επιτρέπουν μόνο σε ένα τύπο ή μια μικρή ομάδα ενώσεων ή στοιχείων να διέρχεται από αυτούς. Πέραν των πόρων αυτών στην επιφάνεια του κυττάρου αλλά και πιο συγκεκριμένα σε συγκεκριμένες περιοχές υπάρχουν σημεία πρόσδεσης ουσιών. Τα σημεία αυτά είναι υποδοχείς ουσιών (όπως πρωτεΐνες, μοριακές ουσίες και άλλα) και είναι υπεύθυνα για την πρόσδεση με αυτές τις ουσίες οι οποίες θα προκαλέσουν κάποιου είδους αντίδραση στο κύτταρο. Οι χημικές ουσίες που αναφέραμε δεν προέρχονται μόνο από το περιβάλλον αλλά παράγονται και από το ίδιο το κύτταρο όταν εκείνο

δέχεται ένα σήμα είτε από το περιβάλλον είτε από ένα γειτονικό του νευρώνα (Εικόνα 5)[1 , 2 , 5].

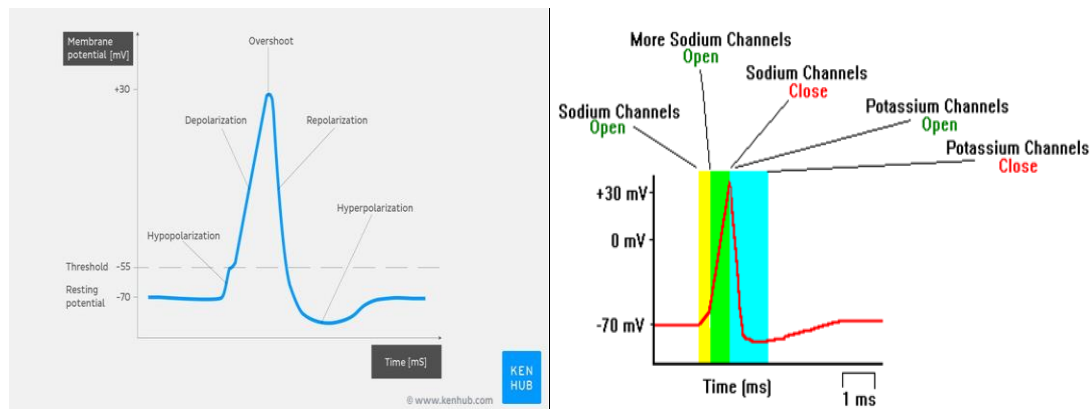
Membrane transporters



Εικόνα 5. Απεικόνιση κυτταρικής μεμβράνης με παραδείγματα μεταφοράς ουσιών μέσω αυτής. Επιγραμματικά, από αριστερά προς τα δεξιά, έχουμε απλή διάχυση, υδατικό πόρο, απλό κανάλι ιόντων, αμφίδρομο κανάλι και διπλό μονόδρομο κανάλι. (THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND AUSTRALIA, Queensland Brain Institute 2010)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο εσωτερικό και το εξωτερικό των μεμβρανών των κυττάρων υπάρχουν ιόντα σε διάφορες συγκεντρώσεις. Τα ιόντα αυτά είναι κυρίως κατιόντα Νατρίου (Na^+), κατιόντα Καλίου (K^+) και ανιόντα Χλωρίου (Cl^-). Οι συγκεντρώσεις των ιόντων αυτών δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού μεταξύ του κυτταροπλάσματος (εσωτερικό κυττάρου) και του εξωκυττάρου χώρου (εξωτερικό της μεμβράνης) με το εσωτερικό να είναι αρνητικά φορτισμένο σε σχέση με το εξωτερικό. Η διαφορά δυναμικού αυτή ονομάζεται δυναμικό της μεμβράνης. Όταν ένα κύτταρο βρίσκεται σε ηρεμία τότε λέμε πως η μεμβράνη του είναι πολωμένη, η πόλωση αυτή αναφέρεται στο ότι το εσωτερικό της μεμβράνης είναι πιο αρνητικό από το εξωτερικό με το δυναμικό ηρεμίας του κυττάρου να βρίσκεται στα -70mV περίπου. Τι γίνεται τώρα όταν ένα κύτταρο εκτεθεί σε κάποιο ερέθισμα ; Η διαδικασία την οποία ακολουθεί κάθε κύτταρο χωρίζεται σε τρία στάδια. Αρχικά το κύτταρο λαμβάνει το ερέθισμα και εισέρχεται στην κατάσταση υποπόλωσης (hyperpolarization). Στην κατάσταση αυτή το δυναμικό της μεμβράνης του κυττάρου μεταβάλλεται και αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά μέχρι ένα συγκεκριμένο κατώφλι δυναμικού το οποίο βρίσκεται στα -55mV με αποτέλεσμα το άνοιγμα των καναλιών (διαύλων) Νατρίου τα οποία επιφέρουν μια απότομη αύξηση του δυναμικού και έτσι έχουμε την αποπόλωση (depolarization) της μεμβράνης του κυττάρου. Κατά την αποπόλωση το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται ολοένα και πιο ηλεκτροθετικό.

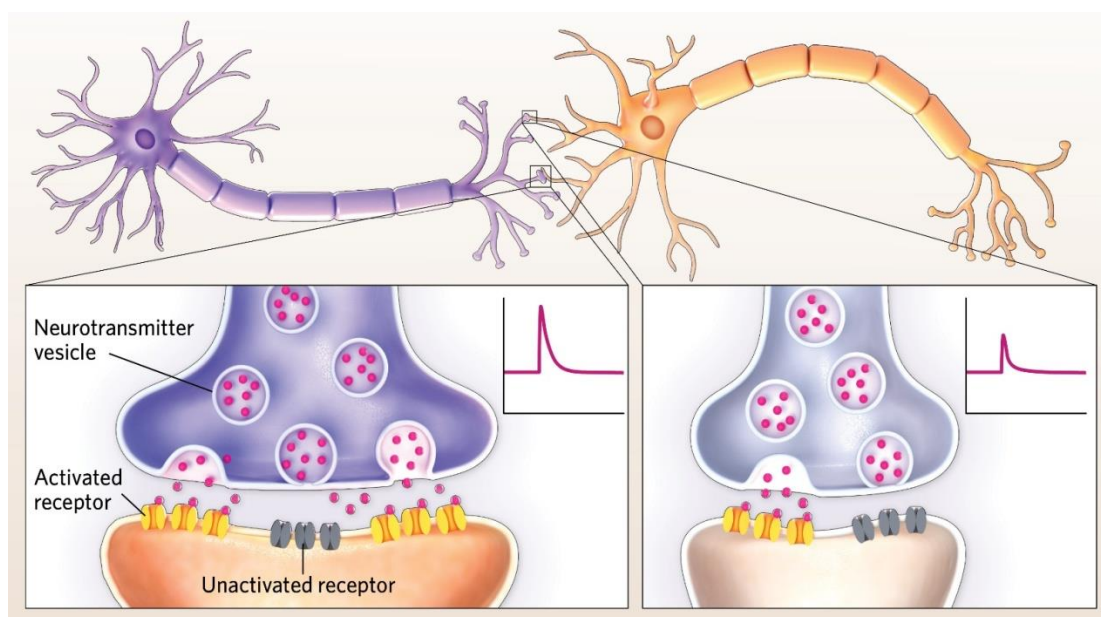
Κατά την είσοδο των ιόντων Νατρίου το εσωτερικό της μεμβράνης μεταβάλλει το δυναμικό του φτάνοντας τελικά τα +61mV, δυναμικό το οποίο είναι κοντά στο δυναμικό ισορροπίας του Νατρίου (κατά το δυναμικό ισορροπίας η διέλευση ιόντων σταματά καθώς οι συγκεντρώσεις τείνουν γίνουν ίδιες και επομένως είναι αδύνατη η μεταφορά μέσω διάχυσης). Αυτή η απότομη άνοδος του δυναμικού είναι η δεύτερη φάση και ονομάζεται overshoot. Η κατάσταση του overshoot προκαλεί το άνοιγμα των διαύλων Καλίου στη μεμβράνη και έτσι έχουμε την κίνηση ιόντων καλίου από το εξωτερικό στο εσωτερικό καταλήγοντας έτσι στην τελική φάση κατά την οποία το δυναμικό της μεμβράνης αρχίζει πάλι να ελαττώνεται. Η φάση αυτή ονομάζεται επαναπόλωση (repolarization) της μεμβράνης και σκοπός της είναι η επαναφορά του δυναμικού της μεμβράνης στο δυναμικό ηρεμίας. Να σημειωθεί εδώ πως η επαναπόλωση της μεμβράνης οδηγεί πάντα σε μια υπερπόλωση κατά την οποία το δυναμικό της μεμβράνης γίνεται πιο αρνητικό από τα -70mV, γεγονός που δεν κρατά για πολύ καθώς το δυναμικό επανέρχεται στην φυσιολογική του τιμή μετά από λίγο (Εικόνα 6). Το overshoot, λοιπόν, δημιουργεί ένα ηλεκτρικό έπαρμα το οποίο δρα ως ηλεκτρικός παλμός. Ο παλμός αυτός, ταξιδεύει κατά μήκος του νευρώνα και αποτελεί την νευρική ώση, η οποία είναι και το μήνυμα το οποίο μεταφέρει το νευρικό κύτταρο. Η ώση αυτή ξεκινά από το αισθητήριο όργανο του κυττάρου (σε κάποιες περιπτώσεις αυτό είναι το ίδιο το κυτταρικό σώμα) και καταλήγει στους δενδρίτες του άξονα προκειμένου να μεταδοθεί στα επόμενα νευρικά κύτταρα. Το σήμα αυτό μπορεί είτε να προέρχεται από την περιφέρεια με κατεύθυνση το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα αλλά και το ανάποδο, καθώς η νευρική ώση αποτελεί την μοναδική μορφή μεταφοράς πληροφορίας για τους νευρώνες [4, 5].



Εικόνα 6. Διαγραμματική απεικόνιση των φάσεων διαταραχής δυναμικού ηρεμίας σε διάγραμμα τάσης-χρόνου (Giulia Parodi, 2003, <https://faculty.washington.edu/chudler/ap.html>)

Όταν η νευρική ώση φτάσει στις συνάψεις μεταξύ δενδριτών του άξονα και των υποδοχών του αισθητικού τμήματος του επόμενου νευρώνα τότε απελευθερώνονται χημικές ουσίες (νευροδιαβιβαστές) οι οποίες είναι υπεύθυνες για την διέγερση του επόμενου νευρώνα και κατ' επέκταση την διαταραχή της ισορροπίας της μεμβράνης για την συνέχιση του σήματος (Εικόνα 7). Το κάθε σήμα το οποίο μεταφέρουν οι νευρώνες διαφέρει τόσο σε σημασία όσο και σε ένταση. Το γεγονός αυτό γίνεται αντιληπτό από τους νευρώνες μέσω της ποσότητας

απελευθέρωσης νευροδιαβιβαστών. Όσο πιο έντονο ή σημαντικό είναι ένα μεταφερόμενο σήμα τόσο περισσότερους νευροδιαβιβαστές θα απελευθερώσει ο νευρώνας που μεταφέρει το σήμα. Με τον τρόπο αυτό ο νευρώνας που θα λάβει το σήμα θα είναι σε θέση να προσδιορίσει την σημαντικότητα και την ένταση αυτού προκειμένου να το μεταφέρει αναλόγως. Σύμφωνα με μελέτες από το πανεπιστήμιο του Τόκιο, η ένταση ενεργοποίησης ενός νευρώνα καθορίζει τον αριθμό των νευρώνων τους οποίους αυτός θα ενεργοποιήσει με τη σειρά του. Με αυτή τη μέθοδο όταν το σήμα φτάσει στον εγκέφαλο για επεξεργασία θα είναι σε θέση να το αναλύσει αναλογικά και έτσι να καθορίσει με ευκολία την σημαντικότητά του και κατ' επέκταση να ενεργήσει ανάλογα.



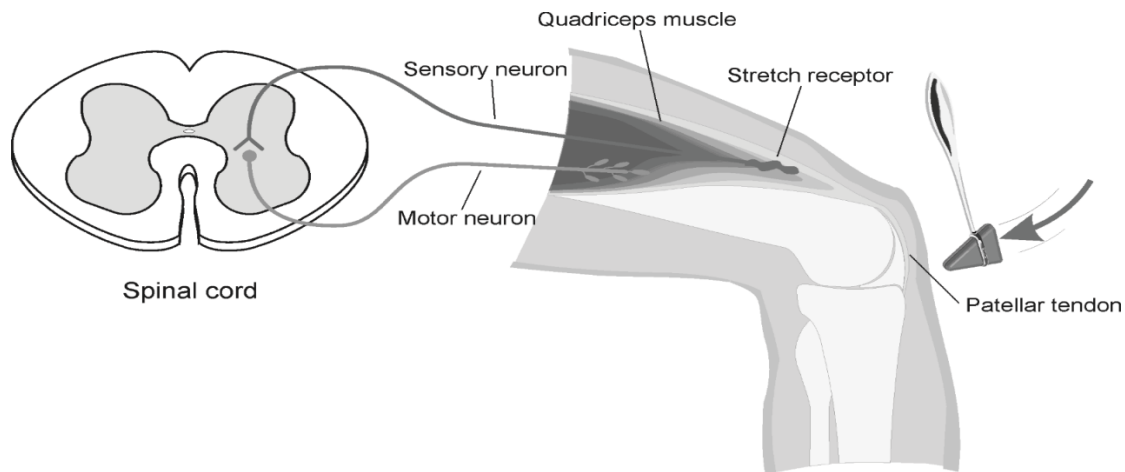
Εικόνα 7. Απεικόνιση της συναπτικών περιοχών μεταξύ δυο νευρώνων. Στην δεξιά περίπτωση παρατηρούμε μικρή απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και επομένως μικρή ενεργοποίηση του νευρώνα (πράγμα που φαίνεται και από το διάγραμμα) σε αντίθεση με την αριστερή όπου έχουμε μεγάλη ποσότητα απελευθερωμένων νευροδιαβιβαστών και επομένως έντονη ενεργοποίηση. Οι φυσαλίδες στο μπλε νευρώνα είναι φυσαλίδες με νευροδιαβιβαστές και στον κίτρινο νευρώνα παρατηρούμε υποδοχείς. Οι γκρι υποδοχείς δεν έχουν δεσμεύσει κάποια ουσία και επομένως δεν έχουν ενεργοποιηθεί ενώ οι κίτρινοι είναι ενεργοποιημένοι μετά από τη δέσμευση της ουσίας [Περιοδικό The Science Magazine, 2021].

Στο Περιφερειακό Νευρικό Σύστημα οι νευρώνες είναι διανεμημένοι σε όλη τη περιφέρεια και σε μερικές περιπτώσεις παρουσιάζουν δεσμίδες. Αντίθετα, στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα οι νευρώνες βρίσκονται σε στενή επαφή και παρουσιάζουν μεγάλες ομάδες. Οι δύο κύριες ομάδες είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός [6].

