



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Γαλβανική Απόκριση Δέρματος Galvanic Skin Response (GSR)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Βαγενάς

Επιβλέπων: Κουτσούρης Δημήτριος
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα 15/11/2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Γαλβανική Απόκριση Δέρματος Galvanic Skin Response (GSR)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Βαγενάς

Επιβλέπων: Κουτσούρης Δημήτριος
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Κουτσούρης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ματσόπουλος Γεώργιος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Νικήτα Κωνσταντίνα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα 15/11/2017

Ιωάννης Κ. Βαγενάς

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

Copyright © Ιωάννης Κ. Βαγενάς, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής αφορά στη μελέτη της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος (GSR). Ο τρόπος με τον οποίο το δέρμα ανταποκρίνεται στα διαφορετικά ερεθίσματα καταγράφεται μέσω ενός πολύπλοκου συστήματος μέτρησης της γαλβανικής του απόκρισης, που κατασκευάστηκε στο τεχνικό - πειραματικό στάδιο της διπλωματικής και το οποίο παρέχει σημαντικές ενδείξεις αναφορικά με τις συνασθηματικές διακυμάνσεις, με δυνατότητα χρήσης και εφαρμογής του σε πειράματα, ψυχολογικά τεστ και περαιτέρω ιατρικές μελέτες.

Όσον αφορά στο ιατρικό υπόβαθρο, μελετήθηκε αρχικά η δομή του δέρματος, δηλαδή η διάρθρωση του σε επιμέρους στιβάδες και η λειτουργία κάθε μιας από αυτές, καθώς και ο ρόλος που διαδραματίζουν το κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα στην αντίδραση των ιδρωτοποιών αδένων κατά τις διάφορες συναισθηματικές καταστάσεις του οργανισμού. Τέλος, η μελέτη επικεντρώθηκε στην διαδικασία ανάπτυξης δυναμικού μεμβράνης, στην κίνηση των ιόντων και τελικά στην μετάδοση του νευρικού σήματος (νευρική ώση), με ιδιαίτερη έμφαση στην πορεία «ερεθίσματος – απόκρισης» του οργανισμού.

Το δεύτερο τμήμα της εργασίας αφορά στην διενέργεια πειράματος, που συνίσταται στην κατασκευή κυκλώματος, τον προγραμματισμό του αισθητήρα GSR, την δημιουργία και προβολή video, την λήψη και την αποθήκευση των μετρήσεων και τέλος την ανάλυσή τους. Δίνεται έμφαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά του πειράματος, όπως τα ηλεκτρονικά στοιχεία, οι αισθητήρες, οι κώδικες, τα μικροκοντρόλερ που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να καταστεί δυνατή η κατασκευή του κυκλώματος GSR για την μέτρηση και την καταγραφή των δεδομένων της έρευνας. Όσον αφορά στη δημιουργία του video, η προβολή του στοχεύει στην πρόκληση έντονων συναισθηματικών αντιδράσεων στα διαφορετικά υποκείμενα. Τέλος, τα δεδομένα των μετρήσεων του GSR, που αφορούν στις αντιδράσεις των υποκειμένων, αποθηκεύονται με σκοπό την παρουσίαση και την ανάλυσή τους.

Στα τελευταία δύο κεφάλαια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος και επιχειρείται μια πρώτη εκτίμηση - εξαγωγή συμπερασμάτων, βάσει του συσχετισμού των ερεθισμάτων με την απόκριση των ιδρωτοποιών αδένων. Τέλος διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις και χρήσεις του μετρητή γαλβανικής απόκρισης.

Λέξεις – Κλειδιά: δέρμα, στιβάδες, νευρώνες, συνάψεις, νευρική ώση, νευροδιαβιβαστές, ερέθισμα, απόκριση, ιδρωτοποιοί αδένες, εγκέφαλος, μεταχιακό σύστημα, συμπαθητικό νευρικό σύστημα, αισθητήρες, ηλεκτρόδια, μικροελεγκτές, Arduino, Grove

Abstract

The subject of this diploma thesis concerns the study of Galvanic Skin Response (GSR). The way the skin responds to the different stimuli is recorded through a complex system of measurement of its galvanic response, constructed in the technical-experimental stage of this diploma thesis, which provides important clues regarding emotional fluctuations, capable of being used and applied in experiments, psychological tests and further medical studies.

With regard to the medical background, the study focused initially on the structure of the skin, i.e. its division into individual layers and the function of each one of them, as well as on the role of the central and peripheral nervous system in the reaction of sweat glands in the different emotional states of the organism. Finally, the study focused on the membrane potential development, the movement of ions and ultimately the transmission of nerve signals (nerve impulse), with particular emphasis on the interaction between the stimulus and the response of the organism.

The second part of the thesis concerns the conduct of the experiment, which consists in circuit construction, programming GSR sensor, creating and viewing video, receiving and saving the measurements and finally analyzing the data. In this part emphasis is given to the technical characteristics of the experiment, such as electronic components, sensors, codes, microcontrollers that were used to enable the construction of the GSR circuitry for measuring and recording of research data. Regarding the creation of the video, its view aims at the stimulation of intense emotional reactions of the different participants. Finally, the data of the GSR measurements relating to the subjects responses are stored in order to be displayed and analyzed.

In the last two sections of this paper the results of experimental measurements are presented and analyzed and an initial estimate of conclusions is attempted on the basis of correlation of the stimuli and the sweat glands response to them. Finally suggestions for future improvements and uses of the galvanic skin sensor are stated.

Keywords: dermis, layers, neurons, synapse, nerve impulse, neurotransmitters, stimuli, response, sweat glands, brain, limbic system, sympathetic nervous system, sensors, electrodes, microcontrollers, Arduino, Grove

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου Βαλεντίνα για την βοήθεια που μου παρείχε στη δημιουργία του βίντεο καθώς και την αγαπημένη μου Δήμητρα για την απέραντη υπομονή της καθ' όλη την πολύχρονη διαδικασία συγγραφής της παρούσας διπλωματικής.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Στοιχεία Θεωρίας – Ιστορικά Στοιχεία.....	18
1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία – Ιστορικά	18
1.2 Γενική Περιγραφή του GSR.....	20
Κεφάλαιο 2 Ειδικό Ιατρικό Θέμα – Θεωρία	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Ανατομία του Δέρματος	24
2.2.1 Επιδερμίδα.....	24
2.2.1.1 Άλλοι Τύποι Κυττάρων της Επιδερμίδας	27
2.2.1.1.1 Μελανοκύτταρα ή Μελανοκύτταρα	27
2.2.1.1.2 Κύτταρα Langerhans	28
2.2.1.1.3 Κύτταρα Merkel	28
2.2.2 Χόριο	29
2.2.2.1 Το δίκτυο των κολλαγόνων ινών	29
2.2.2.2 Το δίκτυο των ελαστικών ινών.....	30
2.2.2.3 Τις δικτυωτές ίνες	30
2.2.2.4 Τη βασική ουσία του χορίου.....	31
2.2.2.5 Τα εξαρτήματα του δέρματος.....	31
2.2.2.6 Τα κύτταρα του χορίου	31
2.2.2.6 Το δίκτυο των νευρικών απολήξεων του δέρματος	31
2.2.3 Υπόδερμα ή Υποδόριο Λίπος	31
2.3 Εξαρτήματα του δέρματος.....	33
2.3.1 Οι Τρίχες.....	33
2.3.1.1 Ανατομία της τρίχας.....	33
2.3.1.1.1 Το στέλεχος	33
2.3.1.1.2 Η ρίζα	33
2.3.1.1.3 Ο βολβός	33
2.3.1.2 Κερατινοποίηση	34
2.3.2 Τα Νύχια.....	36
2.3.2.1 Η ρίζα του νυχιού	37
2.3.2.2 Σώμα του νυχιού	37
2.3.2.3 Κορυφή του νυχιού	37
2.3.3 Οι Αδένες	37

2.3.3.1 Σμηγματογόνοι Αδένες	37
2.3.3.2 Ιδρωτοποιοί Αδένες	39
2.3.3.2.1 Μεροκρινείς(Εκκριτικοί) Αδένες.....	40
2.3.3.2.2 Αποκρινείς(Απεκκριτικοί) Αδένες	40
2.3.3.3 Μαζικοί Αδένες ή Μαστοί.....	40
2.4 Νεύρωση του Δέρματος	41
2.4.1 Νεύρα της Επιδερμίδας	42
2.4.2 Νεύρα του Χορίου.....	42
2.4.3 Νεύρα του Υποδόριου Ιστού	43
2.5 Νευρικό Σύστημα.....	44
2.5.1 Δομή του Νευρικού Συστήματος	44
2.5.1.1 Νευρώνες.....	44
2.5.1.2 Νευρογλοιακά Κύτταρα.....	47
2.5.1.2.1 Ο Ρόλος της Μυελίνης	48
2.5.1.3 Δυναμικό Ηρεμίας	49
2.6 Νευρική Ύψη	49
2.6.1 Ανάπτυξη Δυναμικού Μembrάνης.....	49
2.6.2 Εκπόλωση.....	50
2.6.3 Επαναπόλωση	50
2.6.4 Μυϊκό Δυναμικό Δράσης	50
2.6.5 Συνάψεις.....	52
2.6.6 Μαθηματικό Μοντέλο Νευρώνων	53
2.7 Εγκέφαλος.....	55
2.7.1 Διαχωρισμός του Εγκεφάλου	56
2.7.1.1 Εγκεφαλικός φλοιός	56
2.7.1.2 Θάλαμος.....	57
2.7.1.3 Υποθάλαμος.....	58
2.7.1.4 Παρεγκεφαλίδα	59
2.7.1.5 Εγκεφαλικό Στέλεχος	59
2.7.2 Μεταιχμιακό Σύστημα	60
2.7.2.1 Αμυγδαλή.....	61
2.7.2.2 Ιππόκαμπος.....	62
2.7.2.3 Βασικά Γάγγλια	63

2.7.2.4 Έλικα του προσαγωγίου.....	64
2.7.2.5 Ψαλίδα.....	64
2.7.2.6 Διάφραγμα.....	65
2.7.2.7 Συνδέσεις με συστήματα.....	65
2.7.3 Λοβοί Του Εγκεφάλου	65
2.7.3.1 Ινιακός Λοβός.....	65
2.7.3.2 Βρεγματικός Λοβός.....	66
2.7.3.3 Κροταφικός Λοβός.....	66
2.7.3.4 Μετωπιαίος Λοβός.....	67
2.8 Νωτιαίος Μυελός.....	68
2.8.1 Εσωτερική Μορφολογία	69
2.9 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) – Γενική Δομή	70
2.9.1 Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα.....	70
2.9.1.1 Ανώτερα Κέντρα του Α.Ν.Σ	71
2.9.1.1.1 Ο Υποθάλαμος	72
2.9.1.1.2 Μετωπιαίος Συνειρμικός Φλοιός	72
2.9.1.1.3 Περιοχή Διαφράγματος	72
2.9.1.2 Συμπαθητικό και Παρασυμπαθητικό Νευρικό Σύστημα.....	73
2.9.2 Σωματικό Νευρικό Σύστημα	76
2.9.3 Ιδρωτοποιοί Αδένες και Α.Ν.Σ	76
2.10 Ερέθισμα – Απόκριση	77
Κεφάλαιο 3 Θεωρητικά Κατασκευαστικού Τμήματος.....	81
3.1 Εισαγωγή.....	81
3.2. Αισθητήρες.....	81
3.2.2 Είδη Αισθητήρων	81
3.2.2.1 Επαγωγικοί, χωρητικοί και μαγνητικοί.....	82
3.2.2.2 Laser	83
3.2.2.3 Πίεσης	84
3.2.2.4 Θερμοκρασίας	85
3.2.2.5 Στάθμης.....	85
3.2.2.6 Υγρασίας	86
3.2.2.7 Ταχύτητας	86
3.2.2.8 Ανίχνευσης Αερίων/Χημικών.....	86

3.2.2.9 Έξυπνοι Αισθητήρες.....	86
3.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	87
3.2.3.1 Στατικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	87
3.2.3.1.1 Ακρίβεια.....	87
3.2.3.1.2 Πιστότητα.....	87
3.2.3.1.3 Ευαισθησία	88
3.2.3.1.4 Βαθμονόμηση/Διακρίβωση	88
3.2.3.1.5 Σφάλμα	89
3.2.3.1.6 Υστέρηση.....	89
3.2.3.1.7 Νεκρή ζώνη	89
3.2.3.1.8 Εύρος Τιμών	89
3.2.3.1.9 Επαναληψιμότητα	90
3.2.3.1.10 Κατώφλι	90
3.2.3.2 Δυναμικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων.....	90
3.3 Ολοκληρωμένα Κυκλώματα(IC's) και Ηλεκτρόδια	90
3.3.1 Χαρακτηριστικά Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων	92
3.3.2 Ταξινόμηση ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων	92
3.3.2.1 SSI (Small Scale Integration).....	92
3.3.2.2 MSI(Medium Scale Integration)	92
3.3.2.3 LSI (Large Scale Integration).....	92
3.3.2.4 VLSI (Very Large Scale Integration)	93
3.4 Μικροεπεξεργαστές.....	93
3.4.1 Εισαγωγικά.....	93
3.4.2 Μονάδες του μικροεπεξεργαστή.....	94
3.4.2.1 Αριθμητική και Λογική Μονάδα (ALU)	94
3.4.2.2 Καταχωρητές (Registers).....	94
3.4.2.2.1 Συσσωρευτής (Accumulator)	95
3.4.2.2.2 Μετρητής Προγράμματος (Program Counter)	95
3.4.2.2.3 Καταχωρητής Εντολών (Instruction Register).....	95
3.4.2.2.4 Δείκτης Στοίβας (Stack Pointer)	95
3.4.2.2.5 Καταχωρητής Κατάστασης Μικροεπεξεργαστή (Status Register).....	95
3.4.2.3 Μονάδα Ελέγχου (Control Unit)	96
3.4.2.4 Δίαυλος Διευθύνσεων/Δεδομένων/Ελέγχου	96

3.5 Μικροελεγκτές	98
3.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	98
3.5.2 Σύγκριση Μικροελεγκτών – Μικροεπεξεργαστών	99
3.5.3 Είδη Μικροελεγκτών	100
3.5.4 Αρχιτεκτονικές Μνήμης Μικροελεγκτών	101
3.5.4.1 Αρχιτεκτονική Harvard	101
3.5.4.2 Αρχιτεκτονική Von-Neumann (ή Princeton)	101
3.5.4.3 Αρχιτεκτονική CISC (Complex Instruction Set Computer)	102
3.5.4.4 Αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computers)	102
3.5.5 Βασική Δομή Μικροελεγκτή	103
3.5.6 Είδη Μνήμης	103
3.5.6.1 Μνήμη ROM	103
3.5.6.2 Μνήμη RAM	104
3.5.6.3 Μνήμη EEPROM	104
3.6 Arduino	104
3.6.1 Χαρακτηριστικά Arduino UNO	104
3.6.2 Τροφοδοσία	107
3.6.3. Μνήμη	108
3.6.4 Ακροδέκτες Arduino UNO	108
3.6.5 USB Προστασία από υπέρταση	109
3.6.6 Περιβάλλον Ανάπτυξης Εφαρμογών	109
3.6.7 Γιατί Arduino Uno	110
Κεφάλαιο 4 Κατασκευή και Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης	111
4.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων	111
4.1.1 Arduino UNO Rev3	111
4.1.2 Grove – Base Shield V1.3	111
4.1.3 Bluetooth HC-06 Module 2.4GHz Wireless Module	112
4.1.4 GSR Sensor	113
4.1.5 RC	114
4.2 Κόστος Κατασκευής	116
4.3 Συνδεσμολογία – Κατασκευή –Στάδια - Φωτος	116
4.4 Λειτουργία Διάταξης – Προβλήματα και Επίλυση	119
4.5 Κώδικες	120

Κεφάλαιο 5 Λήψεις Δεδομένων – Επεξεργασία Σήματος	121
5.1 Εισαγωγή.....	121
5.2 Περιγραφή του Video	122
5.3 Γραφήματα.....	124
5.3.1 Δείγμα 1 ^ο	125
5.3.2 Δείγμα 2 ^ο	125
5.3.3 Δείγμα 3 ^ο	126
5.3.4 Δείγμα 4 ^ο	126
5.3.5 Δείγμα 5 ^ο	127
5.3.6 Δείγμα 6 ^ο	127
5.3.7 Δείγμα 7 ^ο	128
5.3.8 Δείγμα 8 ^ο	128
5.3.9 Δείγμα 9 ^ο	129
5.3.10 Δείγμα 10 ^ο	129
5.3.10 Δείγμα 11 ^ο	130
5.3.10 Δείγμα 12 ^ο	130
5.3.10 Δείγμα 13 ^ο	130
5.3.10 Δείγμα 14 ^ο	131
5.4 Αποκλίσεις – Παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις.....	131
5.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα	132
Κεφάλαιο 6 Χρήσεις - Μελλοντικές Βελτιώσεις	135
6.1 Χρήσεις.....	135
6.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις	137
Βιβλιογραφία	140
Παράρτημα	143
Παράρτημα 1: Πίνακες	143
Παράρτημα 2: Κώδικας.....	143
1.Κώδικας Bluetooth:.....	143
2.Το κύριο πρόγραμμα σε Arduino:.....	144
3.Το κύριο πρόγραμμα σε Processing:	144
4.Υποπρογράμματα:	148
5.Ο Κώδικας σε Matlab:.....	153

Κατάλογος Εικόνων

Παρατίθενται οι πηγές των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Σε πολλές περιπτώσεις οι εικόνες έχουν υποστεί επεξεργασία ή έχουν χρησιμοποιηθεί τμηματικά.

Εικόνα 1: Πιθανά σημεία μέτρησης GSR(σελ.22) - <http://www.bem.fi/book/27/27.htm>

Εικόνα 2: Ανατομία του Δέρματος(Κάθετη Αναπαράσταση)(σελ.24) - http://www.apsubiology.org/anatomy/2010/2010_Exam_Reviews/Exam_2_Review/Ch_5_Dermal_Histology.htm

Εικόνα 3: Ανατομία της Επιδερμίδας(Στιβάδες)(σελ.26) - <https://www.dreamstime.com/stock-image-3d-natomy-epidermis-image28721111>

Εικόνα 4: Μελανοκύτταρα(σελ.28) - <https://en.wikipedia.org/wiki/Melanocyte>

Εικόνα 5: Κύτταρα Merkel(σελ.29) - https://en.wikipedia.org/wiki/Merkel_cell

Εικόνα 6: Ελαστικές Ίνες, Κολλαγόνες Ίνες(σελ.30) - <https://courses.lumenlearning.com/boundless-biology/chapter/animal-primary-tissues/>

Εικόνα 7: Υποδόριο Λίπος(σελ.33) - <http://www.medicinehack.com/2011/12/skin-structure.html>

Εικόνα 8: Ανατομία της Τρίχας(σελ.35) - <http://koreesa.co.uk/hair-anatomy/>

Εικόνα 9: Το Στέλεχος της Τρίχας(σελ.36) - <http://koreesa.co.uk/hair-anatomy/>

Εικόνα 10: Ανατομία φυσιολογικού νυχιού(σελ.37) - <http://www.easynailart.co.uk/the-anatomy-of-the-natural-nail/>

Εικόνα 11: Σμηγματογόνος Κύστη(σελ.39) - <https://www.filippou-surgery.gr/index.php/pathiseis-therapeia/pathiseis-tou-dermatos/smigmatogonos-kysti>

Εικόνα 12: Οι Αδένες του Δέρματος(σελ.40) - <http://www.majordifferences.com/2013/09/difference-between-sweat-and-sebum.html>

Εικόνα 13: Νεύρα του Δέρματος(σελ.44) - <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-skin-anatomy-sensory-receptors-skin-round-shape-image50975439>

Εικόνα 14: Νευρώνες και Νευρογλοιακά Κύτταρα(σελ.46) - <http://highered.mheducation.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=jpg::640::480::/sites/dl/free/0072919345/63806/0745l.jpg::Neurons%20and%20neuroglia>

Εικόνα 15: Είδη Νευρώνων(σελ.47) - <http://slideplayer.gr/slide/11483532/>

Εικόνα 16: Νευροάξονας(σελ.49) - <https://ehumanbiofield.wikispaces.com/Neuron+Structure+NLL>

Εικόνα 17: Σχηματική Παράσταση Περίσφιξης Ranvier(σελ.50) - https://www.my-smd.gr/voithimata/syllabus_I/neuriko/images/pages/011.htm

Εικόνα 18: Νευρική Ώση(σελ.53) - <http://slideplayer.gr/slide/2851536/>

Εικόνα 19: Συνάψεις(σελ.54) - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1206_The_Neuron.jpg

Εικόνα 20: Σύναψη, Τελικό κόμβιο και μετασυναπτικό άκρο και Απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή(σελ.55) -

http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Physiology%20101/Chapter%20Notes/Fall%202011/chapter_8%20Fall%202011.htm

Εικόνα 21: Μαθηματικό Μοντέλο Νευρώνων: Νευρώνας Perceptron(σελ.56) -

<https://www.slideshare.net/aorriols/lecture11-neural-networks>

Εικόνα 22: Βασικότερα τμήματα του εγκεφάλου(σελ.61) -

http://www.foundalis.com/dep/cog/N4_gr.htm

Εικόνα23: Μεταιχμιακό Σύστημα Εγκεφάλου(σελ.65) -

<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-A105/321/2155,7812/>

Εικόνα 24: Λοβοί και Φλοιοί του Εγκεφάλου(σελ.70) - http://www.foundalis.com/dep/cog/N4_gr.htm

Εικόνα 25: Ανατομία Νωτιαίου Μυελού(σελ.72) -

https://www.google.gr/search?dcr=0&biw=1280&bih=903&tbm=isch&sa=1&q=spinal+cord+anatomy&og=spinal+cord+anatomy&gs_l=psy-ab.12...0.0.0.8746.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.dummy_maps_web_fallback...0...1..64.psy-ab..0.0.0...0.TqXwpolLjUk#imgsrc=nQMObazx8-XNeM:

Εικόνα 26: Σωματικό Κινητικό και Αυτόνομο Κινητικό Σύστημα(σελ.74) -

<http://slideplayer.gr/slide/11471762/>

Εικόνα 27: Συμπαθητικό Νευρικό Σύστημα(σελ.77) - <https://ageonicsmedical.com/medical-services/nervous-system-testing/>

Εικόνα 28: Παρασυμπαθητικό Νευρικό Σύστημα(σελ.79) - <https://ageonicsmedical.com/medical-services/nervous-system-testing/>

Εικόνα 29: Σύνοψη Λειτουργιών Σημαντικότερων Τμημάτων του Εγκεφάλου(σελ.80)

Εικόνα 30: Συμπαθητική Νεύρωση Ιδρωτοποιών Αδένων(σελ.81) -

<http://studydroid.com/printerFriendlyViewPack.php?packId=200308>

Εικόνα 31: Σχηματική Αναπαράσταση Ερεθίσματος – Απόκρισης(σελ.84) -

<https://www.dreamstime.com/illustration/stimulus.html>

Εικόνα 32: Είδη Βιο-Αισθητήρων(σελ.86) -

<http://www.todaysmedicaldevelopments.com/article/medical-device-sensor-market-globally-1617/>

Εικόνα 33: Αισθητήρας Θερμοκρασίας(σελ.89) - <http://www.robotshop.com/en/electronic-brick-temperature-sensor.html>

Εικόνα 34: Αισθητήρας Υγρασίας(σελ.90) - http://www.aliexpress.com/store/product/Wet-switch-relay-module-humidity-switch-module-humidity-controller-humidity-sensor-high-quality/703706_1092981164.html

- Εικόνα 35:** Σχηματική απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ Ορθότητας και Πιστότητας(σελ.92) - http://users.ntua.gr/gzannis/?attachment_id=142
- Εικόνα 36:** Υστέρηση(σελ.94) - http://archives.sensormag.com/articles/1198/fun1198/fun1198_2.shtml
- Εικόνα 37:** Ολοκληρωμένα Κυκλώματα(σελ.96) - <https://www.linkedin.com/pulse/history-integrated-circuit-hussein-messi>
- Εικόνα 38:** Τεχνολογία VLSI(σελ.98)- https://en.wikipedia.org/wiki/VLSI_Technology
- Εικόνα 39:** Αριθμητική και Λογική Μονάδα 74181 TTL 4 bits(σελ.99) - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:74181aluschematic.png>
- Εικόνα 40:** Block Diagram της CU(σελ.101) - <https://archive.cnx.org/contents/9aeafe92-aba7-4ac7-a396-5a4b8ca3c770@1/control-unit-operation>
- Εικόνα 41:** Δίαυλος Διευθύνσεων/Δεδομένων/Ελέγχου(σελ.102) - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Computer_system_bus.svg
- Εικόνα 42:** Βασική Δομή Μικροελεγκτή(σελ.104)
- Εικόνα 43:** Δομικά Στοιχεία Μικροελεγκτή(σελ.105) - <http://maxembedded.com/2011/06/mcu-vs-mpu/>
- Εικόνα 44:** Είδη Μικροελεγκτών(σελ.106) - <http://eeecommunity.blogspot.gr/2015/04/types-of-microcontrollers.html>
- Εικόνα 45:** Διαφορές στην αρχιτεκτονική μνήμης Harvard και Von Neumann(σελ.107) - <https://www.edn.com/Home/PrintView?contentItemId=4390534>
- Εικόνα 46:** Διαφορές στις αρχιτεκτονικές CISC και RISC(σελ.108) - <http://www.edgefxkits.com/blog/what-is-risc-and-cisc-architecture/>
- Εικόνα 47:** Το Schematic του Arduino UNO Rev3(σελ.110) - <http://www.electroschematics.com/10955/build-arduino-bootload-atmega-microcontroller-part-1/>
- Εικόνα 48:** Pins του ATmega 328(σελ.111) - <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>
- Εικόνα 49:** Τροφοδοσία Arduino(σελ.112) - <http://robotmill.com/2011/01/30/arduino-board-quick-reference/>
- Εικόνα 50:** Το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino(σελ.115) - <https://www.pololu.com/docs/0J61/6.2>
- Εικόνα 51:** Το Grove – Base Shield V1.3(σελ.118) - <https://www.seeedstudio.com/Base-Shield-V2-p-1378.html>
- Εικόνα 52:** Το Bluetooth HC-06(σελ.118) - <http://www.robotshop.com/en/electronic-brick-hc06-serial-bluetooth-module-slave.html>
- Εικόνα 53:** Ο GSR αισθητήρας GSR(σελ.120) - <https://rlx.sk/en/biometric-medical-e-health-sensor-eeg-ekg/1947-grove-gsr-seeed-sen01400p-standing-for-galvanic-skin-response.html>

Εικόνα 54: Οι συνδεσμολογίες που ακολουθήσαμε(σελ.121) -

https://wiki.pumpingstationone.org/Biosensor_Array_Galvanic_Skin_Response

Εικόνα 55: Τα ηλεκτρόδια του Grove-GSR(σελ.122) - <https://www.pakronics.com.au/products/grove-gsr-ss101020052>

Εικόνα 56: Η συνδεσμολογία του GSR Grove(σελ.123)

Εικόνα 57: Η κατασκευή του GSR schematic(αντί Grove)(σελ.124)

Εικόνα 58: Η κατασκευή του GSR schematic(πίσω όψη)(σελ.124)

Εικόνα 59: Βοηθητικές πλακέτες που κατασκευάστηκαν(σελ.125)

Εικόνα 60: Τυχαία μέτρηση GSR(σελ.127) - http://wiki.seeed.cc/Grove-GSR_Sensor/

Κεφάλαιο 1 Στοιχεία Θεωρίας – Ιστορικά Στοιχεία

1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία – Ιστορικά

Η ιστορία της έρευνας της γαλβανικής απόκρισης δέρματος, το οποίο έχει πλήρως αναθεωρηθεί από τους Neumann και Blanton (1970), χρονολογείται από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν το 1849 από τον Emil DuBois-Reymond στη Γερμανία. Οι συμμετέχοντες στη μελέτη του, έβαζαν είτε τα χέρια ή τα πόδια τους σε ένα διάλυμα θεικού ψευδαργύρου και παρατήρησε ένα ηλεκτρικό ρεύμα που πηγαίνει από το ελεύθερο άκρο στο άλλο (Veraguth, 1909). Ωστόσο, σύμφωνα με τη γνώμη που συμμερίζονται οι περισσότεροι επιστήμονες εκείνη την εποχή, ο DuBois-Reymond θεωρεί ότι το παρατηρούμενο φαινόμενο οφείλεται στα δυναμικά της μυϊκής δράσης.

Το πρώτο πείραμα που έδειξε μια σύνδεση μεταξύ της δραστηριότητας των ιδρωτοποιών αδένων και της ροής του ρεύματος στο δέρμα, πραγματοποιήθηκε στην Ελβετία από τους Hermann και Luchsinger (1878), οι οποίοι παρατήρησαν ότι μια ηλεκτρική διέγερση του ισχιακού νεύρου είχε ως αποτέλεσμα την έκκριση ιδρώτα, καθώς και ένα ηλεκτρικό ρεύμα στο πέλμα στην ίδια πλευρά του σώματος. Ενέσεις με θειική ατροπίνη αύξησαν τη καθυστέρηση του ρεύματος, μείωσαν την έντασή του και τελικά σταμάτησαν τόσο το ηλεκτρικό ρεύμα όσο και την έκκριση του ιδρώτα. Τρία χρόνια αργότερα, ο Hermann επανέλαβε το πείραμα που εκτελέστηκε περισσότερο από 30 χρόνια νωρίτερα από τον DuBois-Reymond. Βρήκε ότι οι περιοχές με ισχυρότερη εφίδρωση, όπως οι παλάμες και τα δάχτυλα έδειξαν μεγαλύτερο ρεύμα στο δέρμα από ότι άλλες περιοχές του σώματος, όπως τον καρπό και τον αγκώνα, πράγμα το οποίο τόνισε τη σημασία των ιδρωτοποιών αδένων σε φαινόμενα ηλεκτροδερμικής απόκρισης. (Neumann & Blanton, 1970).[1]

Η ουσιαστική ανακάλυψη των ηλεκτροδερμικών φαινομένων, ωστόσο, αποδίδεται σε δύο ερευνητές, οι οποίοι μπορεί να μην γνωρίζανε ο ένας τον άλλον, το Γάλλο νευρολόγο Fere(1888) και το Ρώσο φυσιολόγο Tarchanoff (1889).

Ο Tarchanoff (1846 – 1908), Ρώσος φυσιολόγος ευρύτερα γνωστός ως πρωτοπόρος της ραδιοβιολογίας και ηλεκτροφυσιολογίας ήταν αυτός που το 1889 παρατήρησε την λεγόμενη “ψυχογαλβανική αντίδραση”, που σημαίνει μεταβολές στο ηλεκτρικό δυναμικό του δέρματος εν τη απουσία οποιωνδήποτε εξωτερικών ερεθισμάτων.[1]

Ο Fere χρησιμοποιεί ένα εξωτερικό συνεχές ρεύμα και παρατηρεί μια μείωση στην SR που σχετίζεται με αισθητηριακή ή συναισθηματική διέγερση σε υστερικούς ασθενείς. Καθώς η μελέτη του για το SR ήταν μια σύντομη και ανεπίσημη έκθεση, δεν αναφέρθηκε κατά τη διάρκεια του υπολοίπου του δέκατου ενάτου αιώνα, και είναι πιθανό ότι ο Tarchanoff δεν παρατήρησε το έργο του Fere πριν από τη δημοσίευση των δικών του αποτελεσμάτων για την EDA στο ίδιο γαλλικό περιοδικό (Veraguth, 1909). Ωστόσο, οι Neumann και Blanton (1970) θεωρούν ότι οι διεθνείς εντάσεις μεταξύ της Γαλλίας και της Γερμανίας, όπου ο Tarchanoff δημοσίευσε και πάλι τα αποτελέσματά του το 1890, ήταν η αιτία που οι δύο ερευνητές αγνοούσαν ο ένας τα αποτελέσματα του άλλου.

Ο Tarchanoff δεν χρησιμοποίησε τη μέθοδο της ενεργού μέτρησης όπως έκανε Fere. Αντ’ αυτού, δε χρησιμοποίησε κανένα εξωτερικό ρεύμα. Έκανε καταγραφή του ηλεκτρικού ρεύματος σε αλλαγές όπως η αισθητική διέγερση, η φαντασία, η ψυχική αριθμητική, η προσδοκία, και οι εθελοντικές συσπάσεις των μυών. Ο Tarchanoff (1890), στο γερμανικό έγγραφό του, συμπέρανε ότι τα ηλεκτροδερμικά

φαινόμενα που παρατηρήθηκαν από αυτόν ήταν αποτέλεσμα της δραστηριότητας των ιδρωτοποιών αδένων, που είναι άμεσα εξαρτώμενα από την δράση των εκκριτικών νεύρων, πράγματα που τα οποία δεν ήταν ιδιαίτερα γνωστά εκείνη την εποχή. Παρατήρησε μια ροή ρεύματος, ακόμη και σε κατάσταση ηρεμίας, από περιοχές πλούσιες σε ιδρωτοποιούς αδένες προς εκείνες φτωχές σε αυτούς. Αυτό το αποτέλεσμα φαίνεται να είναι σύμφωνο με την ελβετική / γερμανική παράδοση που αναφέρθηκε παραπάνω. Η μέθοδος του Tarkhanov χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα για τη μέτρηση του δυναμικού του δέρματος. Ο Tarkhanov απέδειξε ότι όχι μόνο φυσικά ερεθίσματα, αλλά και πνευματική/διανοητική δραστηριότητα, έχει ως αποτέλεσμα αλλαγές στο δυναμικό του δέρματος.[2]

Μια άλλη υπόθεση του 1902 εκφράστηκε από τον Sommer. Επισήμανε ότι η EDR ήταν αποτέλεσμα της ακούσιας μυϊκής δραστηριότητας, πράγμα που δεν αποδεικνύεται, δεδομένου ότι ένας συσχετισμός μεταξύ EDR και τρέμουλου δεν υφίσταται. (Christie, 1973).