2.2 Νωτιαίος μυελός

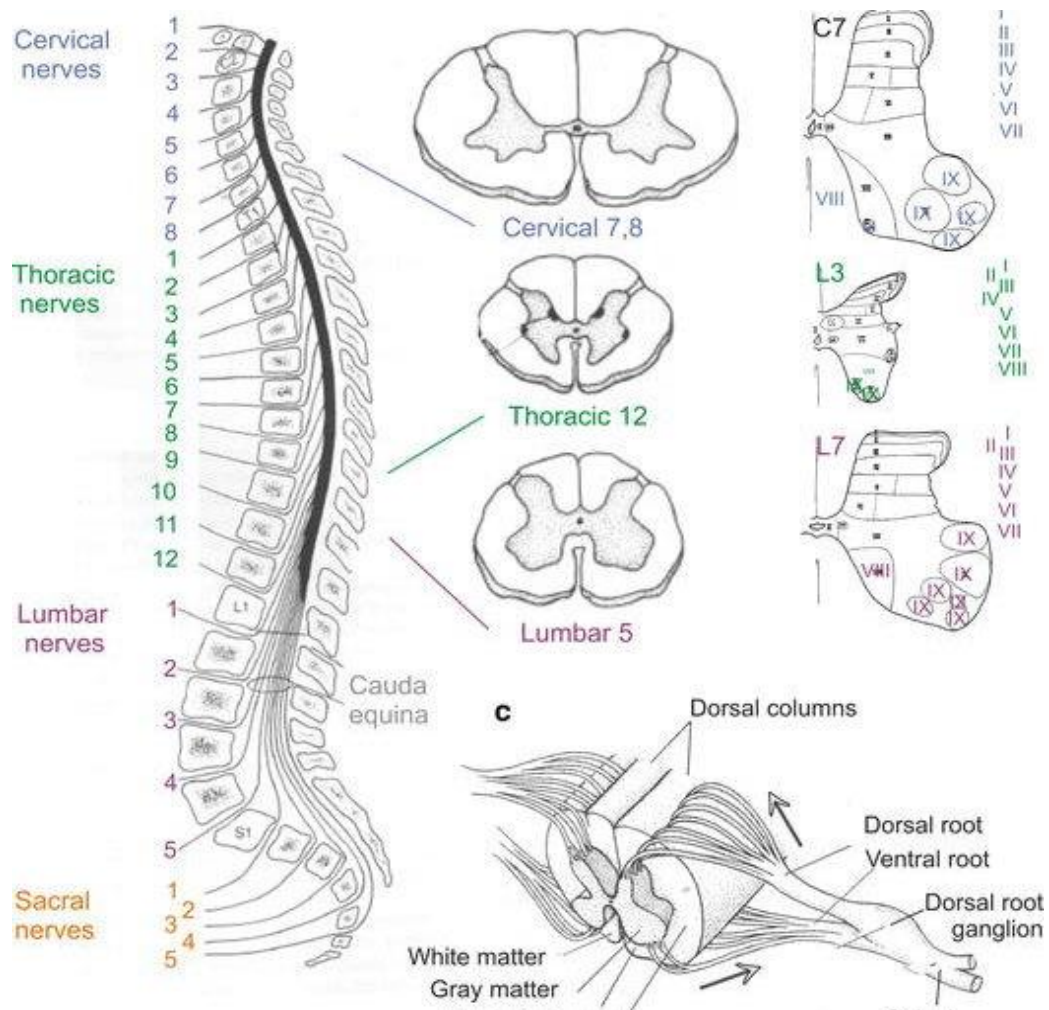
Ο νωτιαίος μυελός αποτελεί το δεύτερο όργανο του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Ξεκινά από την περιοχή του αυχένα και ταξιδεύει στο εσωτερικό του σπονδυλικού σωλήνα μέχρι το ύψος των πρώτων οσφυϊκών σπονδύλων. Ο νωτιαίος μυελός αποτελείται από νευρώνες στενά συνδεδεμένους μεταξύ τους και μια

εγκάρσια τομή του αναδεικνύει την ύπαρξη δύο περιοχών την. Η πρώτη είναι στο εσωτερικό και αποτελεί την φαιά ουσία και η δεύτερη την περιβάλλει εξωτερικά και αποτελείται από λευκή ουσία. Η φαιά ουσία απαρτίζεται κυρίως από τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων ενώ η λευκή από του άξονες αυτών. Ο νωτιαίος μυελός αποτελεί τον “αγγελιοφόρο” του σώματος καθώς είναι υπεύθυνος για την συλλογή, και μεταφορά στον εγκέφαλο, όλων των σημάτων που προέρχονται από τα περιφερειακά αισθητήρια όργανα. Μια νευρική ώση ξεκινά από ένα σημείο του σώματος και οι αλληπάλληλοι νευρώνες την οδηγούν μέσω του νωτιαίου μυελού στον εγκέφαλο [4-5]. Το ίδιο όμως συμβαίνει και από την ανάποδη καθώς μέσω του νωτιαίου μυελού ένα σήμα που ξεκινά από τον εγκέφαλο καταλήγει σε ένα από τα κινητικά όργανα του σώματος. Σημαντικό, είναι εδώ να αναφέρουμε πως δεν ακολουθούν όλα τα σήματα την ίδια οδό (αισθητήριο όργανο => νωτιαίος μυελός => εγκέφαλος => νωτιαίος μυελός => κινητήριο όργανο), καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που μια αντίδραση λαμβάνει χώρα χωρίς το σήμα να ταξιδέψει στον εγκέφαλο. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν τα αντανακλαστικά. Τα αντανακλαστικά είναι ειδικές περιπτώσεις αντιδράσεων κατά τις οποίες ένα σήμα ξεκινά από μια συγκεκριμένη περιοχή ταξιδεύει μέχρι τον νωτιαίο μυελό και επιστρέφει πίσω για να δημιουργήσει την ανάλογη αντίδραση [6]. Ένα παράδειγμα αυτού αποτελεί το αντανακλαστικό του γονάτου κατά το οποίο το νεύρο που βρίσκεται κάτω από την επιγονατίδα ερεθίζεται (όταν για παράδειγμα σκοντάψουμε). Το σήμα ταξιδεύει μέσω του αισθητικού νευρώνα μέχρι τον νωτιαίο μυελό όπου συνδέεται με τους κινητικούς νευρώνες άμεσα. Οι κινητικοί νευρώνες τότε επιστρέφουν το σήμα χωρίς να υπάρξει ενδιάμεση επεξεργασία και προκαλούν την σύσπαση του τετρακέφαλου με αποτέλεσμα την έκταση της κνήμης. Αυτή η σχέση μεταξύ των νευρώνων αποτελεί ένα αντανακλαστικό τόξο (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Διαγραμματική απεικόνιση του αντανακλαστικού του γονάτου. Η διέγερση του επιγονατιδικού τένοντα (patellar tendon) ενεργοποιεί τον υποδοχέα τεντώματος (stretch receptor) ο οποίος βρίσκεται επί του τετρακέφαλου μυ. Ο υποδοχέας με τη σειρά του ενεργοποιεί έναν αισθητικό νευρώνα ο οποίος συνδέεται με έναν κινητικό στον σπονδυλικό σωλήνα. Το σήμα ταξιδεύει άμεσα από τον έναν στον άλλο και επιστρέφει στον τετρακέφαλο προκαλώντας την έκτασή του [Vernier Institute, 2007].

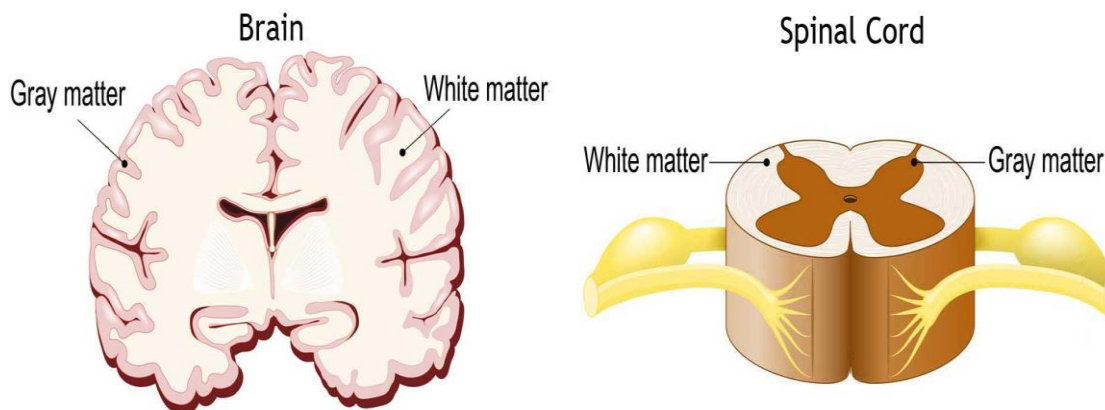
Πέραν όμως της μεταφοράς μηνυμάτων ο νωτιαίος μυελός είναι υπεύθυνος και για μεγάλο αριθμό ακούσιων λειτουργιών όπως για παράδειγμα η ρύθμιση του καρδιακού και πνευμονικού ρυθμού καθώς επίσης και για την επίβλεψη της λειτουργίας του εντέρου και της ουροδόχου κύστης, μαζί με άλλες. Οι λειτουργίες αυτές δεν απαιτούν την εμπλοκή του εγκεφάλου καθώς οι μύες που τις διατελούν είναι κυρίως λείοι, οι οποίοι λειτουργούν ακούσια και το μόνο που χρειάζονται είναι καθοδήγηση σχετικά με τον ρυθμό λειτουργίας τους. Ο νωτιαίος μυελός λοιπόν αποτελεί το κέντρο ελέγχου για αυτές τις λειτουργίες απαλλάσσοντας τον εγκέφαλο από ένα μεγάλο φορτίο και επομένως διευκολύνοντας την λειτουργία του. Από τον νωτιαίο μυελό εκφύονται 31 ζεύγη νευρώνων οι οποίοι ταξιδεύουν σε όλο το σώμα. Οι νευρώνες αυτοί ξεκινούν από όλο το μήκος της σπονδυλικής στήλης με δύο περιοχές να αποτελούν τις κυριότερες. Η μεν πρώτη είναι στο αυχενικό όγκωμα και ονομάζεται συμπαθητική ή θωρακοσφυϊκή υποδιαίρεση, με τα νεύρα της να ταξιδεύουν κυρίως προς τον θώρακα και τα περιεχόμενα σε αυτόν όργανα, και η δε δεύτερη στο οσφυοϊερό όγκωμα, με τα νεύρα να κατευθύνονται προς την κοιλιακή χώρα και την περιοχή της πυέλου και τα περιεχόμενα σε αυτή όργανα (Εικόνα 9) [7- 9].



Εικόνα 9. Απεικόνιση του νωτιαίου μυελού εντός του σπονδυλικού σωλήνα και των νευρών που αποφύονται από αυτόν [Elzbieta Jankowska, 2013].

2.3 Εγκέφαλος

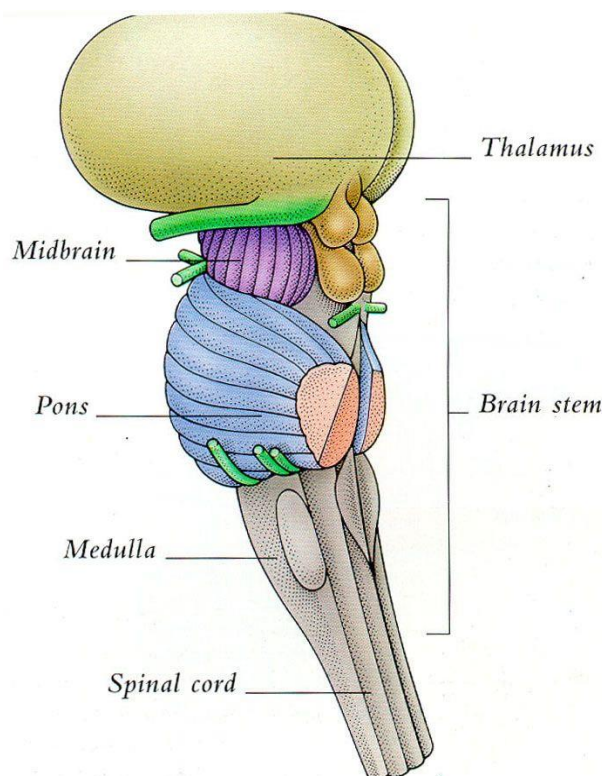
Ο εγκέφαλος είναι το κέντρο ελέγχου όλου του ανθρωπίνου σώματος. Βρίσκεται προστατευμένος στο εσωτερικό της κρανιοεγκεφαλικής κοιλότητας. Αποτελείται από δέσμες νευρώνων πολύ στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Κατά μέσο όρο ο ανθρωπίνος εγκέφαλος αποτελείται από ογδόντα έξι δισεκατομμύρια νευρώνες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση όλων των εγκεφαλικών λειτουργιών. Σε αντίθεση με τον νωτιαίο μυελό ο εγκέφαλος διαθέτει εξωτερικά φαιά ουσία (η οποία αποτελείται από τα κυτταρικά σώματα και τις μη μελωμένες νευρικές απολήξεις των νευρώνων) και εσωτερικά την λευκή ουσία (η οποία είναι κατά κύριο λόγο οι μελωμένοι νευράξονες των νευρώνων) (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Τομές από εγκέφαλο (αριστερά) και νωτιαίο μυελό (δεξιά) όπου εμφανίζονται η λευκή ουσία (white matter) και η φαιά ουσία (grey matter) [John Hopkins Medicine, 2015].

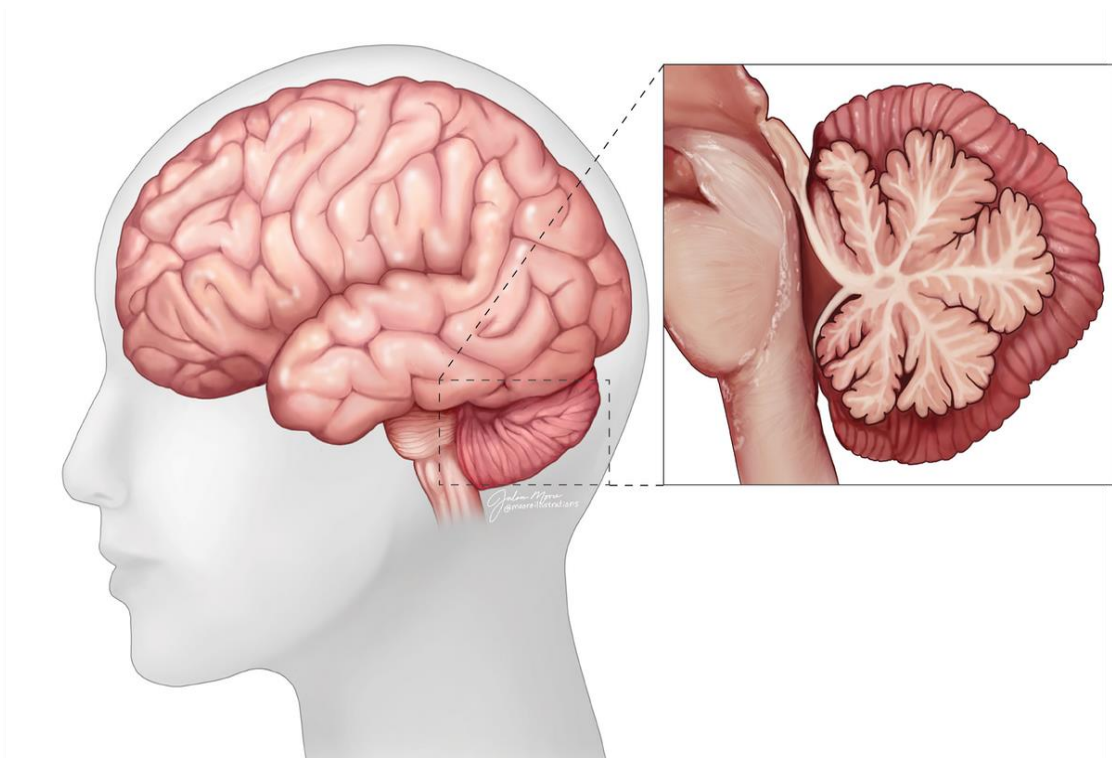
Η φαιά ουσία αποτελεί τον φλοιό του εγκεφάλου. Ο φλοιός είναι ένα λεπτό στρώμα πάχους 2-4 mm και διαδραματίζει καίριο ρόλο στις ανώτερες εγκεφαλικές λειτουργίες όπως είναι η συνείδηση, η γλώσσα, η προσοχή, η μνήμη, σκέψη και η αντίληψη. Στην επιφάνεια του εγκεφάλου παρουσιάζονται εγκολπώσεις, σχισμές, οι οποίες καλούνται έλικες και αύλακες. Ρόλος αυτών είναι η αύξηση της εγκεφαλικής επιφάνειας και επομένως η αύξηση του εγκεφαλικού φλοιού αυξάνοντας έτσι τις ικανότητες του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος χωρίζεται σε τρία διακριτά ανατομικά μέρη τον κύριο εγκέφαλο, την παρεγκεφαλίδα και το στέλεχος [8 , 10]. Σύμφωνα με τους ερευνητές, όμως, υπάρχει πληθώρα διαιρέσεων όμως η πιο διαδεδομένη είναι η εμβρυολογική. Κατά τη διαίρεση αυτή ο εγκέφαλος χωρίζεται σε πέντε μοίρες τον τελικό εγκέφαλο (τα εγκεφαλικά ημισφαίρια) τον ενδιάμεσο, τον μέσο, τον οπίσθιο (γέφυρα και παρεγκεφαλίδα) και τον έσχατο εγκέφαλο (προμήκης μυελός). Το στέλεχος αποτελείται από τον μέσο εγκέφαλο ο οποίος είναι το πιο πρόσθιο τμήμα του και μέσω αυτού πορεύεται ο υδραγωγός του εγκεφάλου (Εικόνα 11). Κάτω από τον μέσο εγκέφαλο βρίσκεται η γέφυρα. Η γέφυρα συνδέει τον μέσο εγκέφαλο με τον προμήκη μυελό και η μορφολογία της δίνει την εντύπωση πως ενώνει τα δύο ημισφαίρια της παρεγκεφαλίδας. Η γέφυρα έχει παχιά δομή και αποτελείται από μεγάλο αριθμό δεσμίδων νευρώνων οι οποίες αποτελούν νευρικές οδούς. Οι οδοί αυτές έχουν ως ρόλο την σύνδεση διαφόρων σημείων μεταξύ τους. Η σημαντικότερη μεταξύ άλλων είναι η νευρική οδός που συνδέει τον εγκεφαλικό

φλοιό με την παρεγκεφαλίδα και προσφέρει επικοινωνία μεταξύ των δύο τμημάτων. Επιπλέον η γέφυρα είναι υπεύθυνη για την μεταφορά των νευρώνων προς τον προμήκη μυελό. Το τελευταίο τμήμα του στελέχους είναι ο προμήκης μυελός. Ο προμήκης είναι το σημείο αλλαγής από τον εγκέφαλο προς τον νωτιαίο μυελό. Στο ύψος του προμήκους μυελού η φαιά ουσία αλλάζει θέση και από το εξωτερικό πάει στο εσωτερικό του νωτιαίου μυελού και το ανάλογο η λευκή ουσία [9-11].



Εικόνα 11. Εγκεφαλικό στέλεχος [McCabism, 2009].