Το 1904, ο μηχανικός Muller απέδειξε το ηλεκτροδερμικό φαινόμενο στον Ελβετικό νευρολόγο Veraguth, ισχυριζόμενος ότι το έχει ανακαλύψει ανεξάρτητα (Neumann & Blanton, 1970). Ο Veraguth το δημοσίευσε με τίτλο "Das psychogalvanische Reflex-phanomen" το 1909, για πρώτη φορά, και ήταν η αφορμή για ευρύτερο ενδιαφέρον από ψυχιάτρους και ψυχολόγους, επειδή επικεντρώθηκε στην ψυχοσωματική προέλευση των ηλεκτροδερμικών φαινομένων. Από τότε, ο αριθμός των άρθρων σχετικά με τη ηλεκτροδερμική έρευνα καθώς και για διάφορες εφαρμογές έχει αυξηθεί.[2]

Ο ψυχολόγος Carl Jung και οι φοιτητές του (1907), την περιέγραψαν σαν το μέσο διείσδυσης στον «ωκεανό του υποσυνείδητου» γιατί «κάθε ερέθισμα που συνοδεύεται από ένα συναίσθημα παρήγαγε μια απόκλιση του γαλβανόμετρου» άμεσα αναλογική της έντασης του διεγερόμενου συναισθήματος.[3]

Ο αμφιλεγόμενος αυστριακός ψυχαναλυτής Βίλχελμ Ράιχ επίσης μελέτησε την γαλβανική απόκριση δέρματος - GSR - στα πειράματά του στο Ψυχολογικό Ινστιτούτο, στο Πανεπιστήμιο του Όσλο το 1935 και το 1936, για να επιβεβαιώσει την ύπαρξη του «βίο-ηλεκτρικού φορτίου πίσω από την ιδέα των αγενών ροών συναισθημάτων». [4][5]

Χρησιμοποιώντας ανθρώπινα υποκείμενα, ο Reich μπόρεσε να δείξει μια φόρτιση στην επιδερμίδα/επιφάνεια του δέρματος, που σχετίζεται άμεσα με τα συναισθήματα της ευχαρίστησης και του άγχους. Η φόρτιση αυτή αυξανόταν όταν το υποκείμενο ένιωθε ηδονή και μειωνόταν κατά τη διάρκεια αισθημάτων δυσάρεσκιας. Από αυτό, ο Reich κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ευχαρίστηση είναι η κίνηση της βιολογικής ενέργειας προς την περιφέρεια του οργανισμού, ενώ το άγχος είναι η κίνηση αυτής της ενέργειας προς το κέντρο. Αρχικά δέχτηκε ότι η βιολογική διέγερση του ζωντανού οργανισμού ίσως είναι ηλεκτρικής φύσης, αλλά τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων υποδείκνυαν κάτι άλλο. Για παράδειγμα, η βιολογική ενέργεια που μέτρησε ο Reich κινείται σε μια αργή, κυματοειδή μορφή, σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που κινείται πολύ γρήγορα. Ο Reich αναρωτήθηκε αν παρόμοιες ενεργειακές διαδικασίες υπάρχουν σε πιο βασικές μορφές ζωής. [5]

Παρά τις ανεπαρκείς μεθόδους καταγραφής βιοσημάτων και της ενίσχυσης εκείνη την εποχή, οι φυσιολόγοι προχωρούν με την έρευνα για την προέλευση της EDA. Το 1921, ο Ebbecke παρατηρεί μια τοπική EDR που θα μπορούσε να προκληθεί από το τρίψιμο ή πατώντας σημεία του δέρματος, ακόμα και αρκετές ώρες μετά θάνατον (Keller, 1963), και τα αποτελέσματα αυτά κατευθύνονται προς τις ιδιότητες του δέρματος. Το 1923, ο Gildemeister εφαρμόζει εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας στο δέρμα και βρίσκει πολύ μικρή, ή ακόμα και απουσία, EDRs. Το 1928 και το 1929, ο Gildemeister και

ο Rein συνέβαλλαν αποφασιστικά στην έρευνα των απαρχών της ενδοσωματικής EDA. Το 1929, ο Ρίχτερ ήταν ο πρώτος που αναφέρει την υπόθεση ενός μηχανισμού συνάφειας για την EDA της επιδερμίδας με τους ιδρωτοποιούς αδένες, η οποία εξακολουθεί να θεωρείται ως σήμερα έγκυρη.[1]

Η γαλβανική απόκριση δέρματος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στον τομέα της εφαρμοσμένης Ψυχοφυσιολογίας ως μέρος του ανιχνευτή ψεύδους.

1.2 Γενική Περιγραφή του GSR

Η Γαλβανική Απόκριση Δέρματος ορίζεται σαν μια αλλαγή στις ηλεκτρικές ιδιότητες του δέρματος. Η αντίσταση του δέρματος είναι συνήθως μεγάλη, από 1ΜΩ – 10ΜΩ, όμως γνωρίζουμε παρ' όλα αυτά, ότι στιγμιαίες αλλαγές της δραστηριότητας του ιδρωτοποιού αδένου προκαλούν αλλαγές στην αντίστασή του.(περίπου έως και 950K).

Η GSR αντικατοπτρίζει τη δραστηριότητα του ιδρωτοποιού αδένου και τις αλλαγές στο νευρικό σύστημα και τις μεταβλητές μέτρησης. Η διέγερση του Νευρικού Συστήματος εξ' αιτίας ερεθισμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δράση των ιδρωτοποιών που οδηγεί με τη σειρά του σε μεταβολή του επιπέδου της αγωγιμότητας. Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσουμε τη σχέση/σύνδεση που υπάρχει ανάμεσα στη συμπαθητική δραστηριότητα του αυτόνομου νευρικού συστήματος και στη συναισθηματική διέγερση, παρ' ότι υπάρχουν δυσκολίες στην αναγνώριση του εκάστοτε εκδηλωμένου συναισθήματος. Η αλλαγή αυτή συνεπώς στη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου καταγράφεται μέσω ενός συστήματος, όπου το σήμα ουσιαστικά καταγράφει τις μεταβολές στην αγωγιμότητα του δέρματος λόγω της λειτουργίας/δράσης των ιδρωτοποιών αδένων. [6]

Η GSR θεωρείται από παλιά αξιόλογο μέσο μέτρησης του φυσιολογικού και πνευματικού stress (Fenz & Eipstein, 1967). Παρότι δεν υπάρχουν απόλυτα μεγέθη/επίπεδα ενδεικτικά του υψηλού φόρτου εργασίας ή του άγχους, η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σχετικά καλή ένδειξη του stress. Υψηλότερα επίπεδα στις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ορισμένων εργασιών υποδηλώνουν υψηλότερα επίπεδα άγχους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχει σύνδεση μεταξύ συμπαθητικού νευρικού συστήματος και συναισθηματικής διέγερσης όμως ο προσδιορισμός του συναισθήματος μέσω των μετρήσεων της GSR είναι δύσκολος. Έτσι συναισθήματα όπως φόβος, θυμός, τρόμος, αποπροσανατολισμός, σεξουαλικός ερεθισμός κ.α. μπορούν ,παρότι διαφορετικά εντελώς, να προκαλέσουν παρόμοιες αποκρίσεις της GSR. [1]

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την μέτρηση της Ηλεκτροδερματικής Αγωγιμότητας. Οι δυο κυριότερες είναι η ενεργός μέτρηση, όπου ένα ρεύμα διαπερνά το δέρμα και στη συνέχεια μετράτε η αντίσταση σε αυτό το πέρασμα και η παθητική όπου δε χρησιμοποιείται κανένα εξωτερικό ρεύμα και το δέρμα από μόνο του αποτελεί την πηγή της ηλεκτρικής δραστηριότητας. Εμείς στη παρούσα εργασία θα ακολουθήσουμε τη δεύτερη τεχνική.

Η αγωγιμότητα του δέρματος είναι ένα μέτρο της ικανότητας του δέρματος να άγει ηλεκτρισμό. Μία ασθενής ηλεκτρική τάση εφαρμόζεται μέσω δύο ηλεκτροδίων, συνήθως στερεωμένων σε δύο δάχτυλα ενός χεριού, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα όπου το ανθρώπινο σώμα μετατρέπεται σε μεταβλητό αντιστάτη και στη συνέχεια υπολογίζεται η σε πραγματικό χρόνο μεταβολή της αγωγιμότητας (το αντίστροφο της αντίστασης). Η αγωγιμότητα του δέρματος

αντιπροσωπεύει τις αλλαγές στο συμπαθητικό νευρικό σύστημα. Καθώς ένα άτομο αγχώνεται περισσότερο ή λιγότερο, η αγωγιμότητα του δέρματός του αυξάνει ή μειώνεται ανάλογα. Παράδειγμα, ένα οδυνηρό ερέθισμα, όπως μια κεφαλή καρφίτσας προκαλεί μια συμπαθητική ανταπόκριση από τους ιδρωτοποιούς αδένες, την αύξηση της έκκρισης. Αν και η αύξηση αυτή είναι γενικά πολύ μικρή, ο ιδρώτας περιέχει νερό και ηλεκτρολύτες που αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, μειώνοντας έτσι την ηλεκτρική αντίσταση του δέρματος. Οι αλλαγές αυτές με τη σειρά τους επηρεάζουν το GSR. Ένα άλλο κοινό παράδειγμα είναι η αγγειοδιαστολή (διαστολή) των αιμοφόρων αγγείων στο πρόσωπο, που αναφέρεται ως το κοκκίνισμα, καθώς και η αυξημένη εφίδρωση που συμβαίνει όταν κάποιος είναι σε δύσκολη θέση.[7]

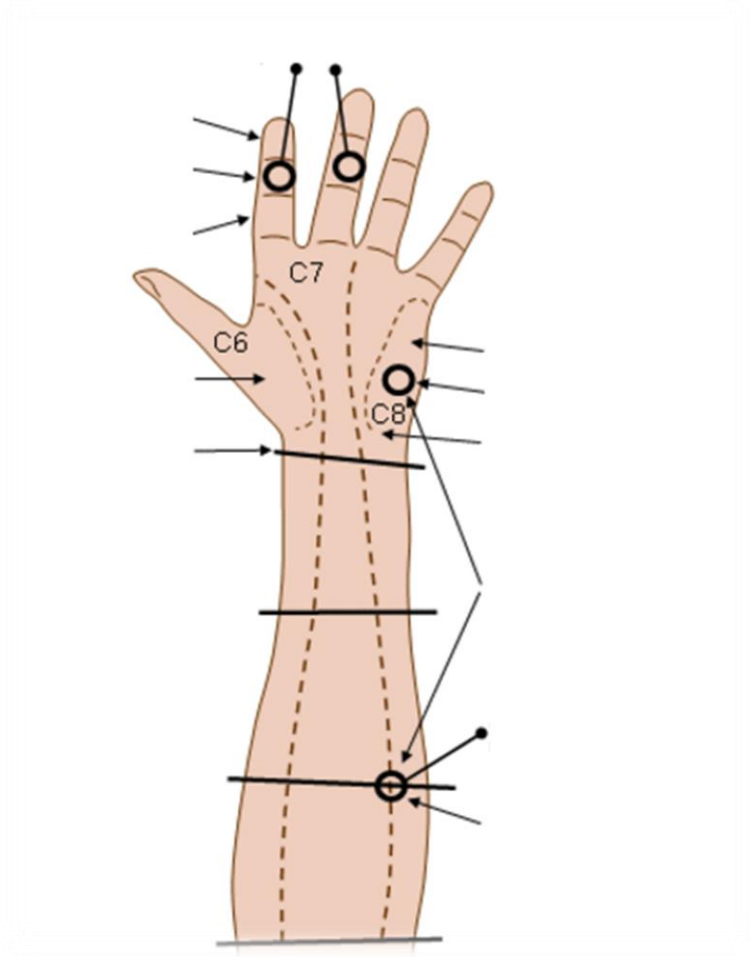
Στη διάταξη που θα κατασκευάσουμε, ο αισθητήρας δέρματος αποτελείται από δυο αγωγούς που στην κατάληξή τους έχουν ηλεκτρόδια. Αυτά εφαρμόζονται στα δάκτυλα του ενός χεριού ώστε να τυλίγουν το δάκτυλο αρκετά σφικτά όχι όμως τόσο ώστε να περιορίζουν την κυκλοφορία του αίματος καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει την μέτρηση της GSR. Η επιφάνεια του ηλεκτροδίου πρέπει να βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με το μαλακό τμήμα του δακτύλου ώστε να λαμβάνεται σωστά το σήμα ενώ για επιπλέον βοήθεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κρέμα αγωγιμότητας (gel υπερήχων).[7]

Η τυπική μονάδα μέτρησης για την αγωγιμότητα είναι το Siemens. Η αγωγιμότητα του δέρματος μετριέται σε micro-Siemens (kS) ενώ κάποια συστήματα βίο-ανάδρασης εμφανίζουν την αγωγιμότητα του δέρματος σε micro-mhos (Km) (το mho είναι το αντίστροφο του ohm, μονάδας μέτρησης της αντίστασης), που είναι ισοδύναμο του kS. Φυσιολογικές ενδείξεις για την αγωγιμότητα του δέρματος σε ήρεμη κατάσταση είναι περίπου 2 kS. Λόγω της απόκρισης του δέρματος και του μυϊκού ιστού από εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα, η αγωγιμότητα μπορεί να ποικίλλει αρκετά micro Siemens. Όταν βαθμονομηθεί σωστά, η συσκευή μπορεί να μετρήσει αυτές τις λεπτές διαφορές. Αυτές οι μεταβολές στο αυτόνομο συμπαθητικό νευρικό σύστημα μεταβάλλουν τον ιδρώτα και τη ροή του αίματος, οι οποίες με τη σειρά του επηρεάζει την GSR.[8]

Η SCR (δερματική απόκριση αγωγιμότητας) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα συναισθήματα σε ορισμένους ανθρώπους. Ο φόβος, ο θυμός, η λύπη, η χαρά, τα σεξουαλική συναισθήματα είναι κάποιες από τις αντιδράσεις που μπορεί να παράγουν παρόμοιες αποκρίσεις αγωγιμότητας του δέρματος. Αυτές οι αντιδράσεις χρησιμοποιούνται ως μέρος του ανιχνευτή ψεύδους. Η αγωγιμότητα του δέρματος, η γαλβανική απόκριση του δέρματος και η ηλεκτροδερματική απόκριση είναι διαφορετικοί όροι για παρόμοιες φυσιολογικές μετρήσεις.[9]

Ο τύπος του σήματος που καταγράφεται από ένα αισθητήρα αγωγιμότητας δέρματος δείχνει σχετικά γρήγορες αυξήσεις και πιο αργές μειώσεις.

Οι συνδυασμένες αλλαγές μεταξύ γαλβανικής αντίστασης του δέρματος και γαλβανικού δυναμικού του δέρματος συνθέτουν τη γαλβανική αντίδραση του δέρματος. Η γαλβανική δερματική αντίσταση (GSR) αναφέρεται στην καταγραφή της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, όταν ένα πολύ ασθενές ρεύμα σταθερά διέρχεται μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται συνήθως περίπου δυο εκατοστά χωρία, και η καταγραφείσα αντίσταση ποικίλλει ανάλογα με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου. Το γαλβανικό δυναμικό του δέρματος (GSP) αναφέρεται στην τάση που μετριέται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων χωρίς οποιοδήποτε εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα. Μετριέται με τη σύνδεση των ηλεκτροδίων σε έναν ενισχυτή τάσης. Ομοίως, αυτή η τάση μεταβάλλεται με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου.[9]



Εικόνα 1: Πιθανά σημεία μέτρησης GSR

Κεφάλαιο 2 Ειδικό Ιατρικό Θέμα – Θεωρία

2.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε την ανάγκη να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδραση του δέρματος με ηλεκτρόδια, σκοπός των οποίων ήταν να καταγράψει το πιθανό δυναμικό της επιφάνεια αναίμακτα-παθητικά ή να εισαγάγει σ' αυτήν τονωτικά ρεύματα. Το δέρμα και οι ιδιότητές του συνήθως εμφανίζουν σε αυτά τα παραδείγματα ορισμένες δυσκολίες για να γίνει κατανοητή και να εξουδετερωθεί. Στο κεφάλαιο αυτό, δε θα ασχοληθούμε εκτενώς με την περιγραφή όλων των πολύπλοκων χαρακτηριστικών του δέρματος. Η σφαίρα του ενδιαφέροντος είναι η ίδια η αντίδραση του δέρματος και τα εξαρτήματα εκείνα που είναι απαραίτητα για την κατανόηση των μηχανισμών του EDA – της επιδερμίδας και των ιδρωτοποιών αδένων. Αν κάποιος ενδιαφέρεται περαιτέρω σε πιο εξειδικευμένη γνώση, παραπέμπεται στο βιβλίο Millington & Wilkinson(1983).[1]

Το δέρμα αποτελείται από ένα πολύπλοκο σύνολο οργάνων που παρέχουν αισθητήριες και προστατευτικές λειτουργίες. Το δέρμα προστατεύει τον οργανισμό από περιβαλλοντικές απειλές όπως: θερμοκρασία, χημική, μηχανική καθώς και από μολυσματικούς παράγοντες, ενεργώντας ως επιλεκτικός φραγμός. Ο ρόλος του δέρματος στη ρύθμιση της εφίδρωσης είναι διττός. Από τη μία πλευρά, το δέρμα εμποδίζει το σώμα από την ξήρανση/αφυδάτωση και από την άλλη πλευρά, με τη βοήθεια των ιδρωτοποιών αδένων, το δέρμα επιτρέπει την ελεγχόμενη εκπομπή του υγρού του σώματος. [1]

Ενδιαφέρον για την αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων του δέρματος, που συνήθως τοποθετούνται στην παλαμιαία επιφάνεια, προέκυψε λόγω της συμμετοχής των ιδρωτοποιών αδένων σε αυτή τη μέτρηση. Καθώς η δράση των ιδρωτοποιών αδένων με τη σειρά της ελέγχεται από το συμπαθητικό νευρικό σύστημα, η μέτρηση αυτή έχει θεωρηθεί ως ένας ιδανικός τρόπος για να παρακολουθείται το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Η πηγή του υλικού για το κεφάλαιο αυτό προέρχεται κυρίως από τα συνοπτικά έγγραφα του Fowles (1974, 1986) και Venables και Κρίστι (1980), τα οποία προτείνονται ως η πρώτη πηγή του αναγνώστη που αναζητά περαιτέρω πληροφορίες.

Σε αυτό το κεφάλαιο ανακαλύπτουμε ότι η βάση για το EDR δεν είναι βαθιά κατανοητή και πολλά πρέπει ακόμη να ανακαλυφθούν για να εξηγήσουν τα φαινόμενα σε βασικούς φυσιολογικούς και βιοφυσιικούς όρους. Παρά αυτή την αδυναμία του, η EDR (Electrodermal Response) ωστόσο χρησιμοποιείται ευρέως. Δεδομένου ότι πρόκειται για ένα θέμα βιοηλεκτρισμού, αξίζει την επισταμένη μας προσοχή και τη μελέτη του θέματος με ακρίβεια. Σαφώς, εδώ είναι μια βιοηλεκτρομαγνητική εφαρμογή όπου ένα έγκυρο ποσοτικό μοντέλο θα έχει άμεση και ευεργετική επίδραση σχετικά με τη χρήση της στην έρευνα και σε κλινικές εφαρμογές.[9]

Παρακάτω θα αναλύσουμε τη φυσιολογία του δέρματος, το κεντρικό νευρικό σύστημα καθώς και τη λειτουργία του συμπαθητικού και παρασυμπαθητικού αυτόνομου νευρικού συστήματος, ώστε να έχουμε μια πιο σφαιρική εικόνα που θα μας βοηθήσει στην κατανόηση του GSR σε βάθος.

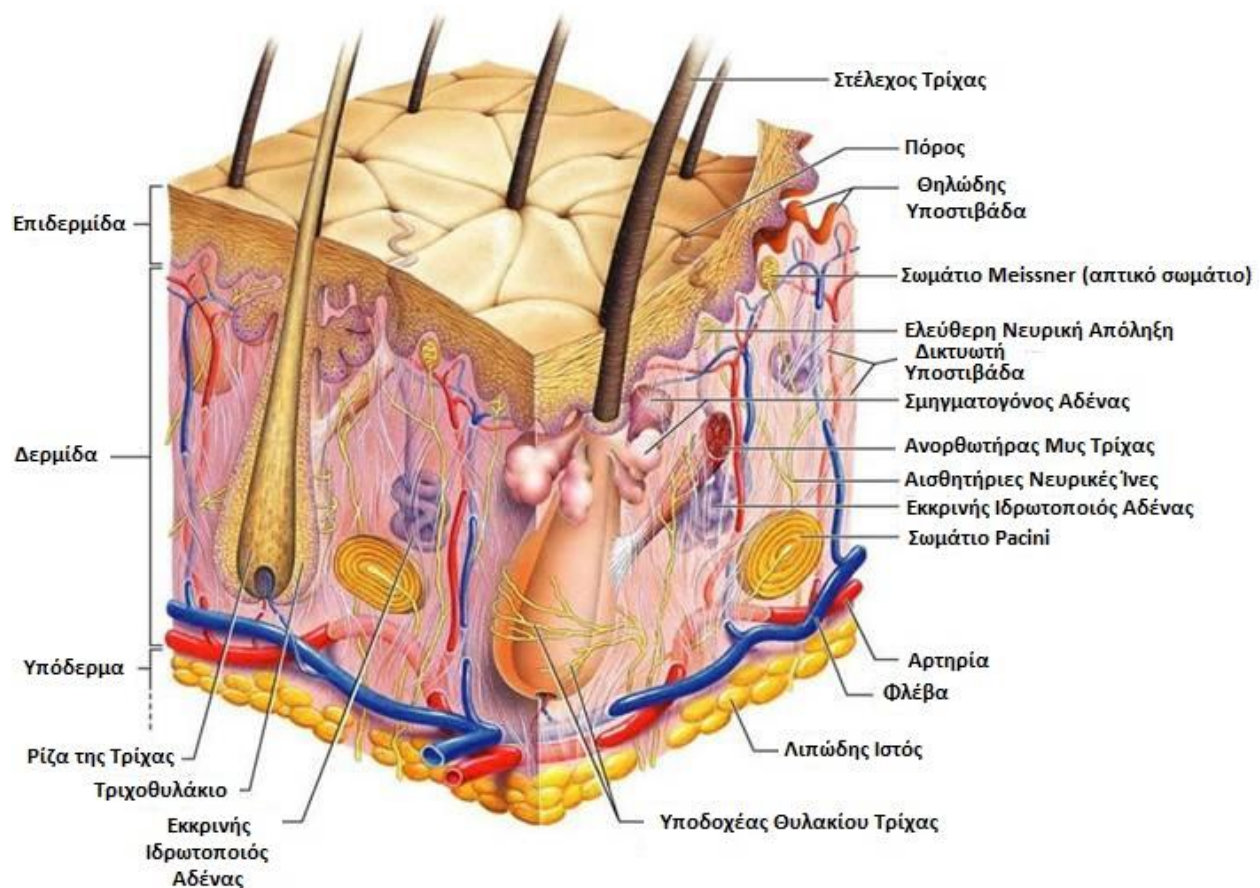
2.2 Ανατομία του Δέρματος

Η ερμηνεία της αγωγιμότητας του δέρματος ή / το δυναμικό του δέρματος απαιτεί κάποια κατανόηση σχετικά με τη δομή των ιστών τόσο στην επιφάνεια του δέρματος, όσο και κάτω απ' αυτή.

Το δέρμα αποτελείται από τρία διαφορετικά τμήματα που από το επιφανειακό ως το πιο εσωτερικό είναι η επιδερμίδα, το χόριο ή αλλιώς κυρίως δέρμα και το υπόδερμα ή υποδόριο λίπος. Ας αναλύσουμε ξεχωριστά το κάθε τμήμα.

2.2.1 Επιδερμίδα

Η επιδερμίδα βρίσκεται στην επιφάνεια του δέρματος, έχει πάχος 4mm και αποτελείται κυρίως από κερατινοκύτταρα, αλλά περιλαμβάνει και μελανοκύτταρα, κύτταρα Langerhans και κύτταρα Merkel. Τα εξαρτήματα του δέρματος που διαπερνούν την επιδερμίδα είναι οι τρίχες και οι ιδρωτοποιόι αδένες οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στην γαλβανική απόκριση δέρματος και θα αναλυθούν εκτενέστερα σε παρακάτω υποκεφάλαιο.



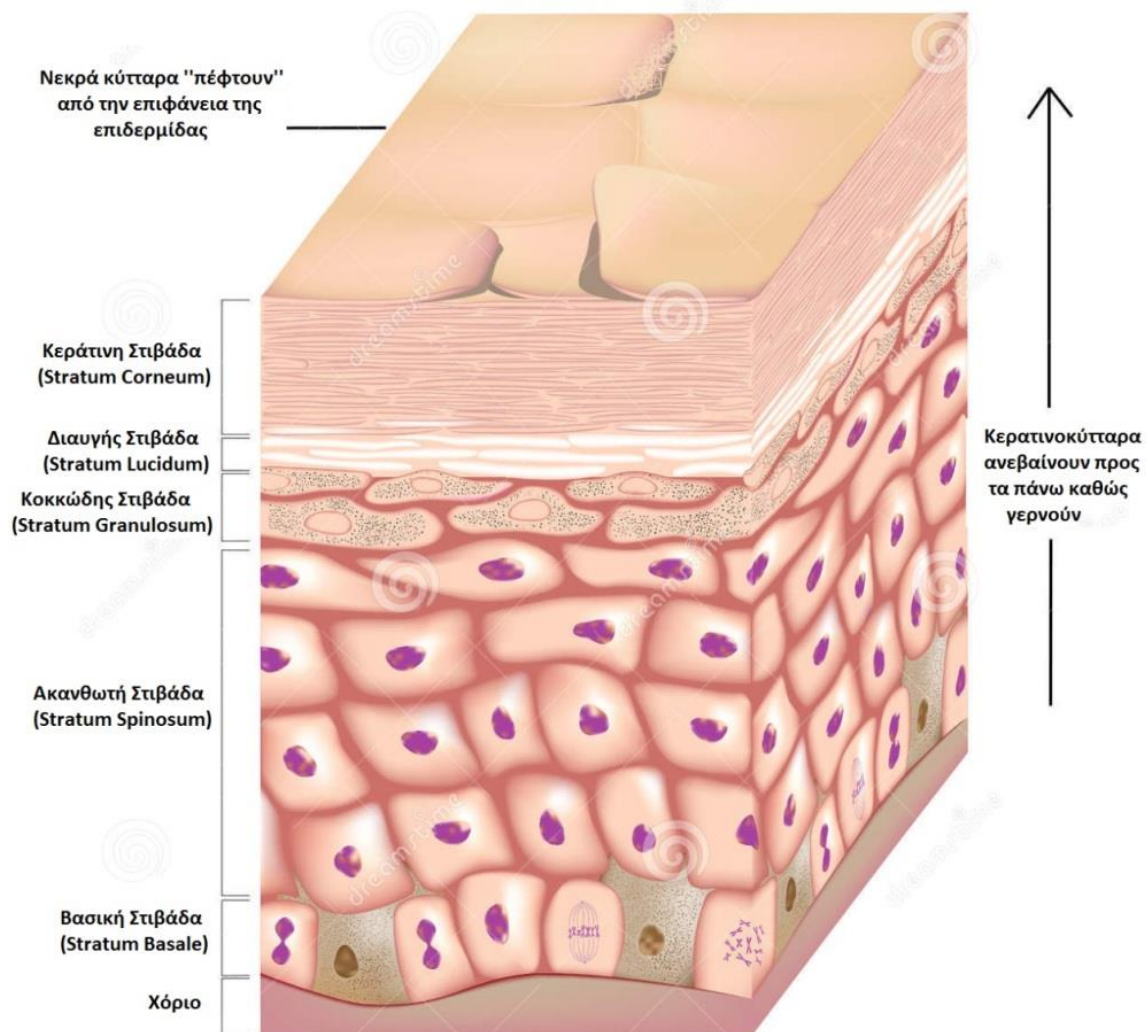
Εικόνα 2: Ανατομία του Δέρματος(Κάθετη Αναπαράσταση)

Η πιο κοινή διαίρεση της επιδερμίδας είναι σε πέντε διαφορετικά στρώματα (Jarrett, 1973 - Klaschka, 1979). Το χαμηλότερο στρώμα, στο οποίο τα επιδερμικά κύτταρα παράγονται, είναι η **Βασική** στιβάδα (stratum germinativum ή stratum basale) η οποία βρίσκεται πάνω από τη βασική μεμβράνη, η οποία ανήκει στο χόριο. (Εικόνα 3). Αυτό το στρώμα παράγει με μίτωση κυρίως κερατινοκύτταρα, τα οποία είναι κύτταρα που μπορούν να αποθηκεύσουν κερατίνη. Αυτά μεταναστεύουν πρώτα στη μαλπιγιανή, μετά στη κοκκώδη στιβάδα και από εκεί όλο και ψηλότερα αλλάζοντας σχήμα μέχρι τελικά, μέσα από μια διαδικασία 28 – 30 ημερών, να φθάσουν στην κεράτινη στιβάδα, απ' όπου θα αποπέσουν σαν κεράτινα πετάλια. Είναι δηλαδή υπεύθυνη για την συνεχή ανανέωση των επιδερμικών κυττάρων. [9]

Επίσης η βασική στιβάδα μεταξύ των κερατινοκυττάρων, παράγει μελανοκύτταρα. Αυτά φέρουν προσεκβολές (δενδρίτες) και παράγουν τη χρωστική μελανίνη με τη μορφή κοκκίων (μελανοσώματα ή μελανοσωμάτια). Διαμέσου των δενδριτών τα κοκκία μελανίνης μεταφέρονται στα γειτονικά κερατινοκύτταρα. Αυτά εφοδιάζουν το δέρμα με τη χρωστική ουσία της μελανίνης, η οποία προστατεύει τα κύτταρα από την υπεριώδη ακτινοβολία και καθορίζει το χρώμα του δέρματος και των τριχών. [10]

Το αμέσως επόμενο στρώμα της βασικής στιβάδας είναι η **Μαλπιγιανή** ή **Ακανθωτή** στιβάδα (stratum spinosum), η οποία ονομάζεται κατ' αυτόν τον τρόπο λόγω της ιδιαίτερης όψης που έχουν τα κύτταρα όταν τα δούμε με μικροσκόπιο

Συνεχίζοντας στις στιβάδες φτάνουμε στη **Κοκκώδη** στιβάδα (stratum granulosum) η οποία αποτελείται από μία έως τέσσερις σειρές πεπλατυσμένων πολυγωνικών κυττάρων σε σχήμα ρόμβου που στο κυτταρόπλασμά τους φέρουν κοκκία, που αποτελούν πρόδρομη ουσία της κερατίνης. Τα κοκκία αυτά είναι είτε κοκκία κερατουαλίνης, που περιέχουν φωσφορυλιώμενες πρωτεΐνες και δεν περιβάλλονται από μεμβράνη, είτε πεταλώδη κοκκία, που περιέχουν λιπίδια και περιβάλλονται από μεμβράνη. [9], [10] «Τα λιπίδια αυτά λειτουργούν ως κυτταρική "κόλλα", εμποδίζοντας το διασκορπισμό των επιφανειακών κυττάρων της επιδερμίδας και καθιστώντας το δέρμα αδιαπέραστο από ξένες ουσίες». [11][12]



Εικόνα 3:Ανατομία της Επιδερμίδας(Στιβάδες)

Στις παλάμες και τα πέλματα, μεταξύ της κοκκώδους και της κεράτινης στιβάδας, υπάρχει μία επιπλέον, η **Διαυγής** στιβάδα(stratum lucidum). Ονομάζεται έτσι, γιατί δεν βάφεται με τις κοινές χρωστικές καθώς επίσης και λόγω της ικανότητάς της να διαθλά το φως έντονα. Εμφανίζεται ως ένα ομοιογενές στρώμα και αποτελείται από μία έως τρεις σειρές πεπλατυσμένων κυττάρων χωρίς πυρήνα που είναι γεμάτα από μια λιπαρή ουσία την ελαιοειδίνη (πρόδρομη ουσία της κερατίνης). Κατά τη διάρκεια της προς τα άνω μετανάστευσής τους, τα κύτταρα μπορούν να εμποτιστούν με αυτή την λιπαρή ουσία. Το στρώμα αυτό ωστόσο, είναι ορατό μόνο σε ορισμένα σημεία του σώματος, ειδικά στις παλάμες και τα πέλματα, μετά την επιτυχή απομάκρυνση του συνόλου της κεράτινης στιβάδας. Ο πυρήνας έχει αντικατασταθεί από δεσμίδες τονικών νηματιών παράλληλες προς την επιφάνεια του δέρματος. Σε αυτή τη στιβάδα υπάρχουν επίσης καροτένια.[10], [11]

Η εξωτερική επιφάνεια της επιδερμίδας ονομάζεται **Κεράτινη** στιβάδα (stratum corneum – από το λατινικό *cornum* που σημαίνει κέρατο). Σύμφωνα με την μορφή των κυττάρων και το πλάτος των μεσοκυττάρων χώρων, το στρώμα αυτό μπορεί να υποδιαιρεθεί σε χαμηλότερη, μέση και ανώτερη ζώνη. Ωστόσο, αυτή η υποδιαίρεση δεν είναι τόσο σαφής σε άλλα μέρη όπως είναι στις παλάμες και στα πέλματα όπου το πάχος της κεράτινης στιβάδας είναι αισθητά μεγαλύτερο.

Η κεράτινη στιβάδα αποτελείται από 15 έως 20 στιβάδες από επιπεδωμένα νεκρά κύτταρα χωρίς πυρήνα που το κυτταρόπλασμά τους είναι γεμάτο από σκληρή πρωτεΐνη, την κερατίνη. Για τον σχηματισμό των κυττάρων φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο τα τοινοϊνίδια, τα κοκκία κερατοϋαλίνης και τα σωμάτια του Odland. Τα κύτταρα αυτής της στιβάδας είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αφενός μεν να αποπίπτουν συνεχώς τα επιφανειακά κύτταρα σαν λέπια, αφετέρου δε να προσδίδεται στην κεράτινη στιβάδα δύναμη, αντοχή και αδιαπερατότητα. Η επιδερμίδα παρουσιάζει πιο μεγάλη ανθεκτικότητα στις μηχανικές πιέσεις ή τριβές και προστατεύει τους υποκείμενους ιστούς από την υπέρμετρη εξάτμιση (αύξηση της άδηλης απώλειας νερού).[9], [10]

Η επιφάνεια του δέρματος ενός ενήλικα χάνει περίπου 0,5-1 g τέτοιου υλικού κάθε μέρα ενώ παράλληλα μια κατάλληλη ποσότητα κερατινοκυττάρων αντικαθίσταται μέσω του πολλαπλασιασμού των κυττάρων (μίτωση) των βασικών επιδερμικών κυττάρων.

Η επιδερμίδα, του οποίου η διαστρωμάτωση είναι μεγάλης σημασίας για την EDA(GSR), αποτελείται από μια συγκεκριμένη οργάνωση στο σχηματισμό των κυττάρων, η οποία αλλάζει προς το εξωτερικό στρώμα του. Το εντελώς εξωτερικό στρώμα, η κεράτινη στιβάδα, είναι ιδιαίτερα παχιά στις παλαμιαίες και πελματιαίες περιοχές, οι οποίες προτιμώνται για την καταγραφή ηλεκτροδερμικής απόκρισης. Ο ρόλος της κεράτινης στιβάδας προκαλεί αλλαγές στην αντίσταση του δέρματος και θα συζητηθεί σε παρακάτω κεφάλαιο.[9]

2.2.1.1 Άλλοι Τύποι Κυττάρων της Επιδερμίδας

Στη επιδερμίδα συναντώνται Μελανοκύτταρα, κύτταρα Langerhans και κύτταρα Merkel.

2.2.1.1.1 Μελανοκύτταρα ή Μελανοκύτταρα

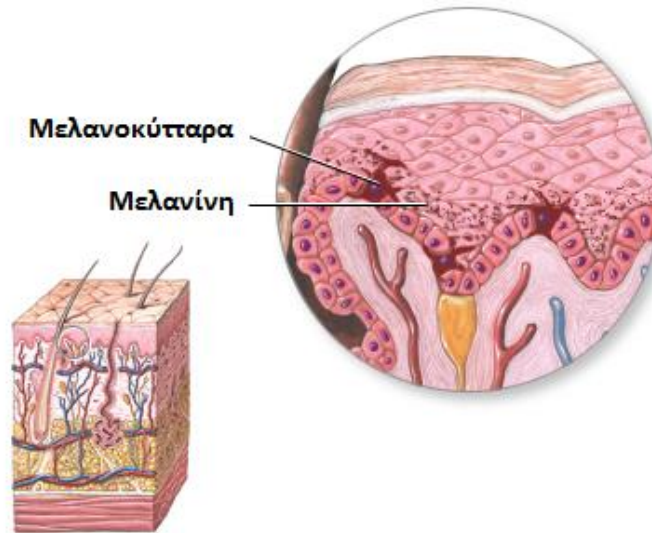
Παράγουν την ευμελανίνη, μια έντονα καστανόχρωμη χρωστική, στην οποία οφείλεται το σκούρο χρώμα του δέρματος και των τριχών (εκκριτική λειτουργία, όπως και τα νευρικά κύτταρα). Η χρωστική που βρίσκεται στις κόκκινες τρίχες αποκαλείται φαιομελανίνη.

Τα μελανοκύτταρα προέρχονται από το εξώδερμα, αποτελούνται από κυτταρόπλασμα άφθονο και αραιοχρωματικό με μεγάλους και ωοειδείς πυρήνες. Είναι εξειδικευμένα κύτταρα της επιδερμίδας, που εντοπίζονται κυρίως στη βασική στιβάδα των κερατινοκυττάρων και τα τριχοθυλάκια και κύρια λειτουργία τους είναι η παραγωγή μελανίνης. Η μελανίνη είναι πολυμερές και υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι, η ευμελανίνη, η φαιομελανίνη και η νευρομελανίνη.

Ο αριθμός τους παραμένει περίπου σταθερός και ο βαθμός επίδρασής τους ποικίλλει γενετικά επηρεάζοντας το χρώμα του δέρματος στις διάφορες φυλές αλλά και μεμονωμένα στο κάθε άτομο.

Οι αποφυάδες των μελανοκυττάρων διακλαδίζονται μέσα στην επιδερμίδα προχωρώντας ανάμεσα στη βασική και την ακανθωτή στιβάδα, και καταλήγουν σε εγκοιλώσεις των κυττάρων των δυο αυτών στιβάδων (όπως αντίστοιχα καταλήγει ο νευράξονας των νευρικών κυττάρων στη νευρομυϊκή σύναψη).

Ο ρυθμός παραγωγής της μελανίνης ελέγχεται από τη μελανοτρόπο ορμόνη, που εκκρίνεται από την υπόφυση. Διαταραχές στην παραγωγή της μελανίνης σε μικρότερη ή μεγαλύτερη έκταση οδηγούν κατά περίπτωση σε σχηματισμό σκούρων ή ανοιχτόχρωμων κηλίδων στην επιφάνεια του δέρματος.[13]



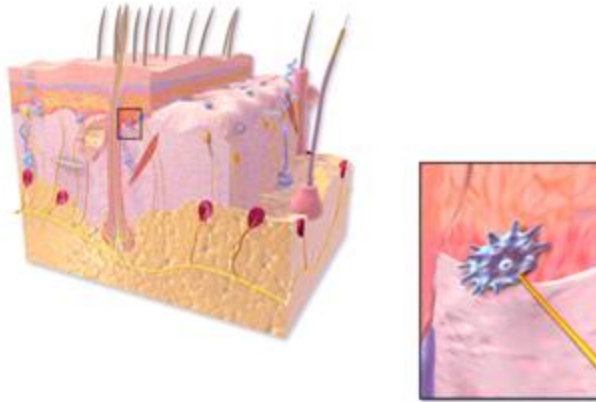
Εικόνα 4: Μελανοκύτταρα

2.2.1.1.2 Κύτταρα Langerhans

Τα κύτταρα αυτά συναντώνται σε όλες τις στιβάδες της επιδερμίδας όμως είναι εμφανέστερα στην ακανθωτή στιβάδα, τα οποία συμμετέχουν στην άμυνα του οργανισμού. Τα κύτταρα του Langerhans Έχουν σχήμα αστεροειδές με πυρήνες ωσειδείς και αραιοχρωματικούς και από το κυτταρόπλασμά τους εκτείνονται κυτταροπλασματικές αποφυάδες. Παράγονται στο μυελό των οστών και μεταφέρονται στο δέρμα με την κυκλοφορία του αίματος. Η λειτουργία τους είναι η αντιγονική παρουσίαση (δέσμευση, επεξεργασία και παρουσίαση στα Τ-λεμφοκύτταρα αντιγόνων). Είναι δηλαδή κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος. Απαντώνται σε μικρό αριθμό στο υγιές δέρμα ενώ σε χρόνια φλεγμονώδη νοσήματα αυξάνουν.[10], [12], [14]

2.2.1.1.3 Κύτταρα Merkel

Τα κύτταρα του Merkel ή Απτικοί Δίσκοι εντοπίζονται κατά βάση πάνω στη βασική στιβάδα, στο παχύ δέρμα (στις παλάμες και τα πέλματα), είναι γενικά σπάνια και ανιχνεύονται δύσκολα στο φυσιολογικό δέρμα. Περιέχουν κοκκία στο κυτταρόπλασμά τους και στη βάση τους υπάρχουν ελεύθερες νευρικές απολήξεις, που σχηματίζουν εξειδικευμένες δομές: τους τριχοειδείς δίσκους κάτω από τη βασική μεμβράνη. Σχηματίζουν συναπτικές ενώσεις με τις απολήξεις περιφερικών νεύρων στη βάση του κυττάρου. Τα κύτταρα αυτά χρησιμεύουν ως υποδοχείς μηχανικών ερεθισμάτων - αφής.[13]



Εικόνα 5: Κύτταρα Merkel(Απτικοί Δίσκοι)

2.2.2 Χόριο

Το χόριο(corium) βρίσκεται ανάμεσα από την επιδερμίδα και το υπόδερμα και αποτελεί το στήριγμα της επιδερμίδας. Είναι πολύ παχύτερο από την επιδερμίδα, με πάχος που κυμαίνεται από 0.3 – 3mm. Αποτελείται από δύο μόνο δερματικά στρώματα τα οποία διακρίνονται ανάλογα με την πυκνότητά τους και τη διάταξη των κολλαγόνων ινών τους. Αποτελείται από δυο χαρακτηριστικές ζώνες οι οποίες είναι η θηλώδης(stratum papillare), που είναι και το επιφανειακό τμήμα και η δικτυωτή(stratum reticulare) που είναι και το βαθύτερο τμήμα το οποίο μεταπίπτει στην υποδερμίδα.[12], [15]

Η επιφάνεια του χορίου είναι πολύ ανώμαλη και εμφανίζει πολλές προσεκβολές (θηλές του χορίου), οι οποίες συνδυάζονται δακτυλοειδώς με αντίστοιχες καταδύσεις της επιδερμίδας. Οι θηλές του χορίου είναι πολυαριθμότερες σε δέρμα που δέχεται συχνότερα πίεση.

Μεταξύ της βασικής στιβάδας της επιδερμίδας και της θηλώδους στιβάδας του χορίου βρίσκεται ο βασικός υμένας, που ακολουθεί την πορεία των δακτυλοειδών προσεκβολών μεταξύ των δυο στιβάδων. Κάτω από αυτόν βρίσκεται ένα δίκτυο δικτυωτών ινών, ο δικτυωτός υμένας. Αυτή η σύνθετη δομή ονομάζεται βασική μεμβράνη.

Η θηλώδης στιβάδα αποτελείται από χαλαρό συνδετικό ιστό, κύτταρα του συνδετικού ιστού και του ανοσοποιητικού συστήματος. Από τη θηλώδη στιβάδα ειδικά κολλαγόνα ινίδια διεισδύουν στο βασικό υμένα και εκτείνονται μέσα στο χόριο. Συνδέουν την επιδερμίδα με το χόριο και αποκαλούνται ινίδια πρόσδεσης.

Η δικτυωτή στιβάδα είναι παχύτερη και αποτελείται από ακανόνιστο πυκνό συνδετικό ιστό (κυρίως κολλαγόνο τύπου I). Περιέχει περισσότερες ίνες και λιγότερα κύτταρα από τη θηλώδη στιβάδα. [12], [15]

Το χόριο περιέχει:

2.2.2.1 Το δίκτυο των κολλαγόνων ινών

Στη θηλώδη στιβάδα οι κολλαγόνες ίνες είναι λεπτές και αραιές, χιάζονται μαζί με τις ελαστικές ίνες και σχηματίζουν χαλαρά δίκτυα. Οι δικτυωτές ίνες είναι περισσότερες ακριβώς κάτω από την επιδερμίδα και συμμετέχουν στο σχηματισμό της βασικής μεμβράνης.

Στη δικτυωτή στιβάδα που είναι παχύτερη από τη θηλώδη, οι κολλαγόνες ίνες σχηματίζουν δεσμίδες που διαπλέκονται και σχηματίζουν πυκνά και στέρα δίκτυα. Υπάρχουν άφθονες και παχύτερες ελαστικές ίνες, που είναι ακόμη περισσότερες γύρω από το βολβό των τριχών, τα εκκριτικά μέρη των αδένων και τα τριχοειδή αγγεία.

Οι κολλαγόνες ίνες συγκροτούν τη δομική σταθερότητα της επιδερμίδας, επειδή οι ίνες αυτές εμφανίζουν αλληλοδιαπλοκή. Υπάρχουν διάφορα είδη κολλαγόνου ανάλογα με τη μορφολογία, τη σύνθεση των αμινοξέων και τις φυσικές ιδιότητες. Η καταστροφή τους έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ρυτίδων.[16]



Εικόνα 6: Ελαστικές ίνες, Κολλαγόνες ίνες

2.2.2.2 Το δίκτυο των ελαστικικών ινών

«Οι ελαστικές ίνες αποτελούνται από ελαστίνη (πρωτεΐνη) και είναι υπεύθυνες για την ελαστικότητα του δέρματος. Οι ίνες αυτές και η βασική ουσία συντελούν στην αποφυγή υπερδιάτασης του δέρματος»[17]

Όταν το δέρμα υπερδιατείνεται τότε στο χόριο δημιουργούνται ρήγματα ή ραβδώσεις τα οποία παραμένουν στο δέρμα της κοιλιάς και αρχικά εμφανίζονται σαν κοκκινωπές και μετά σαν λευκάζουσες γραμμώσεις.

2.2.2.3 Τις δικτυωτές ίνες

Οι δικτυωτές ίνες είναι λεπτότερες από τις κολλαγόνες ίνες, έχουν πολλές διακλαδώσεις και εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες. «Οι ίνες του συνδετικού ιστού είναι έτσι διατεταγμένες, ώστε να σχηματίζουν ρόμβους και σ' αυτές οφείλεται η διατατότητα και η ελαστικότητα του δέρματος. Η φορά των ελαστικών ινών μελετήθηκε από τον Langer και έχουν ιδιαίτερη σημασία

στη Χειρουργική, διότι όλες οι τομές πρέπει να γίνονται παράλληλα προς αυτές και όχι κάθετα, ώστε να αποφεύγονται οι λειτουργικές και αισθητικές επιπτώσεις.»[17]

2.2.2.4 Τη βασική ουσία του χορίου

Η βασική ή θεμελιακή ουσία παρεμβάλλεται ανάμεσα στις ίνες και τα κύτταρα του χορίου, τα αγγεία και τα νεύρα αυτού. Είναι μια άμορφη και κολλώδης ουσία που έχει ως λειτουργία τη συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού και βλεννοπολυσακχαριτών, όπως το υαλουρονικό οξύ. «Το υαλουρονικό οξύ λόγω της σύστασής του δρα σαν φραγμός στην εξάπλωση μεγαλομοριακών ενώσεων και βακτηριδίων, καθώς επίσης και σαν παράγοντας ενυδάτωσης. Η υαλουρονιδάση είναι ένζυμο των βακτηριδίων (μικροοργανισμών), το οποίο διασπά το υαλουρονικό οξύ και έτσι διευκολύνεται η εξάπλωση των βακτηριδίων.» Ειδικότερα οι πρωτεΐνες που συνδέονται με το υαλουρονικό οξύ δημιουργούν μεγάλα μόρια που έλκουν τα κατιόντα νατρίου με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ενυδατωμένα μόρια που αυξάνουν την αντοχή του δέρματος στην πίεση.[16]

2.2.2.5 Τα εξαρτήματα του δέρματος

Στο χόριο συναντάμε της της ρίζες των τριχών καθώς και τους ιδρωτοποιούς και σμηγματογόνους αδένες, της οποίους θα αναλύσουμε σε παρακάτω κεφάλαιο και παίζουν σημαντικό ρόλο στη μέτρηση της γαλβανικής απόκρισης

2.2.2.6 Τα κύτταρα του χορίου

Το κύτταρα που απαντά κανείς στο χόριο είναι ποικίλα. Κάποια από αυτά παράγονται στο χόριο και κάποια άλλα μεταναστεύουν από το αιμοποιητικό σύστημα. Μερικά από τα κυριότερα είναι:

1. Πλασματοκύτταρα
2. Ινοβλάστες
3. Ιστιοκύτταρα
4. Πολυμορφοπύρρηνα Ηωσινόφιλα
5. Σιτευτικά(μαστοκύτταρα)
6. Πολυμορφοπύρρηνα Ουδετερόφιλα[16]

2.2.2.6 Το δίκτυο των νευρικών απολήξεων του δέρματος

Θα ασχοληθούμε με τη νεύρωση του δέρματος αναλυτικότερα υποκεφάλαιο 2.4.

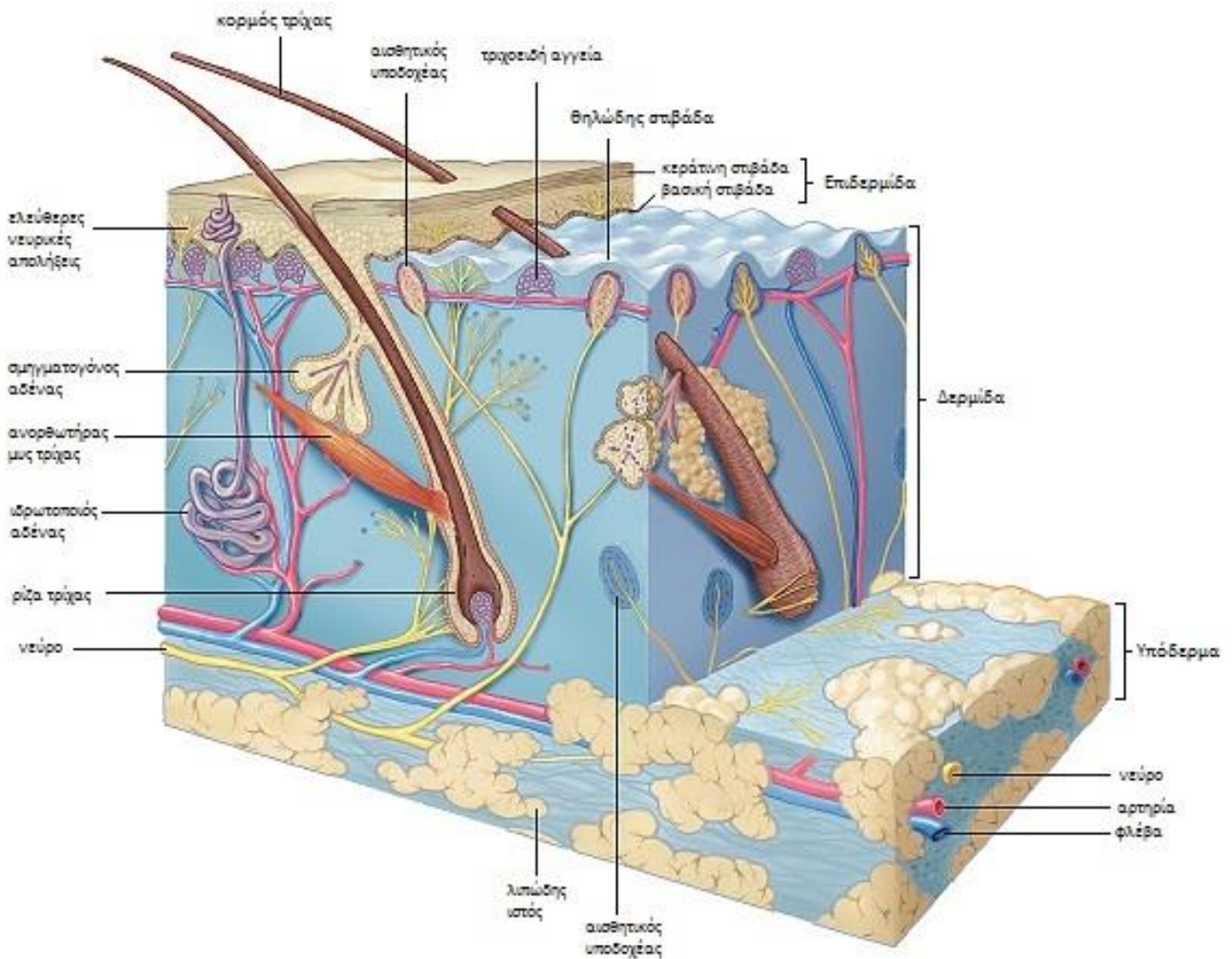
2.2.3 Υπόδερμα ή Υποδόριο Λίπος

Το υπόδερμα – υποδόριο λίπος(hypodermis) είναι το στρώμα του υποδόριου ιστού που αποτελείται από χαλαρό συνδετικό ιστό. Βρίσκεται ακριβώς κάτω από το χόριο, συνδέει το δέρμα με το συνδετικό ιστό που καλύπτει τους μύες και επιτρέπει την καλή οριζόντια κινητικότητα του δέρματος κατά μήκος της επιφάνειάς της. Εκεί βρίσκονται ινοβλάστες, μακροφάγα κύτταρα και κυρίως τα λιπώδη κύτταρα που αποθηκεύουν το σωματικό λίπος.

Διαμέσου του υποδέρματος γίνεται η σύνδεση του χορίου με τα υποκείμενα όργανα και ιστούς και μέσα σε αυτό διέρχονται αγγεία και βρίσκονται ειδικά νευρικά όργανα (υποδοχείς), αποκρινείς και εκκρινείς αδένες(ιδρωτοποιοί αδένες) και κατώτερα τμήματα τριχοθυλακίων τριχωτού δέρματος κεφαλής.

Το υποδόριο λίπος αποτελείται από λιποκύττρα που χωρίζονται από ινοκολλαγόνωδη διαφράγματα. Οι κενοί αυτοί χώροι ονομάζονται λιπώδη λόβια τα οποία γεμίζουν από λιπώδη κύτταρα που αποτελούν το υποδόριο λίπος το οποίο λειτουργεί ως θερμομονωτικό υλικό, απορροφητικό των δονήσεων αλλά και διαμέρισμα αποθήκευσης θρεπτικών ουσιών. [9]

Όπως αναφέραμε παραπάνω το υπόδερμα περιέχει τα νεύρα και αγγεία που τροφοδοτούν το δέρμα, τους θύλακες των τριχών και τους αδένες. Σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς (π.χ., Millington & Wilkinson, 1983), τα εκκριτικά τμήματα ορισμένων ιδρωτοποιών αδένων βρίσκονται στο χόριο και όχι το υπόδερμα. Αυτοί οι αδένες ιδρώτα τότε περιβάλλονται από λιπώδη ιστό αντί δέσμες ινών κολλαγόνου.[1]



Εικόνα 7: Υποδόριο Λίπος

2.3 Εξαρτήματα του δέρματος

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε εκτενέστερα τα τρία κύρια χαρακτηριστικά εξαρτήματα του δέρματος στα οποία αναφερθήκαμε παραπάνω, δίνοντας ιδιαίτερως έμφαση στους ιδρωτοποιούς αδένες καθότι αποτελούν για τη παρούσα μελέτη το ουσιαστικότερο κομμάτι.

Τα κύρια λοιπόν εξαρτήματα του δέρματος είναι:

- Οι τρίχες
- Τα νύχια
- Οι αδένες(σμηγματογόνοι – ιδρωτοποιοί – μαζικοί)

2.3.1 Οι Τρίχες

Είναι κεράτινα εξαρτήματα του δέρματος με σχήμα νηματοειδές και κυλινδρικό , που φύονται από το δέρμα και πιο συγκεκριμένα αναδύονται λοξά από εγκολπώσεις της επιδερμίδας, τους τριχοσμηγματικούς θυλάκους ή τριχοθυλάκια. Οι τρίχες συναντώνται σχεδόν σε όλη την επιφάνεια του σώματος, εκτός από τα πέλματα, τις πλάγιες επιφάνειες των δακτύλων, τις παλάμες, την ονυχοφόρο φάλαγγα, τη θηλή του μαστού, την πόσθη και τους ημιβλεννογόνους (χείλη, βάλανος, κλειτορίδα, μικρά χείλη και έσω επιφάνεια των μεγάλων χειλών του αιδοίου. Αποτελούνται από υδρογόνο, άζωτο, θείο, οξυγόνο και άνθρακα και αποτελούν σε συνδυασμό με τα νύχια, τα κεράτινα εξαρτήματα του δέρματος. [18]

2.3.1.1 Ανατομία της τρίχας

Η τρίχα αποτελείται από το στέλεχος, την ρίζα και τον βολβό.

2.3.1.1.1 Το στέλεχος

Είναι το τμήμα της τρίχας που εκτείνεται από εκεί που εκβάλλει ο σμηγματογόνος αδένας μέχρι την απόληξη του ελεύθερου άκρου της. Αποτελείται από τρία μέλη: το περιτρίχιο, τον φλοιό και τη μυελώδη ουσία ή μυελό.

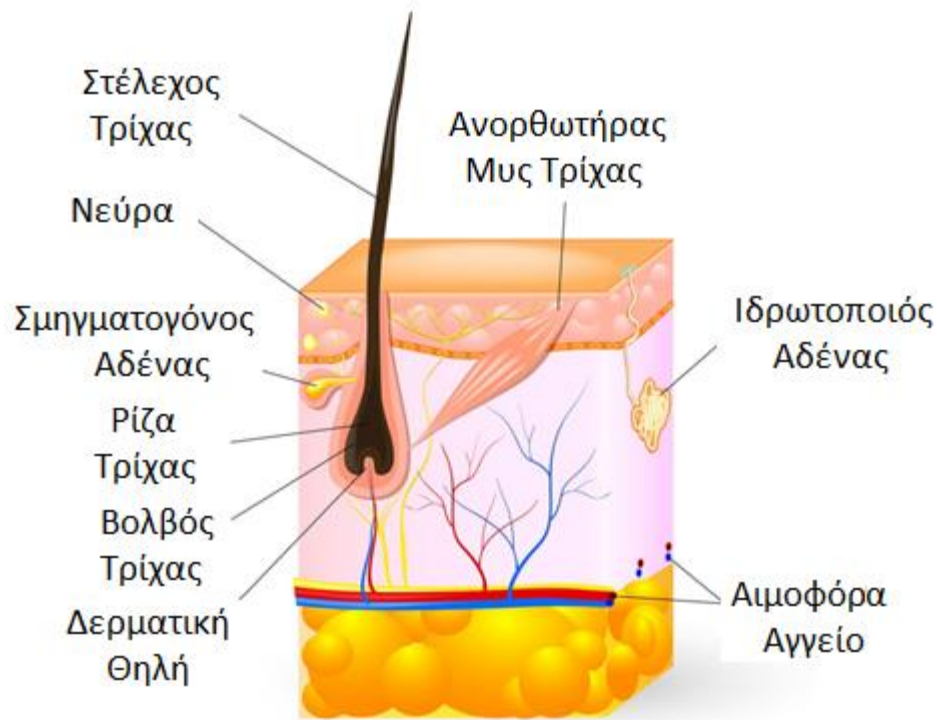
2.3.1.1.2 Η ρίζα

Η ρίζα της τρίχας βρίσκεται μέσα στο δέρμα και περιβάλλεται από διάφορα όργανα και όργανα. Η ρίζα φτάνει μέχρι το χόριο ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να φτάνει μέχρι και το υπόδερμα. Το άκρο της ρίζας καταλήγει σε μια κωνοειδή, παχύτερη διόγκωση που ονομάζεται βολβός και χρησιμεύει για την διάπλαση και την ανάπτυξή της.

2.3.1.1.3 Ο βολβός

Μέσα στο βολβό, εισχωρεί μια προσεκβολή του χορίου γέματη νεύρα και αγγεία που ονομάζεται θηλή της τρίχας και από όπου η τρίχα τρέφεται και αναπτύσσεται. Ο βολβός χωρίζεται σε δύο περιοχές εκ των οποίων η μία είναι το κατώτερο τμήμα που ονομάζεται μήτρα του βολβού και η άλλη είναι η το άνω τμήμα του. Στη μήτρα ξεκινά η ζωή της τρίχας καθώς εκεί αναπτύσσονται μέσω της μίτωσης νέα κύτταρα, τα οποία καθώς μεγαλώνουν κινούνται προς τα πάνω, αλλάζοντας σχήμα και φόρμα ώσπου να γίνουν κανονικές τρίχες. Χάνουν σταδιακά την υγρασία τους και μετατρέπονται σε σκληρά κερατινοποιημένα κύτταρα και αναδύονται στην επιφάνεια σα στελέχη. Ο βολβός της τρίχας είναι το

μόνο μέρος όπου τα κύτταρα είναι ζωντανά καθώς μετά την απομάκρυνσή τους είναι πλήρως κερατινοποιημένα και νεκρά. Αλλοιώσεις της θηλής του χορίου έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια της τρίχας.[16]



Εικόνα 8: Ανατομία της Τρίχας

2.3.1.2 Κερατινοποίηση

Η κερατίνη είναι μια ινώδης πρωτεΐνη που σχηματίζεται στην επιδερμίδα, τα νύχια και τις τρίχες και είναι υπεύθυνη για τη σκλήρυνση όλων αυτών. Στην περίπτωση της τρίχας, η σκλήρυνση αυτή που προσφέρει έχει ως αποτέλεσμα να αναδύεται τελικά σκληρή και εύκαμπτη και όχι όπως ξεκινά από τη μήτρα του βολβού, υγρή μαλακή και σε μορφή ζελέ. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κερατίνης για αυτό και η σκληρότητα της επιδερμίδας, του περιτριχίου και της τρίχας διαφέρει ενώ αποτελούνται από την ίδια ουσία λόγω της διαφορετικής δομής που παρουσιάζει το καθένα. Τα δυο είδη κερατίνης - κερατινοποίησης είναι η μαλακή, την οποία υφίσταται το δέρμα και η σκληρή που συναντάται στις τρίχες και τα νύχια.[12]

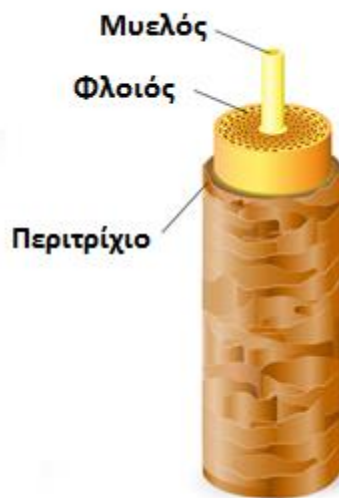
Τα κύτταρα της τρίχας μετακινούνται από τον βολβό προς το στέλεχος, από μαλακές και ζελατινικές δομές μετατρέπονται σε επιμήκεις, ινώδεις δομές, με εμφάνιση ράβδων. Ενώ αναπτύσσονται και μετακινούνται προς το στέλεχος, χάνουν όλο και περισσότερα υγρά στοιχεία, κερατινοποιούνται όλο και περισσότερο, μέχρις ότου απομείνουν χωρίς καθόλου υγρά, κερατινοποιημένα και επομένως νεκρά.

2.3.1.3 Τριχοσμηγματικός θύλακας

Ο τριχοσμηματογόνος θύλακας της τρίχας αποτελεί ινοεπιθυλιακό σχηματισμό ο οποίος είναι πολύπλοκος και αποτελείται από συνδετικό και επιθηλιακό ιστό. Χωρίζεται σε δύο τμήματα, την είσοδο και το τμήμα του θύλακα στο βάθος και σε αυτόν προσαρτώνται ο ορθωτήρας μυς και ο σμηματογόνος αδένας. Σε ένα θύλακα αντιστοιχεί ένας ορθωτήρας μυς ο οποίος νευρώνεται από το συμπαθητικό νευρικό σύστημα και υπό την επίδραση διάφορων ψυχικών καταστάσεων ή μεταβολών της θερμοκρασίας συσπάται αντανακλαστικά. Οι σμηματογόνοι αδένες εκβάλλουν μέσα στο θύλακα και λιπαίνουν τη τρίχα διατηρώντας την εύκαμπτη.[16]

Το στέλεχος της τρίχας αποτελείται από τρία μέρη:

- Το περιτρίχιο, το οποίο περιβάλλει την τρίχα και αποτελείται από ένα στρώμα επίπεδων κυττάρων, τα οποία κερατινοποιούνται, όσο μεγαλώνει η τρίχα. Οι κερατίνες φολίδες, έχουν κεραμιδωτή διάταξη και έτσι καθιστούν σκληρή την επιφάνειά της. Το περιτρίχιο στερείται χρωστικής και προστατεύει το φλοιό.
- Τον φλοιό, που είναι το μεσαίο μέρος της τρίχας. Τα κύτταρά του παρουσιάζουν άτυπη κερατινοποίηση, επειδή λείπουν τα κοκκία κερατοϋαλίνης. Η κερατίνη είναι σκληρή. Στα κύτταρα του φλοιού της τρίχας βρίσκονται κοκκία μελανίνης (μελανοσώματα), που παράγονται από τους μελανοβλάστες του βολβού της τρίχας. Η μελανίνη χρωματίζει την τρίχα.
- Τον μυελό που είναι το εσωτερικό μέρος της τρίχας και αποτελείται από μαλακή κερατίνη.[16]



Εικόνα 9: Το Στέλεχος της Τρίχας

Μεταξύ των κυττάρων της μητρικής στιβάδας βρίσκονται και τα μελανοκύτταρα, υπεύθυνα μέσω της μελανίνης για το χρώμα των τριχών. Από την ευμελανίνη προέρχεται το καφέ-μαύρο χρώμα, ενώ από τη φαιομελανίνη το κόκκινο-ξανθό. Η λεύκανση των τριχών φαίνεται να οφείλεται 1) στη μείωση παραγωγής μελανίνης και 2) στην παρουσία στα κύτταρα του μυελού μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα, που αντανακλούν το φως.

Το τριχοθυλάκιο χωρίζεται από το χόριο με ένα ακυτταρικό υαλοειδές σώμα, την υαλοειδή μεμβράνη, η οποία δημιουργείται από μια πάχυνση του βασικού υμένα. Το χόριο που περιβάλλει το τριχοθυλάκιο σχηματίζει ένα έλυτρο συνδετικού ιστού, πάνω στο οποίο προσφύονται λοξά δεσμίδες λείων μυϊκών ινών προερχόμενων από τη θηλώδη στιβάδα του χορίου, που αποτελούν τους ορθωτήρες μύες των τριχών. Σχηματίζεται έτσι ένα τρίγωνο αποτελούμενο από τον ορθωτήρα μυ, την επιδερμίδα και το τριχοθυλάκιο.[16]

2.3.2 Τα Νύχια

Τα νύχια είναι κεράτινες πλάκες που καλύπτουν μέρος της τελευταίας φάλαγγας των δακτύλων των χεριών και ποδιών, προστατεύοντας και βοηθώντας τα δάκτυλα στις απτικές τους κινήσεις. Κάθε φάλαγγα, έχει παχιά επιθηλιακή επιφάνεια που πάνω της στηρίζεται η πλάκα του νυχιού. Αυτή η επιθηλιακή επιφάνεια, λέγεται στρώμα του νυχιού.

Τα νύχια περιβάλλονται εξωτερικά από μία αύλακα, η οποία σχηματίζεται από την αναδίπλωση της επιδερμίδας και λέγεται ονυχιαία αύλακα.

Η μέση της ονυχιαίας αύλακας ονομάζεται μήτρα του νυχιού και σ' αυτό το σημείο εκτελούνται οι διαδικασίες ανάπτυξής τους. Η ονυχιαία αύλακα, χωρίζεται απ' το υπόλοιπο δέρμα των δακτύλων με μια πτυχή δέρματος, που λέγεται παρωνύχιο. Το χείλος του παρωνυχιού καλύπτει το νύχι σαν λεπτός κεράτινος υμένας και λέγεται επωνύχιο.[19]



Εικόνα 10: Ανατομία φυσιολογικού νυχιού

Στο νύχι, διακρίνουμε τρία μέρη :

- 1.τη ρίζα,
- 2.το σώμα και
- 3.την κορυφή ή ελεύθερο άκρο.

Αναλυτικότερα:

2.3.2.1 Η ρίζα του νυχιού

Η ρίζα του νυχιού είναι λεπτή και μαλακή και βρίσκεται μέσα στην ονυχιαία αύλακα. Κάτω από τη ρίζα υπάρχει πάχυνση της βασικής στιβάδας του δέρματος, η “μήτρα του νυχιού”, απ’ όπου αναγεννιάται και αυξάνεται το νύχι. Στον αντίχειρα αλλά και σε άλλα δάκτυλα, η ρίζα φαίνεται σαν ένα υπόλευκο ημικύκλιο με το κυρτό του μέρος προς το ελεύθερο άκρο και ονομάζεται μηνίσκος ή ανατολή.

2.3.2.2 Σώμα του νυχιού

Το σώμα του νυχιού, έχει ροδαλό χρώμα που οφείλεται στα αγγεία που υπάρχουν στο χόριο της κοίτης, και ραβδώσεις στην επιφάνεια. Το σώμα αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του νυχιού.

2.3.2.3 Κορυφή του νυχιού

Η κορυφή ή ελεύθερο άκρο, προεξέχει από την ρόγα του δακτύλου και ξεχωρίζει από αυτήν με την υπονύχια αύλακα που απλά λέγεται υπονύχιο. Το υπονύχιο είναι παχυμένη κεράτινη στιβάδα του δέρματος.