Πίσω από το εγκεφαλικό στέλεχος υπάρχει η παρεγκεφαλίδα (Εικόνα 12). Η παρεγκεφαλίδα έχει δομή παρόμοια με αυτή του εγκεφάλου, καθώς διαθέτει φλοιό που αποτελείται από φαιά ουσία και στο εσωτερικό της υπάρχει λευκή ουσία. Ρόλος της παρεγκεφαλίδας είναι ο συντονισμός των κινήσεων καθώς επίσης και η διατήρηση της μυϊκής τάσης για την διατήρηση της όρθιας στάσης του σώματος. Στην παρεγκεφαλίδα καταλήγουν αισθητικά μηνύματα από το σώμα προκειμένου να προκληθούν ομαδικές κινήσεις μυών. Η παρεγκεφαλίδα με τη σειρά της διαχωρίζεται σε τρεις περιοχές την αρχαιοπαρεγκεφαλίδα, η οποία είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ισορροπίας και της κίνησης των ματιών και του κεφαλιού, τη παλαιοπαρεγκεφαλίδα, ρόλος της οποίας είναι ο συντονισμός κινήσεων των εγγύς τμημάτων των κάτω και άνω άκρων και τέλος την νεοπαρεγκεφαλίδα η οποία είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό και την επικοινωνία του εγκεφαλικού φλοιού με τα άπω τμήματα των άκρων (επί παραδείγματι σχεδιάζει και συντονίζει την κίνηση του χεριού όταν θελήσουμε να σηκώσουμε ένα αντικείμενο)[11-12].



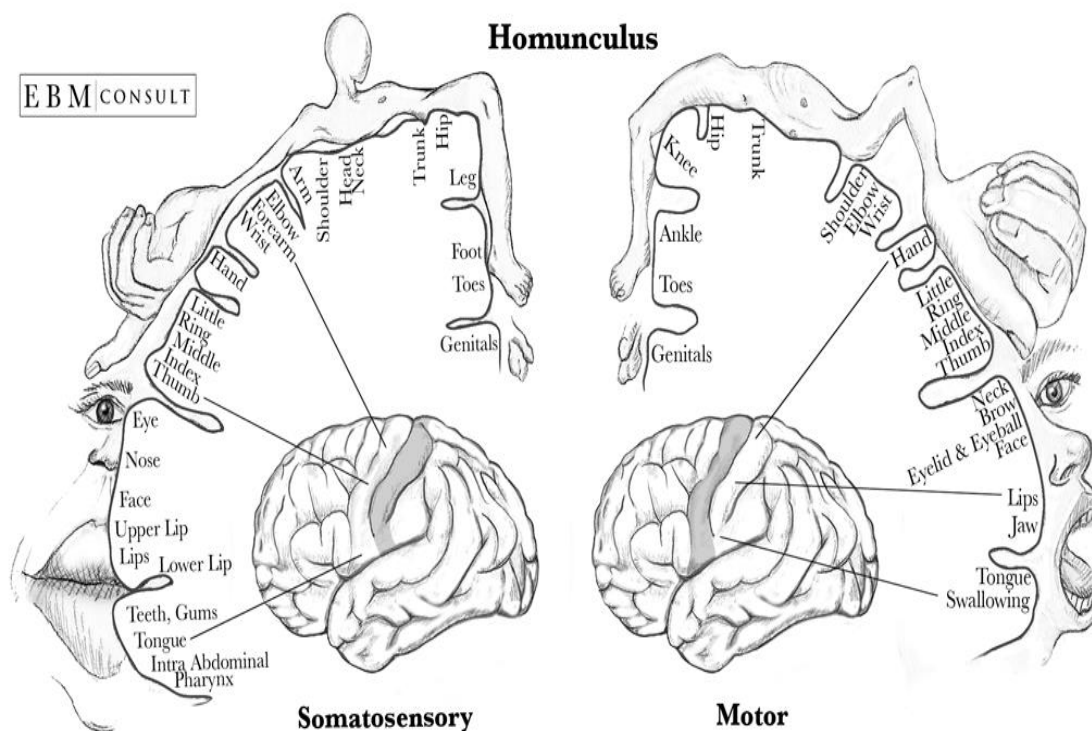
Εικόνα 12. Απεικόνιση της παρεγκεφαλίδας και τομής αυτής [The Scientist, 2022].

Περνάμε τώρα στον τελικό εγκέφαλο. Είναι το μεγαλύτερο κομμάτι του κεντρικού νευρικού συστήματος και αποτελείται από δύο ημισφαίρια. Τα ημισφαίρια του εγκεφάλου χωρίζονται μεταξύ τους στο ανώτερο τμήμα τους, στο δρέπανο του εγκεφάλου, από όπου ξεκινά η επιμήκης σχισμή, η οποία είναι η βαθύτερη από τις αύλακες του εγκεφάλου. Τα δύο ημισφαίρια συνδέονται μεταξύ τους με μια δομή που ονομάζεται μεσολόβιο. Το μεσολόβιο αποτελείται από μια πυκνή δεσμίδα αξόνων (και είναι ο πυθμένας της επιμήκου σχισμής) νευροκυττάρων και έχει ως ρόλο τον συντονισμό της παράλληλης λειτουργίας των ημισφαιρίων, πράγμα που επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των ημισφαιρίων. Τα ημισφαίρια του εγκεφάλου μπορούν να διαιρεθούν και περαιτέρω στο νεοχιτώνιο και τον ρινικό εγκέφαλο. Ο ρινικός εγκέφαλος είναι το εγκεφαλικό τμήμα υπεύθυνο για όλες τις διεργασίες σχετικά με την όσφρηση πάνω του υπάρχουν εξειδικευμένες περιοχές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την συλλογή και επεξεργασία όλων των σημάτων από τα αισθητήρια όργανα της όσφρησης [12].

Το νεοχιτώνιο αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του εγκεφάλου. Χωρίζεται και αυτό σε ανατομικές περιοχές τους λοβούς. Ο κάθε λοβός ονομάζεται ανάλογα με το ποιό κρανιακό οστό-πλάκα το καλύπτει. Έτσι λοιπόν, έχουμε τον μετωπιαίο λοβό ο οποίος είναι στο πρόσθιο μέρος της κρανιακής κοιλότητας. Ο μετωπιαίος λοβός έχει τρεις επιφάνειες την άνω, την έσω και την κάτω. Στην εγκεφαλική αυτή περιοχή συναντάμε κέντρα τα οποία σχετίζονται κυρίως με κίνηση και ανώτερες πνευματικές λειτουργίες. Πιο αναλυτικά ο μετωπιαίος λοβός είναι υπεύθυνος για ενέργειες σχετικές με την ενεργοποίηση της κίνησης, καθώς εδώ συναντάμε τον πρωτοταγή κινητικό φλοιό. Στο έσω τμήμα υπάρχει ο συμπληρωματικός κινητικός φλοιός και η προκινητική περιοχή σκοπός των οποίων είναι η εκμάθηση διαφόρων

κινήσεων μαζί με τον εκ των προτέρων σχεδιασμό τους. Ακόμη παρουσιάζονται περιοχές σχετικές με την ενεργοποίηση του άνω άκρου και με την εκούσια κίνηση των ματιών. Τέλος ένα μεγάλο τμήμα του μετωπιαίου λοβού σχετίζεται, όπως αναφέραμε, με τις ανώτερες πνευματικές λειτουργίες. Ο λοβός διαθέτει ειδικές περιοχές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την διαμόρφωση της προσωπικότητας του ατόμου, τη μνήμη, τις ανώτερες γνωστικές εργασίες όπως είναι η επίλυση προβλημάτων, την έκφραση ομιλίας σε συνδυασμό με την κίνηση της γλώσσας. Δύο εξαιρετικά εξειδικευμένες περιοχές του μετωπιαίου λοβού σχετίζονται με την δημιουργία κινήτρων για το άτομο τα οποία συμβάλουν στην προσήλωση του και με την ανάπτυξη των συναισθημάτων (η δεύτερη, αυτή, λειτουργία δεν υπάρχει μόνο στον μετωπιαίο λοβό αλλά η ανάπτυξη της δρα συνεργατικά με διάφορα τμήματα του εγκεφάλου τα οποία διαθέτουν παρόμοιες περιοχές) [12].

Στην περιοχή κεντρικά όλων των λοβών υπάρχει ο βρεγματικός λοβός ο οποίος διαθέτει άνω και έξω επιφάνειες. Κύριος ρόλος του βρεγματικού λοβού είναι η πρωτοταγής σωματοαισθητική αντίληψη, με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στον διαχωρισμό περιοχών πάνω στην επιφάνεια του λοβού οι οποίες σχετίζονται με την δημιουργία αισθήσεων σε διάφορες περιοχές του σώματος (χαρακτηριστικό είναι το ανθρωπάριο του Penfield (Εικόνα 13) το οποίο αποτελεί μια πρώιμη προσπάθεια απεικόνισης των περιοχών του σώματος που διεγείρονται αναφορικά με τη περιοχή του βρεγματικού λοβού). Ανάλογα με τον αν το άτομο είναι αριστερόχειρα, δεξιόχειρας, άντρας ή γυναίκα (χαρακτηριστικά που καθορίζουν το ποιο θα είναι το επικρατές ημισφαίριο) στο ανάλογο ημισφαίριο στον βρεγματικό λοβό θα υπάρξει ανάπτυξη ειδικών περιοχών. Οι περιοχές αυτές σχετίζονται με την καταμέτρηση δομών (απαρίθμηση στοιχείων και μέτρημα), τους μαθηματικούς υπολογισμούς σε ανώτερο επίπεδο (πολλαπλασιασμός στοιχείων κλπ), την επεισοδιακή ανάκτηση αναμνήσεων (αναθύμηση συγκεκριμένων σεναρίων τα οποία έχει βιώσει το άτομο) και την ορθογραφική μνήμη. Επιπλέον στον βρεγματικό λοβό λαμβάνουν χώρα πλήθος διαδικασιών συσχέτισης. Οι διαδικασίες αυτές αφορούν την οπτικοχωρική επεξεργασία δηλαδή την αντίληψη του χώρου βάσει οπτικών δεδομένων (στο υπολειπόμενο ημισφαίριο), την μετατροπή γραφημάτων σε σειρά λέξεων για την ερμηνεία και αναμετάδοσή τους και τέλος, διάφορες άλλες οπτικές διαδικασίες όπως η αναγνώριση γνωστών σε εμάς προσώπων και η ανάγνωση [10].

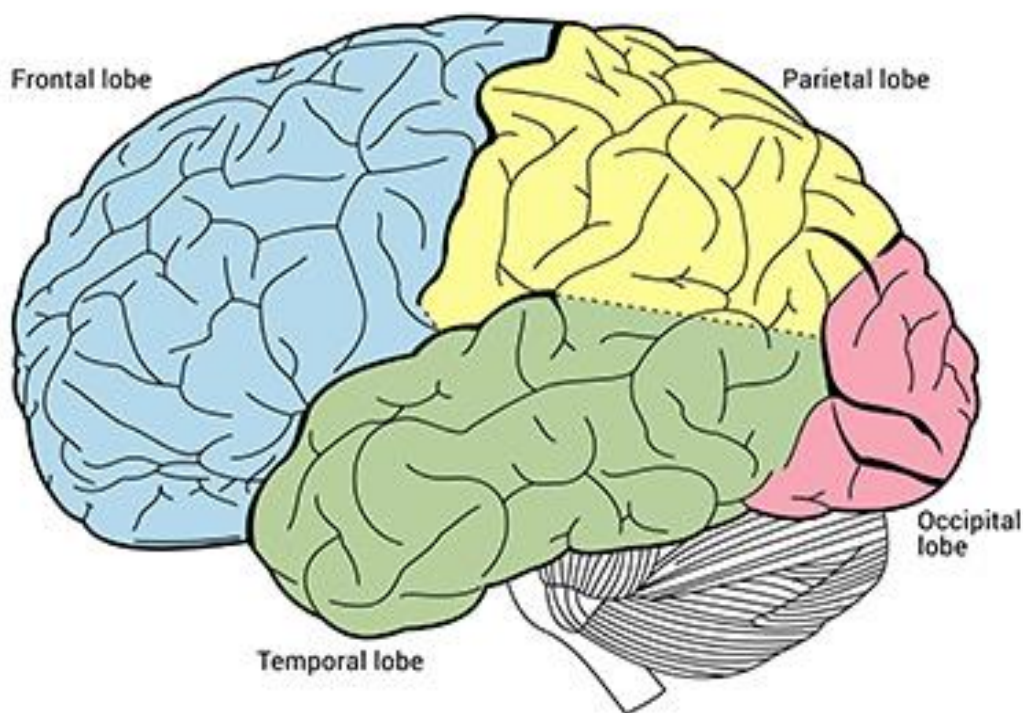


Εικόνα 13. Διαγραμματική απεικόνιση του ανθρωπάριου του Penfield. Αριστερά έχουμε την απεικόνιση σχετικά με την σωματοαισθητική διέγερση των εγκεφαλικών περιοχών και δεξιά την απεικόνιση σχετικά με την κινητική αντίδραση στα ερεθίσματα που λαμβάνουμε [EMB consult, 2009].

Κάτω από τον βρεγματικό υπάρχει ο κροταφικός λοβός (διαχωρισμός μέσω της σχισμής του Sylvius) ο οποίος παρουσιάζει μια προεκβολή προς τα εμπρός του εγκεφάλου. Στον κροταφικό λοβό εδράζονται ο πρωτοταγής και δευτεροταγής ακουστικός φλοιός που μαζί συνθέτουν τον ακουστικό φλοιό του ατόμου. Στο πρόσθιο τμήμα του κροταφικού λοβού υπάρχει το τμήμα του εγκεφάλου υπεύθυνο για την μνημονική και συνειρμική συσχέτιση ήχων (στη περιοχή αυτή ο εγκέφαλος συνδυάζει και συσχετίζει πρόσφατα ακούσματα με ακούσματα του παρελθόντος). Στον ακουστικό φλοιό ο εγκέφαλος καταγράφει συχνότητες τις οποίες έχει ακούσει και τις οποίες διαχωρίζει βάσει αυτής. Πλησίον αυτής αναπτύσσεται μια ειδική ανατομική περιοχή η οποία σχετίζεται με την αντίληψη διαφόρων ήχων οι οποίοι χρειάζονται υψηλή επεξεργασία (άκουσμα μουσικής) καθώς επίσης και με την ανάλυση και αντίληψη της ομιλίας (η περιοχή αυτή απαντάται κυρίως στο επικρατές ημισφαίριο και ονομάζεται περιοχή Wernicke και αποτελεί το κέντρο αντίληψης της ομιλίας σε κάθε άτομο) μαζί με διάφορες συνδυαστικές οπτικοακουστικές λειτουργίες οι οποίες αφορούν την αναγνώριση λέξεων προσώπων και αντικειμένων. Τέλος στον κροταφικό λοβό υπάρχει μια ομάδα περιοχών οι οποίες έχουν ως ρόλο την ανάπτυξη της κοινωνικής και συναισθηματικής λειτουργίας του ατόμου (όλες μαζί σχηματίζουν τον μεταιχμιακό φλοιό), με άλλα λόγια η περιοχή αυτή είναι υπεύθυνη για διαδικασίες σχετικά με την σύνδεση διαφόρων ερεθισμάτων με το ανάλογο συναίσθημα καθώς είναι κέντρο ανάπτυξης της γενικής συναισθηματικής λειτουργίας και συναισθηματικής αξιολόγησης του ατόμου (πρόκληση χαράς, λύπης, απέχθειας κ.λπ.). Σημαντικό

είναι εδώ να αναφερθεί πως ο κροταφικός λοβός είναι μια από τις πρώτες περιοχές που επηρεάζονται από την νόσο Alzheimer [12-13].

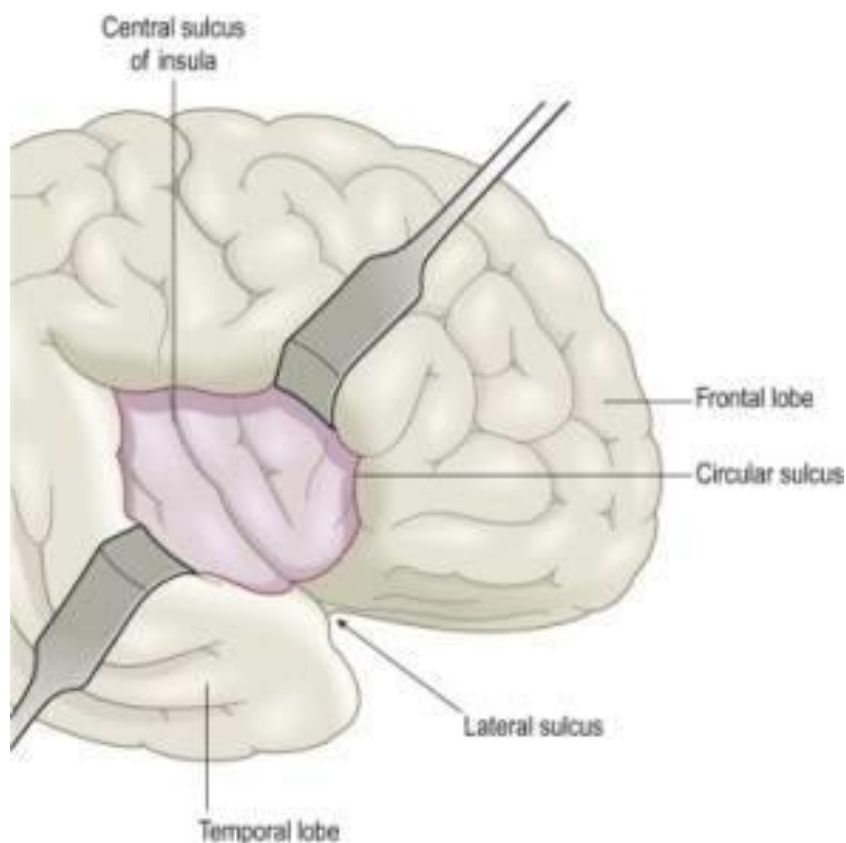
Στο πλέον οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου βρίσκεται ο ινιακός λοβός. Ο Ινιακός είναι ο μικρότερος λοβός του εγκεφάλου. Η μορφολογία του είναι πυραμιδοειδής και συνορεύει με τον βρεγματικό και τον κροταφικό λοβό. Στον ινιακό λοβό υπάρχουν οι πρωτοταγής και δευτεροταγής οπτικοί φλοιοί. Στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό διενεργούνται λειτουργίες σχετικά με την οπτική αντίληψη (η ανάλυση των εικόνων και η αντίληψη τους έχει αμφιβληστροειδική οργάνωση, δηλαδή το άνω μισό του οπτικού πεδίου αντιπροσωπεύεται από τις κάτω περιοχές και αντίστοιχα για το κάτω μισό). Ο δευτεροταγής φλοιός συμβάλει κυρίως στην αναγνώριση προσώπων και αντικειμένων. Χρήζει αναφοράς το γεγονός πως παρά το μικρό μέγεθος του ινιακού λοβού, στην επιφάνεια του απαντάται το ένα δέκατο του συνόλου των εγκεφαλικών κυττάρων [11-13].



Εικόνα 14. Απεικόνιση των λοβών του εγκεφάλου, πιο αναλυτικά, έχουμε τον μετωπιαίο λοβό (μπλε χρώμα), τον βρεγματικό (κίτρινο χρώμα), τον κροταφικό (πράσινο χρώμα) και τον ινιακό (ροζ χρώμα) [Queensland brain institute, 2018].

Τελικό τμήμα του νεοχιτωνίου αποτελεί ο κεντρικός λοβός ή αλλιώς νήσος του Reil (Εικόνα 15). Η νήσος του Reil είναι αποτέλεσμα της ραγδαίας εγκεφαλικής ανάπτυξης των πρωτευόντων θηλαστικών. Αρχικά η νήσος βρισκόταν στην εξωτερική επιφάνεια του εγκεφάλου όμως με την ανάπτυξη του μετωπιαίου, του βρεγματικού και του κροταφικού λοβού καταβυθίστηκε και κατέληξε στο εσωτερικό αυτών (σχηματίζοντας έτσι την σχισμή του Sylvius). Η νήσος Reil, λόγω της θέσης της, συμμετέχει σε πληθώρα λειτουργιών. Οι λειτουργίες αυτές μεταξύ άλλων αφορούν σωματοαισθητικές, κινητικές, οσφρητικές, παραστεφανιαίες, γευστικές ,

ακουστικές και σχετιζόμενες με ανώτερες πνευματικές λειτουργίες. Αναλύοντας περεταίρω τις προαναφερθείσες λειτουργίες καταλήγουμε σε ειδικές συνδέσεις που σχετίζονται με σπλαγχνοαισθητικές διεργασίες όπως γαστροοισοφαγικά αισθήματα άλγους (πόνος στομάχου κατά την πείνα) και το αίσθημα του καύσου, της ναυτίας και του εμέτου. Με σπλαγχνοκινητικές διεργασίες όπως το γουργουρητό της πείνας, η ερυγή (ρέψιμο), η τάση προς κένωση και η αλλοίωση της γαστρεντερικής κινητικότητας καθώς και τον συντονισμό και τη ρύθμιση του μυοκαρδίου. Με σωματοαισθητικές λειτουργίες καθιστώντας έτσι την νήσο του Reil ως το κέντρο πόνου του ανθρωπίνου σώματος. Με λειτουργίες σχετιζόμενες με την συμπεριφορά του ατόμου, γενικά και ειδικά, όπως είναι η αφασία (στέρση της ομιλίας του ατόμου), η μνήμη και πιο συγκεκριμένα η λεκτική μνήμη, η πρόσληψη τροφής καθώς από ο κεντρικός λοβός βοηθά στον καθορισμό των αισθημάτων του κορεσμού και της πείνας και τέλος η σεξουαλική συμπεριφορά. Τέλος πολλοί ερευνητές αναφέρονται στον κεντρικό λοβό ως το κέντρο διαφόρων συναισθημάτων και συμπεριφορών όπως για παράδειγμα η αισχύνη (ντροπή), η αποστροφή, η απέχθεια και άλλα. Σημαντικό εδώ είναι να αναφερθεί το γεγονός ότι η νήσος του Reil διαθέτει την εξαιρετική ικανότητα αναγνώρισης των εκφράσεων. Η Νήσος είναι υπεύθυνη για την ανάγνωση και τον παραλληλισμό της οποιασδήποτε έκφρασης με ένα συγκεκριμένο συναίσθημα το οποίο το άτομο πιστεύει υποσυνείδητα πως υπάρχει [12]. Τι είναι όμως ένα συναίσθημα και πώς αυτό μπορεί να καθοριστεί;



Εικόνα 15. Παρατήρηση της Νήσους του Reil (insula) μετά από την παραμέριση του κροταφικού και του μετωπιαίου λοβού μέσω λαβίδων [The Human Memory, 2022].

2.4 Συναισθήματα

2.4.1 Ορισμός

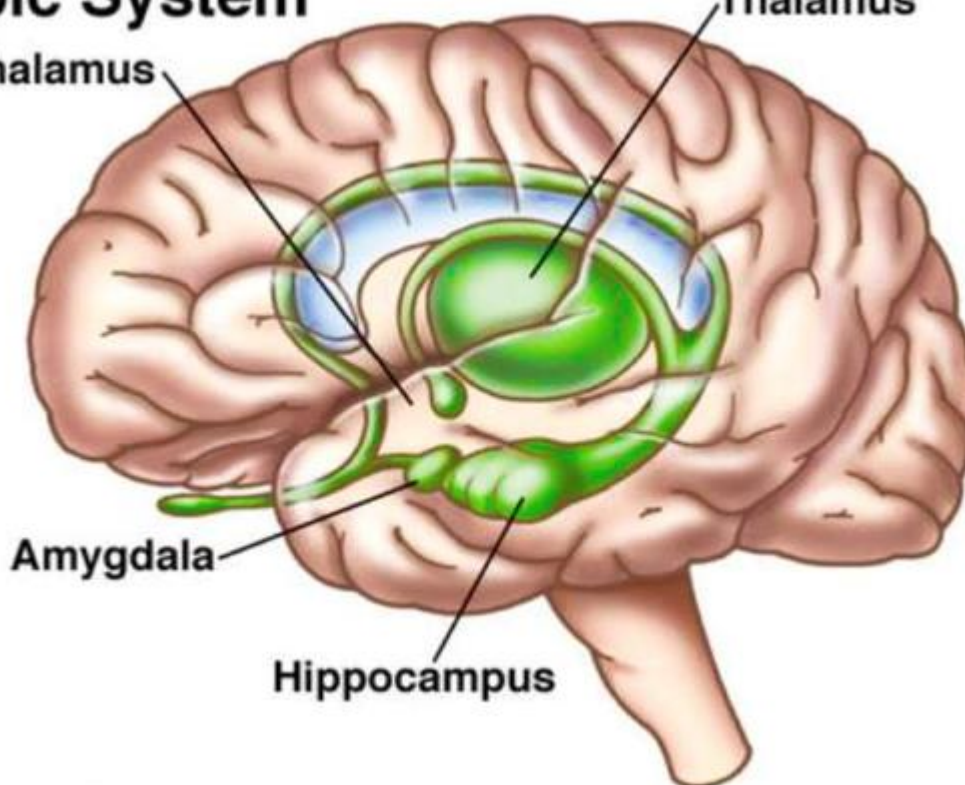
Σε γενικές γραμμές τα συναισθήματα είναι νοητικές καταστάσεις, οι οποίες προκαλούνται από νευροφυσιολογικές αλλαγές, κυρίως στον εγκέφαλο του ατόμου. Τα συναισθήματα είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης διαδικασίας του εγκεφάλου η οποία τα καθιστά και εκείνα με τη σειρά τους ως μια περίπλοκη κατάσταση του ατόμου. Το συναίσθημα αποτελεί την έκφραση του τι αισθάνεται ένα άτομο, αυτή η έκφραση όμως μπορεί να διαφέρει από άτομο σε άτομο. Μπορεί η διαδικασία καθορισμού και εκδήλωσης ενός συναισθήματος να είναι η ίδια σε όλα τα άτομα, η κανονική έκφραση του όμως καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα βιώματα του ατόμου. Το κάθε άτομο στην πορεία της ζωής του βάση των βιωμάτων του καθορίζει τον χαρακτήρα του, κατασκευάζει δηλαδή μια θεωρητική ταυτότητα για τον εαυτό του μέσω της οποίας εκφράζει όλα όσα του συμβαίνουν. Η ταυτότητα αυτή δεν έχει σχέση με την διαδικασία δημιουργία ενός συναισθήματος, αλλά με τον τρόπο έκφρασής του. Όταν το άτομο βρεθεί σε μια κατάσταση στρες (με τον όρο στρες εδώ αναφερόμαστε σε καταστάσεις οι οποίες διαφέρουν από την κατάσταση ηρεμίας του ατόμου) τότε η εγκεφαλική του λειτουργία μεταβάλλεται και από μια κατάσταση ηρεμίας περνά σε μια διεγερμένη κατάσταση. Όταν αυτό συμβαίνει η αιμάτωση του εγκεφάλου αυξάνεται προκειμένου να μπορέσει να επεξεργαστεί τα νέα δεδομένα που δέχεται και έτσι να μπορέσει να αντιδράσει

αναλόγως. Η αυξημένη αυτή αιμάτωση προκαλεί την διέγερση συγκεκριμένων περιοχών του νεοκίτωνίου τα οποία καλούνται κέντρα. Κάποια από τα κέντρα αυτά είναι ο υποθάλαμος, ο υποθάλαμος, η αμυγδαλή και άλλες δομές οι οποίες όλες μαζί αποτελούν το μεταιχμιακό σύστημα (εικόνα 16). Σύμφωνα με τους πρωτοπόρους ερευνητές του κλάδου τον Paul Broca (1878) τον James Papez (1937) και τον Paul D. MacLean (1952) το μεταιχμιακό σύστημα μαζί με τις δομές που το αποτελούν είναι η πηγή δημιουργίας όλων των ανθρωπίνων συναισθημάτων, πρόσφατες μελέτες όμως, ανέδειξαν πως αρκετές περιοχές εκτός του μεταιχμιακού συστήματος διαθέτουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία και έκφραση των συναισθημάτων. Οι περιοχές αυτές δρουν συμπληρωματικά μεταξύ τους καθώς συνεργάζονται για τον καλύτερο προσδιορισμό και έκφραση των συναισθημάτων. Ας δούμε όμως τον νευροφυσιολογικό χαρακτήρα των ενεργειών αυτών [14-15].

Limbic System

Hypothalamus

Thalamus

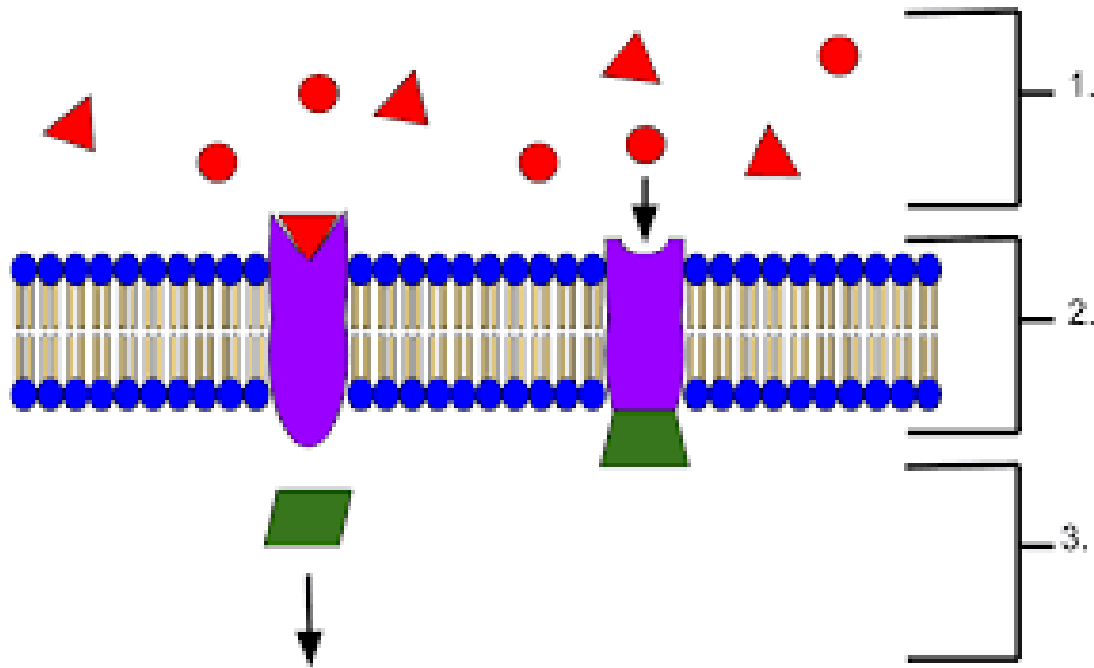


Εικόνα 16. Διαγραμματική απεικόνιση του μεταιχμιακού συστήματος στον ανθρώπινο εγκέφαλο με έμφαση στην Αμυγδαλή (amygdala), τον Ιππόκαμπο (hippocampus), τον Θάλαμο (thalamus) και τον Υποθάλαμο (hypothalamus) [FitNash, 2018].

2.4.2 Δημιουργία Συναισθημάτων

Μόλις το οποιοδήποτε ερέθισμα γίνει αντιληπτό από το υποκείμενο η εγκεφαλική λειτουργία αλλάζει, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Η αυξημένη λειτουργία προκαλεί την δημιουργία σημάτων στο εσωτερικό του εγκεφάλου τα οποία κατευθύνονται, ανάλογα με τον τύπο τους σε συγκεκριμένη περιοχή (για παράδειγμα ένα σήμα που προκλήθηκε από φόβο θα κατευθυνθεί προς την αμυγδαλή του εγκεφάλου)[14]. Μόλις το σήμα φτάσει στην περιοχή στόχο τότε οι νευρώνες της συγκεκριμένης

περιοχής διεγείρονται και ξεκινούν να επικοινωνούν εντονότερα με τους γειτονικούς τους. Σκοπός αυτής της λειτουργίας είναι ο προσδιορισμός του το αν το σήμα αποτελεί σημαντική πληροφορία. Στην περίπτωση που η υπολογιστική διαδικασία του εγκεφάλου καθορίσει το σήμα ως μη σημαντικό τότε αυτό σταματά και δεν υπάρχει περεταίρω έκφραση του. Όταν το σήμα θεωρηθεί ως σημαντικό από την εκάστοτε δομή τότε ξεκινά μια αλυσιδωτή αντίδραση. Οι νευρώνες της περιοχής διαθέτουν στο εσωτερικό τους εξειδικευμένες ουσίες ονόματι ορμόνες. Οι ορμόνες είναι μόρια σηματοδότες. Στην οικογένεια των ορμονών υπάγονται τόσο οι πρωτεΐνες όσο και τα αμινοξέα στην περίπτωση των νευρώνων όμως έχουμε συγκεκριμένα και εξειδικευμένα μόρια. Τα μόρια αυτά έχουν συγκεκριμένη μορφολογία και δεσμεύονται μόνο από συγκεκριμένους υποδοχείς οι οποίες βρίσκονται στην κυτταρική μεμβράνη των συνάψεων των νευρώνων. Όταν ο αρχικός νευρώνας ερμηνεύσει ως σημαντικό το σήμα που έλαβε τότε απελευθερώνει έναν συγκεκριμένο τύπο ορμόνης [15-16]. Η ορμόνη αυτή οδηγείται στον επόμενο νευρώνα και δεσμεύεται από αυτόν. Η δέσμευση της ορμόνης προκαλεί μεταβολή στη μορφολογία του υποδοχέα, ο οποίος με τη σειρά του την αναγνωρίζει και προκαλεί την έκκριση είτε της ίδια ορμόνης για περαιτέρω σηματοδότηση είτε κάποιας άλλης για αλλαγή του σήματος (Εικόνα 17). Αυτή η σειρά αλληπάλληλων ενεργοποιήσεων σε συνδυασμό με την εκάστοτε ορμόνη που παράγεται θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία του συναισθήματος. Αυτή η διαδικασία αποτελεί την νευρολογική όψη του νομίσματος. Σε φυσιολογικό επίπεδο έχουμε άλλα αποτελέσματα. Η αυξημένη εγκεφαλική λειτουργία προκαλεί άνοδο στη θερμοκρασία του εγκεφάλου. Η θερμική αυτή άνοδος λειτουργεί καταλυτικά καθώς διευκολύνει την κίνηση των σημάτων στο εσωτερικό των νευρώνων και των ορμονών στις συναπτικές περιοχές. Κατά την δέσμευση των ορμονών το εκάστοτε κέντρο ενεργοποιείται και ξεκινά μια βιοχημική διαδικασία. Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά προκαλεί την ενεργοποίηση του εγκεφάλου με συγκεκριμένο τρόπο [17]. Η εγκεφαλική αυτή διέγερση αναγκάζει τον εγκέφαλο του ατόμου να αποστείλει σήματα στο σώμα. Σκοπός των σημάτων αυτών είναι η διατάραξη της κατάστασης ηρεμίας στην οποία μέχρι πρότινος βρισκόταν το άτομο. Το κάθε σήμα ανάλογα με το ερέθισμα που το προκάλεσε θα προκαλέσει και μια διαφορετική αλλαγή. Οι περισσότερες εξ αυτών των αλλαγών στοχεύουν στην διατάραξη της αιμάτωσης περιοχών. Η αλλαγή στην αιμάτωση βοηθά είτε στην ταχύτερη αντίδραση στο ερέθισμα είτε στην διαφύλαξη ζωτικών παραγόντων. Με την δεύτερη έννοια αναφερόμαστε κυρίως σε συναισθήματα όπως αυτό του φόβου κατά το οποίο απομακρύνεται αίμα από τα άκρα. Ο φόβος μπορεί να προκληθεί κατά την συμπλοκή του ατόμου [16- 17].