Επίσης, στο νύχι διακρίνουμε δύο επιφάνειες :

- α. την κυρτή ή ραχιαία επιφάνεια, πάνω στην οποία εντοπίζονται γραμμώσεις και
- β. την κοίλη επιφάνεια, που ενώνει το νύχι με το υποκείμενο δέρμα που λέγεται κοίτη του νυχιού

Ο ρυθμός αύξησης του νυχιού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε την ηλικία, την εγκυμοσύνη, τον τραυματισμό ή το δάγκωμα των νυχιών, τις εποχές (καλοκαίρι), τα νύχια χεριών-ποδιών. Για παράδειγμα, τα νύχια των χεριών μεγαλώνουν 2-3 φορές γρηγορότερα από τα νύχια των ποδιών, έτσι, μετά την αφαίρεσή τους, τα νύχια των χεριών αναπλάθονται σε 5-6 μήνες, ενώ των ποδιών σε 12-18 μήνες. Κατά μέσο όρο τα νύχια αναπτύσσονται κατά 0,1 χιλ. την ημέρα.[19]

2.3.3 Οι Αδένες

Το δέρμα αποτελείται από διάφορους τύπους αδένων που ο κάθε ένας απελευθερώνει διαφορετικά είδη βιοχημικών διαμέσου των πόρων του δέρματος και πιο συγκεκριμένα της επιδερμίδας. Η λειτουργία τους είναι πολύ σημαντική για πολλούς λόγους όπως για παράδειγμα ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος μέσω της απελευθέρωσης και εξάτμισης του ιδρώτα καθώς και προστασία του δέρματος από μυκητιάσεις και βακτηριακές λοιμώξεις. Στους αδένες του δέρματος ανήκουν οι ιδρωτοποιοί, που διακρίνονται στους αποκρινείς και στους εκκρινείς, οι σμηγματογόνοι και οι μαζικοί.[19]

2.3.3.1 Σμηγματογόνοι Αδένες

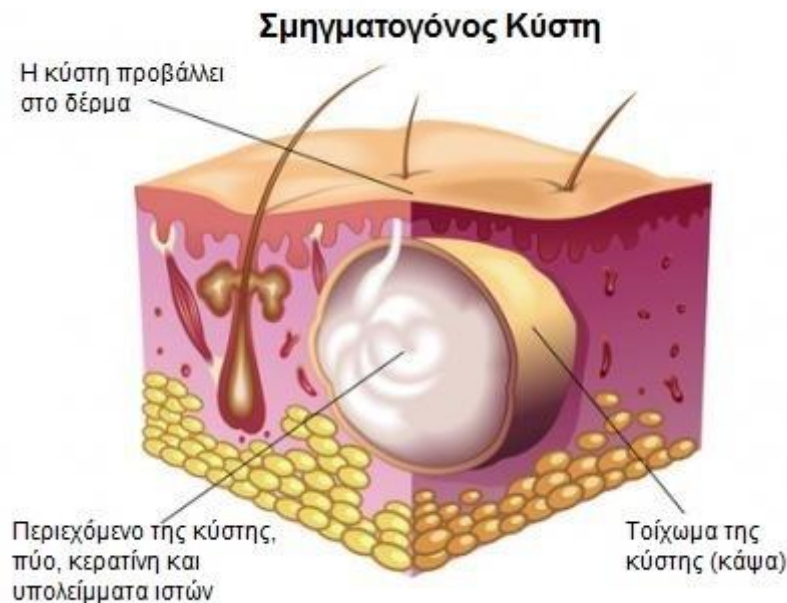
Οι σμηγματογόνοι αδένες είναι κυψελοειδείς αδένες. Αποτελούνται από το αδενικό σώμα και τον εκφορητικό πόρο. Ο πόρος είναι βραχύς και ευρύς και συνήθως καταλήγει στην άνω μοίρα ενός

τριχοθυλακίου. Σε ορισμένες περιοχές, όπως είναι η βάλανος του πέους, η κλειτορίδα και τα χείλη, οι αδένες αυτοί εκβάλλουν κατευθείαν στην επιφάνεια της επιδερμίδας.

Είναι βυθισμένοι στο χόριο στο μεγαλύτερο μέρος του δέρματος. Η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη από 100 ανά τετραγωνικό εκατοστό στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του σώματος. Στο πρόσωπο, το μέτωπο & το κρανίο η πυκνότητά τους αυξάνει σε 400-900 ανά τετραγωνικό εκατοστό.

Ο σμηγματογόνος αδένας είναι παράδειγμα ολοκρινούς αδένα, επειδή το προϊόν της έκκρισης απελευθερώνεται μαζί με υπολείμματα νεκρών κυττάρων. Οι σμηγματογόνοι αδένες αποτελούνται από μια στιβάδα αδιαφοροποίητων επιθηλιακών κυττάρων που επικάθονται πάνω στο βασικό υμένα. Τα κύτταρα αυτά πολλαπλασιάζονται γεμίζοντας τις αδενοκυψέλες και διαφοροποιούνται, με τους πυρήνες τους να συρρικνώνονται και το κυτταρόπλασμά τους να γεμίζει με σταγονίδια λίπους. Στο τέλος τα κύτταρα αυτά διαρρηγνύονται και προϊόν της διεργασίας αυτή είναι το σμήγμα, δηλαδή το έκκριμα των σμηγματογόνων αδένων.

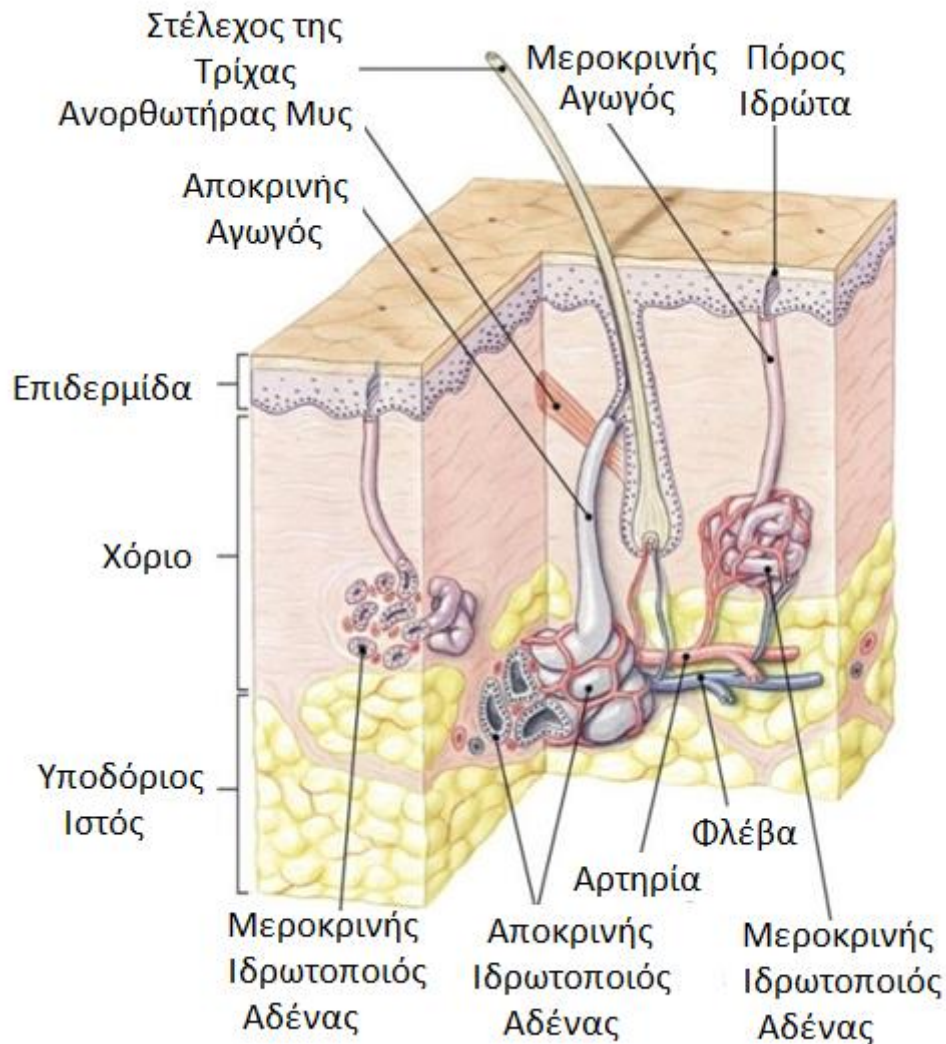
Το σμήγμα κινείται βαθμιαία προς την επιφάνεια του δέρματος. Περιέχει τριγλυκερίδια, σκουαλένιο, χοληστερόλη και εστέρες χοληστερόλης. Οι σμηγματογόνοι αδένες αρχίζουν να λειτουργούν κατά την εφηβεία. Ο πρωταρχικός παράγοντας ελέγχου της έκκρισης των σμηγματογόνων αδένων είναι η τεστοστερόνη στους άνδρες και ένας συνδυασμός ωοθηκικών και επινεφριδικών αντιγόνων στις γυναίκες. Το σμήγμα μπορεί να έχει ασθενείς αντιβακτηριακές και αντιμυκητιασικές ιδιότητες και λιπαίνει το δέρμα.[16]



Εικόνα 11: Σμηγματογόνος Κύστη

2.3.3.2 Ιδρωτοποιόι Αδένες

Οι ιδρωτοποιόι αδένες υπάρχουν σε όλη την επιφάνεια του δέρματος, εκτός από το δέρμα των φρυδιών, το ερυθρό των χειλιών, την έσω επιφάνεια του περυγίου του αυτιού, τα κóιτη των ονύχων, το έσω πέταλο της ακροποσθίας, τη βάλανο και τα μικρά χείλη του αιδοίου. Ο αριθμός τους κυμαίνεται περίπου στα 3 εκατομμύρια. Οι περισσότεροι εντοπίζονται στα πέλματα, τις παλάμες, το πρόσωπο και τη μασχάλη. Οι αδένες του Moll στις παρυφές των βλεφαρίδων και οι κυψελιδοποιόι αδένες του έξω ωτός είναι τροποποιημένοι ιδρωτοποιόι αδένες. Οι ιδρωτοποιόι είναι σωληνοειδείς εσπειραμένοι αδένες και διακρίνονται στους εκκριντικούς (μεροκρινείς) και τους απεκκριντικούς (αποκρινείς). [19]



Εικόνα 12: Οι Αδένες του Δέρματος

2.3.3.2.1 Μεροκρινείς(Εκκριτικοί) Αδένες

Οι μεροκρινείς ιδρωτοποιοί αδένες είναι απλοί εσπειραμένοι σωληνοειδείς αδένες, των οποίων οι πόροι εκβάλλουν στην επιφάνεια του δέρματος. Αποτελούνται από την εκκριτική μοίρα(σπείραμα) και τον εκφορητικό πόρο. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη κατανομή είναι οι παλάμες, τα πέλματα, το πρόσωπο και ο αυχένας. Βρίσκονται μέσα στο χόριο ή στο υπόδερμα.

Τα δύο μέρη από τα οποία αποτελείται είναι:

α) Το σπείραμα, του οποίου η εξωτερική στιβάδα αποτελείται από μυοεπιθηλιακά κύτταρα και η εσωτερική από δύο είδη εκκριτικών κυττάρων, τα μεγάλα διαυγή κύτταρα που είναι υπεύθυνα για τις υδατικές αδενικές εκκρίσεις (νερό, NaCl, ουρία, αμμωνία, γαλακτικό και ουρικό οξύ) και τα μικρότερα σκοτεινά κύτταρα που περιέχουν γλυκοπρωτεΐνες.

β)Τον εκφορητικό πόρο, ο οποίος περνώντας από το χόριο έχει ένα τμήμα σπειροειδές, ένα τμήμα ευθύ και καταλήγει στην επιφάνεια του δέρματος με ένα σπειροειδές ενδοεπιδερμικό τμήμα.

Τα χοριακά τμήματα του εκφορητικού πόρου σχετίζονται λειτουργικά με την επαναπρόσληψη νατρίου και έτσι τροποποιούν τη σύνθεση του εκκρίματος -ιδρώτα- κατά τη δίοδο του μέσα από τον εκφορητικό πόρο. Το έκκριμα είναι διαυγές και όξινο και εμποδίζει την ανάπτυξη βακτηριδίων.[16]

2.3.3.2.2 Αποκρινείς(Απεκκριτικοί) Αδένες

Οι αποκρινείς ιδρωτοποιοί αδένες συναντώνται στις μασχάλες, την άλω των θηλών, του μαστού και την περιπρωκτική περιοχή. Είναι σωληνοειδείς αδένες με αναστομώσεις και μεγαλύτεροι από τους μεροκρινείς ιδρωτοποιούς αδένες. Επεκτείνονται τόσο στο χόριο, όσο και στον υποδόριο ιστό και οι πόροι τους εκβάλλουν στα τριχοθυλάκια. Το έκκριμά τους είναι μικρότερης ποσότητας σε σχέση με αυτό των μεροκρινών αδένων, παχύρρευστο, (ιξώδες), λιγότερο όξινο και έχει ιδιαίτερη οσμή όταν φτάσει στην επιφάνεια του δέρματος .Γι' αυτό το λόγο λέγονται και οσμογόνοι. Νευρώνονται με αδρενεργικές νευρικές απολήξεις.

Οι κυψελιδοποιοί αδένες του έξω ακουστικού πόρου, οι αδένες του Montgomery στη θηλή του μαστού και οι αδένες του Moll στα βλέφαρα, θεωρούνται τροποποιημένοι αποκρινείς αδένες. Επίσης, και ο μαζικός αδένας υπάγεται στην κατηγορία αυτή.

Αναπτύσσονται και λειτουργούν κατά την εφηβεία, διότι εξαρτώνται από την κυκλοφορία των γεννητικών ορμονών.

Το νευρικό σύστημα ελέγχει την εφίδρωση και ανάλογα με το ερέθισμα που την προκάλεσε, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: 1)Θερμορρυθμιστική 2)Συγκινησιακή και 3)Γευστική
Μετά την απελευθέρωσή του ο ιδρώτας εξατμίζεται και προκαλεί απόψυξη της επιφάνειας. Οι ιδρωτοποιοί αδένες απομακρύνουν επίσης ουσίες άχρηστες προς τον οργανισμό(ουρία κ.α).[16]

2.3.3.3 Μαζικοί Αδένες ή Μαστοί

Εκτός από τους παραπάνω αδένες, εξειδικευμένα όργανα του δέρματος είναι και οι μαζικοί αδένες (ή απλώς μαστοί), οι οποίοι παράγουν γάλα.

Οι μαστοί στον άνδρα δεν αναπτύσσονται, παραμένουν φυσιολογικά στην παιδική μορφή. Στην ώριμη γυναίκα αποτελούν δύο ημισφαιρικές προεξοχές του δέρματος στο πρόσθιο μέρος του θώρακα.

Ο κάθε μαστός περιλαμβάνει:

- Το μαζικό αδένια
- Το περιμαστικό λίπος και
- Το δέρμα

Ο μαζικός αδένια αποτελείται από 12-15 λοβούς, που έχουν ακτινοειδή διάταξη γύρω από τη θηλή του μαστού. Ο κάθε λοβός αποτελείται από πολλά λόβια, από μικρούς εκφορητικούς πόρους και από ένα κοινό εκφορητικό πόρο. Οι εκφορητικοί πόροι του αδένια λέγονται γαλακτοφόροι πόροι και καταλήγουν στη θηλή που είναι μία κωνική προεξοχή του δέρματος στο κέντρο του μαστού.

Το δέρμα γύρω από τη θηλή παρουσιάζει μία κυκλική περιοχή που λέγεται θηλαία άλω. Η θηλή και η θηλαία άλω έχουν βαθύτερη και ιδιαίτερη χροιά, που διαφέρει από το υπόλοιπο σώμα καθώς η κορυφή της θηλής δεν έχει χρωστική.

Το περιμαστικό λίπος περιβάλλει το μαζικό αδένια. Έτσι, η εξωτερική μορφή του μαστού καθορίζεται περισσότερο από το λιπώδη ιστό και λιγότερο από τον αδενικό ιστό.

Ο μαστός ως όργανο του δέρματος δεν έχει χόνδρινο ή οστέινο σκελετό. Στο νεανικό μαστό ο συνδετικός ιστός κρατά σταθερή τη μορφή του. Όσο αυξάνεται η ηλικία, χαλαρώνει ο συνδετικός ιστός, και ο μαστός κατεβαίνει χαμηλότερα. [16], [19]

2.4 Νεύρωση του Δέρματος

Η νεύρωση του δέρματος προέρχεται τόσο από το Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα(ΑΝΣ) όσο και από το Εγκεφαλονωτιαίο Νευρικό Σύστημα(ΚΝΣ), στα οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε παρακάτω υποκεφάλαια. Είναι ένα δίκτυο από νευρικούς σχηματισμούς και από ελεύθερες νευρικές απολήξεις.

Στο Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα ανήκουν οι κλάδοι που διαμοιράζονται από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα(ΚΝΣ) προς το σώμα, είναι δηλαδή φυγόκεντρα νεύρα, και είναι αναλυτικότερα: αγγειοκινητικά καθώς νευρώνουν το τοίχωμα των αγγείων του δέρματος, εκκριτικά σε σχέση με τους αδένες και κινητικά όσο αναφορά τους ορθωτικούς μύες των τριχών.

Τα νεύρα που προέρχονται από το Εγκεφαλονωτιαίο Νευρικό Σύστημα έχουν την αντίθετη ιδιότητα από αυτά του ΚΝΣ. Είναι δηλαδή κεντρομόλα καθώς μεταβιβάζουν τα ερεθίσματα από το σώμα προς το ΚΝΣ κάνοντας έτσι το δέρμα αισθητήριο όργανο για την πίεση, την αφή, τη θερμοκρασία, την αίσθηση της ηδονής, τον πόνο κ.α.

Οι κλάδοι αυτοί παραλαμβάνουν διεγέρσεις από ειδικά υποδεκτικά όργανα που βρίσκονται σε όλο το πάχος του δέρματος και είναι τα εξής:

2.4.1 Νεύρα της Επιδερμίδας

Οι αισθητικοί υποδοχείς του δέρματος και τα αισθητικά νεύρα έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους όσον αναφορά στην κατασκευή και την ευαισθησία τους στα διάφορα ερεθίσματα. Στην επιδερμίδα έχουμε τις ελεύθερες νευρικές απολήξεις οι οποίες παραλαμβάνουν διεγέρσεις οι οποίες σχετίζονται με τον πόνο και οι οποίες εισχωρούν στη βασική στιβάδα και καταλήγουν στη μαλιγιανή(ακανθωτή).

Ακόμα στην επιδερμίδα βρίσκονται και τα κύτταρα Merkel(Απτικοί Δίσκοι), που εντοπίζονται στη βασική στιβάδα, κυρίως στις ράγες των δακτύλων και στα χείλη, και εξυπηρετούν ως υποδοχείς της αφής.[10]

2.4.2 Νεύρα του Χορίου

Στο χόριο συναντάμε τα νεύρα είτε σαν ελεύθερες νευρικές απολήξεις υπεύθυνες για τις διάφορες αισθήσεις είτε σαν ειδικώς διαμορφωμένα υποδεκτικά σωματίδια. Πιο συγκεκριμένα στο χόριο βρίσκονται:

α. Περιτρίχιες απολήξεις. Περιλαμβάνει την τρίχα και την νευρική ίνα στη βάση της. Οι τριχικοί θύλακοι διαθέτουν ένα πλούσιο δίκτυο εμμύλων ινών. Κάποιες εξαπλώνονται κυρίως γύρω από τον ινώδη θύλακο της τρίχας ως σταθερές νευρικές απολήξεις, εξυπηρετώντας την αίσθηση της πίεσης, και κάποιες άλλες εισέρχονται στην επιδερμίδα και καταλήγουν σε στενή σχέση με τα κύτταρα Merkel λειτουργώντας ως υποδοχείς της αφής. Οποιαδήποτε κίνηση της τρίχας στο δέρμα ερεθίζει τη νευρική ίνα της ρίζας που είναι τυλιγμένη γύρω της στη βάση της.

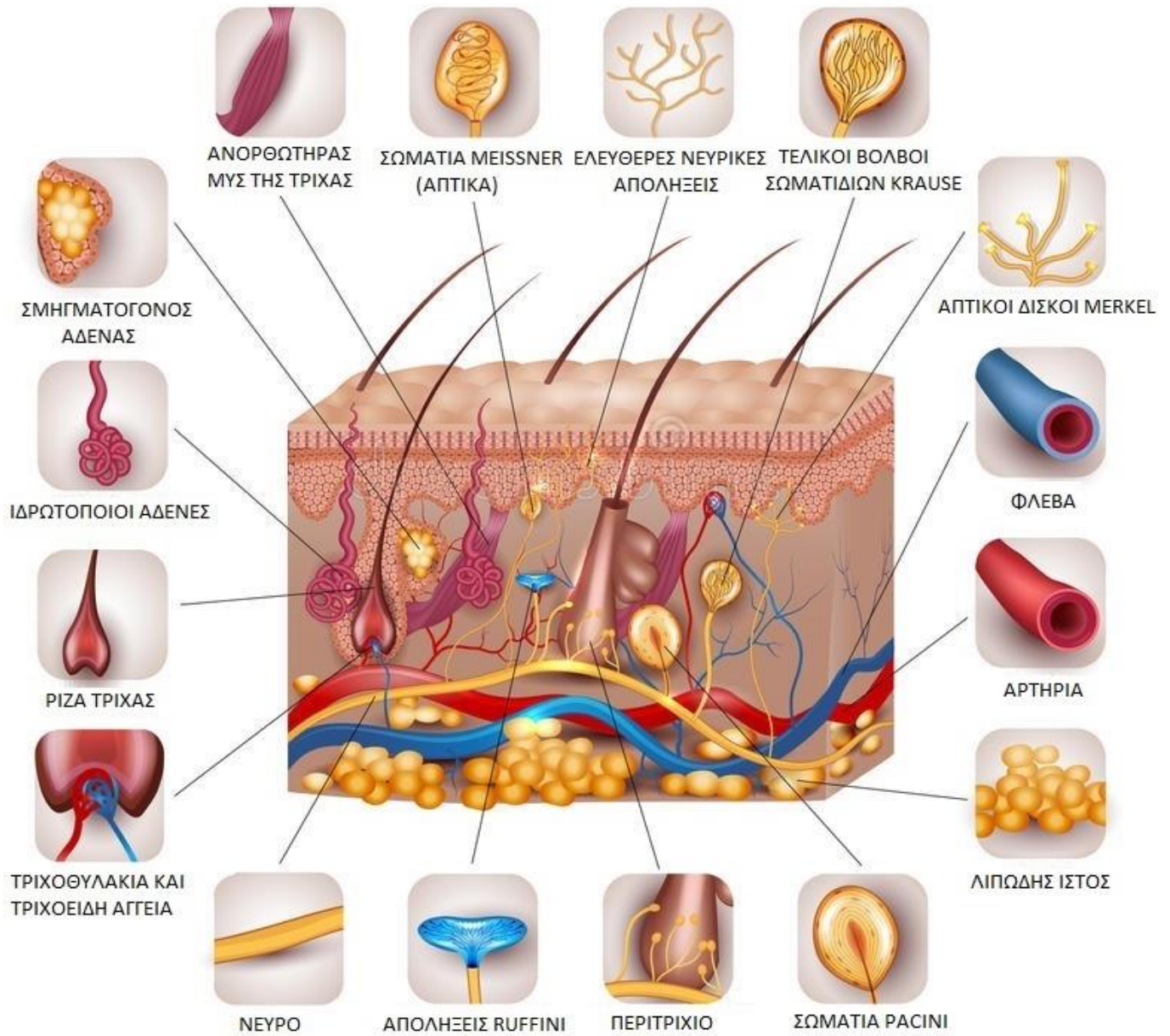
β. Σωματίδια Krause(Τελικές Κορύνες): Είναι υποδοχείς του ψύχους, τα εντοπίζουμε στη θηλώδη στιβάδα του χορίου και πιο συγκεκριμένα στα χείλη και τη γλώσσα. Αντίστοιχα αλλά μεγαλύτερα σε όγκο σωματίδια βρίσκονται στα γεννητικά όργανα.

γ. Γεννητικά νευροσωμάτια : Είναι σωματίδια αντίστοιχα με τα σωματίδια Krause αλλά μεγαλύτερα σε όγκο και βρίσκονται στα γεννητικά όργανα. Είναι υπεύθυνα για την αίσθηση της ηδονής

δ. Απολήξεις Ruffini: Τα σωματίδια αυτά βρίσκονται στο υπόδερμα των δακτύλων καθώς και στο χόριο του δέρματος και εξυπηρετούν στην αίσθηση της θερμότητας.

ε. Σωματίδια Meissner(Απτικά Σωματίδια): Εντοπίζονται στις θηλές του χορίου στα άτριχα σημεία του δέρματος όπως την επιφάνεια των παλαμών και των πελμάτων και ιδιαίτερα στις άκρες των δακτύλων. Το σχήμα τους είναι ωοειδές , περιβάλλονται από κάψα συνδετικού ιστού και αποτελούνται από εμμύελες και αμύελες νευρικές ίνες. Είναι υπεύθυνα για την αίσθηση της λεπτής αφής.

στ. Ελεύθερες νευρικές απολήξεις: Βρίσκονται κυρίως στη θηλώδη στιβάδα και εξυπηρετούν τον πόνο.[10]



Εικόνα 13: Νεύρα του Δέρματος

2.4.3 Νεύρα του Υποδόριου Ιστού

Στον υποδόριο ιστό συναντούμε τα εξής τρία είδη:

α. Σωμάτια Vater – Pacini (Πεταλιώδη Σωμάτια): Εντοπίζονται κυρίως στο άτριχο δέρμα όπως παλάμες και πέλματα καθώς επίσης και γύρω από τη γεννητική περιοχή. Τα περιβάλλει εξωτερικά κάψα και

διαθέτουν εμμύελες νευρικές ίνες. Είναι ευαίσθητα στις δονήσεις και εξυπηρετούν την αίσθηση της ισχυρής πίεσης.

β. Απολήξεις Ruffini: Αναφερθήκαμε στο παραπάνω υποκεφάλαιο.

γ. Σωμάτια Golgi - Mazzoni: Εντοπίζονται στο χόριο και το υπόδερμα και είναι υπεύθυνα για την αίσθηση της ελαφράς πίεσης.[10]

2.5 Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα ελέγχει και ρυθμίζει τις λειτουργίες όλων των υπόλοιπων συστημάτων του οργανισμού και τις συντονίζει ανάλογα με τα εξωτερικά και τα εσωτερικά ερεθίσματα συμβάλλοντας μαζί με το σύστημα των ενδοκρινών αδένων στην ομοιόσταση, δηλαδή στη διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος. Σκοπός του νευρικού συστήματος είναι να συλλέγει πληροφορίες για τις μεταβολές του περιβάλλοντος, ώστε ο οργανισμός να αντιδρά κατάλληλα σε αυτές. Το νευρικό σύστημα δέχεται αισθητικές πληροφορίες, τις επεξεργάζεται στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα(ΚΝΣ) και τέλος απαντά στα ερεθίσματα μέσω του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος(ΠΝΣ), δίνοντας εντολές στους μυς και στους αδένες. Κατ' αυτόν τον τρόπο παρέχεται στον οργανισμό η δυνατότητα να προσαρμόζει τις λειτουργίες του ανάλογα με τις μεταβολές του περιβάλλοντος και επομένως να επιβιώνει.

Ο ρόλος του συνεπώς, είναι η επικοινωνία του οργανισμού με το εξωτερικό περιβάλλον, η επικοινωνία και ο συντονισμός των ιστών και των οργάνων μεταξύ τους και τέλος η εκτέλεση ανώτερων λειτουργιών όπως βούληση, σκέψη, μνήμη κ.α.

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό(Κεντρικό Νευρικό Σύστημα) και τα νεύρα(Περιφερικό Νευρικό Σύστημα). Σε παρακάτω υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στα όργανα και τις λειτουργίες του ΚΝΣ και του ΠΝΣ. Πριν από αυτό θα αναφερθούμε στα δομικά συστατικά του νευρικού συστήματος και στο τρόπο με τον οποίο αυτά λειτουργούν.[20]

2.5.1 Δομή του Νευρικού Συστήματος

Τα όργανα του νευρικού συστήματος αποτελούνται από νευρικό ιστό, ο οποίος συνίσταται από δυο θεμελιώδεις κατηγορίες κυττάρων: τα νευρικά κύτταρα-νευρώνες και τα κύτταρα της γλοιας-νευρογλοιακά. Τα νευρικά κύτταρα (δομική μονάδα του νευρικού συστήματος) ευθύνονται για την μετάδοση της νευρικής ώσης, αντιδρώντας στις μεταβολές του περιβάλλοντος, ενώ τα νευρογλοιακά κύτταρα υποβοηθούν τη λειτουργία των νευρώνων.

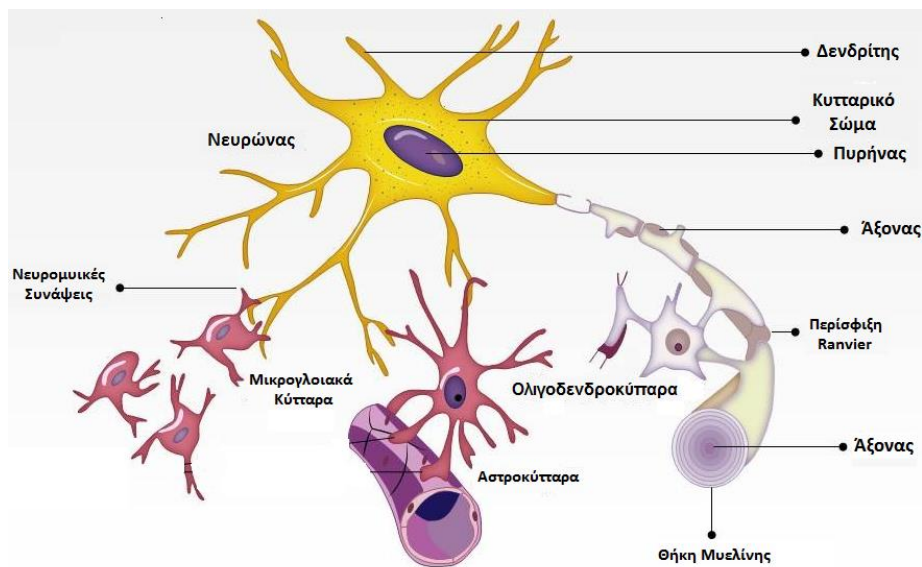
2.5.1.1 Νευρώνες

Οι αποφυάδες διακρίνονται στους δενδρίτες και στον νευροάξονα ή νευρίτη. Οι δενδρίτες αποτελούν το σημείο εισόδου των ερεθισμάτων στο νευρικό κύτταρο και μπορεί να αριθμούνται από ένας έως κάποιες δεκάδες. Έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τον νευροάξονα και είναι ακανθωτοί με προεξοχές(άκανθοι) σε αντίθεση με τον νευροάξονα που είναι λείος. Ο νευροάξονας δημιουργεί τις συνδέσεις του με τους δενδρίτες μέσω αυτών των μικροσκοπικών προεξοχών που αποφύονται από τους δενδρίτες.

Ο νευροάξονας ή νευρίτης είναι μοναδικός για κάθε νευρώνα με μήκος που σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει το ένα μέτρο. Αποτελείται από διακλαδώσεις κάθε μια από τις οποίες καταλήγει τελικά σε άκρο, το τελικό κομβίο, το οποίο αποτελεί και το προσυναπτικό άκρο της σύναψής του με τον επόμενο νευρώνα. Η μεταξύ τους σχέση αλλάζει συνεχώς δομή καθώς οι δενδρίτες δημιουργούν νέες συνδέσεις και καταργούν άλλες, ενώ ταυτόχρονα ο νευροάξονας αναπτύσσει νέες απολήξεις κατά την επαφή του με άλλους νευρώνες(ακάνθους δενδριτών). [9]

Όπως περιγράψαμε παραπάνω, ένας νευρώνας αποτελείται από τους δενδρίτες, το κυτταρικό σώμα, τον άξονα και τις συναπτικές απολήξεις. «Αυτή η δομή αντανακλά τη λειτουργική υποδιαίρεσή του σε επιμέρους διαμερίσματα πρόσληψης, ολοκλήρωσης και μεταβίβασης της πληροφορίας. Σε γενικές γραμμές, οι δενδρίτες προσλαμβάνουν το ερέθισμα, το κυτταρικό σώμα ολοκληρώνει και οι άξονες μεταβιβάζουν.»[21]

Τα οργανίδια που βρίσκονται στο εσωτερικό του κυττάρου(μιτοχόνδρια) είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ενέργειας, δηλαδή για την τροφοδότηση του νευρώνα με νέες πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες αυτές μεταφέρονται στις ακάνθους των δενδρωδών και προκειμένου να ανακυκλωθούν και να αντικατασταθούν χρειάζονται τα εν λόγω καύσιμα. Η μεταφορά των πρωτεϊνών δημιουργεί και ενισχύει την σύνδεση μεταξύ των νευρώνων.



Εικόνα 14: Νευρώνες και Νευρογλοιακά Κύτταρα

Τα είδη των νευρώνων:

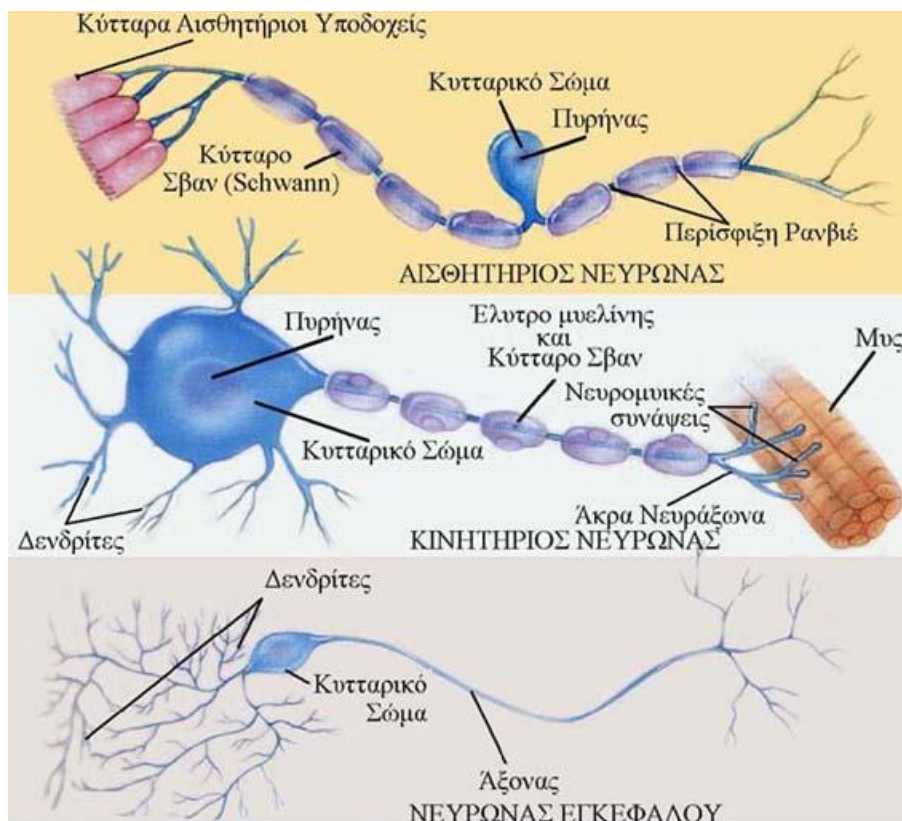
Οι νευρώνες ανάλογα με τη μορφή που έχουν και τη λειτουργία που επιτελούν διακρίνονται σε αισθητικούς, ενδιάμεσους και κινητικούς.