Εικόνα 17. Στην περιοχή 1 παρατηρούμε ελεύθερες ορμόνες οι οποίες αποτελούν το εκκρινόμενο σήμα. Στη δεύτερη περιοχή βλέπουμε τους υποδοχείς, είναι εμφανές πως καθένας από αυτούς είναι ικανός να συνδεθεί με έναν τύπο ορμόνης και μόνο εξαιτίας τόσο της μορφολογίας της ορμόνης όσο και του υποδοχέα. Τέλος στην περιοχή 3 παρατηρούμε την απελευθέρωση κάποιου ενζύμου η οποία πραγματοποιείται μόνο μετά από την δέσμευση της ορμόνης [Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 2016].

2.4.3 Κατηγορίες Συναισθημάτων

Ανάλογα με τον τύπο του συναισθήματος η αντίδραση του εγκεφάλου θα είναι διαφορετική και επομένως θα προκαλέσει και διαφορετική σωματική αντίδραση. Σύμφωνα με τον MacLean, τα συναισθήματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα θετικά και τα αρνητικά συναισθήματα. Στα θετικά περιέχονται συναισθήματα τα οποία συνδυάζουμε με ευχάριστα αποτελέσματα όπως είναι η χαρά, η αγάπη και άλλα. Πρωταρχικός ρόλος αυτών είναι η ευχαρίστηση του ατόμου και σύμφωνα με πολλούς ειδικούς είναι συναισθήματα τα οποία σχετίζονται με την αναπαραγωγή του ατόμου. Τα συναισθήματα αυτά προκαλούν αυξημένη ενεργητικότητα στον βρεγματικό λοβό και στη Νήσο του Reil. Στα αρνητικά, τώρα, συμπεριλαμβάνονται συναισθήματα τα οποία βρίσκονται σε στενή σχέση με δυσάρεστες και στρεσογόνες καταστάσεις [16]. Σκοπός των συναισθημάτων αυτών είναι η ανάκληση δυσάρεστων αναμνήσεων σε νευρολογικό επίπεδο και η διασφάλιση των ζωτικών λειτουργιών του ατόμου σε φυσιολογικό επίπεδο. Με άλλα λόγια πολλοί ειδικοί αναφέρουν πως τα αρνητικά συναισθήματα είναι σχεδιασμένα από τον εγκέφαλο για να βοηθούν στην επιβίωση του ατόμου. Όταν το άτομο βιώνει κάποιο από αυτά παρατηρούμε αυξημένη λειτουργικότητα κυρίως στον μετωπιαίο λοβό και την Νήσο του Reil πάλι. Θεωρητικά τα θετικά συναισθήματα προκαλούν αυξημένη αιμάτωση στην περιοχή της κεφαλής καθώς το υποκείμενο προσπαθεί να εντείνει τις αισθήσεις του (όραση, όσφρηση, ακοή και λουπά) προκειμένου να λαμβάνει

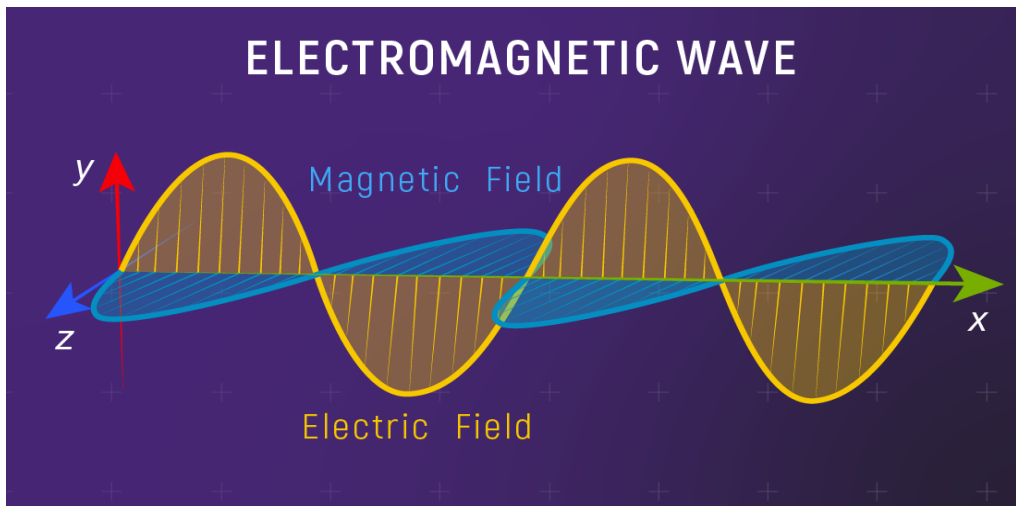
περισσότερα ερεθίσματα από το περιβάλλον του [15-17]. Σύμφωνα με μελέτες από το πανεπιστήμιο του Queensland όταν ένα άτομο βλέπει μια εικόνα που του προκαλεί συναισθήματα παρόμοια με αυτά της ερωτικής ή της γονικής αγάπης προκαλείται διαστολή της κόρης του οφθαλμού και των ρινικών οδών (ρουθούνια). Σύμφωνα με μελέτες από το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια όταν το άτομο βιώνει καταστάσεις που του προκαλούν στρες και φόβο, περνά σε μια κατάσταση κατά την οποία απομακρύνει αίμα από τα άκρα και το κατευθύνει στον κορμό. Σε αυτές τις καταστάσεις περιορίζεται η επεξεργαστική λειτουργία του εγκεφάλου στην πλέον απαραίτητη, με άλλα λόγια ο εγκέφαλος μπαίνει σε μια κατάσταση κατά την οποία είναι σε θέση να αντιδράσει ακαριαία χωρίς να πρέπει να επεξεργαστεί σε μεγάλο βαθμό τα δεδομένα τα οποία λαμβάνει. Η μεταφορά του αίματος στην περιοχή του κορμού θεωρείται πως είναι ένα εξελικτικό κατάλοιπο το οποίο βοήθησε στην επιβίωση του ατόμου. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το αίμα απομακρύνεται από τα άκρα καθώς αυτά είναι τα πιο πιθανά να υποστούν βλάβες κατά την συμπλοκή ή την φυγή του ατόμου. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν το άτομο περιορίζει την απώλεια αίματος στο όσο το δυνατόν ελάχιστο. Αυτές τις αλλαγές σκοπεύουμε να παρατηρήσουμε και εμείς στα πλαίσια του πειράματος αυτού και να διαπιστώσουμε εάν υπάρχει κάποιου είδους σχέση μεταξύ κάποιων βασικών συναισθημάτων και της αλλαγής της θερμοκρασίας του ατόμου [18].

2.5 Θερμογραφία

Σύμφωνα με τον James Clerk Maxwell (1873) το φως αποτελείται από δυο εγκάρσια ημιτονοειδή κύματα ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό τα οποία ταξιδεύουν μαζί στον χώρο (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) (Εικόνα 18). Το φως μπορεί τόσο να εκπέμπεται όσο και να απορροφάται από ένα σώμα. Η απορρόφηση αυτή οφείλεται σε αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη και γίνεται σε συγκεκριμένες ποσότητες προκαλώντας διέγερση των ηλεκτρονίων του υλικού. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρατηρείται στην φύση σε διάφορα μήκη κύματος [19]. Ως μήκος κύματος ορίζεται ο λόγος μεταξύ της ταχύτητας διάδοσης του φωτός στο εκάστοτε μέσο προς την συχνότητα του (Εξίσωση 1)

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

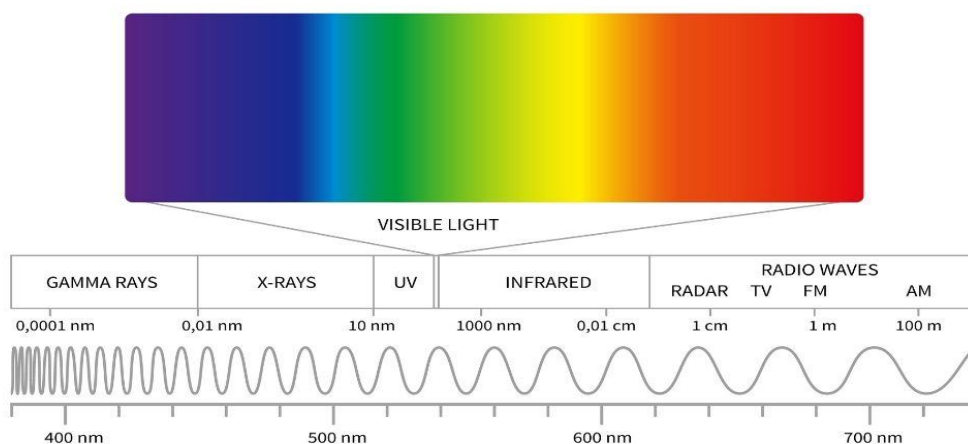
το μήκος κύματος είναι χαρακτηριστικό τόσο της κάθε ακτινοβολίας όσο και του κάθε μέσου.



Εικόνα 18. Αναπαράσταση των ημιτονοειδών συνιστωσών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Με κίτρινο παρατηρούμε το ηλεκτρικό πεδίο και κάθετα σε αυτό με μπλε το μαγνητικό καθώς αυτά κινούνται στο χώρο [WebbTelescope.org, 2022].

Το σύνολο των μηκών κύματος που εκπέμπονται από μια πηγή ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια τότε απορροφάται από αυτή ένα μέρος του. Το τμήμα της ακτινοβολίας αυτής που δεν δεσμεύεται από το σώμα ανακλάται από αυτή. Η ανακλώμενη αυτή ακτινοβολία είναι που δίνει στα αντικείμενα το χρώμα τους. Ο ανθρώπινος οφθαλμός είναι ικανός να ανιχνεύσει ακτινοβολίες με μήκη κύματος από 400 nm (ιώδες χρώμα) έως 700 nm (ερυθρό χρώμα) (Εικόνα 19). Αυτές οι τιμές αποτελούν το ορατό φάσμα (κατά τον άνθρωπο) του φωτός (η αναφορά στον άνθρωπο γίνεται διότι διαφορετικοί οργανισμοί είναι ικανοί να ανιχνεύουν ακτινοβολίες εκτός των ορίων αυτών). Ακτινοβολίες οι οποίες βρίσκονται κάτω από 400nm αποτελούν το υπεριώδες τμήμα του φάσματος του φωτός ενώ αυτές που βρίσκονται άνω των 700nm αποτελούν το υπέρυθρο τμήμα.

VISIBLE SPECTRUM



Εικόνα 19. Απεικόνιση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με ανάδειξη του ορατού τμήματός του. Παρατηρούμε ότι κάτω από τα 400nm περνάμε στο υπεριώδες και άνω των 700nm στο υπέρυθρο [Gamma Scientific, 2003].

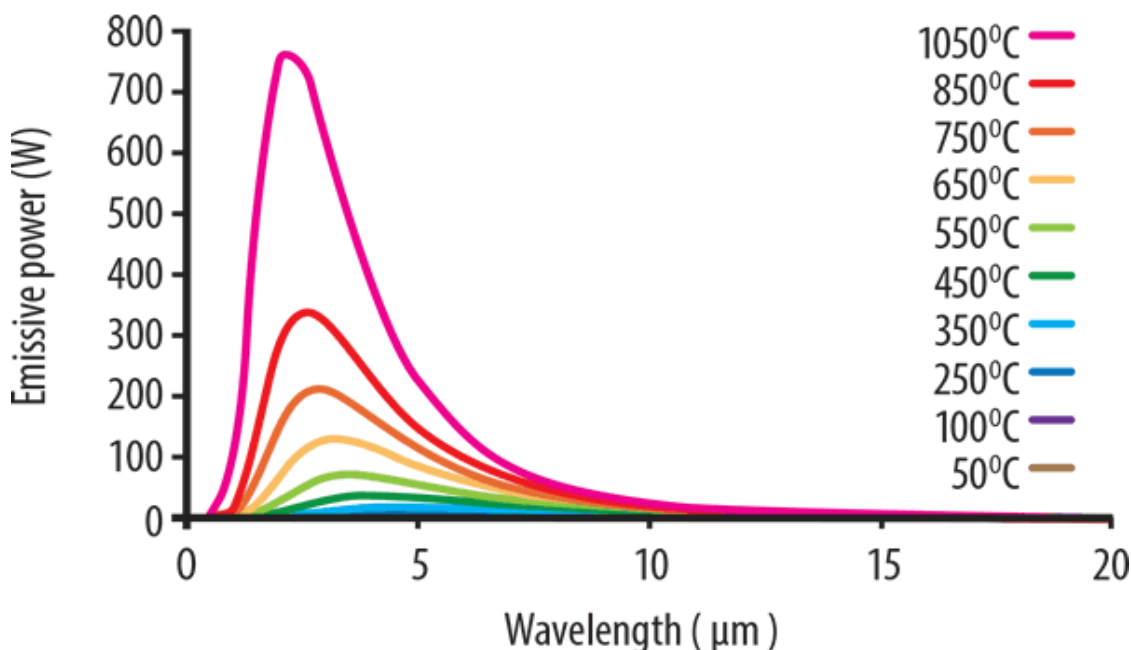
Η υπέρυθη ακτινοβολία είναι συνδεδεμένη με την θερμότητα που εκπέμπεται από τα σώματα. Αρχικά η υπέρυθη ακτινοβολία είναι μέσο μεταφοράς θερμότητας, με άλλα λόγια ένα σώμα που θα εκτεθεί σε υπέρυθη ακτινοβολία θα αρχίσει να θερμαίνεται. Η διαδικασία αυτή όμως λειτουργεί και ανάστροφα. Όσο πιο θερμό είναι ένα σώμα τόσο μεγαλύτερο ποσοστό υπέρυθρης εκπέμπει. Ένα σώμα το οποίο βρίσκεται σε μια ορισμένη θερμοκρασία θα πρέπει θεωρητικά να παρουσιάζει ένα ευρύ εκπεμπόμενο φάσμα το οποίο θα αποτελείται από όλες τις συχνότητες. Κάθε μια από τις συχνότητες αυτές θα εκπέμπεται με μια συγκεκριμένη ισχύ, η τιμή της οποίας δίνεται από τον νόμο του Πλανκ (Planck's Law) (Εξίσωση 2). Σύμφωνα με αυτόν οποιοδήποτε φυσικό σώμα σε θερμοκρασία άνω του απόλυτου μηδενός ακαριαία (από την στιγμή της δημιουργίας του) και συνεχόμενα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία [19-20]. Η φασματική εκπομπή B του σώματος αυτού, περιγράφει την φασματική εκπεμπόμενη ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας, ανά μονάδα στερεάς γωνίας για συγκεκριμένες συχνότητες εκπομπής (στερεά γωνία είναι το ποσοστό του οπτικού πεδίου το οποίο ένα αντικείμενο καλύπτει). Η σχέση που εκφράζεται από τον νόμο του Πλανκ δηλώνει πως με την αύξηση της θερμότητας ενός σώματος, η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς του αυξάνεται και η κορυφή του φάσματος εκπομπής ως επακόλουθο θα πέσει σε χαμηλότερες τιμές επομένως σε μικρότερα μήκη κύματος.

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{k\beta T}\right)} - 1} \quad (2)$$

Όπου ν μια δεδομένη συχνότητα, T συγκεκριμένη τιμή απόλυτης θερμοκρασίας, $k\beta$ η σταθερά Boltzmann, h η σταθερά Planck και c η ταχύτητα του φωτός είτε στο κενό είτε στο προς μελέτη μέσο. Όσο η θερμότητα ενός σώματος αυξάνεται τόσο αυξάνεται και η κύρια εκπεμπόμενη συχνότητά του (σε περιπτώσεις που αναφερόμαστε στο ορατό φάσμα η συχνότητα αυτή περιγράφει το χρώμα του σώματος) (Εικόνα 20). Όταν πυρώσουμε ένα σώμα σε σημείο που να αρχίσει να κοκκινίζει τότε αυτό εκπέμπει κυρίως σε χαμηλές συχνότητες (κοντά στα 700nm) για αυτό και παρουσιάζει το κόκκινο αυτό χρώμα. Αν τώρα το θερμάνουμε περισσότερο τότε η συχνότητα εκπομπής του θα αρχίσει να μετατοπίζεται συγκλίνοντας προς το κέντρο του φάσματος [19]. Το σώμα εξακολουθεί να εκπέμπει σε όλο το φάσμα (δηλαδή και σε τιμές που εκφράζουν το πράσινο και το κυανό χρώμα) έτσι λοιπόν το χρώμα του αρχίζει να τείνει προς το λευκό. Παρά το γεγονός αυτό, ακόμη και ένα σώμα του έχει πυρώσει στους 5000 K° και παρουσιάζεται ως λευκό πλέον θα εκπέμπει το 99% της ενέργειας του στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (νόμος μετατοπίσεως του Βιέν). Η συνολική ποσότητας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, για όλες τις συχνότητες του σώματος, μεταβάλλεται ταχύτατα συναρτήσει της απόλυτης του θερμοκρασίας δεδομένου του γεγονότος πως είναι ανάλογη της τέταρτης δύναμης της θερμοκρασίας (νόμος Stefan-Boltzmann) (Εξίσωση 3). Το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την πειραματική διαδικασία καθώς η απόσταση της θερμοκάμερας από το δείγμα δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλη διότι θα υπάρξει διαστρέβλωση των τιμών που θα λάβουμε [20-21].

$$P = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (3)$$

Όπου P η ισχύς, ε η εκπομπή του σώματος, σ η σταθερά Stefan-Boltzmann, A η επιφάνεια του εκπομπού και T η απόλυτη θερμοκρασία. Να τονίσουμε εδώ πως το κάθε σώμα ακολουθεί τις βασικές ιδιότητες των κυμάτων όσον αφορά την εκπομπή και την απορρόφηση ακτινοβολιών (ένα σώμα που απορροφά “καλύτερα” το πράσινο θα εκπέμπει και περισσότερο στο πράσινο)[20].



Εικόνα 20. Τυπικές καμπύλες του νόμου Planck για σειρά θερμοκρασιών σε διάγραμμα εκπεμπόμενης ισχύος σε Watt και μέγιστου εκπεμπόμενου μήκους κύματος σε μm [CERAMICX Infrared for industry, 2019].

2.6 Λειτουργία Θερμικής Κάμερας

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει όλα τα σώματα εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία εμείς λοιπόν με την χρήση της υπέρυθρης κάμερας είμαστε ικανοί να την παρατηρήσουμε (Εικόνα 21). Καθώς η ακτινοβολία εκπέμπεται από το σώμα μια σειρά από οπτικούς φακούς την συγκεντρώνει και την καθοδηγεί προς μια συστοιχία ανιχνευτών. Οι φακοί είναι κατασκευασμένοι από κράμα υάλου με κάποιο άλλο μέταλλο ή ένωση προκειμένου να διαθέτουν αυτή την ιδιότητα. Να τονιστεί εδώ πως στις περισσότερες των περιπτώσεων λόγω του μεγάλου δείκτη διάθλασης αυτών των υλικών έχουμε ως αποτέλεσμα την εκτροπή της ακτίνας και επομένως της ανάκλασης πάνω σε επιφάνειες του εσωτερικού της κάμερας έχοντας έτσι την παρουσία ασαφειών και ψευδενδείξεων. Για να αποφευχθεί αυτό το εσωτερικό της κάμερας καλύπτεται με ειδικές αντανάκλαστικές ουσίες [22]. Σε αντίθεση με τους ανιχνευτές των κοινών καμερών η υπέρυθρη κάμερες χρησιμοποιούν μια συστοιχία εστιακού επιπέδου (Focal Plane Array FPA). Πρακτικά η συστοιχία αυτή αποτελείται από μια ορθογώνια επιφάνεια φωτοευαίσθητων ή θερμό ευαίσθητων ανιχνευτών. Στη περίπτωση των υπέρυθρων καμερών μιλάμε για ανιχνευτές κατασκευασμένους από υλικά ευαίσθητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία.

Όταν η ακτινοβολία προσπέσει πάνω τους τότε ενεργοποιούνται και παράγουν ένα ηλεκτρικό σήμα. Κάθε ανιχνευτής έχει μέγεθος της τάξης των μικρόμετρων, δίνοντας μας έτσι την ευκαιρία να έχουμε μεγάλο πλήθος ανιχνευτών. Η ανάλυση της κάμερας κυμαίνεται από 160 x 120 εικονοστοιχεία (pixel) έως 1024 x 1024. Οι ανιχνευτές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από θερμικούς ανιχνευτές. Οι ανιχνευτές αυτού του τύπου δεν χρειάζονται ψύξη και αποτελούνται από ένα μικροβολόμετρο (microbolometer). Το βολόμετρο είναι συσκευή καταμέτρησης της θερμικής έντασης της ακτινοβολίας που εκπέμπεται χρησιμοποιώντας ως βασική αρχή την εξάρτηση την αντίστασης κάποιων υλικών από την θερμοκρασία τους. Ανάλογα με την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται τα υλικά τότε η αντίσταση που παρουσιάζουν μεταβάλλεται και έτσι είμαστε ικανοί να μετρήσουμε την ένταση της θερμοκρασίας που εκπέμπει το προς εξέταση σώμα. Η δεύτερη κατηγορία ανιχνευτών είναι οι κβαντικοί ανιχνευτές. Οι ανιχνευτές αυτοί είναι κατασκευασμένοι από ειδικά κράματα τα οποία παρουσιάζουν κρυσταλλική δομή. Κάποια από τα κράματα αυτά είναι το κράμα ινδίου αντιμονίου (Indium antimonide InSb), το πυριτίδιο της πλατίνας (Platinum silicide PtSi), το υδραργυρικό τελλουριούχο καδμίο (Mercury cadmium telluride HgCdTe γνωστό και ως MCT), και το κράμα ινδίου γαλλίου αρσενικού (Indium gallium arsenide InGaAs) [21-22].



Εικόνα 21. Θερμική κάμερα χειρός της εταιρίας FLIR, τύπου FLIR E5. Στην οθόνη απεικονίζεται θερμογραφική εικόνα σε πραγματικό χρόνο [The Tape Store, 2019].



Εικόνα 22. Κάμερα FLIR T440 της εταιρίας FLIR. Στην οθόνη απεικονίζεται θερμογραφική εικόνα σε πραγματικό χρόνο [The Tape Store, 2019].

Το μοντέλο κάμερας που χρησιμοποιήσαμε είναι το FLIR T440 (εικόνα 22). Πρόκειται για μια φορητή κάμερα υπέρυθρων η οποία διαθέτει εύρος ανιχνεύσιμων θερμοκρασιών μεταξύ -20°C και 1200°C . Η κάμερα είναι ικανή να κάνει ζωντανή θερμογράφιση με ταχύτητα λήψης εικόνων στα 60Hz. Διαθέτει οπτικό πεδίο με τετραγωνικό διαμέτρημα της τάξης των $25^{\circ} \times 19^{\circ}$ σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή 320×240 pixel. Τέλος η ακρίβεια των μετρήσεων της κάμερας ανέρχεται σε απόκλιση μικρότερη των 0.045°C στους 30°C γεγονός που μας δίνει μια εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια πράγμα το οποίο χρειαζόμαστε στην ερευνητική μας μελέτη.

3. Επιστημονικό υπόβαθρο

Ο τομέας της αναγνώρισης συναισθημάτων αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον και γόνιμο περιβάλλον για μελέτη καθώς, οι διαδικασίες που λαμβάνου χώρα δεν μας είναι ακόμη απολύτως κατανοητές. Επιπλέον όσο η τεχνολογία αναπτύσσεται έχουμε ολοένα και περισσότερους τρόπους για καλύτερες, πιο άμεσες και πιο ακριβείς μετρήσεις. Όσον τώρα αφορά το κομμάτι της θερμογραφικής αναγνώρισης συναισθημάτων είναι σημαντικό να αναφέρουμε τις εργασίες κάποιων από τους πρωτοπόρους στον τομέα αυτό.

Μια από τις σημαντικότερες έρευνες επι του θέματος έχει γίνει από τις ερευνήτριες του τμήματος κοινωνιολογίας του Πανεπιστημίου της Τζώρτζια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, Jody Clay-Warner και Dawn T. Robinson (Εικόνες 23-24). Οι Werner και Robinson θέλησαν να εξετάσουν το κατά πόσο είναι δυνατή η χρήση των θερμογραφικών μεθόδων μέτρησης ως ένα μέσο μη παρεμβατικής μεθόδου καταμέτρησης των συναισθηματικών μεταβολών του ατόμου. Οι Werner και Robinson αναφέρουν χαρακτηριστικά, πως το θέμα των συναισθημάτων και το πώς αυτά παράγονται καθώς και το αν αυτά μπορούν να ανιχνευτούν είναι ένα από τα μεγαλύτερα θεωρητικά ερωτήματα της επιστήμης της κοινωνιολογίας. Οι ίδιες έχουν παρουσιάσει μια σειρά από εργασίες σχετικά με το θεωρητικό κομμάτι της

δημιουργίας των συναισθημάτων στον ανθρώπινο εγκέφαλο καθώς και το πώς τα συναισθήματα είναι πιθανό να επηρεάζουν την συμπεριφορά του ατόμου σε βιολογικό και φυσιολογικό επίπεδο. Το 2015 οι Werner και Robinson εκμεταλλευόμενες τις ανακαλύψεις στους τομείς της νευρολογίας και την εξέλιξη των θερμογραφικών μεθόδων πραγματοποιούν μια σειρά από πειράματα για τον εντοπισμό τυχόν συσχέτισης των μεταβολών της θερμοκρασίας στους συμμετέχοντες και του βιώματος κάποιου συναισθήματος [24].

Η έρευνα τους βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό, σε ερευνητικές εργασίες οι οποίες ασχολούνταν, με την σχέση μεταξύ της εγκεφαλικής λειτουργίας και την βίωση ενός συναισθήματος την οποία έχει το άτομο. Με την χρήση των νέων εξελιγμένων μεθόδων της θερμογραφίας οι Robinson και Werner ήταν σε θέση να παρατηρήσουν τις θερμικές μεταβολές στην περιοχή του προσώπου και να τις συνδέσουν με τυχόν συναισθηματικές μεταβολές του εκάστοτε ατόμου. Να τονίσουμε πως η θερμογραφία ως μέθοδος χρησιμοποιούταν ήδη από το 1980 (χαρακτηριστικές είναι οι έρευνες των Mizukami, Kobayashi, Iwata, και Ishii, το 1987 και των Zajonc, Murphy, και Inglehart, 1989) [25], χωρίς να τους δίνεται μεγάλη αναγνώριση και σημασία. Αυτό που κάνει την εργασία των Werner και Robinson σημαντική είναι η εξειδίκευση των μεθόδων μέτρησης και η συγκεκριμενοποίηση των περιοχών ενδιαφέροντος τις οποίες χρησιμοποίησαν για την καταγραφή των θερμοκρασιών των συμμετεχόντων. Κατάφεραν έτσι, να φτάσουν στο συμπέρασμα πως όντως ένα συναίσθημα μπορεί να εκδηλωθεί από το άτομο μέσω της μεταβολής της θερμοκρασίας συγκεκριμένων περιοχών του προσώπου του. Τέλος οι ερευνήτριες αναφέρουν πως η θερμογραφία αποτελεί μια εξαιρετική μέθοδο όσον αφορά την μέτρηση καθώς είναι εύκολη, μη παρεμβατική και μας δίνει την ικανότητα ταχείας ανάκτησης δεδομένων από ένα μεγάλο πληθυσμό.

Εξίσου σημαντική είναι και η δουλειά της ομάδας του Hirokazu Genno από την Οσάκα της Ιαπωνίας [25]. Στην ερευνά τους ο Hirokazu και η ομάδα του, επιχείρησαν να εντοπίσουν την πιθανή σχέση της μεταβολής της θερμοκρασίας των συμμετεχόντων όταν αυτοί δέχονταν ένα στρεσογόνο ερέθισμα. Πιο αναλυτικά, η ερευνητική ομάδα με μια σειρά από ερωτήματα εξήγαγε συμπεράσματα τόσο για την κόπωση όσο και για τα επίπεδα στρες τα οποία είχε το κάθε άτομο που λάμβανε μέρος στο πείραμα και στη συνέχεια με την μέθοδο της θερμογραφίας θέλησε να παρατηρήσει εάν θα υπάρξει μεταβολή της θερμοκρασίας του προσώπου των συμμετεχόντων προκειμένου να προσδιορίσει και να επαληθεύσει τα αποτελέσματα τα οποία θα λάμβανε από την αρχική δοκιμή. Τα αποτελέσματα της ομάδας του Hirokazu δείχνουν πως όντως υπάρχει σχέση μεταξύ των μεταβολών της θερμοκρασίας στους συμμετέχοντες και τα θεωρητικά επίπεδα στρες και κούρασης τα οποία οι ίδιοι έδειχναν να έχουν βάσει των απαντήσεων και των δεδομένων τα οποία είχαν αρχικά δώσει στους ερευνητές. Έγινε λοιπόν, εμφανές πως η θερμογραφία μπορεί να αποτελέσει μια αξιόπιστη μέθοδο για τον προσδιορισμό βασικών καταστάσεων του ατόμου καθώς επίσης είναι σε θέση να επαληθεύσει το κατά πόσο ένα άτομο βιώνει ένα συγκεκριμένο ερέθισμα στον βαθμό τον οποίο το ίδιο εικάζει.

Τέλος, σημαντική είναι και η εργασία της ομάδας της καθηγήτριας Elvira Salazar-Lórez από το πανεπιστήμιο της Γρανάδα της Ισπανίας.[27] Στην εργασία τους η Lórez και η ομάδα της επιχείρησαν να παρατηρήσουν επαναλαμβανόμενα θερμογραφικά μοτίβο σε ομάδες ατόμων όταν αυτά εκτίθενται στα ίδια ερεθίσματα. Σε γενικές γραμμές η ομάδα των ερευνητών δημιούργησε δυο ομάδες ερεθισμάτων τα οποία χώρισε σε θετικά, δηλαδή ευχάριστα για το άτομο συναισθήματα, και αρνητικά, δηλαδή δυσάρεστα για τον συμμετέχοντα. Τα άτομα που έλαβαν μέρος λοιπόν, κατά την παρακολούθηση των διαφορετικών ερεθιστικών μέσων καταγράφονταν από μια θερμική κάμερα η οποία εστίαζε στη περιοχή του προσώπου προκειμένου να εντοπιστούν οι τυχόν αλλαγές. Η ομάδα της Lórez μετά από ανάλυση των δεδομένων τα οποία συνέλεξε κατέληξε στο γεγονός πως όντως υπήρχαν μεταβολές στην θερμοκρασία των συμμετεχόντων. Επιπλέον, ήταν σε θέση να παρατηρήσουν πως κατά την έκθεση του ατόμου σε θετικά ερεθίσματα η θερμοκρασία συγκεκριμένων περιοχών του προσώπου, όπως η μύτη και το μέτωπο, έτεινε να αυξηθεί έως και 3 βαθμούς Κελσίου από την αρχική ενώ κατά την έκθεση σε αρνητικά ερεθίσματα οι ίδιες περιοχές έδειχναν μια ελάττωση θερμοκρασίας μέχρι και 2 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου. Ήταν λοιπόν εμφανές πως, όχι μόνο, υπάρχει σχέση μεταξύ της μεταβολής θερμοκρασίας και της βίωσης ενός συναισθήματος, αλλά η μεταβολή αυτή διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του συναισθήματος το οποίο επιλέγουμε να διεγείρουμε.

4. Πειραματική διαδικασία

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σκοπός της έρευνας αυτής είναι η προσπάθεια προσδιορισμού της πιθανής σχέσης μεταξύ της μεταβολής της θερμοκρασίας ενός ατόμου και της βίωσης ή έκφρασης από αυτό το άτομο ενός συναισθήματος. Προκειμένου λοιπόν, να το επιτύχουμε αυτό θα πρέπει να διεξάγουμε ένα πείραμα κατά το οποίο θα διεγείρουμε συναισθηματικά τα άτομα τα οποία θα συμμετάσχουν, με τη χρήση ειδικών οπτικοακουστικών μέσων, και έπειτα θα παρατηρούμε τις θερμικές τους μεταβολές, με τη χρήση μια κάμερας υπέρυθρων, προκειμένου να παρατηρήσουμε το εάν υπάρχει κάποια σύνδεση μεταξύ της μεταβολής της θερμοκρασίας και την βίωσης του εν λόγω συναισθήματος προς εξέταση.

4.1 Περιβαλλοντικές Συνθήκες

Αρχικά ας αναφερθούμε στις συνθήκες του χώρου στον οποίο θα πραγματοποιηθεί το πείραμα. Όλα τα άτομα που θα λάβουν μέρος θα πρέπει να βρεθούν στον ίδιο χώρο και σημείο έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη απόκλιση στις μετρήσεις μας, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από την αλλαγή του υπόβαθρου το οποίο θα έχουν οι συμμετέχοντες. Η θερμοκρασία της αίθουσας θα πρέπει να είναι ρυθμιζόμενη και να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή. Εάν η θερμοκρασία του χώρου επηρεάσει τις μετρήσεις θα παρουσιάζεται ως σφάλμα, έτσι διατηρώντας την σταθερή θα έχουμε παρουσία του ίδιου σφάλματος σε όλες μας τις μετρήσεις και έτσι το τελικό μας αποτέλεσμα (από την ανάλυση όλων των

δειγμάτων) δεν θα παρουσιάζει μεμονωμένες ακραίες τιμές. Πίσω από την θέση των δειγμάτων υπάρχει τοποθετημένη μαύρη ματ επιφάνεια. Οι ανακλαστικές επιφάνειες ανακλούν την υπέρυθη ακτινοβολία οδηγώντας την προς τον φακό της κάμερας. Η ανάκλαση αυτή προκαλεί την εμφάνιση υψηλών τιμών θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να διαστρεβλώνονται οι μετρήσεις που λαμβάνουμε. Με την χρήση της ματ επιφάνειας ελαχιστοποιούμε την παρουσία ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας και έτσι αποφεύγουμε την παρουσία ανεπιθύμητων τιμών. Επιπλέον θα πρέπει να αποφύγουμε την παρουσία ηλεκτρικών συσκευών και καλωδίων στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Κατά την λειτουργία τους οι ηλεκτρικές συσκευές αναπτύσσουν θερμοκρασία η οποία θα εμφανίζεται στο μόνιτορ της κάμερας ως ένδειξη με αποτέλεσμα την εμφάνιση ξένων τιμών οι οποίες θα επηρεάζουν την τελική μας μέτρηση. Όσον αφορά τώρα τα άτομα που θα λάβουν μέρος.