Οι αισθητικοί νευρώνες (προσαγωγός νευρώνας) βρίσκονται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του σώματος και είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά μηνυμάτων από τις διάφορες περιοχές του σώματος (εσωτερικά και εξωτερικά) στον νωτιαίο μυελό και στον εγκέφαλο, καθώς μετατρέπουν ένα συγκεκριμένο τύπο ερεθίσματος σε δυναμικό ενεργείας· μια διαδικασία που ονομάζεται αισθητική

μεταγωγή. Ο κάθε τύπος αισθητικού υποδοχέα εξειδικεύεται στην υποδοχή και επεξεργασία συγκεκριμένων τύπων ερεθισμάτων(φως-φωτουποδοχέας, ακοή-μηχανουποδοχέας κτλ).

Όταν η πληροφορία φτάσει στον εγκέφαλο ή στο νωτιαίο μυελό, τότε οι ενδιάμεσοι ή συνδετικοί νευρώνες, που συναντώνται αποκλειστικά εκεί, κατευθύνουν τα μηνύματα που έχουν δεχτεί από τους αισθητικούς νευρώνες προς συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού, όπου θα υποστούν επεξεργασία. Τέλος ευθύνονται για τη τελική μετάδοση της πληροφορίας από τον εγκέφαλο ή τον νωτιαίο μυελό, προς τους κατάλληλους κινητικούς νευρώνες.

Οι κινητικοί νευρώνες(απαγωγικοί νευρώνες) αφού λάβουν την πληροφορία από τους ενδιάμεσους ή συνδετικούς νευρώνες, την κατευθύνουν στα εκτελεστικά όργανα τα οποία αντιδρούν είτε με σύσπαση (μύες) είτε με έκκριση ουσιών (αδένες). Μεταφέρουν δηλαδή τα μηνύματα στα δραστικά κύτταρα.[21], [22]



Εικόνα 15: Είδη Νευρώνων

Ανάλογα με τον αριθμό, το μήκος και τις διακλαδώσεις που έχουν, υπάρχουν οι

1. Μονόπολοι(Ψευδομονόπολοι) νευρώνες όπου από το κυτταρικό σώμα προβάλλει μία μόνο αποφυάδα που είναι πολύ κοντή και διαιρείται σε δύο κλάδους από τους οποίους ο ένας από τους δύο οδεύει προς το ΚΝΣ και ο άλλος προς μια αισθητική περιοχή του σώματος. Σ' αυτούς ανήκουν και οι αισθητικοί νευρώνες.
2. Δίπολοι νευρώνες με σώμα από το οποίο εκφύονται ισοδύναμα από τους δύο αντίθετους πόλους του κυτταρικού σώματος δύο αποφυάδες: ένας άξονας και ένας δενδρίτης. «Σ' αυτούς

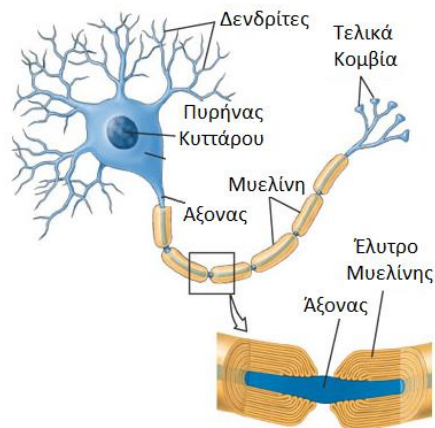
ανήκουν οι διάμεσοι νευρώνες που εξυπηρετούν τοπικές συνδέσεις μέσα στο ΚΝΣ και οι υποδοχείς αισθήσεων όσφρησης, όρασης και ισορροπίας».

3. Πολύπολοι νευρώνες με έναν μόνο μακρύ νευροάξονα και πολλές δενδριτικές αποφυάδες(οι περισσότεροι νευρώνες). Σ' αυτούς ανήκουν και οι κινητικοί. Μια ειδική κατηγορία αυτών των νευρώνων είναι οι πυραμοειδείς νευρώνες.

2.5.1.2 Νευρογλοιακά Κύτταρα

Τα νευρογλοιακά κύτταρα αποτελούν βοηθητικά κύτταρα των νευρικών κυττάρων και εμφανίζουν ειδικές λειτουργίες. Τροφοδοτούν με θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο τους νευρώνες, στηρίζοντάς τους και απομονώνοντας τον ένα από τον άλλο, ενώ παράλληλα λειτουργούν ως απορριμματοσυλλέκτες, απορροφώντας και απομακρύνοντας άχρηστες ουσίες από αυτούς μετά από κάκωση ή νευρωνικό θάνατο. Όσον αφορά τον νευροάξονα, τα νευρογλοιακά κύτταρα που τον περιβάλλουν λειτουργούν ως μονωτικό υλικό, παράγοντας μυελίνη, που καλύπτει τους περισσότερους μεγάλους νευροάξονες και επιταχύνουν τη μεταφορά της νευρικής ώσης. Κατά την ανάπτυξη του εγκεφάλου τα νευρογλοιακά κύτταρα έχουν καθοδηγητικό ρόλο στις διασυνδέσεις των νευρώνων καθώς και την πορεία των νευροαξόνων. Χρησιμεύουν επίσης ως στηρικτικά στοιχεία που προσδίδουν σταθερότητα και δομική συνοχή στον εγκέφαλο.

Τα νευρογλοιακά κύτταρα διακρίνονται σε: Ολιγοδενδροκύτταρα, κύτταρα Schwann και Αστροκύτταρα. Τα ολιγοδενδροκύτταρα, που συναντώνται στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, όπως υπαινίσσεται το όνομά τους, είναι κύτταρα με σχετικά λίγες αποφυάδες, παρ' όλ' αυτά ο ρόλος τους στη μόνωση των νευροαξόνων είναι σπουδαίος. Μαζί με τα κύτταρα Schwann, που συναντώνται μόνο στο Περιφερικό Νευρικό Σύστημα, τυλίγουν σφιχτά τις λιγοστές αποφυάδες τους γύρω από το νευροάξονα σχηματίζοντας ένα μυελώδες έλυτρο. Τέλος, τα αστροκύτταρα, όπως υπονοεί και το όνομά τους, έχουν αστεροειδές σχήμα λόγω των πολλαπλών κυτταρικών αποφυάδων τους που καταλαμβάνουν τον περισσότερο χώρο μεταξύ των νευρώνων. Αποτελούν τα πιο πολυάριθμα κύτταρα μεταξύ των νευρογλοιακών και είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό δομικού σκελετού για τους νευρώνες του εγκεφάλου.[22], [23]



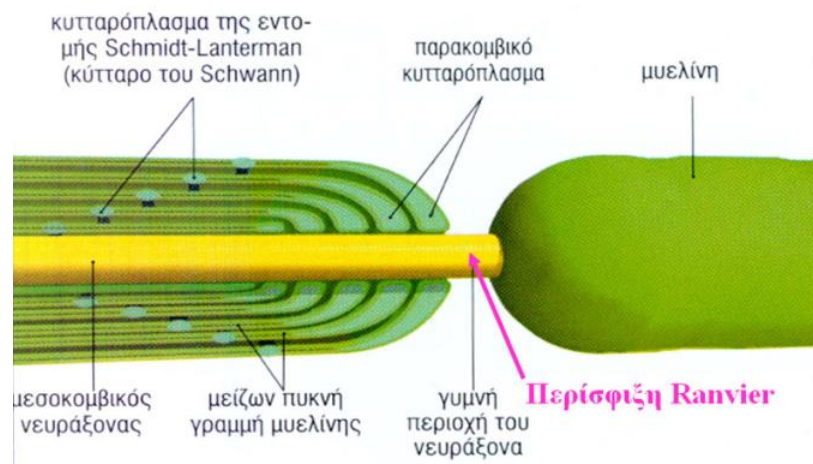
Εικόνα 16: Νευροάξονας

2.5.1.2.1 Ο Ρόλος της Μυελίνης

Η μυελίνη είναι μια ουσία η οποία αυξάνει την ταχύτητα της αγωγής του νευρικού ερεθίσματος κατά μήκος των νευροαξόνων με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι μέσω της λειτουργίας της ως μονωτικό, ελαχιστοποιώντας την απώλεια ρεύματος από την κυτταρική μεμβράνη, και ο δεύτερος μέσω της αύξησης της διαμέτρου του νευροάξονα που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ηλεκτρικής χωρητικότητάς του.

Η μυελίνη παράγεται από τα νευρογλοιακά κύτταρα και συγκεκριμένα από τα κύτταρα Schwann. Αυτά περιβάλλουν τους νευροαξόνους με στρώματα κυτταρικής μεμβράνης που περιέχουν αυτή την ουσία με τη διαφορά ότι τα πρώτα επενδύουν με μυελίνη πολλούς γειτονικούς άξονες, ενώ τα δεύτερα χορηγούν μόνο έναν νευροάξονα. Η διαδικασία της «επένδυσης» των νευροαξόνων με μυελίνη ονομάζεται μυελίνωση και είναι όμοια και στο Κεντρικό και στο Περιφερικό Νευρικό σύστημα. Οι εμύελοι(οι καλυπτόμενοι από μυελίνη) νευροαξόνους χαρακτηρίζονται από μεγάλη ταχύτητα αγωγής της νευρικής ώσης(ερέθισμα) σε αντίθεση με τους αμύελους.

Ο αριθμός των στιβάδων που περιβάλλουν ένα νευροάξονα αποτελεί το έλυτρο της μυελίνης, το πάχος του οποίου διαμορφώνεται από τις πολλαπλές αυτές στιβάδες. Κάθε τμήμα του ελύτρου, το οποίο δεν είναι συνεχές, παράγεται από ένα στηρικτικό κύτταρο και ονομάζεται μεσόκομβος. Οι περιοχές μικρού μήκους του νευροάξονα, ανάμεσα από δυο κόμβους, που δεν περικλείονται από μυελίνη(εικ. 17) ονομάζονται περισφίξεις ή κόμβοι του Ranvier.



Εικόνα 17: Σχηματική Παράσταση Περίσφιξης Ranvier

Οι κόμβοι του Ranvier παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μετάδοση της νευρικής ώσης καθώς αυξάνουν κατά πολύ την ταχύτητα αγωγής. Και στην περίπτωση του Κ.Ν.Σ όπου ο κόμβος Ranvier είναι χωρίς μυελίνη αλλά και στο Π.Ν.Σ όπου περιβάλλεται εν μέρη από το κυτταρόπλασμα των γειτονικών κυττάρων Schwann, η «μεμβράνη του νευροάξονα στην περιοχή του κόμβου περιέχει ειδικούς αγωγούς ηλεκτρικής τάσης που είναι απαραίτητοι για το σχηματισμό δυναμικού ενεργείας. Η εκπόλωση στον κόμβο, ακολουθείται από ταχεία παθητική μετάδοση του ρεύματος κάτω από τη μονωτική μυελίνη,

κατά μήκος της νευρικής ίνας, μέχρι τον επόμενο κόμβο, όπου λόγω της παρουσίας των ειδικών αγωγών επέρχεται περαιτέρω τοπική εκπόλωση.» Με αυτόν τον τρόπο το δυναμικό ενεργείας ταξιδεύει κάνοντας «άλματα» από κόμβο σε κόμβο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αλματώδης αγωγή και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ταχύτητα αγωγής των εμμέλων νευραξόνων.[22]

2.5.1.3 Δυναμικό Ηρεμίας

Δυναμικό ηρεμίας ονομάζεται η διαφορά δυναμικού που εμφανίζεται μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης ενός νευρώνα σε κατάσταση ηρεμίας. Είναι περίπου -70mV και διατηρείται για όσο διάστημα δε δέχεται κάποιο ερέθισμα ο νευρώνας ή δέχεται ερεθίσματα κάτω της οριακής τιμής. Η αρνητική τιμή του οφείλεται στο ότι η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης είναι ηλεκτροαρνητικά φορτισμένη σε σχέση με την εξωτερική.

Αυτό συμβαίνει καθώς η κυτταρική μεμβράνη διαθέτει ένα μηχανισμό ενεργητικής μεταφοράς, την αντλία Na^+/K^+ , που αποτελεί στην ουσία μια πρωτεϊνική δομή (ένζυμο), η οποία έχει αποστολή να μεταφέρει ιόντα Na^+ έξω από το κύτταρο και να εισάγει ιόντα K^+ μέσα στο κύτταρο. Παρότι η αντλία Na^+/K^+ είναι ένα κανάλι διπλής κατεύθυνσης, επιτρέπει την έξοδο μόνο σε ιόντα Na^+ και την είσοδο μόνο σε ιόντα K^+ . Έτσι διατηρεί άνιση την κατανομή των ιόντων της μεμβράνης.

Στην επόμενη ενότητα θα αναπτύξουμε λεπτομερώς πώς πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία.

2.6 Νευρική Ώση

Η μυϊκή συστολή που επιτελείται με τη μετατροπή της χημικής σε μηχανική ενέργεια, έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση των μελών του ανθρώπινου σώματος. Η μετατροπή αυτή της ενέργειας πραγματοποιείται στα μυϊκά κύτταρα (μυϊκές ίνες), που λειτουργούν με την ενεργοποίηση του ΚΝΣ. Τα κύτταρα αυτά, όπως και όλα τα κύτταρα του σώματος φέρουν ηλεκτρικά δυναμικά. Στο εσωτερικό τους, ακριβώς κάτω από τη μεμβράνη, εντοπίζονται ανιόντα ενώ στο εξωτερικό της μεμβράνης συγκεντρώνονται κατιόντα.

«Νευρική ώση ή διέγερση ονομάζεται η ηλεκτροχημική διαταραχή που δημιουργείται σε ένα νευρικό κύτταρο από ηλεκτρικά, χημικά ή μηχανικά ερεθίσματα και μεταφέρεται κατά μήκος του νευροάξονα. Η διαταραχή αυτή αντιστοιχεί στις μεταβολές που παρατηρούνται στην πόλωση της κυτταρικής μεμβράνης, ως αποτέλεσμα των μεταβολών της διαπερατότητάς της στο Na^+ (νάτριο) και στο K^+ (κάλιο).» [24]

2.6.1 Ανάπτυξη Δυναμικού Μεμβράνης

Κάθε φυσιολογικό κύτταρο αναπτύσσει αυτόματα δυναμικό μεμβράνης, καθώς οι συγκεντρώσεις ιόντων μέσα και έξω από τη νευρωνική ίνα είναι άνισες. Δηλαδή παρατηρείται μεταφορά περισσότερων ιόντων νατρίου προς το εξωτερικό της μεμβράνης και λιγότερων ιόντων καλίου προς το εσωτερικό μέσω της λειτουργίας της αντλίας νατρίου – καλίου.

Η αντλία Na^+/K^+ απομακρύνει τα πλεονάζοντα ιόντα Na^+ από το εσωτερικό του κυττάρου ανταλλάσσοντάς τα με ιόντα K^+

Πρόκειται για τον ίδιο μηχανισμό, την ίδια αντλία, που από τη μία μεταφέρει θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου (κατιόντα) από το εσωτερικό στο εξωτερικό της ίνας, φορτίζοντάς την αρνητικά και από την άλλη μεταφέρει αρνητικά φορτισμένα ιόντα καλίου (ανιόντα) στο εσωτερικό της. Ειδικότερα, εξάγει τρία μόρια νατρίου, για κάθε δύο μόρια καλίου που εισάγει στο κύτταρο, με αποτέλεσμα να προκύπτει αρνητικό δυναμικό μεμβράνης μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού του κυττάρου.

Το δυναμικό της ενέργειας αποτελεί στην ουσία τη νευρική ώση. Οι νευρικές και μυϊκές ίνες δηλαδή χρησιμοποιούν το δυναμικό της μεμβράνης προκειμένου να μεταβιβάσουν ενέργεια στα νεύρα και τους μυς. Η μετάδοση της νευρικής ώσης ξεκινά από το κεντρικό σύστημα, μέσω του νευροάξονα του κινητικού νευρικού κυττάρου, καταλήγοντας στην τελική κινητική πλάκα, που αποτελεί τη νευρομυϊκή σύνδεση.[9]

Τότε η νευρική ίνα χάνει απότομα το φυσιολογικό αρνητικό δυναμικό του εσωτερικού της (εκπόλωση) και μέσω των συναπτικών κυσιδίων απελευθερώνει τον χημικό διαβιβαστή ακετυλοχολίνη, ο οποίος *«διαχέεται στην εξωκυτταρική συναπτική σχισμή μεταξύ νευρικής και μυϊκής μεμβράνης και ενώνεται τελικά με τους υποδοχείς της, οι οποίοι υπάρχουν στη μεμβράνη της τελικής πλάκας, αυξάνοντας τη διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα νατρίου και καλίου. Εδώ έγκειται και η περίπτωση των ιδρωτοποιών αδένων»*[24], η μελέτη της αγωγιμότητας /αντίδρασης των οποίων σε ένα ερέθισμα αποτελεί και το θέμα της παρούσας διπλωματικής.

2.6.2 Εκπόλωση

Σε κατάσταση ηρεμίας ο εξωκυττάριος χώρος λόγω περισσότερων ιόντων Na^+ είναι ηλεκτροθετικός, ενώ εσωτερικά της μεμβράνης ηλεκτροαρνητικός αντίστοιχα, λόγω περισσότερων ιόντων K^+ . Όταν κάποιο ερέθισμα επιδράσει σε ένα σημείο του κυττάρου(λόγω μεταβίβασης της νευρικής ώσης), τότε αυξάνεται παροδικά η διαπερατότητά της εσωτερικής του μεμβράνης σε Na^+ -που συγκεντρώνονται εξωτερικά αυτής-, τα οποία εισρέουν εντός αυτής προκαλώντας μείωση του φυσιολογικού αρνητικού δυναμικού ηρεμίας του εσωτερικού της και τελικώς δημιουργώντας προσωρινά ηλεκτροθετικότητα. Η απότομη αυτή μεταβολή του δυναμικού του εσωτερικού της ίνας, από ηλεκτροαρνητικό σε ηλεκτροθετικό, ονομάζεται εκπόλωση ενώ το θετικό αυτό δυναμικό που αναπτύσσεται ονομάζεται δυναμικό αντιστροφής.[9], [25] (βλέπε σχήμα ΔΔΔ)

2.6.3 Επαναπόλωση

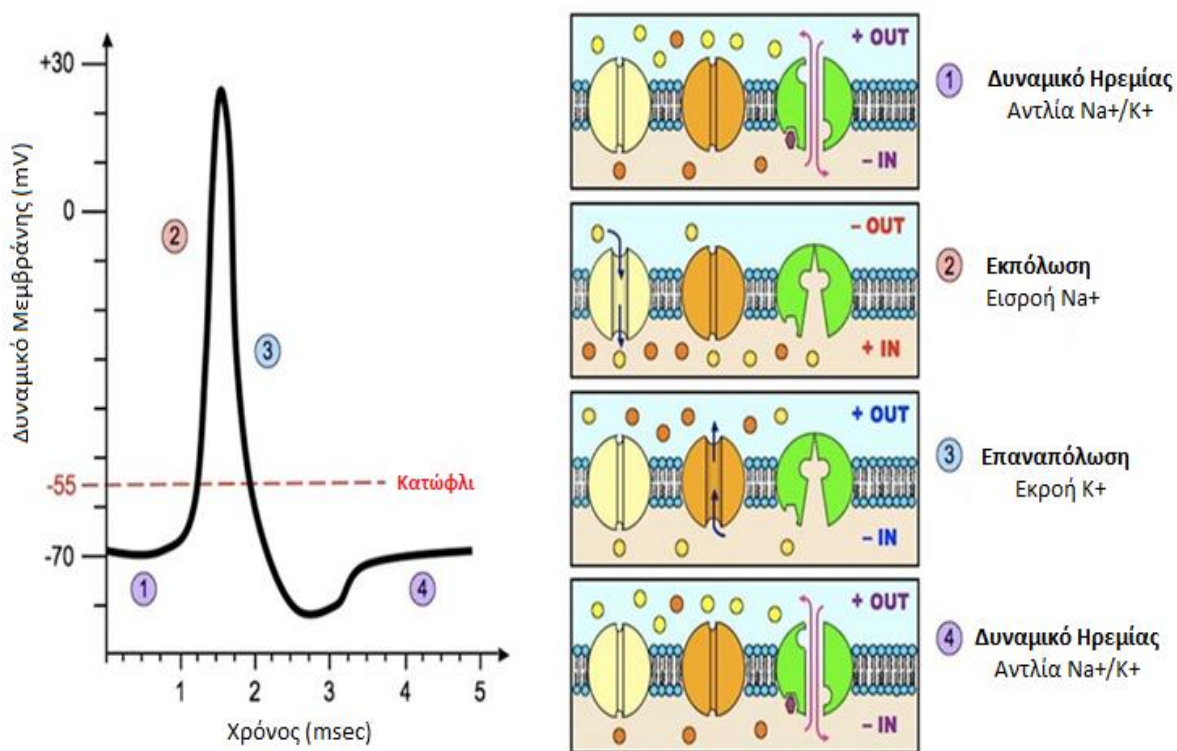
Μετά την εκπόλωση η μεμβράνη αποκαθιστά το φυσιολογικό αρνητικό δυναμικό ηρεμίας της μέσω της διαδικασίας της επαναπόλωσης. Η μεμβράνη γίνεται αδιαπέραστη για τα Na^+ και την ίδια στιγμή πιο διαπερατή για τα K^+ , με αποτέλεσμα να σταματά η εισροή Na^+ προς το εσωτερικό της μεμβράνης και παράλληλα να μετακινούνται K^+ -λόγω του μεγέθους της συγκέντρωσης στο εσωτερικό- προς το εξωτερικό της. Εξαιτίας της ηλεκτροθετικότητας των K^+ που μεταφέρονται έξω από αυτήν, η μεμβράνη αποκτά ξανά το φυσιολογικό αρνητικό δυναμικό ηρεμίας της. [9], [25](Εικ.18)

2.6.4 Μυϊκό Δυναμικό Δράσης

Όταν η νευρική ώση, καταλήξει στην τελική κινητική πλάκα, δημιουργεί το δυναμικό της τελικής κινητικής πλάκας, που με τη σειρά του παράγει το μυϊκό δυναμικό δράσης. Αυτό μεταφέρεται προς τις δύο κατευθύνσεις κατά μήκος της μυϊκής ίνας, προκαλώντας ένα ντόμινο διέγερσης σε γειτονικές περιοχές της μεμβράνης που έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβίβασή του κατά μήκος της μυϊκής ίνας.

Η εισροή των θετικών φορτίων κατά τη διάρκεια της εκπόλωσης στο εσωτερικό της μεμβράνης, έχει ως αποτέλεσμα στο εξωτερικό της να συγκεντρώνονται θετικά φορτία από γειτονικές περιοχές που βρίσκονται σε ηρεμία, με αποτέλεσμα η κυκλική αυτή μετακίνηση να οδηγεί σε μείωση της διαφοράς δυναμικού σε περιοχές της μεμβράνης που συνορεύουν με το σημείο της αρχικής εκπόλωσης. Όταν η μείωση αυτή ξεπεράσει τα 15mV, τότε στις διεγερμένες περιοχές δημιουργείται νέο δυναμικό δράσης που προκαλεί μια παλμική μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης(δυναμικό ενεργείας), μεταδίδοντας σε γειτονικές περιοχές τη νευρική διέγερση μέχρι την τελική μετάδοση αυτής σε όλο το μήκος του κυττάρου.

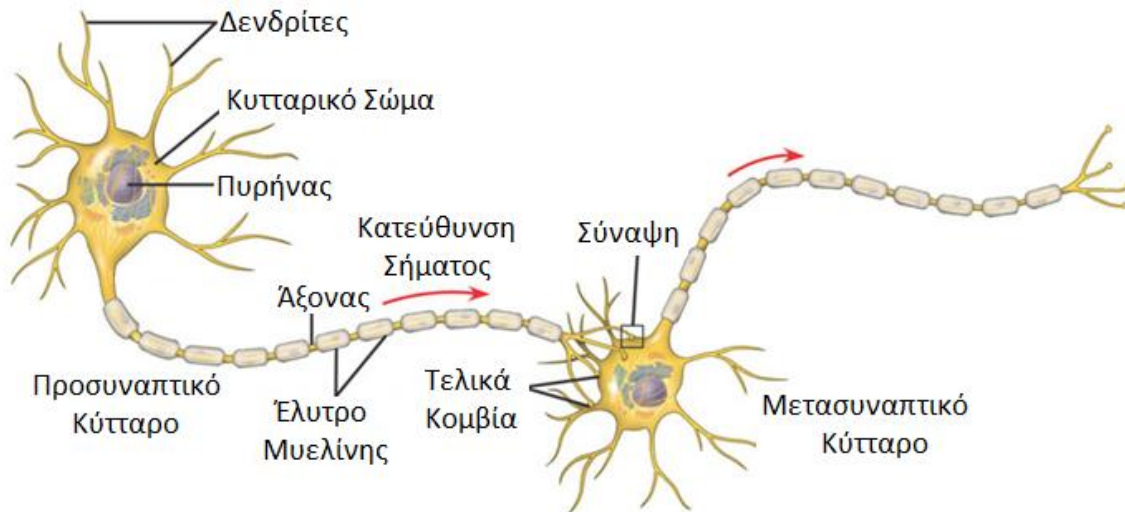
«Η μεταβίβαση των διαδικασιών της εκπόλωσης κατά μήκος της μυϊκής ίνας και προς τις δύο κατευθύνσεις (step 3, σχήμα 6.3) καλείται μυϊκή ώση και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δυναμικού δράσης της μυϊκής ίνας (muscle fibre action potential ή motor action potential ή MAP), που μεταδίδεται από την τελική κινητική πλάκα κατά μήκος της μυϊκής ίνας. Οι μυϊκές ίνες που νευρώνονται από την ίδια κινητική νευρική ίνα ονομάζονται κινητική μονάδα. Η χωρο-χρονική άθροιση των δυναμικών δράσης όλων των μυϊκών ινών (MAPS) μιας κινητικής μονάδας καλείται δυναμικό δράσης κινητικής μονάδας (motor unit active potential ή MUAP) και είναι το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται στις μυϊκές ίνες σαν αποτέλεσμα της επιστράτευσης της αντίστοιχης κινητικής μονάδας».[25]



Εικόνα 18: Νευρική Ώση

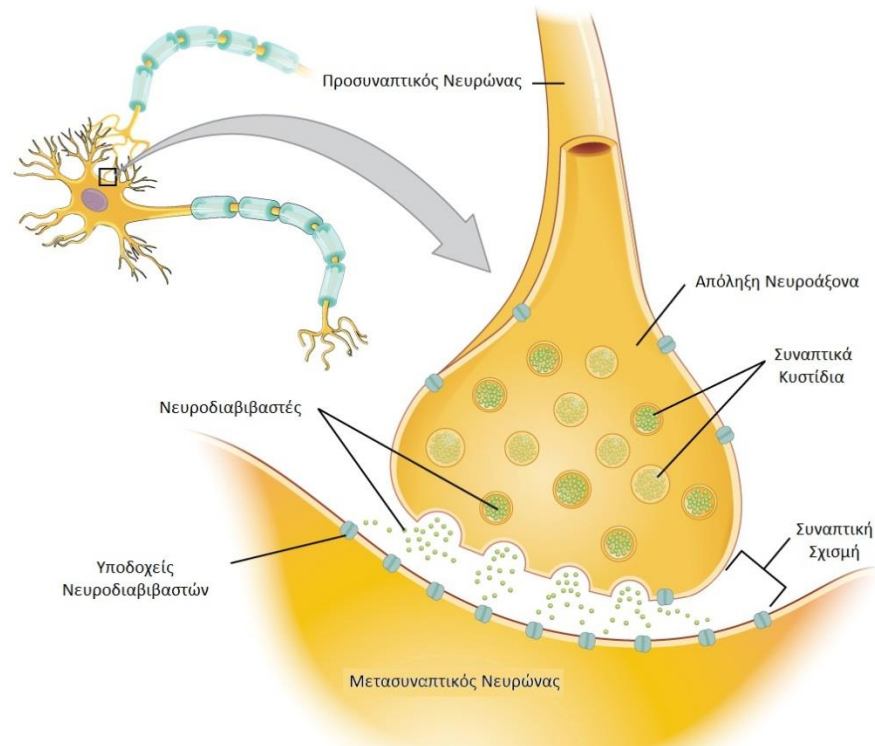
2.6.5 Συνάψεις

Οι νευρώνες συνδέονται με άλλους νευρώνες (ή εκτελεστικά όργανα) μέσω του νευροάξονα με τη βοήθεια συνάψεων. Κάθε νευρώνας διαθέτει ένα μόνο νευροάξονα, ο οποίος μπορεί να διακλαδίζεται, ώστε να επιτυγχάνεται η επικοινωνία με άλλους νευρώνες ή εκτελεστικά όργανα. (μυς, αδένες). Το σημείο που τα τελικά κομβία του νευροάξονα συναντούν και συνδέονται με τους δενδρίτες του επόμενου νευρικού κυττάρου λέγεται σύναψη και κατέχει κομβικό ρόλο στη λήψη και στη μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων-νευρικών ερεθισμάτων. Ειδικότερα, όσον αφορά στη μετάδοση του ερεθίσματος, οι συνάψεις καθορίζουν την κατεύθυνση μεταφοράς των νευρικών ώσεων, διότι μπορούν να μεταφερθούν μόνο από το προσυναπτικό προς το μετασυναπτικό άκρο.[25]



Εικόνα 19: Συνάψεις

Όταν η νευρική ώση στο τέλος του ταξιδιού της κατά μήκος του νευροάξονα φτάσει στις συνάψεις, τότε πυροδοτείται η απελευθέρωση μικρών εκρήξεων χημικών, των νευροδιαβιβαστών. Πρόκειται για χημικές ουσίες που παράγονται από την νευραξονική απόληξη (τελικό κομβίο) του νευράξονα, εκκρίνονται στον διασυναπτικό χώρο (ή συναπτικό χάσμα) και αμέσως ενώνονται με ουσίες-υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης -του επόμενου νευρικού κυττάρου- με σκοπό την διέγερση του επόμενου νευρικού κυττάρου. Ο πιο διαδεδομένος νευροδιαβιβαστής στο ΚΝΣ και στο ΠΝΣ είναι η ακετυλοχολίνη.



Εικόνα 20: Σύναψη, Τελικό κόμβιο και μετασυναπτικό άκρο και Απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή

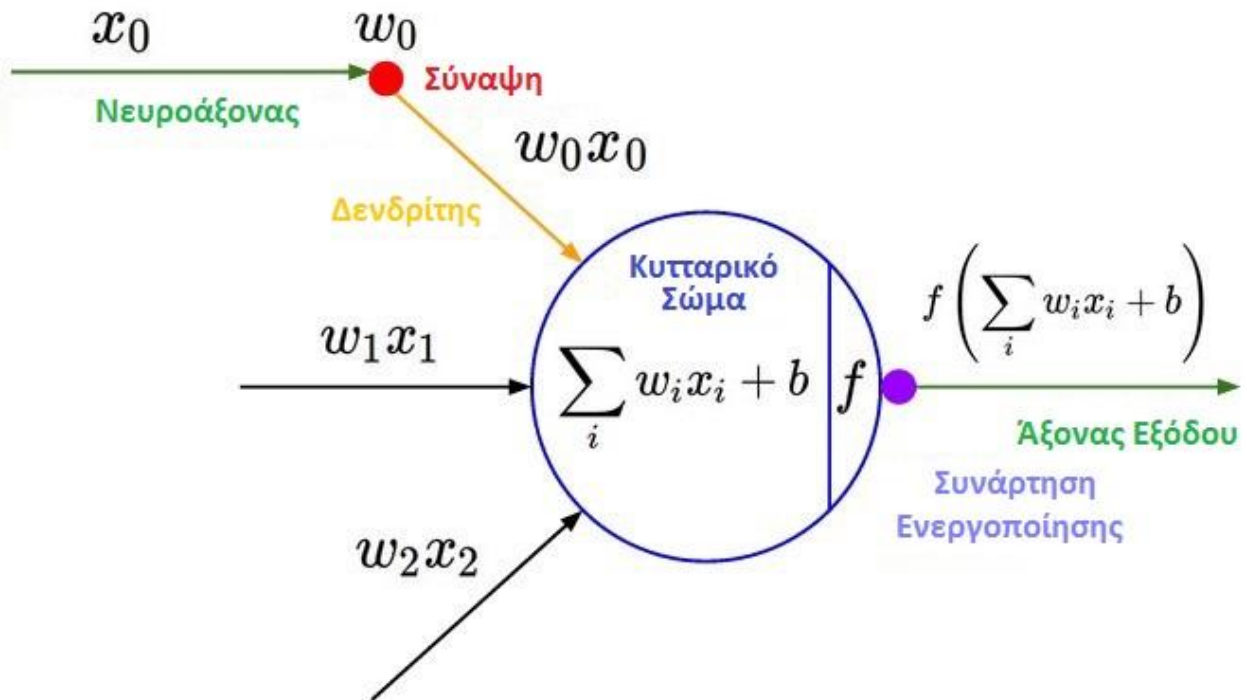
Σε μία σύναψη, στο σημείο όπου ο νευροάξονας συναντά έναν άλλο νευρώνα, το ηλεκτρικό ερέθισμα πυροδοτεί τη διαδικασία μετάδοσης του σήματος. Ξεκινά από το τελικό άκρο του νευροάξονα (προσυναπτικό άκρο), όπου και βρίσκεται η νευροδιαβιβαστική ουσία μέσα σε μιτοχόνδρια και συναπτικά κυστίδια, για να καταλήξει στον δενδρίτη του επόμενου νευρώνα (μετασυναπτικό άκρο), στην επιφάνεια του οποίου βρίσκονται οι υποδοχείς της νευροδιαβιβαστικής ουσίας. Τα τελικά κομβία του νευροάξονα και οι υποδοχείς των δενδριτών δεν εφάπτονται, ανάμεσα τους υπάρχει κενό, η συνοπτική σχισμή, με πάχος 15-20 nm. (Εικ.20)

Όταν οι νευροδιαβιβαστές προσκολληθούν στους υποδοχείς του μετασυναπτικού νευρώνα, δρουν διεγερτικά, προκαλώντας αύξηση στη διαπερατότητα της μετασυναπτικής μεμβράνης σε Na^+ . Η μαζική εισροή Na^+ οδηγεί στην δημιουργία και μετάδοση της νευρικής ώσης κατά μήκος του νευράξονα του μετασυναπτικού νευρώνα κ.ο.κ. Η νευροδιαβιβαστική ουσία δρα για περιορισμένο χρονικό διάστημα, διότι είτε επαναρροφάται από το προσυναπτικό άκρο είτε αποικοδομείται με τη βοήθεια ενζύμων.[9], [26]

2.6.6 Μαθηματικό Μοντέλο Νευρώνων

Το στοιχειώδες υπολογιστικό εργαλείο του εγκεφάλου είναι το νευρωνικό κύτταρο(ή νευρώνας). Το νευρωνικό κύτταρο δέχεται εισόδους(ερεθίσματα) από άλλους νευρώνες μέσω των δενδριτών. Στη σύναψη μεταξύ νευρώνων εκτελείται μια ενέργεια που παράγει την τελική είσοδο που θα κατευθυνθεί στον πυρήνα του νευρώνα. Ο πυρήνας με τη σειρά του μαζεύει όλα τα σήματα από τις συνάψεις και παράγει την έξοδο του νευρώνα. Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου. Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι νευρώνες εισόδου, οι νευρώνες εξόδου και οι υπολογιστικοί νευρώνες ή κρυμμένοι νευρώνες. Οι

νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Οι νευρώνες εξόδου διοχετεύουν στο περιβάλλον τις τελικές αριθμητικές εξόδους του δικτύου. Οι υπολογιστικοί νευρώνες πολλαπλασιάζουν κάθε είσοδό τους με το αντίστοιχο συναπτικό βάρος και υπολογίζουν το ολικό άθροισμα των γινομένων. Το άθροισμα αυτό τροφοδοτείται ως όρισμα στη συνάρτηση ενεργοποίησης, την οποία υλοποιεί εσωτερικά κάθε κόμβος. Η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση για το εν λόγω όρισμα είναι και η έξοδος του νευρώνα για τις τρέχουσες εισόδους και βάρη. Έτσι μεταφέρεται το ερέθισμα από νευρώνα σε νευρώνα. Ο εγκέφαλος περιλαμβάνει γύρω στους 10^{10} νευρώνες που ο κάθε νευρώνας έχει δεκάδες χιλιάδες συνάψεις. Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε το μοντέλο του νευρώνα McCulloch-Pitts και συγκεκριμένα τον νευρώνα Perceptron.