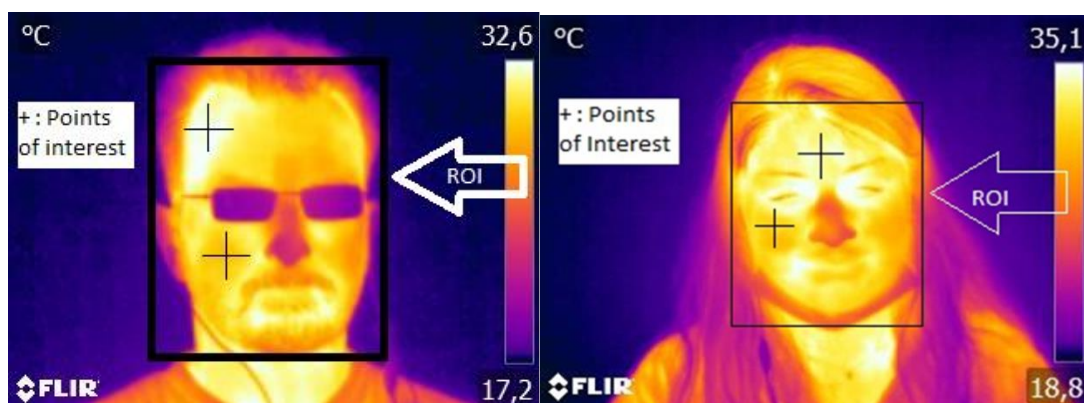
4.2 Συμμετέχοντες

Όλοι οι συμμετέχοντες θα πρέπει να είναι ήρεμοι και να μην έχουν εκτεθεί σε κάποιο είδους στρεσογόνο ερέθισμα ή διαδικασία η οποία θα προκαλούσε μεταβολές στην επιφανειακή τους θερμοκρασία. Όλα τα άτομα πριν την έναρξη του πειράματος θα πρέπει να έχουν αποφύγει την εμπλοκή τους σε κάποιο γεγονός που να προκαλέσει την διαταραχή της ψυχικής τους ηρεμίας με οποιοδήποτε τρόπο καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις μας. Με τον όρο διαδικασία αναφερόμαστε στην συμμετοχή του ατόμου σε κάποια δραστηριότητα όπως η άθληση η οποία θα αυξήσει τους καρδιακούς του παλμούς καθώς αυτό θα έχει επακόλουθο την συνολική αύξηση της θερμοκρασίας του σε τιμές άνω της φυσιολογικής (36,6 °C κατά μέσο όρο για έναν ενήλικα). Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει τις θερμικές μας μετρήσεις. Προς αποφυγή των γεγονότων αυτών τα άτομα που θα έρχονται να μετρηθούν θα έχουν μια περίοδο ηρεμίας των 15 λεπτών κατά την οποία θα κάθονται εντός του χώρου διεξαγωγής του πειράματος εωσότου να ηρεμήσουν και να επανέλθει η θερμοκρασία τους στα φυσιολογικά της επίπεδα. Για να επιβεβαιώσουμε το ότι τα άτομα είναι ήρεμα θα λαμβάνουμε πριν την εισαγωγή τους μετρήσεις της αρτηριακής τους πίεσης. Όταν σιγουρευτούμε πως είναι σε θέση να λάβουν μέρος τότε θα προχωράμε στο πείραμα. Τέλος, όσον αφορά τα άτομα, θα πρέπει να έχουμε μαζί τους την όσο το δυνατόν μικρότερη αλληλεπίδραση καθώς επίσης και να τους δώσουμε το ελάχιστο ποσοστό πληροφοριών σχετικά με το πείραμα και με το τι πρόκειται να βιώσουν. Επιπλέον πρέπει να αποφύγουμε την επικοινωνία με το άτομο κατά την διάρκεια της μέτρησης του. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να επηρεάσουν τα άτομα από ψυχολογικής φύσεως. Το κάθε άτομο κατά την προσμονή κάποιου ερεθίσματος (στην περίπτωση μας ψυχολογικό-συναισθηματικό ερέθισμα) αναπτύσσει άμυνες. Σκοπός αυτών των αμύνων είναι η προετοιμασία του ατόμου για την επακόλουθη διαταραχή. Η προετοιμασία αυτή θα μετριάσει κάθε είδους εκδήλωση των συναισθημάτων πράγμα που εμείς θέλουμε να αποφύγουμε διότι επιθυμούμε το άτομο να βιώσει στο μέγιστο το κάθε ερέθισμα. Να σημειώσουμε εδώ πως οι μετρήσεις θα λαμβάνονται από την περιοχή του προσώπου, για τον λόγο αυτό οι συμμετέχοντες θα πρέπει να έχουν τα πρόσωπα τους ελεύθερα, χωρίς να

παρεμβάλλονται στο οπτικό μας πεδίο δομές (παραδείγματος χάριν μαλλιά ή make up) οι οποίες να μας επηρεάζουν την λαμβανόμενη μέτρηση. Τέλος ας αναφερθούμε στην τοποθέτηση και τις ρυθμίσεις της κάμερας θερμομετρίας.

4.3 Τοποθέτηση Κάμερας

Η κάμερά τοποθετείται σε απόσταση περίπου ενός μέτρου (1m) από τον στόχο και η εστίαση ρυθμίζεται αντίστοιχα, έτσι ώστε το οπτικό πεδίο να περιλαμβάνει κυρίως το πρόσωπο του κάθε ατόμου διότι αυτή είναι η περιοχή ενδιαφέροντος μας για της μετρήσεις μας καθώς οι θερμικές μεταβολές είναι πιο εμφανείς στην περιοχή του προσώπου. Για να το επιτύχουμε αυτό θα αλλάξουμε την απεικόνιση κάνοντας μεγέθυνση (zoom) μέχρι του σημείου όπου το μόνιτορ να αποτελείται κυρίως από το πρόσωπο του κάθε ατόμου. Όταν φτάσουμε σε αυτό το σημείο θα κάνουμε χειροκίνητη εστίαση σταδιακά σταματώντας στο σημείο όπου μας είναι ευδιάκριτο το πρόσωπο του ατόμου. Η κάμερα θα πρέπει να παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια των μετρήσεων προκειμένου να παρατηρούμε διαρκώς το ίδιο σημείο. Όσον αφορά την απεικόνιση του μόνιτορ και τα εργαλεία μετρήσεων σε αυτό. Έχουμε επιλέξει την απεικόνιση μέσω διαβαθμίσεων σιδήρου σύμφωνα με τις οποίες η θερμοκρασία εκφράζεται ως αποχρώσεις πυρωμένου σιδήρου με τις χαμηλές θερμοκρασίες να λαμβάνουν σκούρο μωβ χρώμα και καθώς ανεβαίνουμε περνάμε σε κόκκινες, κίτρινες και τελικά λευκές αποχρώσεις για τις μέγιστες θερμοκρασίες. Για τα εργαλεία μετρήσεων έχουμε επιλέξει την λήψη θερμοκρασιών από τετραγωνικό ROI (Region Of Interest) διαστάσεων ίσες με αυτές του προσώπου του ατόμου καθώς και από διάφορα επιπλέον σημεία τα οποία τοποθετούμε εμείς χειροκίνητα σε συγκεκριμένες περιοχές δικής μας επιλογής (Points Of Interest) (Εικόνα 25). Οι θερμοκρασίες που έχουμε επιλέξει να εμφανίζονται είναι η ελάχιστη η μέγιστη καθώς και η μέση θερμοκρασία της τετράγωνης περιοχής σε συνδυασμό με την θερμοκρασία του σημείου που έχουμε θέσει και το οποίο μπορούμε να μετακινούμε.



Εικόνα 25. Θερμογραφικές απεικονίσεις συμμετεχόντων με ανάδειξη των περιοχών ενδιαφέροντος (ROI) και των σημείων ενδιαφέροντος (points of interest).

4.4 Διέγερση Συμμετεχόντων

Για την συναισθηματική διέγερση των ατόμων χρησιμοποιούνται μια σειρά από οπτικοακουστικά μέσα. Ανάλογα με το συναίσθημα που είναι επιθυμητό να προκληθεί παρουσιάζεται στα άτομα και η ανάλογη μικρού μήκους παρουσίαση. Το κάθε ένα από τα μικρά βίντεο αποτελείται από ήχους και εικόνες οι οποίες είναι επιλεγμένες ειδικά για την διέγερση ενός συγκεκριμένου συναισθήματος. Οι εν λόγω παρουσιάσεις είναι κομμάτι ερευνών ομάδων ψυχολόγων και νευροεπιστημών όπως του καθηγητή Bhushan [26] και περιέχουν εικόνες και ήχους οι οποίοι είναι σε θέση να προκαλέσουν την ακούσια συναισθηματική διέγερση ενός ατόμου. Τα προς διέγερση συναισθήματα θα είναι η χαρά, ο φόβος και η αποστροφή. Πέρα από τα άτομα τα οποία θα διεγείρουμε θα λάβουμε και μια ξεχωριστή σειρά μετρήσεων. Τα άτομα που θα λάβουν μέρος σε αυτές τις μετρήσεις θα παρακολουθούν απλώς μια σειρά από εναλλασσόμενες χρωματικές εικόνες χωρίς ήχο. Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι η δημιουργία μιας μέτρησης αναφοράς. Η μέτρηση αναφοράς θα χρησιμοποιηθεί κατά την στατιστική ανάλυση με σκοπό τον εντοπισμό των διαφορών σχετικά με την διεγερμένη κατάσταση και την κατάσταση ηρεμίας των συμμετεχόντων. Οι συμμετέχοντες είναι άντρες και γυναίκες, μεταξύ 18 και 24 χρονών και οι αναφερόμενες μετρήσεις έλαβαν χώρα κατά το 2018. Τα βίντεο έχουν διάρκεια περίπου πέντε λεπτά. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα λαμβάνονται διαρκώς μετρήσεις από τους συμμετέχοντες. Ανά τριάντα δευτερόλεπτα από την στιγμή $T_0=0$ sec έως και την στιγμή $T_{10}=300$ sec καταγράφονται μετρήσεις για κάθε άτομο. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν την μέγιστη στιγμιαία θερμοκρασία την οποία παρατηρούμε σε συγκεκριμένες περιοχές του προσώπου όπως τα ζυγωματικά ή το μέτωπο και η μύτη του εκάστοτε ατόμου.

4.5 Δείγμα

Το στατιστικό δείγμα αποτελείται από 168 άτομα σε μια ποσοστιαία αναλογία 40% άντρες έναντι 60% γυναίκες. Τα 168 αυτά άτομα χωρίστηκαν σε τέσσερις τυχαίες ομάδες (υποπληθυσμοί), μια για κάθε ένα από τα προς μελέτη συναισθήματα. Ο διαχωρισμός των ατόμων, καθώς επίσης και τα ανάλογα συναισθήματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1). Να τονίσουμε στο σημείο αυτό πως ο διαχωρισμός έγινε με τυχαίο τρόπο. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει λαμβάνουμε ένα πλήθος 10 μετρήσεων από κάθε άτομο (μια μέτρηση κάθε 30s για συνολικό χρόνο 5min) ανεξαρτήτως από το διεγερόμενο συναίσθημα, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη κατανόηση της θερμοκρασιακής μεταβολής κατά την διάρκεια του πειράματος.

Αριθμός Ατόμων	Συναίσθημα προς διέγερση
39	Κενό (καμία διέγερση)
43	Χαρά
44	Φόβος
42	Αποστροφή

Πίνακας 1. Διαχωρισμός συμμετεχόντων σε σχέση με το συναίσθημα που τους διεγείραμε.

4.6 Πείραμα

Το πρωτόκολλο λήψης των μετρήσεων για κάθε ένα από τους συμμετέχοντες έχει ως εξής:

- Τοποθέτηση του ατόμου έναντι της κάμερας και μπροστά από τον υπολογιστή για την παρακολούθηση του ανάλογου βίντεο.
- Αναμονή μερικών λεπτών προκειμένου ο συμμετέχων να ηρεμήσει και η θερμοκρασία του να σταθεροποιηθεί.
- Λήψη αρτηριακής πίεσης για επαλήθευση του εάν το άτομο είναι όντως ήρεμο. Στην περίπτωση που δεν παρατηρηθεί η αναγκαία ηρεμία παρατείνεται η αναμονή.
- Εστίαση της κάμερας στην περιοχή του προσώπου και τοποθέτηση των ανάλογων σημείων ενδιαφέροντος στην οθόνη της κάμερας.
- Έναρξη βίντεο και χρονομέτρου.
- Λήψη δειγμάτων κάθε 30 δευτερόλεπτα.
- Μετά το πέρας του βίντεο διεξαγωγή των κατάλληλων ερωτήσεων με σκοπό τον προσδιορισμό του τι βίωσε το κάθε άτομο.
- Κατάταξη των δεδομένων του ατόμου στην ανάλογη ομάδα διεγερόμενου συναισθήματος.

Κατά την διάρκεια του πειράματος είναι σημαντικό οι συμμετέχοντες που έχουν ήδη λάβει μέρος να μην έρθουν σε επαφή με αυτούς περιμένουν να εισέλθουν προκειμένου να μην υπάρξει κάποιου είδους ενημέρωση σχετικά με το τι πρόκειται να ακολουθήσει. Το ίδιο ισχύει και για την ερευνητή καθότι ο ίδιος δεν θα πρέπει να αναφέρει τίποτα σχετικά με την πειραματική διαδικασία ούτε με το τι πρόκειται να ακολουθήσει.

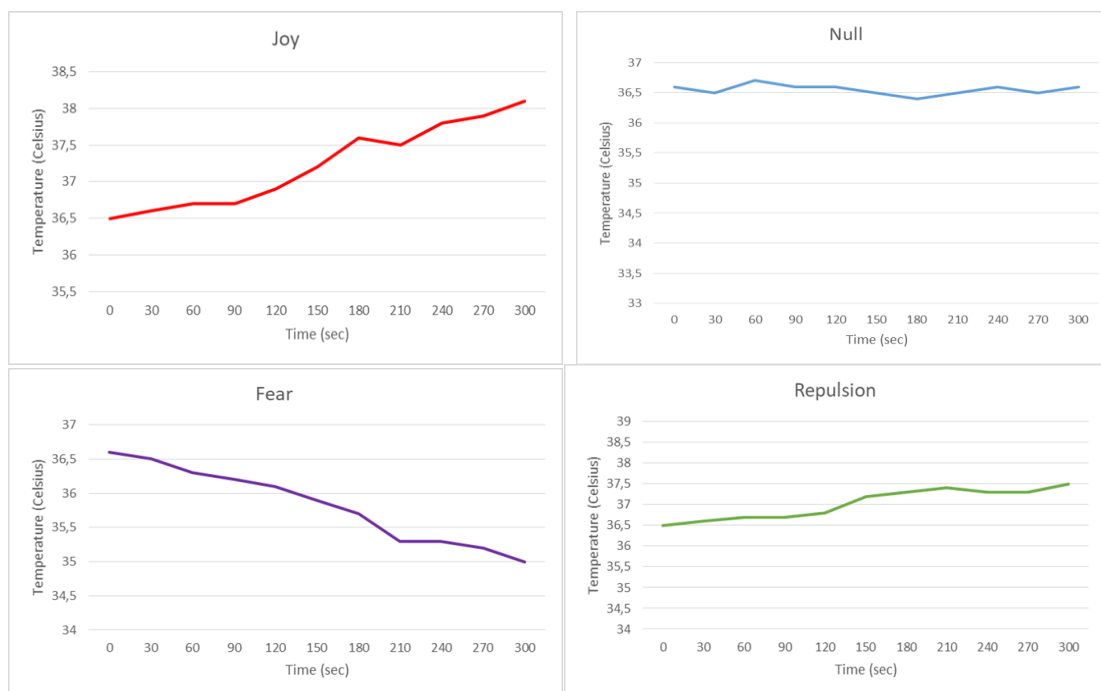
5. Αποτελέσματα

Μετά από την καταγραφή των μετρήσεων τα αποτελέσματα εισάχθηκαν σε ένα υπολογιστικό φύλλο (πίνακας 2).

Χρόνος T (sec)	Θερμοκρασία °C (κελσίου)
0	36,5
30	36,6
60	36,7
90	36,7
120	36,8
150	37,2
180	37,3
210	37,4
240	37,3
270	37,3
300	37,5

Πίνακας 2. Ενδεικτικό σύνολο μετρήσεων ενός άτομου που συμμετείχε στο πείραμα. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι χρόνοι λήψης μετρήσεων και στα αριστερά οι μετρούμενες θερμοκρασίες σε βαθμούς κελσίου για κάθε χρόνο T.

Ένας ανάλογος πίνακας υπήρξε για κάθε έναν από τους συμμετέχοντες. Τα δεδομένα από τους πίνακες χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό μιας καμπύλης θερμοκρασίας-Χρόνου (Εικόνα 26) στο πρόγραμμα MS Excel. Μέσω της καμπύλης αυτής μπορεί να μελετηθεί πώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία του ατόμου συναρτήσει του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο λαμβάνονται μετρήσεις. Πέραν αυτού, μπορεί να γίνει μια πρώτη παρατήρηση σχετικά με την ύπαρξη ή όχι κάποιου προτύπου στην μεταβολή της θερμοκρασίας καθώς τα δεδομένα αναπαρίστανται γραφικά.



Εικόνα 26. Γραφική αναπαράσταση ενός τυχαίου δείγματος από κάθε ένα από τα προς μελέτη διεγερμένα συναισθήματα. Τα γραφήματα αναπαριστούν κατά σειρά το Κενό συναίσθημα (δείγμα αναφοράς), την χαρά, τον φόβο και την αποστροφή.