Εικόνα 21: Μαθηματικό Μοντέλο Νευρώνων: Νευρώνας Perceptron

Εάν x_{ki} είναι η i -οστή είσοδος του k νευρώνα, w_{ki} το i -οστό συναπτικό βάρος του του k νευρώνα και $f(\cdot)$ η συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρωνικού δικτύου τότε η έξοδος y_k του k νευρώνα δίνεται από την εξίσωση:

$$y_k = f\left(\sum_{i=0}^N x_{ki} w_{ki} + b\right)$$

Στον k -οστό νευρώνα υπάρχει συναπτικό βάρος w_{k0} με ιδιαίτερη σημασία, το οποίο καλείται πόλωση ή κατώφλι (bias, threshold). Η τιμή της εισόδου του είναι πάντα η μονάδα, $x_{k0} = 1$.

Εάν το συνολικό άθροισμα από τις υπόλοιπες εισόδους του νευρώνα είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή, τότε ο νευρώνας ενεργοποιείται. Εάν είναι μικρότερο, τότε ο νευρώνας παραμένει ανενεργός. Η ιδέα προέκυψε από τα βιολογικά νευρικά κύτταρα.

Η συνάρτηση ενεργοποίησης μπορεί να είναι βηματική (step transfer function), γραμμική (linear transfer function), μη γραμμική (non-linear transfer function), στοχαστική (stochastic transfer function).

Τέτοιες απεικονίσεις έχουν εφαρμογή σε ποικιλία τομέων της επιστήμης και της τεχνολογίας, αφού λειτουργούν ως αριθμητικά μοντέλα για πολλά διαφορετικά ζητήματα. Το ίδιο δίκτυο μπορεί να υλοποιήσει άπειρες διαφορετικές απεικονίσεις, μία για κάθε διαφορετική επιλογή συνόλου συναπτικών βαρών.

Τα νευρωνικά δίκτυα αναπτύχθηκαν μέσα από τις διεξαγωγές ερευνών της Τεχνητής Νοημοσύνης. Προσπάθειες, δηλαδή, μίμησης της ανοχής σε βλάβες και τη δυνατότητα εξόρυξης γνώσης μέσα από βιολογικά νευρωνικά συστήματα, μοντελοποιώντας τη δομή των χαμηλών επιπέδων του εγκεφάλου. Στη συνέχεια, από το κύριο μέρος της έρευνας της Τεχνητής Νοημοσύνης που έγινε το 1960-1980, προήλθαν τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems). Τα συστήματα αυτά έχουν βασιστεί σε ένα μοντέλο λογικής διεργασίας υψηλού επιπέδου, το οποίο δημιουργήθηκε από τον τρόπο με τον οποίο έχει δομηθεί η συλλογιστική διεργασία των ανθρώπων σχετικά με το χειρισμό των συμβόλων. Έγινε γρήγορα εμφανές πως αυτά τα συστήματα αν και ήταν πολύ χρήσιμα σε κάποιους τομείς, απέτυχαν να συλλάβουν καίριες πτυχές της ανθρώπινης νοημοσύνης. Σύμφωνα με μια πτυχή της μελέτης, το γεγονός αυτό οφειλόταν στην αποτυχία τους να μιμηθούν τη βασική δομή του εγκεφάλου. Προκειμένου να αναπαραχθεί νοημοσύνη, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία συστημάτων με παρόμοια τεχνική.

2.7 Εγκέφαλος

Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό.

Ο εγκέφαλος είναι το μεγαλύτερο και το πολυπλοκότερο τμήμα του νευρικού συστήματος. Αποτελεί το κύριο κέντρο ρύθμισης και συντονισμού των δραστηριοτήτων του οργανισμού, καθώς επίσης και το κέντρο όπου εδράζεται η συνείδηση, η μνήμη, η σκέψη, η λογική και η συναισθηματική κρίση, υπαγορεύοντάς μας τι μαθαίνουμε και τι θυμόμαστε, άρα και πώς πράττουμε/ αντιδρούμε και ποιοι εν τέλει είμαστε. Το όργανο που είναι υπεύθυνο για όλες αυτές τις λειτουργίες είναι στην ουσία μια μεγάλη ζαρωμένη σπογγώδης μαλακή μάζα νευρικού ιστού, που φυσιολογικά «πλέει» μέσα στην γεμάτη εγκεφαλονωτιαίο υγρό κρανιακή κοιλότητα.[26]

Το υγρό αυτό με συνολικό όγκο 100-150ml, παράγεται συνεχώς στον εγκέφαλο προστατεύοντας την μαλακή εγκεφαλική μάζα από κακώσεις, προκαλώντας άνωση, ώστε να ασκείται λιγότερη πίεση στη βασική επιφάνεια και τα αγγεία του εγκεφάλου (το βάρος των 1500gr γίνεται αισθητό μόνο ως 50gr), ρυθμίζοντας την ενδοκρανιακή πίεση και απομακρύνοντας βλαβερές ουσίες (όπως CO₂, γαλακτικό οξύ, ιόντα υδρογόνου). Ο εγκέφαλος αποτελείται από δύο ημισφαίρια που χωρίζονται μεταξύ τους από μια επιμήκη σχισμή, ενώ στην κάτω επιφάνειά του εκφύονται νεύρα ή εγκεφαλικές συζυγίες και ξεκινά ο νωτιαίος μυελός. [27], [28]

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες (κύτταρα μετάδοσης πληροφοριών) οι οποίοι αποτελούν μόνο το 10 % του συνολικού αριθμού των κυττάρων του. Τα υπόλοιπα είναι διάφορα άλλα υποστηρικτικά κύτταρα, νευρογλοιακά, ενώ συνίσταται επίσης από λευκή και φαιά ουσία. Οι νευρώνες ευθύνονται για τη μετάδοση της πληροφορίας μέσω ειδικών δομών που ονομάζονται συνάψεις σε άλλους νευρώνες, με τον κάθε νευρώνα να διαθέτει πολλές χιλιάδες συνάψεις. Τα νευρογλοιακά κύτταρα αναλαμβάνουν την προστασία και την εύρυθμη λειτουργία των νευρώνων, ενώ η φαιά και η λευκή ουσία συνιστούν ένα είδος κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του εγκεφάλου, καθώς σκοπός τους είναι να συλλέγουν πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα και άλλα κύτταρα και να εξασφαλίζουν ότι το κάθε τι θα καταλήγει όπου απαιτείται. Η φαιά ουσία αποτελείται κυρίως από τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων και είναι συγκεντρωμένη στον εγκεφαλικό φλοιό, στους πυρήνες και τα βασικά γάγγλια. Η λευκή ουσία αποτελείται από τους νευρίτες, οι οποίοι σχηματίζουν οδούς που συνδέουν τμήματα του εγκεφάλου μεταξύ τους και με το νωτιαίο μυελό.[27], [29]

2.7.1 Διαχωρισμός του Εγκεφάλου

Ανατομικά ο εγκέφαλος αποτελείται από: εγκεφαλικό φλοιό, θάλαμο, υποθάλαμο, παρεγκεφαλίδα, εγκεφαλικό στέλεχος. Στο παρόν παρόν υποκεφάλαιο αναλύεται το κάθε επιμέρους τμήμα του εγκεφάλου.

2.7.1.1 Εγκεφαλικός φλοιός

Είναι το εξωτερικό στρώμα του νευρικού ιστού του εγκεφάλου με πάχος 2-4mm που περιβάλλει και τα δύο ημισφαίρια και έχει γκρι χρώμα καθώς αποτελείται από φαιά ουσία. Ο φλοιός αυτός είναι αναδιπλούμενος, παρέχοντας έτσι, παρά τον περιορισμένο χώρο του κρανίου, πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια στον εγκέφαλο και κατά συνέπεια πολύ περισσότερες νευρωνικές συνδέσεις. Η αύξηση της έκτασης του φλοιού επιτυγχάνεται χάρη στις πτυχές και τις αυλακώσεις που διαθέτει ο εγκέφαλος. Χαρακτηριστικό είναι ότι τα 2/3 της συνολικής έκτασης του φλοιού βρίσκονται κρυμμένα μέσα σε αυτές τις εγκολπώσεις (αύλακες) και μόνο το 1/3 στις εξωτερικές του πτυχώσεις. Ο εγκεφαλικός φλοιός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε διαδικασίες όπως η μνήμη, η σκέψη, η προσοχή, η αντίληψη, η γλώσσα, η συνείδηση.[27]

Με υποφλοιώδεις νευρικές ίνες που αναπτύσσονται στη λευκή ουσία των ημισφαιρίων επικοινωνεί και συνδέεται νευρωνικά ο προμετωπιαίος φλοιός με το φλοιό του βρεγματικού, του κροταφικού και του ινιακού λοβού. Στον προμετωπιαίο φλοιό εδράζονται ανώτερες γνωστικές και ψυχοκινητικές λειτουργίες, όπως π.χ. διανοητικές λειτουργίες καθώς και λειτουργίες που σχετίζονται με τη συμπεριφορά, την παρόρμηση, την αντίληψη ή την αντιληπτική ικανότητα ή ακόμα και το κίνητρο ή την πρόθεση μίας ενέργειας ή πράξης. [30]

Συμπερασματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι ο μετωπιαίος λοβός και ιδιαίτερα ο προμετωπιαίος φλοιός του μετωπιαίου λοβού διαδραματίζει έναν προεξέχοντα ρόλο όσον αφορά στις γνωστικές συναισθηματικές και ανώτερες νοητικές λειτουργίες του ανθρώπου. Ανάμεσα σε αυτές μπορούμε να εστιάσουμε στην ολοκλήρωση πληροφοριακών δεδομένων από τον περιβάλλοντα χώρο(χρόνο), καθώς και στον έλεγχο και στην εκδήλωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Ο φλοιός του μετωπιαίου λοβού του εγκεφάλου αποτελεί το βιολογικό υπόστρωμα που διαφοροποιεί, κατεξοχήν, τον άνθρωπο ως ξεχωριστή και μοναδική οντότητα δημιουργίας. Είναι αυτός που, κατά βάση, κάνει «Άνθρωπο τον άνθρωπο» και τον ξεχωρίζει από όλα τα υπόλοιπα έμβια όντα. Κατ' αυτόν τον τρόπο ανώτερες γνωστικές λειτουργίες, συναισθήματα και συγκινησιακές καταστάσεις, που εμφανίζονται κατεξοχήν και αποκλειστικά στον άνθρωπο, έχουν ως νευροανατομική βάση, κυρίως, το φλοιό του μετωπιαίου λοβού. (Βεβαίως, ο εγκέφαλος λειτουργεί ως σύνολο και αυτές οι λειτουργίες δεν αποτελούν αποκλειστικότητα του μετωπιαίου εγκεφάλου, όμως αντιπροσωπεύονται κυρίως στο φλοιό του μετωπιαίου λοβού του εγκεφάλου). Έτσι, ανώτερες νοητικές λειτουργίες, όπως π.χ. η σκέψη, η προνοητική σκέψη, ο σχεδιασμός ενεργειών και πράξεων, η επίλυση προβλημάτων, η λήψη αποφάσεων, η δημιουργικότητα, η επεξεργασία μηνυμάτων από τον περιβάλλοντα χώρο(χρόνο), η ηθική σκέψη, το θρησκευτικό συναίσθημα, η αιδώς και η αιδημοσύνη καθώς και διάφορες καταστάσεις όσον αφορά στη βασική διάθεση του ανθρώπου συνδέονται, κατά κανόνα, με το φλοιό του μετωπιαίου λοβού. Η ιδιαίτερη θέση και αξία που κατέχει ο μετωπιαίος λοβός του εγκεφάλου οφείλεται στην κυτταροαρχιτεκτονική του φλοιού του καθώς και στα πολύπλοκα νευρωνικά κυκλώματα που αναπτύσσει ο μετωπιαίος λοβός με άλλες ανατομικές δομές του εγκεφάλου. Επίσης, η μυελινοποίηση, δηλαδή ο σχηματισμός της μυελίνης από τα ειδικά κύτταρα, τα ολιγοδεντροκύτταρα, που στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) παράγουν και μορφοποιούν τη μυελίνη γύρω από τους νευροάξονες, για το μετωπιαίο λοβό ολοκληρώνεται πολύ αργότερα, σε σχέση με άλλες τοπογραφικές περιοχές του εγκεφάλου, περίπου στο 21ο έτος της ηλικίας του ανθρώπου.[30]

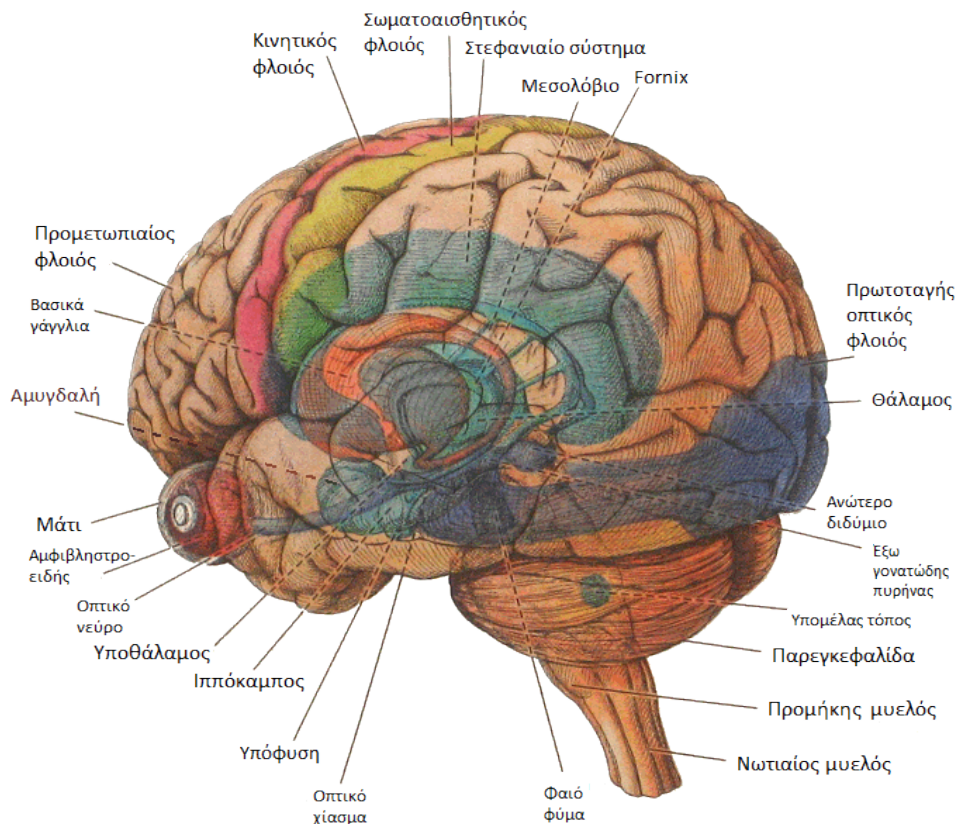
2.7.1.2 Θάλαμος

Ο θάλαμος είναι ένα από τα κεντρικά τμήματα του εγκεφάλου, που βρίσκεται περίπου στο μέσο των δύο ημισφαιρίων πάνω ακριβώς από τα βασικά γάγγλια και έχει σχήμα αυγού. Είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των ερεθισμάτων προτού κατευθυνθούν στον εγκεφαλικό φλοιό και τον συγχρονισμό διαφόρων λειτουργιών όπως η ρύθμιση της διοχέτευσης της ντοπαμίνης που εκκρίνεται από τα βασικά γάγγλια. Πιο συγκεκριμένα εγκεφαλικοί νευρώνες διεγείρονται λόγω της ντοπαμίνης, προκαλώντας ερεθίσματα που φτάνουν ανακατεμένα στον θάλαμο, ο οποίος αφού προβεί στην επεξεργασία τους αναλαμβάνει την ποσοτική τους εκτίμηση κατευθύνοντάς την στους μυς αναλογικά με την ποσότητα που το κάθε κύτταρο χρειάζεται, επιτυγχάνοντας έτσι την αρμονία στην κίνησή τους. Στο θάλαμο καταλήγουν προσαγωγά ερεθίσματα της ακουστικής και οπτικής οδού καθώς επίσης και οσφρητικά και γευστικά ερεθίσματα, όπου υφίστανται συνθετική επεξεργασία προτού κατευθυνθούν στον εγκεφαλικό φλοιό.[31]

Ο θάλαμος δεν αποστέλλει μόνο αλλά και δέχεται ίνες από διάφορες περιοχές του φλοιού - αμφίδρομες ίνες - όπως ο υποθάλαμος, η αμυγδαλή και άλλοι θαλαμικοί πυρήνες. Οι πυρήνες του θαλάμου διακρίνονται σε «ειδικούς» που σχετίζονται και υποβοηθούν τις γενικές και ειδικές αισθήσεις καθώς και τις κινητικές ίνες και σε «μη-ειδικούς» πυρήνες που δεν σχετίζονται με μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου. Η πρόσθια ομάδα θαλαμικών πυρήνων συμμετέχει σε συγκινησιακές λειτουργίες, στην ενστικτώδη συμπεριφορά και την πρόσφατη μνήμη. Η έσω ομάδα, που δέχεται ίνες κυρίως από τον υποθάλαμο και την αμυγδαλή, αφορά στον έλεγχο της διάθεσης και των συναισθημάτων, καθώς συσχετίζει αισθητικά ερεθίσματα με την υποκειμενική κατάσταση του ατόμου. Όλοι οι πυρήνες του θαλάμου, εκτός του δικτυωτού πυρήνα, συνδέονται με το εγκεφαλικό ημισφαίριο που βρίσκεται στην ίδια πλευρά.[32]

2.7.1.3 Υποθάλαμος

Αν και αποτελεί μια πολύ μικρή σε έκταση περιοχή του εγκεφάλου, με σχήμα μικρού αμυγδάλου, διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην δραστηριότητά του, διαθέτοντας πλήθος μικρών πυρήνων με ποικιλία λειτουργιών. Βρίσκεται κάτω από τον θάλαμο και δεξιά πάνω από το στέλεχος του εγκεφάλου, από τον οποίο χωρίζεται με την αμυδρή υποθαλάμιο αύλακα και είναι αυτός που συνδέει το νευρικό με το ενδοκρινικό σύστημα, μέσω ενός άλλου μικρού και ζωτικής σημασίας αδένος, της υπόφυσης. Ο υποθάλαμος είναι υπεύθυνος για την παραγωγή πολλών από τις σημαντικότερες ορμόνες του σώματος, των χημικών ουσιών που βοηθούν στον έλεγχο διαφόρων οργάνων και κυττάρων. Οι ορμόνες που ο υποθάλαμος παράγει ρυθμίζουν διεργασίες όπως όπως ο ύπνος, τα επίπεδα κόπωσης, η θερμοκρασία του σώματος, η όρεξη, ο μεταβολισμός, η βιολογική μας ανάπτυξη, η αναπαραγωγή, καθώς και το βιολογικό μας ρολόι. Ανάλογα με το τμήμα του υποθαλάμου που δέχεται το ερέθισμα, πυροδοτούνται διαφορετικές αντιδράσεις στον οργανισμό. Παραδείγματος χάριν, το αίσθημα του φόβου - που αφορά και την παρούσα διπλωματική- προκαλείται με τον ερεθισμό του περικοιλιακού πυρήνα, ενώ με τον ερεθισμό του μέσου κοιλιακού πυρήνα προκαλείται κατάσταση ηρεμίας και γαλήνης. Επίσης σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας του σώματος ο υποθάλαμος είναι υπεύθυνος για μια σειρά ενεργειών που αποσκοπούν στην ισορροπία και τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας για τον οργανισμό, διεγείροντας σε περίπτωση αύξησης της τους ιδρωτοποιούς αδένες με σκοπό την αποβολή ιδρώτα.



Εικόνα 22:Βασικότερα τμήματα του εγκεφάλου

Ο υποθάλαμος στέλνει εντολές στο υπόλοιπο σώμα με δύο τρόπους: μέσω του αυτόνομου νευρικού συστήματος και των βλεννογόνων. Η σύνδεσή του με το Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα του επιτρέπει να συμμετέχει σε διαδικασίες όπως η ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης, της αναπνοής, της εφίδρωσης, της πέψης, καθώς και σε όλες τις συμπαθητικές και παρασυμπαθητικές λειτουργίες. Από την άλλη η νευροχημική του σύνδεση με τους βλεννογόνους αδένες, οι οποίοι παράγουν ορμόνες που απελευθερώνονται μέσα στη ροή του αίματος, υπεύθυνες για το μεταβολισμό και τη ρύθμιση της ανάπτυξης, δείχνει τη σπουδαιότητα του ρόλου του υποθαλάμου τόσο στη ρύθμιση της συναισθηματικής συμπεριφοράς όσο και στην καθημερινή εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού μας.[32], [33]

2.7.1.4 Παρεγκεφαλίδα

Η παρεγκεφαλίδα, που ορισμένες φορές αποκαλείται «μικρός εγκέφαλος», βρίσκεται μεταξύ στελέχους και ινιακών λοβών, κάτω από τα δύο ημισφαίρια του εγκεφάλου. Αν και χωρίζεται και αυτή σε δυο ημισφαίρια, δεξιό και αριστερό, διαφέρει από τον υπόλοιπο εγκέφαλο στην όψη καθώς αποτελείται από πολύ μικρότερα και πιο συμπαγή στρώματα ιστών. Αντιπροσωπεύει περίπου το 10% του συνολικού όγκου του εγκεφάλου αλλά περιέχει το 50% των νευρώνων του.[34]

Τα έξω τμήματα της παρεγκεφαλίδας συνδέονται με τις αντίστοιχες συνειρμικές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού και ιδιαίτερα με την προκινητική περιοχή του μετωπιαίου λοβού καθώς και με την σωματοαισθητική και την αισθητική περιοχή του βρεγματικού φλοιού. Οι συνδέσεις αυτές της παρεγκεφαλίδας αφορούν την κίνηση και την ομιλία. Η παρεγκεφαλίδα στην ουσία δεν προκαλεί την κίνηση, αλλά είναι αυτή που συμβάλλει στον συντονισμό της διαδοχικής μυϊκής δραστηριότητας. Πέρα από τον εγκεφαλικό φλοιό συνδέεται με το εγκεφαλικό στέλεχος και τον νωτιαίο μυελό. Η σύνδεση αυτή αφορά στην στάση του σώματος, στην ισορροπία και στην λεπτή κινητικότητα π.χ. κινήσεις δακτύλων, και επιπλέον δίνει στην παρεγκεφαλίδα μέσω του δικτύου αλληλοσύνδεσής της με τον νωτιαίο μυελό, την δυνατότητα να λειτουργεί ενίοτε αυτόνομα, χωρίς την παρέμβαση του εγκεφαλικού φλοιού και να αυτοβελτιώνεται, μαθαίνοντας από τα λάθη της. «Η δραστηριότητα των νευρώνων της παρεγκεφαλίδας μεταβάλλεται ανάλογα με την εμπειρία»(Kandel et al., 2000; Gordon, 2007). Αφού λάβει πληροφορίες από το νωτιοπαρεγκεφαλικό δίκτυο προβαίνει σε διορθώσεις, συντονίζοντας κινητικο-αισθητικές λειτουργίες.[34]–[36]

«Επίσης, συνδέεται με τον θάλαμο, τον υποθάλαμο, τον προμετωπιαίο, τον μετωπιαίο και το βρεγματικό λοβό» (Dolan, 1998, Middleton & Strick, 1997, Glickstein, 2007) Βλάβες της παρεγκεφαλίδας δεν προκαλούν παράλυση, αλλά καταργούν το συντονισμό των κινήσεων των άκρων και των οφθαλμών, διαταράσσουν την ισορροπία και μειώνουν τον μυϊκό τόνο.

«Η λειτουργία της παρεγκεφαλίδας είναι ουσιώδης και απαραίτητη και πέρα από την κίνηση φαίνεται να συμμετέχει και σε βασικές γνωσιακές λειτουργίες: προσοχή, μάθηση, μνήμη, γλώσσα, αισθήσεις γεγονός που δικαιολογεί το χαρακτηρισμό της παρεγκεφαλίδας ως ο "μικρός εγκέφαλος".» [35]

2.7.1.5 Εγκεφαλικό Στέλεχος

Είναι το κατώτατο χωρικά τμήμα του εγκεφάλου, καθώς βρίσκεται κάτω από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια και συγκεκριμένα κάτω από τον Θάλαμο, που διαβιβάζει αισθητικές πληροφορίες σε άλλα

σημεία του εγκεφάλου. Το εγκεφαλικό στέλεχος εφάπτεται της σπονδυλικής στήλης που περιβάλλει τον νωτιαίο μυελό και ταυτοχρόνως αποτελεί συνέχειά του. Η κανονική λειτουργία του στελέχους του εγκεφάλου είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση, καθώς εκεί εδράζονται πολλά από τα δευτερεύοντα κέντρα της ζωής.

Συνδέει τον εγκέφαλο με την σπονδυλική στήλη και βοηθά στην ρύθμιση ακούσιων λειτουργιών, όπως η αρτηριακή πίεση, ο ρυθμός των καρδιακών παλμών και η αναπνοή, αλλά και στον έλεγχο εκούσιων λειτουργιών όπως το μάσημα, η κατάποση και οι κινήσεις των ματιών. Το στέλεχος του εγκεφάλου συνδέεται άμεσα με τον κροταφικό λοβό, κυρίως μέσω του Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος. Σε αυτό το τμήμα βρίσκονται η αμυγδαλή και η λεγόμενη παραϊπποκάμπια περιοχή. Η αρμονική συνεργασία όλων αυτών των σχηματισμών έχει σαν αποτέλεσμα την καλή δράση του κροταφικού λοβού, εξασφαλίζοντας στον οργανισμό την ποιότητα ζωής και της μνήμης. [28]

Παρότι μικρό σε μέγεθος, το εγκεφαλικό στέλεχος αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό τμήμα του εγκεφάλου, καθώς οι νευρικές συνδέσεις του κινητικού και αισθητικού συστήματος περνούν μέσα από αυτό για να επικοινωνήσουν/συνδεθούν με το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα. Ασθένειες του εγκεφαλικού στελέχους έχουν ως αποτέλεσμα ανωμαλίες στην κρανιακή νευρική λειτουργία και μπορεί να οδηγήσουν σε διαταραχές στην ακοή και την όραση, αλλαγές στις αισθήσεις, μυϊκή αδυναμία, ίλιγγο, προβλήματα προσανατολισμού, στη κατάποση, δυσκολίες στην ομιλία και αλλαγές στην φωνή.

Αποτελείται από: τον μεσεγκέφαλο, τη γέφυρα και τον προμήκη μυελό.

Μεσεγκέφαλος: Συνδέεται με την όραση, την ακοή, τον έλεγχο των κινήσεων, τον ύπνο και το βιολογικό μας ρολόι, την εγρήγορση και την ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Γέφυρα: Περιέχει πυρήνες που μεταβιβάζουν σήματα από τον μετωπιαίο λοβό στην παρεγκεφαλίδα και σχετίζονται πρωτεύοντως με τον ύπνο, την αναπνοή, την κατάποση, την αρτηριακή πίεση, την ακοή, την ισορροπία, τη γεύση, τις κινήσεις των ματιών, τις εκφράσεις του προσώπου, την αίσθηση του προσώπου και την στάση του σώματος.

Προμήκης Μυελός: Είναι το κατώτερο μέρος του εγκεφαλικού στελέχους που σχετίζεται με το καρδιακό, το αναπνευστικό και το αγγειοφορικό σύστημα και ρυθμίζει αυτόνομες ακούσιες λειτουργίες όπως η αναπνοή, ο καρδιακός παλμός και η αρτηριακή πίεση. [31], [32]

2.7.2 Μεταιχμιακό Σύστημα

Το μεταιχμιακό σύστημα αποτελεί τμήμα του εγκεφάλου, που περικλείει το εγκεφαλικό στέλεχος και εντοπίζεται και στις δυο πλευρές του θαλάμου, ακριβώς κάτω από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. «Επειδή αυτό το μέρος του εγκεφάλου περικλείει σαν δαχτυλίδι και οριοθετεί το εγκεφαλικό στέλεχος, ονομάστηκε «μεταιχμιακό σύστημα» (ή «λιμβικό» από τη λατινική λέξη *limbus*, που σημαίνει δαχτυλίδι)». Είναι πρωτίστως υπεύθυνο για την συναισθηματική μας ανάπτυξη και λειτουργία και ευθύνεται για τον σχηματισμό αναμνήσεων. Μέσω της συνδέσεών του με άλλα συστήματα ρυθμίζει διάφορες λειτουργίες που αφορούν κυρίως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Μέσω της σύνδεσής του με τον υποθάλαμο και τις ορμόνες που αυτός εκκρίνει, επηρεάζει με πολλούς τρόπους τη συμπεριφορά του ατόμου, όπως για παράδειγμα τις αντιδράσεις φόβου. [37]

Συμμετέχει στον έλεγχο της κίνησης των σπλάχνων, στην όσφρηση και την μνήμη, καθώς και στον έλεγχο του κυκλώματος των συναισθημάτων, αφού συνδέεται με περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου, έχοντας μεγαλύτερο ρόλο σε ό,τι αφορά στο υποσυνείδητο και λιγότερο στο συνειδητό, δηλαδή περισσότερο σχετίζεται με τη δημιουργικότητα, την φαντασία και την διαίσθηση, παρά με την λογική και την αναλυτική σκέψη.

Συμμετέχει μαζί με τον υποθάλαμο σε κάποιες περιοχές, που αφορά στα συναισθήματα και τις συγκινήσεις και κάποιες άλλες περιοχές του εγκεφάλου. Αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα όπως η αμυγδαλή, ο υποκάμπος, ο προμετωπιαίος φλοιός, ο οσφρητικός φλοιός, ο νησιδιακός φλοιός, η ψαλίδα, τα μαστία, η υπόφυση, ο υποθάλαμος, , το διαφανές διάφραγμα, η ανώνυμη ουσία και τα βασικά γάγγλια.[30]

Αναλυτικότερα:

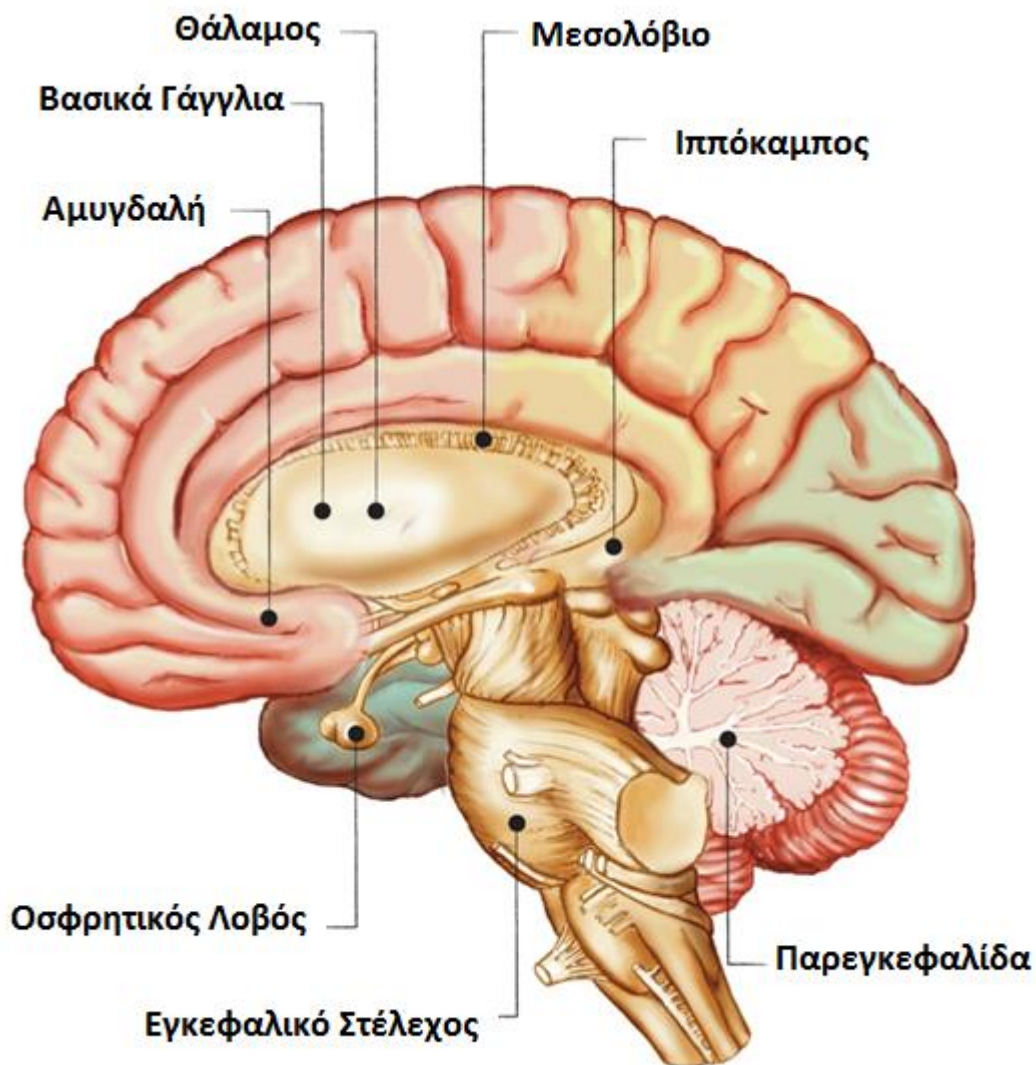
2.7.2.1 Αμυγδαλή

Είναι ένα σημαντικό όργανο του μεταιχμιακού συστήματος, που έχει σχέση κυρίως με τις συγκινήσεις, καθώς εκεί γίνεται η σύζευξη όλων των αισθητικών πληροφοριών με τα συναισθήματα. Ως τμήμα του πρωτόγονου εγκεφάλου συνδέεται άμεσα με συναισθήματα όπως ο φόβος, ενεργοποιώντας το σώμα μας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, προτού το ερέθισμα περάσει από την επεξεργασία του εγκεφαλικού φλοιού. Όταν για παράδειγμα λάβουμε ένα στρεσογόνο ερέθισμα αυτό κατευθύνεται αρχικά στον θάλαμο και από εκεί στον εγκεφαλικό φλοιό για να υποστεί επεξεργασία και ταυτόχρονα μέσω μιας συντομότερης διαδρομής, που αποτελείται από μία και μόνο σύναψη, στην αμυγδαλή. Έτσι αρχικά αντιλαμβανόμαστε μόνο ότι υπάρχει κίνδυνος και πρέπει να αντιδράσουμε στιγμιαία.