Από τις γραφικές παραστάσεις της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο, είναι εμφανές πως όντως υπάρχει μια συγκεκριμένη απόκριση για κάθε ένα από τα συναισθήματα τα οποία εγέρθηκαν. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για κάθε μια από τις μετρήσεις που είχαμε προκειμένου, να έχουμε μια καλύτερη και πιο εμπειρισταωμένη κατανόηση της θερμοκρασιακής διακύμανσης των συμμετεχόντων. Μετά από την εξέταση όλων των γραφημάτων θεωρείται ότι η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής θερμοκρασίας μπορεί να αποτελέσει έναν ποσοτικό δείκτη για την εκτίμηση της συσχέτισης της θερμοκρασιακής μεταβολής με τον τύπο του συναισθήματος που εγείρεται.

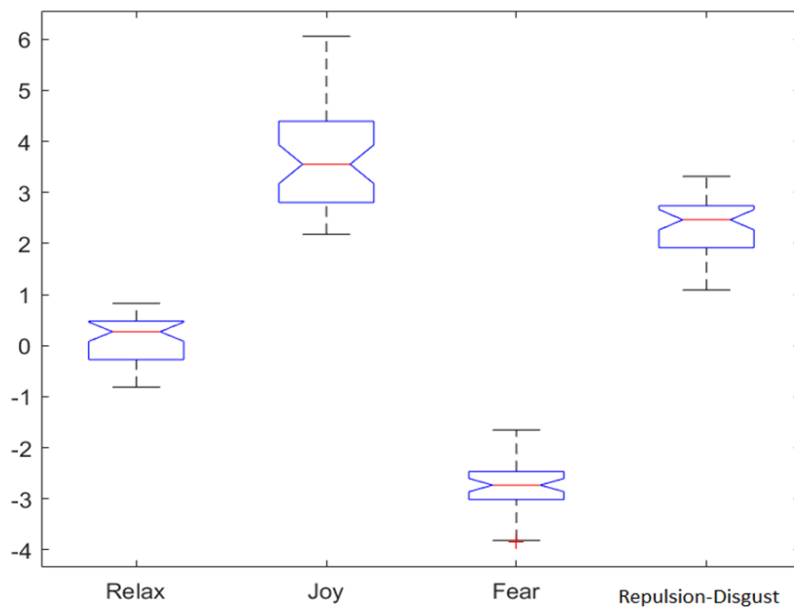
Έτσι λοιπόν, καταλήγουμε στα εξής αποτελέσματα:

- τα άτομα του δείγματος αναφοράς, όπως ήταν αναμενόμενο δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική θερμική μεταβολή, παρά μόνο μικρές μεταβολές της τάξης των δέκατων του βαθμού Κελσίου με αποτέλεσμα η αρχική και η τελική τους θερμοκρασία να είναι σχετικά η ίδια.
- Σε όσα άτομα επιχειρήσαμε να εγείρουμε την χαρά, παρατηρήσαμε μια θετική μεταβολή της θερμοκρασίας του προσώπου, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας έως και κατά δυο βαθμούς Κελσίου σε κάποιες εκ των περιπτώσεων.
- Κατά την διέγερση του φόβου στους συμμετέχοντες παρατηρούμε μια αρνητική μεταβολή, των προς μελέτη θερμοκρασιών, η οποία οδηγεί τελικά σε μια πτώση

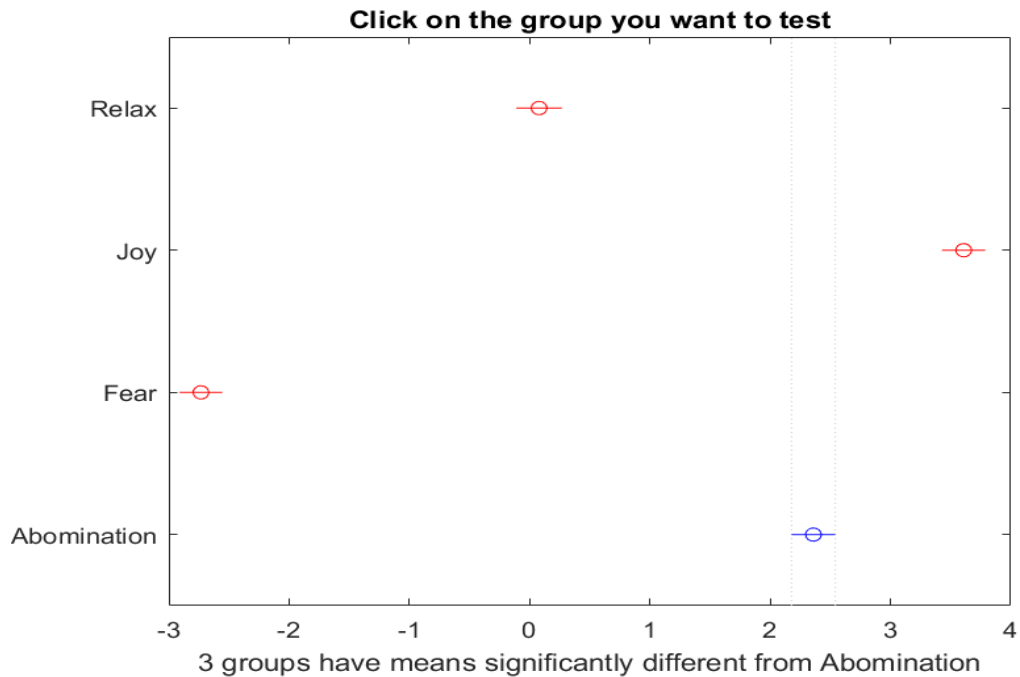
της θερμοκρασίας του προσώπου, το μέγεθος της οποίας αγγίζει τους ενάμιση με δυο βαθμούς Κελσίου.

- Τέλος σε όσους από τους συμμετέχοντες θελήσαμε να προκαλέσουμε το αίσθημα της αποστροφής παρατηρήσαμε και πάλι μια θετική μεταβολή της θερμοκρασίας του προσώπου, όχι όμως στον ίδιο βαθμό με αυτή της χαράς καθώς στην προκειμένη περίπτωση η μεταβολή είναι της τάξης του ενός βαθμού της κλίμακας Κελσίου. Η παρατήρηση της παρόμοιας συμπεριφοράς κάποιων από τα εξεταζόμενα συμπεράσματα δημιούργησε την ανάγκη περαιτέρω στατιστικής ανάλυσης των δειγμάτων. Είναι αναγκαίο να σιγουρευτούμε πως δεν υπάρχει κάποιου είδους σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων και πως η κάθε υποκατηγορία του συνολικού πληθυσμού των δειγμάτων διαφέρει από τις υπόλοιπες.

Προκειμένου να επιτύχουμε το γεγονός αυτό πραγματοποιήσαμε μια ακόμη στατιστική δοκιμή στα δείγματα. Το τεστ στο οποίο τα υποβάλαμε είναι ένα τεστ τύπου ANOVA (Analysis of Variance). Με το ANOVA τεστ, ή αλλιώς Ανάλυση Διασποράς, συγκρίνουμε τους μέσους όρους περισσότερων από δυο πληθυσμούς. Εισάγοντας τα δεδομένα που διαθέτουμε, σε ένα πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα (Εικόνες 27-29). Τα αποτελέσματα αυτά μας δείχνουν πως υπάρχει μια σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των θερμογραφικών ενδείξεων τις οποίες λαμβάνουμε κατά την διέγερση των συναισθημάτων καθώς η συσχέτιση μεταξύ των επιμέρους ομάδων ανέρχεται στο 1.21187×10^{-97} το οποίο είναι πρακτικά μηδέν, πράγμα που μας δείχνει πως ακόμη και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες τα συναισθήματα εκφράζονται με παρόμοιο τρόπο από το άτομο (όσων αφορά την θερμική διακύμανση), το τελικό αποτέλεσμα διαφέρει.



Εικόνα 27. Αποτελέσματα του ANOVA τεστ στους μέσους όρους TD ($TD = \frac{T_f - T_i}{T_f} \%$ όπου T_f η τελική θερμοκρασία και T_i η αρχική), των επιμέρους συναισθημάτων. Είναι εμφανές πως τα TD των κατηγοριών διαφέρουν μεταξύ τους και επομένως έχουμε σημαντική στατιστική διαφορά.



Εικόνα 28. Γραφική αναπαράσταση της συσχέτισης των επιμέρους υποπληθυσμών οι οποίοι εξετάστηκαν. Παρατηρούμε πως τα δεδομένα παραμένουν πλήρως διαχωρισμένα.

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	1010.77	3	336.923	799.99	1.21187e-97
Error	69.07	164	0.421		
Total	1079.84	167			

Εικόνα 29. Στατιστικά στοιχεία της ανάλυσης η οποία έλαβε χώρα με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων μας. Παρατηρούμε πως η τιμές είναι τόσο μικρές που θεωρητικά είναι μηδενικές επομένως τα δεδομένα μας διαχωρίζονται.

Διαθέτουμε έτσι μια εμπειριστατωμένη άποψη σχετικά με το τι έλαβε χώρα κατά την διεξαγωγή του πειράματος μας και έτσι είμαστε σε θέση να οδηγηθούμε στα ανάλογα συμπεράσματα. Να αναφέρουμε εδώ πως η συγκεκριμένη μέθοδος διαθέτει κάποιους περιορισμούς καθώς τόσο τα όργανα τα οποία διαθέτουμε όσο και οι μέθοδοι τις οποίες χρησιμοποιούμε για την διέγερση των ατόμων ίσως επιφέρουν σφάλματα τα οποία να δημιουργήσουν σε ένα βαθμό λανθασμένα αποτελέσματα. Επιπλέον οι μετρήσεις μας εξαρτώνται σε ένα βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν και τις οποίες δεν μπορούμε πλήρως να ελέγξουμε σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα να έχουμε μεταβολές του αποτελέσματος σε ένα μικρό βαθμό.

6. Συμπεράσματα

Μας είναι γνωστό και κοινά αποδεκτό, πως η οποιαδήποτε αλλαγή η οποία επιφέρεται στο άτομο θα εκφραστεί από αυτό με ένα συγκεκριμένο τρόπο, πράγμα το οποίο αποτελεί αποτέλεσμα μιας σειράς από εξελικτικά κατάλοιπα τα οποία όλοι μας διαθέτουμε. Στην περίπτωση των συναισθημάτων το άτομο βιώνει μια σειρά από αλλαγές στην εγκεφαλική και νευρική του λειτουργία οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας του. Η τεχνολογία η οποία διαθέτουμε στις μέρες μας είναι σε θέση να μας παρέχει τρόπους για την εύρεση και καταγραφή των αλλαγών αυτών. Ένα μέσον για την καταγραφή αυτή είναι η χρήση μια θερμικής κάμερας. Η κάμερα αυτή παρέχει μια άμεση και αξιόπιστη, σχετικά, καταγραφή την οποία είμαστε σε θέση να έχουμε σε πραγματικό χρόνο και την οποία μπορούμε έπειτα να την επεξεργαστούμε αναλόγως και έτσι να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον με τη χρήση συγκεκριμένων ερεθισμάτων, μπορούν να προκληθούν συγκεκριμένες νευρικές και συναισθηματικές διεγέρσεις σε ένα άτομο. Η διεξαγωγή του πειράματος αυτού έδειξε πως η αρχική υπόθεση, ότι δηλαδή, η εκδήλωση ενός συναισθήματος από το άτομο επιφέρει αλλαγές στην φυσιολογία του, οι οποίες μπορούν να ανιχνευθούν και να ποσοτικοποιηθούν είναι βάσιμη και επαληθεύσιμη. Παρατηρήθηκε πως με την χρήση απλών μεθόδων, μπορούν να καταγραφούν θερμικές αλλαγές στο άτομο όταν βιώνει ένα συγκεκριμένο συναίσθημα. Οι αλλαγές αυτές καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο, πράγμα το οποίο μπορεί να φανεί χρήσιμο για μελλοντικές εφαρμογές όπως η επαφή ανθρώπου υπολογιστή. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη αναπτύσσεται η χρήση τέτοιων δεδομένων μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μιας καλύτερης σχέσης μηχανής και ατόμου κατά την οποία το άτομο θα γίνεται καλύτερα κατανοητό.

Επιπρόσθετα, δεδομένα σαν και αυτά αποτελούν σημαντικό κομμάτι της καλύτερης κατανόησης του ατόμου, καθώς μέσω αυτών μπορούμε να μελετήσουμε καλύτερα διάφορες συμπεριφορές οι οποίες εκφράζονται εκούσια από το άτομο. Είναι παρόλα αυτά σημαντικό, να αναφερθεί πως προκειμένου να υπάρξει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με τα αποτελέσματα θα πρέπει να γίνει περαιτέρω και πιο εξειδικευμένη έρευνα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν πιθανές ασάφειες και να επιβεβαιωθεί η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

7. Βιβλιογραφία

- [1] Javier DeFelipe, "The evolution of the brain, the human nature of cortical circuits, and intellectual creativity", (2011). (<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnana.2011.00029/full>) (Last access: 15/2/2023)
- [2] Thomas Matheson, "Invertebrate Nervous Systems", (2002), (<https://silo.tips/download/invertebrate-nervous-systems>) (Last Access: 16/2/2023)
- [3] Binyamin Hochner, "An Embodied View of Octopus Neurobiology", (2012) (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982212010640>) (Last access: 16/2/2023)
- [4] Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, Anne M.R. Agur, "Κλινική Ανατομία", (2010)
- [5] Neil A. Campbell et al., "Βιολογία", Τόμος Ι, (2008)
- [6] Dr. Alan Woodruff, "The brain", Τόμος Ι (2018)
- [7] R. Kageyama et al., "Helix–Loop–Helix (bHLH) Proteins: Hes Family", The EMBO Journal (1994), (<https://www.embopress.org/doi/abs/10.1002/j.1460-2075.1994.tb06448.x>) (Last access: 17/2/2023)
- [8] Nicole Baumann, Danielle Pham-dinh, " Encyclopedia of the Human Brain", Τόμος Ι, ΙΙ(2002)
- [9] "Neuroscience & Biobehavioral Reviews", τεύχη 135, 136
- [10] "Brain, Behavior, and Immunity", τεύχη 87, 95, 100
- [11] "Neurobiology of Aging", τεύχη 75, 98, 111
- [12] "Anatomy & Biology". The Lobster Institute. University of Maine, (2016). (<https://umaine.edu/lobsterinstitute/educational-resources/anatomy-biology/>) (Last access: 18/2/2023)
- [13] Cash D, Carew TJ, "A quantitative analysis of the development of the central nervous system in juvenile *Aplysia californica*". (January 1989) Journal of Neurobiology. (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2921607/>) (Last access 20/2/2023)
- [14] Hofman M A, Falk D, "Evolution of the Primate Brain: From Neuron to Behavior", (2 March 2012). (https://www.researchgate.net/publication/278344283_EVOLUTION_OF_THE_PRIMATE_BRAIN_FROM_NEURON_TO_BEHAVIOR_Preface) (Last access: 22/2/2023)
- [15] Steven J.C. Gaulin and Donald H. McBurney, "Evolutionary Psychology" , (2003). (https://www.researchgate.net/publication/288160065_Evolutionary_Psychology) (Last access: 22/2/2023)
- [16] "Emotion". The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Metaphysics Research Lab, Stanford University. (2018). (<https://plato.stanford.edu/entries/emotion/>) (Last access: 23/2/2023)

- [17] Papez, J. W., "A proposed mechanism of emotion", (επανάδοση 1995). The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences. Τεύχος 7. (<https://www.sfn.org/~media/SfN/Documents/ClassicPapers/Emotion/papez.ashx>) (Last access: 24/4/2023)
- [18] Cooley C.H., "Human nature and the social order", (1992) New Brunswick: Transaction Publishers (<https://ia802800.us.archive.org/24/items/cu31924032559316/cu31924032559316.pdf>) (Last access: 24/2/2023)
- [19] Fischer, T., "Derivation of Planck's Law", (2011). ThermalHUB. (<https://nanohub.org/wiki/DerivationofPlancksLaw>) (Last access: 23/2/2023)
- [20] Hapke B., "Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy", (1993). Cambridge University Press, Cambridge UK. (https://www.researchgate.net/publication/247374254_Theory_of_Reflectance_and_Emittance_Spectroscopy) (Last access: 25/2/2023)
- [21] Tisza, L., "Generalized Thermodynamics", (1966). MIT Press. (<https://vdoc.pub/documents/generalized-thermodynamics-1iq3e0sd4na0>) (Last access: 25/2/2023)
- [22] Chilton A., "The Working Principle and Key Applications of Infrared Sensors", (2013). (<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=339>) (Last access: 25/2/2023)
- [23] Jacqueline Ludel, "Introduction to Sensory Processes", (1977). (<https://www.nature.com/articles/278106a0.pdf>) (Last access: 26/2/2023)
- [24] Jody Clay-Werner, Dawn T. Robinson, "Infrared Thermography as a Measure of Emotion Response", (2015) (https://www.researchgate.net/publication/271704323_Infrared_Thermography_as_a_Measure_of_Emotion_Response) (Last access: 27/2/2023)
- [25]. Hirokazu Genno et al., "Using facial skin temperature to objectively evaluate sensations", (1996). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016981419600011X?via%3Dihub>) (Last access: 26/2/2023)
- [26] Braj Bhushan et al., "Exploring the Thermal Signature of Guilt, Shame, and Remorse", (2020). (<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.580071/full>) (Last access: 27/2/2023)
- [27] E. Salazar-López et al., "The mental and subjective skin: Emotion, empathy, feelings and thermography", (2015). (https://www.researchgate.net/publication/275887295_The_mental_and_subjective_skin_Emotion_empathy_feelings_and_thermography) (Last access: 25/2/2023)