Αυτός είναι και ο λόγος για παράδειγμα που συνηθίζουμε να ξαφνιαζόμαστε στην θέα ενός απότομου τινάγματος λαστίχου ποτίσματος μέσα από τα φύλλα, καθώς η αμυγδαλή ενεργοποιεί έναν μαθημένο φόβο μας για μια εν δυνάμει απειλή, όπως τα φίδια. Ταυτίζει το μαθημένο αισθητηριακό ερέθισμα (σωληνοειδές μακρύ σώμα μέσα στα φύλλα=κίνδυνος) με μία σχετιζόμενη αντίδραση («πάλεψε ή φύγε»). Μετά την επεξεργασία του παραπάνω οπτικού ερεθίσματος και από τον ινιακό λοβό, η αντίδρασή μας είναι διαφορετική, επικρατεί η λογική και αποτρέπεται η διαδικασία έκκρισης αδρεναλίνης. Αυτό σημαίνει ότι η αμυγδαλή σχετίζεται με τη μνήμη συναισθηματικά φορτισμένων γεγονότων (ασυνείδητη μνήμη), με αποτέλεσμα να προκαλεί άμεση αντίδραση σε ερεθίσματα φόβου, απειλής ή άγχους παλαιότερης μνήμης, χωρίς να το συνειδητοποιούμε, ενεργοποιώντας το καρδιαγγειακό σύστημα, τους μύες και τον γαστρεντερικό σωλήνα.

Η Αμυγδαλή εφόσον συνδέεται με τις αντιδράσεις “μάχης ή φυγής” είναι ικανή να ελέγξει το αυτόνομο σύστημα για να οργανώσει άμεση συμπαθητική αντίδραση. Πιο συγκεκριμένα αν στο παραπάνω παράδειγμα επαληθευθεί ότι πρόκειται για πραγματικό κίνδυνο και όχι για λάθος συναγερμό, η αμυγδαλή δηλαδή ο συναισθηματικός μας εγκέφαλος αναλαμβάνει κυρίαρχο ρόλο έναντι της λογικής(μετωπιαίος λοβός) παραμένοντας σε υπερδιέγερση λόγω των ορμονών που εκκρίνονται από τα επινεφρίδια και την υπόφυση και δυσχεραίνοντας τον έλεγχό τους από τα κέντρα της λογικής. Αυτή η κυρίευση της λογικής από το συναίσθημα υπό την επίδραση των ορμονών αναφέρεται ως «συγκινησιακή πειρατεία», όρος που επινοήθηκε από τον Ντάνιελ Γκόλμαν(1996).[38]

Ενώ η αμυγδαλή τροφοδοτεί την παρορμητική συμπεριφορά, ο νεοφλοιός και συγκεκριμένα η περιοχή πίσω από το μέτωπο ελέγχει το συναίσθημα και βοηθά να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά και λογικά μια κατάσταση. Είναι σαν να έχουμε δύο είδη νοημοσύνης: τη συναισθηματική και τη λογική. Παρ' όλ' αυτά η αμυγδαλή συνδέεται εκτενώς με τον μετωπιαίο λοβό και τον θάλαμο, επηρεάζοντας την συναισθηματική μας αντίδραση (θετικά ή αρνητικά) σε κάποιο γεγονός. Άνθρωποι με εκφυλισμένη αμυγδαλή είναι ανίκανοι να αναγνωρίσουν συναισθήματα και εκφράσεις σε άλλα υποκείμενα με τα οποία έρχονται σε επαφή/αλληλοεπιδρούν.[39][30], [37]



Εικόνα 23:Μεταχιμιακό Σύστημα Εγκεφάλου

2.7.2.2 Ιππόκαμπος

Αποτελείται από δύο κέρατα που καμπυλώνουν πίσω από την αμυγδαλή και είναι σημαντικός για την καταχώρηση νέων πληροφοριών στον εγκέφαλο και την μετατροπή τους σε παγιωμένη μνήμη. Είναι αυτός που εξαπλώνει την καινούρια πληροφορία-γνώση από την βραχυπρόθεσμη στην μακροπρόθεσμη μνήμη, αποφασίζοντας ποια πληροφορία και τι θα μπει στη μακροπρόθεσμη μνήμη, μετά φυσικά από επανάληψη και επιτρέποντας στον εγκέφαλο να ανακαλεί πληροφορίες από αυτή και

να τις προωθεί στην αμυγδαλή προκειμένου κατόπιν επεξεργασίας να αντιδράσουμε ανάλογα. Η αμυγδαλή είναι αυτή που καθορίζει αν τα ερεθίσματα έχουν συναισθηματική αξία, συγκρίνοντας παροντικές με παρελθοντικές καταστάσεις, ενώ ο ιππόκαμπος έχει το ρόλο «βιβλιοθηκάρου της μνήμης», ανασύροντας απλά τις κατάλληλες αναμνήσεις για επεξεργασία τους από την αμυγδαλή, μην έχοντας ο ίδιος ενεργό ρόλο στην αντίδρασή μας σ' αυτές.

Ο ιππόκαμπος σχετίζεται με τη βραχυπρόθεσμη μνήμη όσον αφορά στα συναισθήματα, καθώς δεν μπορούμε να αποθηκεύσουμε γεγονότα χωρίς το συναίσθημα, ενώ συνδέεται επίσης με την όσφρηση, και την υποσυνείδητη λειτουργία και πιθανότατα με την λειτουργία του άγχους. Ερμηνεύει για τον εγκέφαλο τη σημασία των περισσότερων αισθητηριακών εμπειριών και αποφασίζει εάν η εμπειρία είναι σημαντική και πρέπει να αποθηκευτεί ως μνήμη στον εγκεφαλικό φλοιό. Η καταστροφή του ιππόκαμπου επηρεάζει μόνο την διαμόρφωση νέας μακροπρόθεσμης μνήμης, οδηγώντας σε απώλεια της δυνατότητας του εγκέφαλου να εξαπλώνει την βραχυπρόθεσμη μνήμη σε μακροπρόθεσμη.

Προκειμένου να λειτουργήσει αποτελεσματικά ο ιππόκαμπος θα πρέπει να μειωθεί η διέγερση της αμυγδαλής· για παράδειγμα, μαθαίνουμε καλύτερα όταν βρισκόμαστε σε κατάσταση ηρεμίας, είμαστε σε καλή διάθεση και ευχαριστημένοι με το αντικείμενο που ασχολούμαστε. Σε περίπτωση που η αμυγδαλή βρίσκεται σε διέγερση ενεργοποιείται το συμπαθητικό νευρικό σύστημα με αποτέλεσμα να εκκρίνεται από τα επινεφρίδια και την υπόφυση περισσότερη αδρεναλίνη και κορτιζόλη στο αίμα, να αυξάνεται η λειτουργία του ήπατος και του παγκρέατος και γενικά ο οργανισμός να τίθεται σε εγρήγορση, κάτι που δυσχεραίνει την συγκράτηση πληροφοριών και την αποθήκευσή τους από τον ιππόκαμπο. Αυτό σημαίνει ότι ο ιππόκαμπος και η αμυγδαλή έχουν μια αντιστρόφως ανάλογη δράση, με τον ιππόκαμπο να μειώνει την δράση του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος, καθώς και την διέγερση του εγκεφαλικού φλοιού σε περίπτωση αυξημένης δράσης της αμυγδαλής. Αντίθετα σε περίπτωση αυξημένης δράσης του ιππόκαμπου παρατηρείται αύξηση του παρασυμπαθητικού και ευκολία στην αποθήκευση νέων πληροφοριών (αύξηση βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης μνήμης), καθώς συναισθήματα όπως ο φόβος ή το άγχος εξαλείφονται/ απομακρύνονται μέσω της προοδευτικής συρρίκνωσης της δράσης της αμυγδαλής. [30], [38]

2.7.2.3 Βασικά Γάγγλια

Τα βασικά γάγγλια είναι ένα σύνολο από πυρήνες (κυτταρικοί σχηματισμοί φαιάς ουσίας μέσα στην λευκή ουσία του εγκέφαλου), που εδράζονται στις δύο πλευρές του θαλάμου, έξω και πάνω από το μεταιχμιακό σύστημα, κάτω από την έλικα του προσαγωγίου και εσωτερικά των κροταφικών λοβών.[26] Ο χαρακτηρισμός τους ως βασικά γάγγλια, δεν θα πρέπει να συγχέεται με τα γάγγλια, τις συγκεντρώσεις νευρικών πυρήνων του αυτόνομου νευρικού συστήματος, καθώς στην ουσία πρόκειται για βασικούς πυρήνες που εντοπίζονται μόνο στον εγκέφαλο. Για την μετάδοση της πληροφορίας από και προς τους βασικούς πυρήνες τον πιο σημαντικό ρόλο παίζει ο νευροδιαβιβαστής GABA.[37]

Τα βασικά γάγγλια συμμετέχουν στην εκτέλεση κινητικών εντολών που έχουν εξασκηθεί και στον συγχρονισμό εθελούσιων κινήσεων εφαρμόζοντας κινητικά προγράμματα που είναι αποθηκευμένα στον κινητικό φλοιό. Παρότι οι εκούσιες κινήσεις δεν ξεκινούν από τα βασικά γάγγλια, η σωστή λειτουργία τους είναι απαραίτητη προκειμένου ο κινητικός φλοιός να μεταβιβάσει τις κατάλληλες εντολές στα κατώτερα επίπεδα της κινητικής ιεραρχίας. Σε μια εθελούσια κίνηση, η εντολή περνά πρώτα από τα βασικά γάγγλια, συγκρίνει τις αισθητικές πληροφορίες από τον θάλαμο, κατευθύνεται στο δικτυωτό σχηματισμό και μετά κινούμαστε. Τα βασικά γάγγλια συμβάλλουν στη διατήρηση του

ελέγχου των κινήσεων και καθορίζουν την ταχύτητα εκτέλεσης της κίνησης, ισορροπώντας τη δράση ανασταλτικών και διεγερτικών νευρώνων και διατηρώντας το σωστό τόνο, ενώ ταυτόχρονα είναι υπεύθυνα για το συντονισμό των αργών και συνεχών συσπάσεων που έχουν να κάνουν με τη σταθερότητα και τη στήριξη του σώματος.[36], [38]

Πέρα από τον έλεγχο των κινήσεων τα βασικά γάγγλια ρυθμίζουν και την ένταση των συναισθημάτων, που σχετίζονται με την σειρά τους άμεσα με την κινητική ακολουθία που πραγματοποιείται. Για παράδειγμα σε καταστάσεις πανικού παρατηρούνται είτε έντονες κινητικές εκδηλώσεις είτε αδυναμίες, που οφείλονται στα βασικά γάγγλια. Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να ρυθμιστούν καθώς τα γάγγλια δημιουργούν προγράμματα κινήσεων - αυτοματισμούς και συντονίζουν αυτές τις κινητικές εκδηλώσεις με αποτέλεσμα να περιορίζεται το στρες. Έτσι δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για αυτόματη λογική βοηθούν το άτομο να προστατέψει τον εαυτό του από τις συνέπειες των αντιδράσεών του. Ελέγχει στην ουσία υποσυνείδητα την κινητική λειτουργία που σχετίζεται με τα συναισθήματα. Η κινητική λειτουργία αλλάζει λόγω των συναισθημάτων μέσω των ορμονών, όπως η ντοπαμίνη και η σεροτονίνη, που ευθύνονται τόσο για το αίσθημα της χαράς, όσο και για την κίνηση των εκτατικών και των μυών που αφορούν στην στάση και στήριξη του σώματος.[30]

Τα βασικά γάγγλια και οι συναφείς πυρήνες κατηγοριοποιούνται γενικά σε: α) πυρήνες εισόδου, β) πυρήνες εξόδου, και γ) εγγενείς πυρήνες. Οι πυρήνες εισόδου, όπως ο κερκοφόρος πυρήνας, το κέλυφος και ο επικλινής πυρήνας λαμβάνουν τις εισερχόμενες πληροφορίες από διάφορες πηγές, κυρίως από τον φλοιό, τον θάλαμο και την μέλαινα ουσία. Οι πυρήνες εξόδου στέλνουν πληροφορίες στο θάλαμο και αποτελούνται από το εσωτερικό τμήμα της ωχρής σφαίρας και την μέλαινα ουσία (pars reticulata). Τέλος, οι εγγενείς πυρήνες όπως το εξωτερικό τμήμα της ωχρής σφαίρας και η μέλαινα ουσία pars compacta, βρίσκονται μεταξύ των πυρήνων εισόδου και εξόδου στο ρελέ των πληροφοριών.[37]

Φλοιώδεις και θαλαμικές απαγωγές πληροφοριών εισέρχονται στο ραβδωτό σώμα για να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία από το σύστημα των βασικών γαγγλίων. Οι πυρήνες εξόδου προβάλλουν κυρίως στο θάλαμο, ο οποίος, με τη σειρά του, προβάλλει πάλι πίσω στον εγκεφαλικό φλοιό (κυρίως στον μετωπιαίο λοβό). Η κατάλληλη λειτουργία του συστήματος των βασικών γαγγλίων απαιτεί την κυκλοφορία ντοπαμίνης στους πυρήνες εισόδου. Η δυσκολία στην κυκλοφορία της ντοπαμίνης σχετίζεται με αρκετές διαταραχές βασικών γαγγλίων κίνησης, όπως το σύνδρομο τύπου Πάρκινσον (δηλαδή, της νόσου του Parkinson), δυστονία, χορεία και τικ.[36], [37]

2.7.2.4 Έλικα του προσαγωγίου

Είναι περιοχή υπεύθυνη για τη διαμόρφωση της συμπεριφοράς και τη ρύθμιση του άγχους ενώ ταυτόχρονα σε αυτό το σημείο γίνεται η εξαρτημένη διαμόρφωση της συμπεριφοράς.[30]

2.7.2.5 Ψαλίδα

Είναι η σημαντικότερη οδός του μεταιχμιακού συστήματος που περιβάλλει επίσης το ραχιαίο θάλαμο. Ξεκινά από το ραχιαίο άκρο του ιππόκαμπου και διαγράφει καμπύλη πορεία προς τα εμπρός με τη μορφή τόξου που κατευθύνεται κατά μήκος της ανώτερης επιφάνειας της τρίτης κοιλίας και καταλήγει στο διάφραγμα.[36]

2.7.2.6 Διάφραγμα

«Το διάφραγμα είναι ένας πυρήνας που βρίσκεται στο μέσο επίπεδο του εγκεφάλου και εντοπίζεται στο πρόσθιο άκρο του προσαγωγού φλοιού.» Το διάφραγμα αποτελεί πολύ σημαντική περιοχή που σχετίζεται με το γυναικείο οργανισμό και γενικότερα με την ηδονή, καθώς έχουν καταγραφεί σε πειράματα μεγάλες ηλεκτρικές εκκενώσεις κατά την ερωτική πράξη στην περιοχή αυτή που ενίοτε επεκτείνεται και στην αμυγδαλή.[40] Ακόμα ο διερεθισμός του διαφράγματος μπορεί να επιφέρει διαφορά συμπεριφορικά αποτελέσματα όπως ο θυμός. Τέλος, το διάφραγμα συνδέεται με την αμυγδαλή και τον ιππόκαμπο με διάφορες οδούς, ολοκληρώνοντας τον κύκλο του μεταιχμιακού συστήματος.[35]

2.7.2.7 Συνδέσεις με συστήματα

- Εξαιτίας της σύνδεσης του Μεταιχμιακού Συστήματος με τον *υποθάλαμο* τροποποιούνται οι εσωτερικές σωματικές λειτουργίες που ελέγχονται από τον υποθάλαμο. Επιπρόσθετα ρυθμίζονται αλληλεπιδράσεις μεταξύ συναισθηματικών και σπλαχνικών λειτουργιών
- Η σύνδεσή του με τον *μεσεγκέφαλο* μπορεί να ελέγξει συμπεριφορές όπως η αφύπνιση, ο ύπνος, η έξαψη, η προσοχή, ο θυμός και η υπακοή.
- Η σύνδεσή του με τον *φλοιό* ολοκληρώνει σωματοαισθητηριακά ερεθίσματα με ερεθίσματα από άλλες αισθήσεις και από άλλες περιοχές του εγκεφάλου (επηρεάζεται από όλα τα αισθητηριακά ερεθίσματα). [40]

2.7.3 Λοβοί Του Εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος είναι η μεγαλύτερη εγκεφαλική δομή. Είναι χωρισμένος σε 4 λοβούς που είναι ο καθένας υπεύθυνος για διαφορετικά μέρη της μάθησης και διαχωρίζονται σε υψηλότερες και χαμηλότερες λειτουργίες του εγκεφάλου.

Χαμηλότερα Επίπεδα Εργασίας

2.7.3.1 Ινιακός Λοβός

Είναι ο μικρότερος λοβός του φλοιού καταλαμβάνοντας το 12% της συνολικής του επιφάνειας και αποτελεί το κέντρο επεξεργασίας των οπτικών ερεθισμάτων, καθιστώντας δυνατή τη λειτουργία της όρασης. Βρίσκεται στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου, πάνω από το σκηνίδιο της παρεγκεφαλίδας πίσω ακριβώς από τον βρεγματικό και τον κροταφικό λοβό. Ειδικότερα, διαθέτουμε 2 ινιακούς λοβούς, έναν σε κάθε ημισφαίριο. Συνδέεται μέσω του οπτικού νεύρου με τους οφθαλμούς συντονίζοντας την κίνησή τους και λαμβάνοντας οπτικές πληροφορίες από αυτά. Βασική του λειτουργία είναι να διατηρεί μια χωροταξική οργάνωση όλων αυτών των πληροφοριών και ταυτόχρονα να συντονίζει επιπλέον λειτουργίες όπως η αντίληψη του βάθους, η τοπική μορφή, η αίσθηση των χρωμάτων, οι κινήσεις κ.α.[27], [41]

2.7.3.2 Βρεγματικός Λοβός

Βρίσκεται πάνω από τον ινιακό και τον κροταφικό λοβό και πίσω από τον μετωπιαίο λοβό. Χωρίζεται από τον κροταφικό λοβό με τη σχισμή του Sylvius, ενώ από τον μετωπιαίο με τη σχισμή του Rolando. Είναι υπεύθυνος για τις αισθήσεις, την αισθητηριακή εισροή (γεύση, θερμοκρασία, όσφρηση, αφή) καθώς και για την αισθητηριακή ολοκλήρωση.

Ο βρεγματικός λοβός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενσωμάτωση των αισθητηριακών πληροφοριών από διάφορα μέρη του σώματος, συμπεριλαμβανομένων της χωρικής αντίληψης, του προσανατολισμού, της γνώσης των αριθμών και του χειρισμού των αντικειμένων. Αποτελεί την κύρια περιοχή υποδοχής αισθητικών ερεθισμάτων, ελέγχοντας την οπτική λειτουργία και την αντίληψη της αφής. Οι σωματοαισθητικές και οπτικές πληροφορίες φτάνουν στον οπίσθιο βρεγματικό φλοιό, ο οποίος στην συνέχεια στέλνοντας κινητικά σήματα ελέγχει την κίνηση του βραχίονα, του χεριού και την κίνηση των ματιών. Οι κυριότερες αισθητηριακές εισροές από το δέρμα (αφή, θερμοκρασία, και υποδοχείς του πόνου), περνούν μέσω του θαλάμου στο βρεγματικό λοβό. Αρκετές περιοχές του βρεγματικού λοβού είναι σημαντικές για την επεξεργασία της γλώσσας. Βλάβες στο βρεγματικό λοβό προκαλούν συγκεκριμένες διαταραχές : πραξικές, σωματικού σχήματος, λόγου, κινητικές, μυϊκές, ισορροπίας και οπτικές.[27]

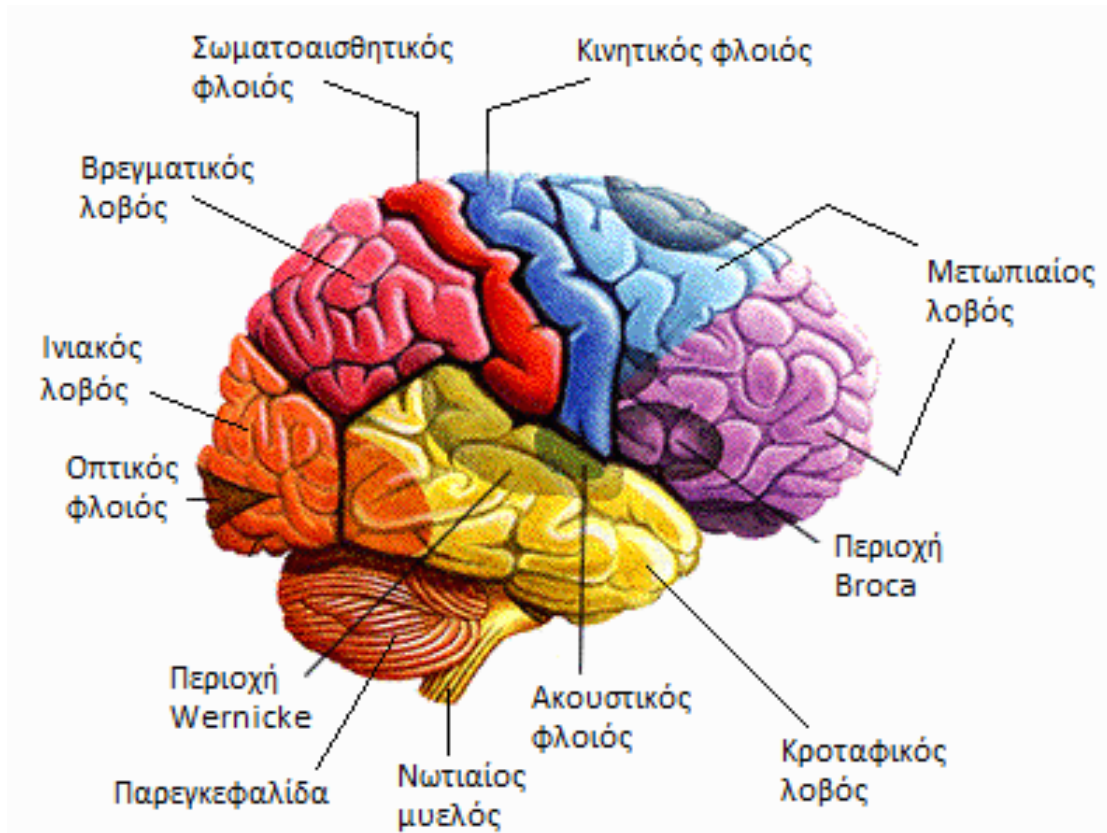
Ο βρεγματικός λοβός διαθέτει πληθώρα ελίκων στην οπίσθια και κάτω περιοχή του γεγονός που δημιουργεί σύγχυση όσον αφορά στο διαχωρισμό και στην ένταξη των συγκεκριμένων ελίκων στο βρεγματικό, στον κροταφικό ή στον ινιακό λοβό. Για το λόγο αυτό άλλωστε και επειδή παρατηρείται μία έντονη λειτουργική δραστηριότητα στη συγκεκριμένη περιοχή, είναι αναγκαίο να αναφερόμαστε σε μία βρεγματο-κροταφο-ινιακή περιοχή.[42]

2.7.3.3 Κροταφικός Λοβός

Είναι το τμήμα των εγκεφαλικών ημισφαιρίων που βρίσκεται κοντά στους κροτάφους, κάτω από την πλευρική αύλακα ή αλλιώς σχισμή του Sylvius. Περιλαμβάνει τον πρωτεύοντα ακουστικό φλοιό, όπου γίνεται η επεξεργασία των ακουστικών ερεθισμάτων και τις συνειρμικές περιοχές που είναι υπεύθυνες για την κατανόηση. Το οπίσθιο όριο αυτού του λοβού είναι συνέχεια του ινιακού λοβού. Βασική λειτουργία του κροταφικού λοβού είναι η επεξεργασία των εισερχόμενων αισθητηριακών πληροφοριών και η μετατροπή τους σε νοήματα ή νοηματικές ενότητες, που μας δίνουν την δυνατότητα συγκράτησης της οπτικής μνήμης, κατανόησης των ακουστικών πληροφοριών καθώς και την ικανότητα να προβαίνουμε σε συναισθηματικούς συσχετισμούς.[27]

Όσον αφορά στην ακοή, ο πρωτεύων ακουστικός φλοιός δέχεται αισθητικές πληροφορίες από τα αυτιά, οι οποίες περνούν σε δευτερεύουσες περιοχές όπου υφίστανται επεξεργασία για να μετατραπούν σε ουσιαστικές νοηματικές μονάδες όπως είναι οι φθόγγοι, οι λέξεις και εν τέλει ο λόγος. Στον κροταφικό λοβό βρίσκεται ο πρωτεύων ακουστικός φλοιός, που αφορά στην επεξεργασία της σημασιολογίας τόσο στην ομιλία όσο και στην όραση σε ανθρώπους και επομένως στην κατανόηση της ομιλίας, στην ονοματοδοσία και στην λεκτική μνήμη. Οι περιοχές του κροταφικού λοβού που σχετίζονται με την όραση ερμηνεύουν τα οπτικά ερεθίσματα και είναι υπεύθυνες για την ικανότητα αντίληψης και αναγνώρισης των αντικειμένων, αλλά και για την υψηλού επιπέδου οπτική επεξεργασία σύνθετων ερεθισμάτων, όπως για παράδειγμα οι διαφορετικές επιφάνειες και τα τοπία. Τέλος, ο κροταφικός λοβός έχει ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση μακροπρόθεσμης μνήμης καθώς επικοινωνεί

με τον ιππόκαμπο και την αμυγδαλή που στην ουσία περικλείονται μέσα του. Βλάβες σε συγκεκριμένες περιοχές του κροταφικού λοβού μπορούν να οδηγήσουν σε αδυναμία δημιουργίας νέας μνήμης, ή και σε προσωρινή ή μόνιμη αδυναμία συγκράτησης νέας μνήμης (προχωρητική αμνησία).[42]



Εικόνα 24:Λοβοί και Φλοιοί του Εγκεφάλου

Υψηλότερα Επίπεδα Εργασίας

2.7.3.4 Μετωπιαίος Λοβός

Είναι ο μεγαλύτερος από όλους τους λοβούς του κάθε ημισφαιρίου και αποτελεί την «κορώνα» του εγκεφάλου καθώς εδώ εδράζεται η λογική, η κρίση, η νοημοσύνη και η βούληση, αλλά εδώ ελέγχονται και οι εκούσιες κινήσεις των μυών. Είναι στην ουσία ο πίνακας ελέγχου της προσωπικότητάς μας και της ικανότητάς μας για επικοινωνία, γι' αυτό και είναι μεγαλύτερος και πιο αναπτυγμένος στους ανθρώπους παρά σε οποιοδήποτε άλλο οργανισμό. Όπως υπονοεί και το όνομά του, βρίσκεται στο μπροστά μέρος του εγκεφάλου, στο «μέτωπο» της εγκεφαλικής μάζας και χωρίζεται από τον βρεγματικό με την κεντρική αύλακα (σχισμή του Rolando) και με τον κροταφικό από την πλευρική αύλακα(σχισμή του Sylvius). Το δεξί ημισφαίριο του μετωπιαίου λοβού ελέγχει την αριστερή πλευρά του σώματος και το αντίστροφο.[31], [41]

Ο μετωπιαίος λοβός περιλαμβάνει τους περισσότερους νευρώνες του εγκεφαλικού φλοιού που χρησιμοποιούν την ντοπαμίνη ως νευροδιαβιβαστή. Η ντοπαμίνη σχετίζεται με την ανταμοιβή, την προσοχή, την βραχυπρόθεσμη μνήμη, το κίνητρο. Περιορίζει και επιλέγει αισθητικές πληροφορίες που

φτάνουν από το θάλαμο στον πρόσθιο εγκέφαλο. Η βασική λειτουργία του λοβού έγκειται στην ικανότητα πρόβλεψης των μελλοντικών συνεπειών που απορρέουν από τρέχουσες ενέργειες, δηλαδή στην κρίση μεταξύ σωστής και λάθους επιλογής ή καλύτερης και βέλτιστης, καθώς και στον περιορισμό και την καταστολή μη κοινωνικά αποδεκτών αντιδράσεων, αλλά και στην σταχυολόγηση ομοιοτήτων και διαφορών μεταξύ αντικειμένων και γεγονότων για την διάκριση και την αντίληψη του εξωτερικού κόσμου. Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο να ενοποιεί αναμνήσεις αποθηκευμένες στον εγκέφαλο που σχετίζονται με συναισθήματα, τροποποιώντας τα, ώστε να ταιριάζουν σε κοινωνικά αποδεκτές νόρμες.[42]

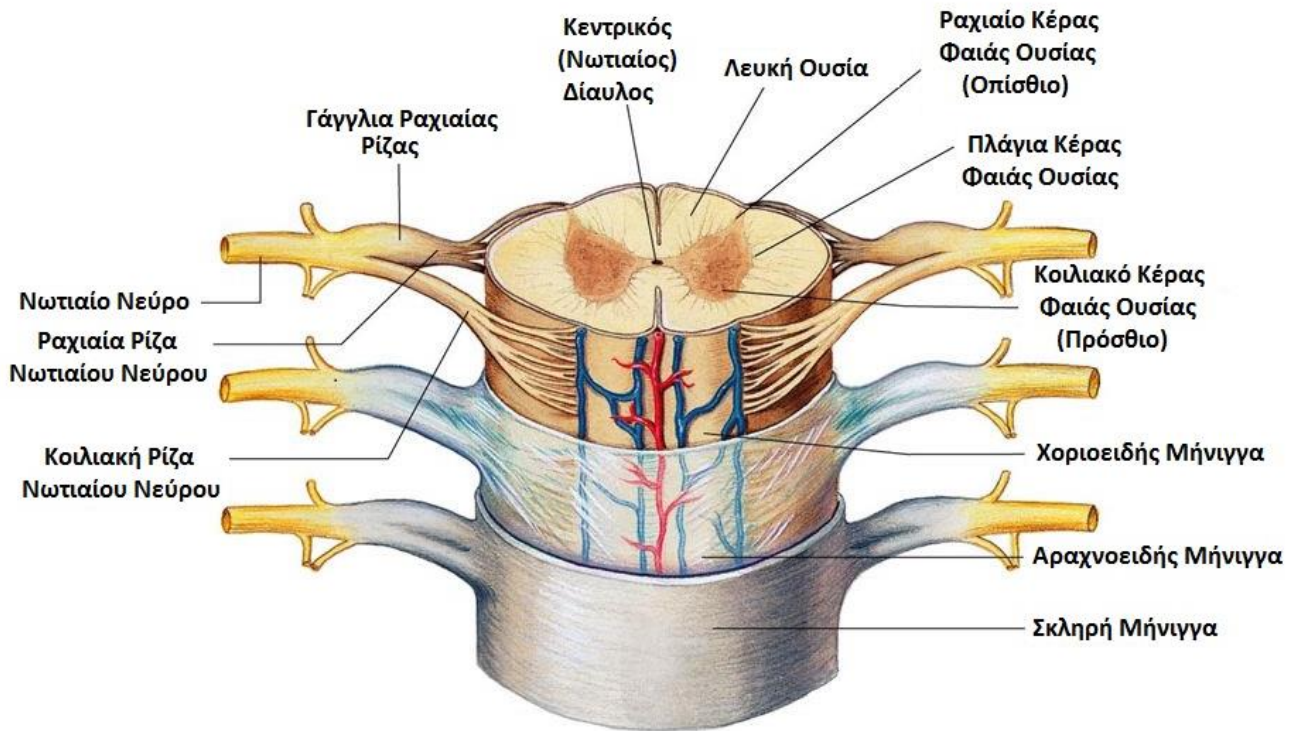
Στο μετωπιαίο λοβό εδράζεται και η περιοχή Broca, η οποία θεωρείται το κέντρο της κινητικής ικανότητας για την ομιλία, δηλαδή η περιοχή που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο των μυών της ομιλίας. Σε περίπτωση βλάβης της δεν παρατηρείται διαταραχή στην κατανόηση του λόγου, αλλά αδυναμία στην εκφορά του.[43]

Παρότι η κίνηση και ο μυϊκός συντονισμός ελέγχονται κυρίως από άλλους λοβούς του εγκεφάλου, ο μετωπιαίος, καθότι περιέχει τον πρωτεύοντα κινητικό φλοιό, ελέγχει τις εκούσιες μυϊκές κινήσεις, που αφορούν για παράδειγμα τους μυς που χρησιμοποιούμε κατά το περπάτημα, το τρέξιμο, τον χορό, το ποδόσφαιρο ή κάποια άλλη συνειδητή κίνηση.[43]

Ο μετωπιαίος λοβός αποτελεί το πιο σύνηθες μέρος τραυματισμού του εγκεφάλου. Βλάβη στον μετωπιαίο λοβό μπορεί να επιφέρει διαταραχές στην προσωπικότητα, περιορισμό στις εκφράσεις του προσώπου και δυσκολία στην ερμηνεία του περιβάλλοντος όπως π.χ. αδυναμία εκτίμησης του ρίσκου ή του κινδύνου. Ακόμα παρατηρείται αύξηση των έμμονων ιδεών, αδυναμία στην ανάληψη πρωτοβουλιών και αντικοινωνική συμπεριφορά.[31]

2.8 Νωτιαίος Μυελός

Ο νωτιαίος μυελός αποτελεί τμήμα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος και είναι στην ουσία η συνέχεια του εγκεφάλου στο υπόλοιπο σώμα. Είναι μια μακριά πλεκτή σωληνοειδής δέσμη νευρικού ιστού και υποστηρικτικών κυττάρων που εκτείνεται από τον προμήκη μυελό του εγκεφαλικού στελέχους στην οσφυϊκή περιοχή της σπονδυλικής στήλης. Η οσφυϊκή σπονδυλική στήλη ξεκινά όπου τελειώνουν οι σπόνδυλοι με τις συνδεδεμένες νευρώσεις. Από τον νωτιαίο μυελό εκδύονται οι νωτιαίες ρίζες, οι οποίες διακρίνονται σε πρόσθιες και οπίσθιες και εξέρχονται διαμέσω των σπονδύλων για να ελέγχουν διάφορα μέρη του σώματος. Οι νευρικές ρίζες συγχωνεύονται σε 31 αμφίπλευρα συμμετρικά ζεύγη νωτιαίων νεύρων. Ο νωτιαίος μυελός δεν «γεμίζει» ολόκληρο τον σπονδυλικό σωλήνα, καθώς στο περιμυελικό διάστημα (στο χώρο μεταξύ του νωτιαίου μυελού και των τοιχωμάτων του σπονδυλικού σωλήνα) υπάρχουν μήνιγγες-χιτώνες συνδετικού ιστού, οι οποίες περιβάλλουν και προστατεύουν τον νωτιαίο μυελό και τις νωτιαίες ρίζες. Οι μήνιγγες αυτές από έξω προς τα μέσα είναι: η Σκληρά(παχύτερη και εξωτερικότερη), η Αραχνοειδής(ανάμεσα) και η Χοριοειδής(που συμφύεται με τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Ανάμεσα στις μήνιγγες και τον νωτιαίο μυελό βρίσκεται εγκεφαλονωτιαίο υγρό, το οποίο υπάρχει επίσης και μέσα στο νωτιαίο μυελό καθώς και στις εσωτερικές κοιλότητες του εγκεφάλου με τις οποίες επικοινωνεί.[27]



Εικόνα 25: Ανατομία Νωτιαίου Μυελού

2.8.1 Εσωτερική Μορφολογία

Αποτελείται από λευκή και φαιά ουσία όπως και ο εγκέφαλος και νευρογλοία. Το κέντρο του αποτελείται από τη μεγαλύτερη ποσότητα της γκρίζας ύλης- φαιά ουσία-, που είναι κυτταρικά σώματα, δενδρίτες και συνάψεις κεντρικά στο νωτιαίο μυελό. Η λευκή ουσία περικλείει ολόκληρο το εξωτερικό της φαιάς ουσίας που διαχωρίζεται σε ευδιάκριτες επιμήκειες δέσμες (οδούς) νευρικών ινών(ανιούσες και κατιούσες), όλες επιφορτισμένες με τις καθορισμένες εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν για το σώμα. Οι πρόσθιες ή εμπρόςθιες οδοί αφορούν την κινητική λειτουργία, τα αντανακλαστικά στάσης, την λεπτή κινητικότητα και την αίσθηση της πίεσης. Οι πλευρικές ή οδοί στο πλάι του νωτιαίου μυελού ελέγχουν την ιδιοδεκτικότητα της μετακίνησης, του πόνου, της θερμοκρασίας και της κινητικής λειτουργίας. Οι οπίσθιες οδοί ελέγχουν την ικανότητα διάκρισης δύο σημείων, τους κραδασμούς, τη βαθιά πίεση και την αφή. Παρατηρούμε ότι μερικές λειτουργίες αλληλοεπικαλύπτονται, αλλά όλοι δουλεύουν μαζί για να δημιουργήσουν αίσθηση κίνησης και επεξεργασίας για το σώμα μας. Η νευρογλοία του νωτιαίου μυελού είναι το στηρικτικό υπόστρωμα της λευκής και της φαιάς ουσίας. Χωρίζεται στο επένδυμα, στη νευρογλοία της φαιάς και τη νευρογλοία της λευκής ουσίας.[44], [45]

Η βασική λειτουργία του είναι η μετάδοση νευρικών σημάτων μεταξύ του εγκεφάλου και του υπόλοιπου σώματος ενώ παράλληλα διαθέτει νευρωνικά κυκλώματα που είναι σε θέση να ελέγχουν αυτόνομα πολυάριθμες αντανακλαστικές αντιδράσεις και σταθερά κινητικά μοτίβα. Οι 3 σημαντικές συνεισφορές του νωτιαίου μυελού συνοψίζονται στην λειτουργία του ως διαύλου κινητικών πληροφοριών που ταξιδεύουν διαμέσω του νωτιαίου μυελού προς τον εγκέφαλο, ως διαύλου

αισθητηριακών πληροφοριών προς την αντίθετη κατεύθυνση και τέλος ως κέντρου συντονισμού συγκεκριμένων αντανακλαστικών.[44], [45]

2.9 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ) – Γενική Δομή

Το ΠΝΣ αποτελείται από νεύρα, γάγγλια και αισθητικούς υποδοχείς. Περιλαμβάνει όλα τα νεύρα που εισέρχονται ή εξέρχονται από το ΚΝΣ, δηλαδή όλους τους νευρώνες που βρίσκονται εκτός του νωτιαίου μυελού και του εγκεφάλου. Χωρίζεται σε Σωματικό (Κινητικό Σύστημα) και Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα (ΑΝΣ). Το ΑΝΣ αποτελείται από απαγωγά και προσαγωγά νεύρα. Τα προσαγωγά μεταφέρουν τα ερεθίσματα από τα εσωτερικά όργανα στο ΚΝΣ ενώ τα απαγωγά μεταφέρουν τα κινητικά σήματα από το ΚΝΣ προς τα εσωτερικά όργανα. Τα απαγωγά νεύρα του ΑΝΣ αποτελούνται από τα συμπαθητικά νεύρα - Συμπαθητικό Νευρικό Σύστημα (ΣΝΣ) και τα παρασυμπαθητικά νεύρα - Παρασυμπαθητικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ), που είναι υπεύθυνα για τη φυσιολογική λειτουργία των οργάνων και με τα οποία πρόκειται να ασχοληθούμε εκτενέστερα στη παρούσα διπλωματική, καθώς εξωτερικά ερεθίσματα μπορούν να τροποποιήσουν τη δραστηριότητά τους.(ερέθισμα – ιδρωτοποιοί αδένες).[46]

2.9.1 Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα

Είναι μέρος του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος και είναι υπεύθυνο για την λειτουργία πολλών εσωτερικών οργάνων, των αιμοφόρων αγγείων, των αδένων και των ιστών του σώματος. Οι επιδράσεις του ΑΝΣ είναι εκτεταμένες και ασκούνται στον καρδιακό ρυθμό και στην καρδιακή παροχή, στην αναπνοή, στον τόνο των αιμοφόρων αγγείων και στην λειτουργία των κοίλων σπλάχνων του πεπτικού και του ουροποιητικού συστήματος, καθώς και στην έκκριση των εξωκρινών και των ενδοκρινών αδένων. Οι δραστηριότητες αυτές είναι με κάποιο τρόπο αυτόματες και αντανακλαστικά ελεγχόμενες και επηρεάζονται ελάχιστα από τη θέληση, γιατί πολλές απ' αυτές είναι πάρα πολύ ζωτικές για να επιτρέψουν οποιαδήποτε επέμβαση της ιδιότροπης και πολυποίκιλης ανθρώπινης συμπεριφοράς.[47]

Η λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος επιτυγχάνεται σε συνεργασία με τους ενδοκρινείς αδένες. Η συνδυασμένη δράση τους, ρυθμίζει την διατήρηση της σταθερότητας του εσωτερικού θερμικού και βιοχημικού περιβάλλοντος του σώματος, δηλαδή την ομοιόσταση (ρύθμιση του καρδιαγγειακού, του αναπνευστικού, του πεπτικού, του θερμορυθμιστικού συστήματος) του οργανισμού. Η ομοιόσταση επιτυγχάνεται ακούσια, καθώς το ΑΝΣ αφορά σε εντολές που δεν σκεφτόμαστε συνειδητά, όπως η κίνηση των σπλαχνικών μυών για την λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος και άλλες διαδικασίες που συντελούν ασυνείδητα στην επιβίωσή μας.[36]

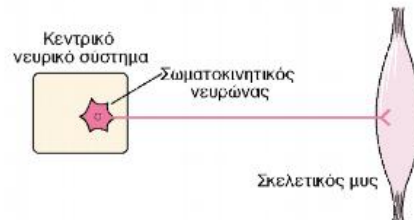
Παρ' όλ' αυτά, δεν είναι αυτόνομο όπως υπονοεί το όνομά του, καθώς συμμετέχει στο ΚΝΣ τόσο για τη μεταφορά των ερεθισμάτων, όσο και για την διασύνδεσή του με τους άλλους νευρώνες. Ειδικότερα, πέρα από τα περιφερικά νεύρα, οι ίνες του ΑΝΣ μεταβιβάζονται μέσω μεγάλου αριθμού εγκεφαλικών νεύρων, ενώ οι ισχυρότερες συνδέσεις του ΑΝΣ βρίσκονται μέσα στον εγκέφαλο (ανώτερα κέντρα ΑΝΣ) και στον νωτιαίο μυελό.

Η διασύνδεση του Α.Ν.Σ με τους άλλους νευρώνες επιτυγχάνεται μέσω απαγωγών και προσαγωγών νεύρων που διαθέτει, δηλαδή νεύρων που είναι υπεύθυνα για την μεταφορά σημάτων από το ΚΝΣ στο

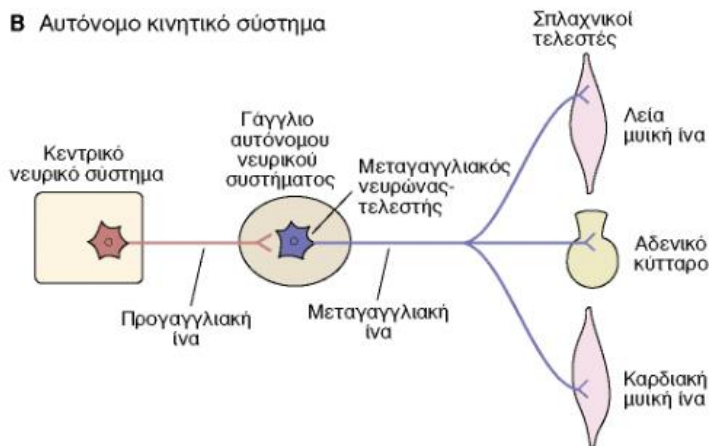
ΠΝΣ και αντίστροφα. Συγκεκριμένα τα απαγωγά (φυγόκεντρα) νεύρα μεταφέρουν κινητικά σήματα από τον εγκέφαλο στους σκελετικούς μυς και τα προσαγωγά (κεντρομόλα) νεύρα μεταφέρουν αισθητικά σήματα από το δέρμα, τους σκελετικούς μυς κλπ. προς τον εγκέφαλο αντίστοιχα. Το Α.Ν.Σ λοιπόν είναι μια αλυσίδα δύο νευρώνων, με τον προγαγγλιακό νευρώνα να ξεκινά από το ΚΝΣ (εγκέφαλο και νωτιαίο μυελό) και να συνάπτεται στην απόληξή του με ένα μεταγαγγλιακό νευρώνα που εντοπίζεται σε ένα περιφερικό αυτόνομο γάγγλιο και οδεύει προς το όργανο στόχο.[37]

Τα απαγωγά νεύρα του ΑΝΣ διακρίνονται σε συμπαθητικά και παρασυμπαθητικά. Τα νεύρα αυτά μέσω της αντιθετικής τους δράσης ρυθμίζουν το εσωτερικό περιβάλλον του σώματος διατηρώντας ισορροπία στη λειτουργία των οργάνων, καθώς όπου το ένα διεγείρει, το άλλο αναστέλλει. Από λειτουργική άποψη το συμπαθητικό σύστημα κινητοποιεί το σώμα μας, ενώ το παρασυμπαθητικό ρυθμίζει τις πεπτικές και ομοιοστατικές λειτουργίες. Φυσιολογικά και τα δύο τμήματα εργάζονται σε συνδυασμό ώστε να ρυθμίζουν τη σπλαχνική δραστηριότητα (αναπνοή, καρδιοαναπνευστική λειτουργία, πέψη και συνοδός αδρενεργική δραστηριότητα).[47]

A Σωματικό κινητικό σύστημα



B Αυτόνομο κινητικό σύστημα



Εικόνα 26: Σωματικό Κινητικό και Αυτόνομο Κινητικό Σύστημα

2.9.1.1 Ανώτερα Κέντρα του Α.Ν.Σ

Τα ανώτερα κέντρα του ΑΝΣ χωρίζονται σε φλοιώδη(Μετωπιαίος Συνειρμικός Φλοιός) και υποφλοιώδη(Υποθάλαμος, Διάφραγμα) κέντρα τα οποία εντοπίζονται στο μέσο, στο διάμεσο και στον τελικό εγκέφαλο. [46]

2.9.1.1.1 Ο Υποθάλαμος

Πιο συγκεκριμένα ο υποθάλαμος θεωρείται το ανώτερο υποφλοιώδες κέντρο του ANΣ και είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των περισσότερων φυτικών και ενδοκρινικών λειτουργιών του σώματος, καθώς και για τις συναισθηματικές αντιδράσεις του ανθρώπου. Ο υποθάλαμος δέχεται προσαγωγά ερεθίσματα αγγειακής και νευρικής προέλευσης. Μέσω της κυκλοφορίας του αίματος μεταφέρονται τα αγγειακά ερεθίσματα που είναι χημικά (γλυκόζη του αίματος), φυσικά (θερμοκρασία, οσμωτική κίνηση) και ορμονικά. Μέσω του μονήρη πυρήνα του προμήκη και του μέσου του εγκεφάλου μεταφέρονται τα νευρικά ερεθίσματα. Στη συνέχεια, «ο πυρήνας αυτός επιδρά στον πυρήνα του πνευμονογαστρικού νεύρου και σε άλλους παρασυμπαθητικούς νευρώνες του εγκεφαλικού στελέχους που ελέγχουν τη θερμοκρασία, τον καρδιακό ρυθμό, την πίεση του αίματος και την αναπνοή».[48]

Ο υποθάλαμος ως βασικό κέντρο του ANΣ παίζει σημαντικό ρόλο στην αυτόνομη δραστηριότητά του. Η οπίσθια έσω περιοχή διεγείρει το συμπαθητικό και η πρόσθια έξω περιοχή διεγείρει το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα. Ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος, το καρδιαγγειακό σύστημα, το γαστρεντερικό σωλήνα και την πρόσληψη τροφής και υγρών, τα υγρά του σώματος (δημιουργία αισθήματος δίψας και έλεγχος αποβολής του νερού από τα ούρα), τη σεξουαλική συμπεριφορά, και το σύστημα του stress.

«Ο υποθάλαμος προβάλλει στην πρόσθια κοιλιακή περιοχή του προμήκους μυελού, η οποία ελέγχει τις προγαγγλιακές ίνες που έχουν μεγάλη σημασία για τη λειτουργία του συμπαθητικού συστήματος. Μ' αυτό τον τρόπο η έξω περιοχή του υποθαλάμου, η οποία συνδέεται με την πρόσθια κοιλιακή περιοχή του προμήκους μυελού, οδηγεί σε γενική δραστηριοποίηση του συμπαθητικού, δηλαδή σε ανόρθωση των τριχών του σώματος, σε αύξηση της πίεσης του αίματος και του καρδιακού ρυθμού, σε εφίδρωση και μυδρίαση.»[48]

2.9.1.1.2 Μετωπιαίος Συνειρμικός Φλοιός

Ο μετωπιαίος συνειρμικός φλοιός περιέχει το φλοιώδες κινητικό κέντρο του αυτόνομου νευρικού συστήματος, αφορά δηλαδή όχι τις φυτικές λειτουργίες (ακούσιες), αλλά αυτές που αφορούν στο βουλευτικό τμήμα και είναι εκούσιες. Αποτελεί το τμήμα του εγκεφάλου όπου γίνεται η επεξεργασία των πληροφοριών και που ευθύνεται για τις επακόλουθες αντιδράσεις στις πληροφορίες, τη δημιουργία στόχων και τον σχεδιασμό της συμπεριφοράς. Χάρη σ' αυτόν αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον και αλληλοεπιδρούμε με οποιοδήποτε ερέθισμα, σκεφτόμαστε και μιλάμε. Τέλος είναι υπεύθυνο και για την αφηρημένη σκέψη. [47]

2.9.1.1.3 Περιοχή Διαφράγματος

Οι πυρήνες του διαφράγματος είναι υποφλοιώδεις πυρήνες οι οποίοι παίζουν ρόλο στις συναισθηματικές συμπεριφορές, στη σεξουαλική συμπεριφορά, στην επιθετική συμπεριφορά, και στην τροποποίηση της μνήμης και προσοχής. Οι δράσεις αυτές γίνονται δια μέσω του αυτόνομου νευρικού συστήματος.[46]

Αποτελείται από:

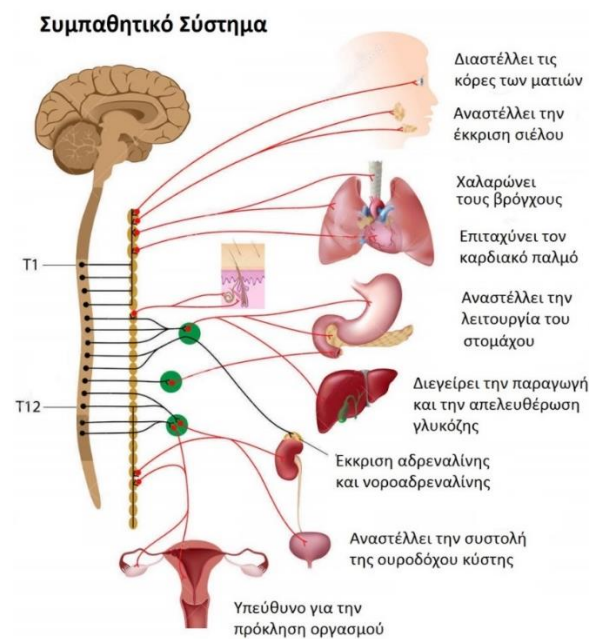
2.9.1.2 Συμπαθητικό και Παρασυμπαθητικό Νευρικό Σύστημα

Για την μεταφορά των ερεθισμάτων από και προς το ΚΝΣ, το ΑΝΣ διαθέτει απαγωγά και προσαγωγά νεύρα αντίστοιχα, από τα οποία τα πρώτα διακρίνονται σε συμπαθητικά και παρασυμπαθητικά (Streeten, 2010). Ο ρόλος τους είναι άκρως σημαντικός, καθώς χάρις την ταυτόχρονη ανταγωνιστική δράση τους ρυθμίζουν την τονική λειτουργία πολλών οργάνων και σπλαχνικών δομών (Walton, 1996) και συντελούν στην διατήρηση της ομοιόστασης. [28]

ΣΝΣ

Τα συμπαθητικά νεύρα είναι αυτά που ενεργοποιούν τον οργανισμό σε στρεσογόνες καταστάσεις και εν γένει καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, επιτρέποντας έντονη άσκηση και αυξημένη επαγρύπνηση. «Το συμπαθητικό νευρικό σύστημα αυξάνει με πολλούς τρόπους την ικανότητα του σώματος για έντονη μυϊκή δραστηριότητα, εξασφαλίζοντας έτσι πρόσθετη ενεργοποίηση του οργανισμού σε καταστάσεις υπερέντασης και σε πολλές συγκινησιακές καταστάσεις», όπως ο τραυματισμός, ο φόβος, η υπογλυκαιμία, το ψύχος ή η σωματική άσκηση. «Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται συμπαθητική αντίδραση υπερέντασης, γνωστό ως *strees*» (Βαρασμίδης, 2001) Στην ουσία προετοιμάζουν το σώμα για αντίδραση σε τέτοιου είδους ερεθίσματα, μέσα από ένα ταξίδι διασυνδέσεων προγαγγλιακών και μεταγαγγλιακών ινών με άλλα συμπαθητικά γάγγλια και εν τέλει με τα όργανα. [27], [28]

Αναλυτικότερα, τα συμπαθητικά νεύρα αποτελούνται από προγαγγλιακές και μεταγαγγλιακές ίνες. Η κεντρική μοίρα του συμπαθητικού συστήματος βρίσκεται στους πυρήνες της θωρακικής και της οσφυϊκής μοίρας του νωτιαίου μυελού. Κάθε προγαγγλιακή ίνα ξεκινά από το νωτιαίο μυελό (ΚΝΣ) και καταλήγει σε ένα γάγγλιο του συμπαθητικού στελέχους (ΑΝΣ). Εκεί ή συνάπτεται ή διασχίζει το στέλεχος και περνά σε ένα από τα νεύρα που ξεκινούν από αυτό για να συναφθεί στις μεταγαγγλιακές ίνες άλλου συμπαθητικού γαγγλίου. Στη συνέχεια κατευθύνεται στον προορισμό του σε κάποιο όργανο. [27]



Εικόνα 27: Συμπαθητικό Νευρικό Σύστημα

ΠΝΣ

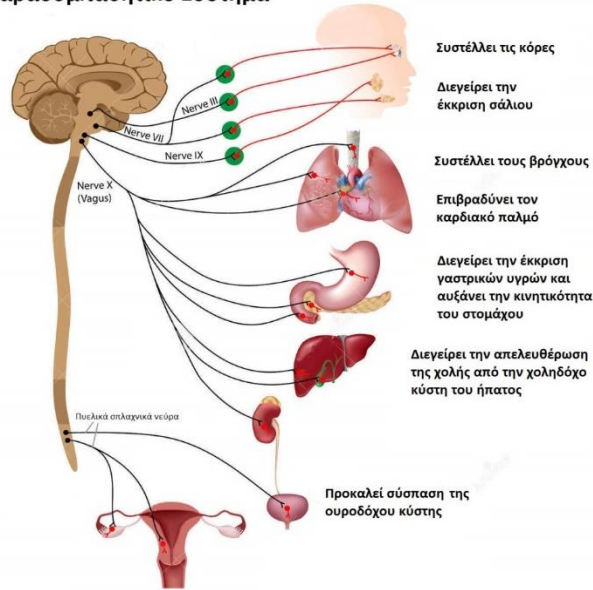
Το παρασυμπαθητικό σε αντίθεση με το συμπαθητικό έχει την τάση να αναστέλλει την έντονη ενεργητικότητα που προκαλεί το συμπαθητικό στα όργανα που νευρώνονται και από τα δύο (π.χ. καρδιά, σπλάχνα, αγγεία), ρυθμίζοντας και διατηρώντας σε φυσιολογικά επίπεδα την λειτουργία τους. Το παρασυμπαθητικό αποτελεί ισοτρόπο σύστημα, καθώς χάρη σ' αυτό επιτυγχάνεται αποκατάσταση των βλαβών του οργανισμού και η ισορροπία στην λειτουργία του. Συμμετέχει σε σημαντικές για την επιβίωσή μας διαδικασίες όπως η πέψη, αυξάνοντας την έκκριση των πεπτικών σιελογόνων αδένων και συντελώντας στην μετακίνηση της τροφής στον πεπτικό σωλήνα καθώς και στην αποβολή της από τον οργανισμό, μέσω της χαλάρωσης των σφιγκτήρων και της σύσπασης της ουροδόχου κύστης κατά την ούρηση.

Ακόμη παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία προσαρμογής του ματιού σε κοντινή όραση, προκαλώντας μύση. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα της αλληλεπίδρασης νευρικού συστήματος και ερεθισμάτων είναι η λειτουργία της συστολής και διαστολής του ματιού. Η ανταγωνιστική δράση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος, που νευρώνει το διαστολέα της κόρης, και του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος, που νευρώνει το σφιγκτήρα της κόρης, φέρνουν την ισορροπία στη λειτουργία της κόρης. Η ανταγωνιστική αυτή μεταξύ τους δράση οδηγεί σε αδιάκοπα ανεπαίσθητες μεταβολές στη διάμετρο της κόρης.

Οι προγαγγλιακές ίνες του παρασυμπαθητικού στελέχους εκφύονται από την κраниακή περιοχή (πυρήνες εγκεφάλου) και την ιερή περιοχή του νωτιαίου μυελού (πυρήνες που βρίσκονται στα πλάγια κέρατα της φαιάς ουσίας της ιερής μοίρας του). Οι ίνες αυτές καταλήγουν απευθείας, χωρίς σύνδεση σε επόμενο γάγγλιο, στο εκτελεστικό όργανο που πρόκειται να διεγείρουν. Εκεί συνδέονται με παρασυμπαθητικές μεταγαγγλιακές ίνες που εκφύονται από τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων και εξαπλώνονται στο όργανο.[27], [28]

Σε αντίθεση με το συμπαθητικό, η μεταβίβαση των μηνυμάτων του από τις προγαγγλιακές προς τις μεταγαγγλιακές ίνες και από αυτές προς τα εκτελεστικά όργανα γίνεται μέσω του νευροδιαβιβαστή ακετυλοχολίνη. «Ο νευροδιαβιβαστής αυτός συντίθεται στους χολινεργικούς νευρώνες από τη χολίνη και το ακετυλο-συνένζυμο Α, υπό την κατάλυση του ενζύμου ακετυλοτρασφεράση. Η παραγόμενη ακετυλοχολίνη αποθηκεύεται σε κυστίδια των νευρικών απολήξεων και απελευθερώνεται τόσο από τις προγαγγλιακές, όσο και από τις μεταγαγγλιακές απολήξεις των παρασυμπαθητικών ινών προς τη συναπτική σχισμή, παρουσία δυναμικού ενέργειας διαβιβάζοντας τις νευρικές ώσεις από και προς τα εκτελεστικά όργανα» (Μαθιουδάκης, 2012). Πέρα από τις ίνες του παρασυμπαθητικού στελέχους, η ακετυλοχολίνη απελευθερώνεται και από τις προγαγγλιακές ίνες του συμπαθητικού, καθώς και από ορισμένες μεταγαγγλιακές απολήξεις που νευρώνουν ιδρωτοποιούς αδένες και αγγεία σκελετικών μυών. Η δράση της μπορεί να είναι τόσο διεγερτική όσο και ανασταλτική, ανάλογα με τους υποδοχείς του μετασυναπτικού κυττάρου, παραδείγματος χάριν δρα διεγερτικά στις απολήξεις που νευρώνουν ιδρωτοποιούς αδένες. Η γαγγλιονική διαβίβαση με την ακετυλοχολίνη τελείται μέσω των νικοτινικών υποδοχέων, ενώ στις μεταγαγγλιακές συνάψεις, μέσω των συνδεδεμένων με πρωτεΐνη G, μουσκαρινικών υποδοχέων. Η μουσκαρινική μπορεί να διεγείρει τα τελικά όργανα στόχους, δεν διεγείρει όμως τους μεταγαγγλιακούς νευρώνες στα γάγγλια του αυτόνομου νευρικού συστήματος, ενώ η νικοτίνη διεγείρει τους μεταγαγγλιακούς νευρώνες και δεν επιδρά στα τελικά όργανα-στόχους.[26]

Παρασυμπαθητικό Σύστημα



Εικόνα 28: Παρασυμπαθητικό Νευρικό Σύστημα

Αν και τα περισσότερα όργανα του σώματος νευρώνονται και από τα δυο σκέλη του αυτόνομου όπως το μάτι, το πεπτικό σύστημα, η καρδιά, υπάρχουν τμήματα τα οποία δέχονται μόνο συμπαθητική νευρώση όπως οι ιδρωτοποιοί αδένες, οι ορθωτήρες μυς των τριχών, τα επινεφρίδια και τα περισσότερα αγγεία. Στα όργανα όπου δρουν ταυτόχρονα, η δράση τους είναι ανταγωνιστική με το ένα να επικρατεί συνήθως του άλλου. Όσον αφορά στη λειτουργία της καρδιάς για παράδειγμα, το συμπαθητικό αυξάνει τη συνολική δραστηριότητα της εντείνοντας τη συχνότητα συστολής του καρδιακού μυ, ενώ το παρασυμπαθητικό βοηθά στον κατευνασμό της υπερδιέγερσης, συντελώντας με αυτόν τον τρόπο στην ανάπαυσή της. Ένα άλλο παράδειγμα της διττής αυτής νευρώσης απαντάται στη λειτουργία των αιμοφόρων αγγείων στα οποία το συμπαθητικό δρα διεγερτικά αυξάνοντας τη προώθηση του αίματος από τη καρδιά και προκαλώντας ορισμένες φορές αύξηση αρτηριακής πίεσης. Αντίθετα το παρασυμπαθητικό μετριάζει την αρτηριακή πίεση διαστέλλοντας τα αγγεία.

Το συμπαθητικό σύστημα δρα σαν ενιαία λειτουργική μονάδα που συχνά ενεργοποιείται στο σύνολό της σε αντίθεση με το παρασυμπαθητικό που δρα μεμονωμένα επιδρώντας κάθε φορά σε συγκεκριμένα όργανα – στόχους. Το συμπαθητικό σκέλος παρά την συμμετοχή του σε ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, χάρη στην πληθώρα των μεταγαγγλιακών νευρώνων που διαθέτει, δεν είναι απαραίτητο για τη ζωή. Αντιθέτως το παρασυμπαθητικό, που ο ρόλος του στην ενεργοτρόπα δράση του συμπαθητικού είναι ανασταλτικός, είναι απαραίτητος για τη ζωή. Παρ' όλα αυτά, εάν ενεργοποιούνταν μαζικά, όπως το συμπαθητικό, θα προκύπταν ανεπιθύμητα συμπτώματα για τον οργανισμό. Πρακτικά τα δύο αυτά στελέχη του αυτόνομου νευρικού συστήματος συνεργάζονται αρμονικά για την ομαλή λειτουργία των οργάνων. Φυσιολογικά και τα δύο τμήματα εργάζονται σε συνδυασμό ώστε να ρυθμίζουν τη σπλαχνική δραστηριότητα (αναπνοή, καρδιοαναπνευστική λειτουργία, πέψη και συνοδός αδρενεργική δραστηριότητα). Γενικά το παρασυμπαθητικό επικρατεί του συμπαθητικού σε καταστάσεις όπως η ανάπαυση ή η πέψη.[27], [28]

I. Στέλεχος

- A. Περιέχει όλες εκείνες τις ίνες, που το διαπερνούν και ενώνουν λειτουργικά το νωτιαίο μυελό, τον πρόσθιο εγκέφαλο και την παρεγκεφαλίδα
- B. Περιέχει το δικτυωτό σχηματισμό και διάφορα κέντρα ολοκλήρωσης, περιλαμβανομένων και εκείνων που είναι υπεύθυνα για τη καρδιαγγειακή και την αναπνευστική δραστηριότητα (Κεφάλαια 14 και 15)
- Γ. Περιλαμβάνει τους πυρήνες των κρανιακών νεύρων από το III έως το XII

II. Παρεγκεφαλίδα

- A. Συντονίζει τις κινήσεις περιλαμβανομένων αυτών που αφορούν στη στάση και στην ισορροπία του σώματος (Κεφάλαιο 12)
- B. Συμμετέχει σε κάποιες μορφές μάθησης (Κεφάλαιο 13)

III. Πρόσθιος εγκέφαλος

A. Εγκεφαλικά ημισφαίρια

- 1. Περιλαμβάνουν τον εγκεφαλικό φλοιό ο οποίος συμμετέχει στην αντίληψη (Κεφάλαιο 9), τη γένεση των κινήσεων που απαιτούν επιδεξιότητα (Κεφάλαιο 12), τη λογική σκέψη, τη μάθηση και τη μνήμη (Κεφάλαιο 13)
- 2. Περιλαμβάνουν τους υποφλοιικούς πυρήνες, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που συμμετέχουν στο συντονισμό της δραστηριότητας των σκελετικών μυών (Κεφάλαιο 12)
- 3. Περιλαμβάνουν ίνες συνδετικών οδών

B. Θάλαμος

- 1. Είναι ένας ενδιάμεσος σταθμός συναπτικής μεταβίβασης για τις αισθητικές οδούς κατά την πορεία τους προς τον εγκεφαλικό φλοιό (Κεφάλαιο 9)
- 2. Συμμετέχει στον έλεγχο συντονισμού των σκελετικών μυών (Κεφάλαιο 12)
- 3. Παίζει ρόλο-κλειδί στη συνειδητοποίηση (Κεφάλαιο 13)

Γ. Υποθάλαμος

- 1. Ρυθμίζει τη λειτουργία της πρόσθιας υπόφυσης (Κεφάλαιο 10)
- 2. Ρυθμίζει την ομοίωση των σωματικών υγρών (Κεφάλαιο 16)
- 3. Συμμετέχει στη ρύθμιση του αυτόνομου νευρικού συστήματος (Κεφάλαια 8 και 18)
- 4. Ρυθμίζει τη συμπεριφορά της πρόσληψης τροφής και υγρών (Κεφάλαιο 18)
- 5. Ρυθμίζει το αναπαραγωγικό σύστημα (Κεφάλαια 10 και 19)
- 6. Ενισχύει ορισμένες συμπεριφορές (Κεφάλαιο 13)
- 7. Παράγει και ρυθμίζει τον περιεκοσιτετράωρο ρυθμό (Κεφάλαια 7, 9, 10 και 18)
- 8. Συμμετέχει στη γένεση της συναισθηματικής συμπεριφοράς (Κεφάλαιο 13)

Δ. Μεταϊχμιακό σύστημα

- 1. Συμμετέχει στη γένεση των συναισθημάτων και της συναισθηματικής συμπεριφοράς (Κεφάλαιο 13)
- 2. Παίζει ουσιαστικό ρόλο σε όλους τους τύπους μάθησης (Κεφάλαιο 13)

Εικόνα 29: Σύνοψη Λειτουργιών Σημαντικότερων Τμημάτων του Εγκεφάλου

2.9.2 Σωματικό Νευρικό Σύστημα

Αποτελεί ένα από τα δύο μέρη του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος και σε αντίθεση με το άλλο μέρος (ΑΝΣ) υπόκειται στη βούλησή μας και αφορά λειτουργίες του οργανισμού που γίνονται συνειδητά (π.χ. κίνηση άκρων, ομιλία, στροφή κορμού). Διαθέτει προσαγωγά νεύρα τα οποία μεταφέρουν αισθητικά σήματα από το δέρμα, τα μάτια κ.λπ. προς το ΚΝΣ και απαγωγά νεύρα που μεταφέρουν κινητικά σήματα από το ΚΝΣ (εγκέφαλο, νωτιαίο μυελό) στους σκελετικούς μυς. Οι σωματοκινητικοί νευρώνες, που νευρώνουν τους σκελετικούς μυς έχουν νευράξονες οι οποίοι οδεύουν στην περιφέρεια και θεωρούνται συχνά μέρος του σωματικού τμήματος παρ' όλο που τα κυτταρικά σώματα βρίσκονται στο ΚΝΣ. Είναι το τμήμα του ΠΝΣ που αλληλοεπιδρά με το εξωτερικό περιβάλλον και αποτελείται από νευρικές οδούς που δεν διακόπτονται, αλλά κατευθύνονται απευθείας προς το τελικό όργανο στόχο.[28]

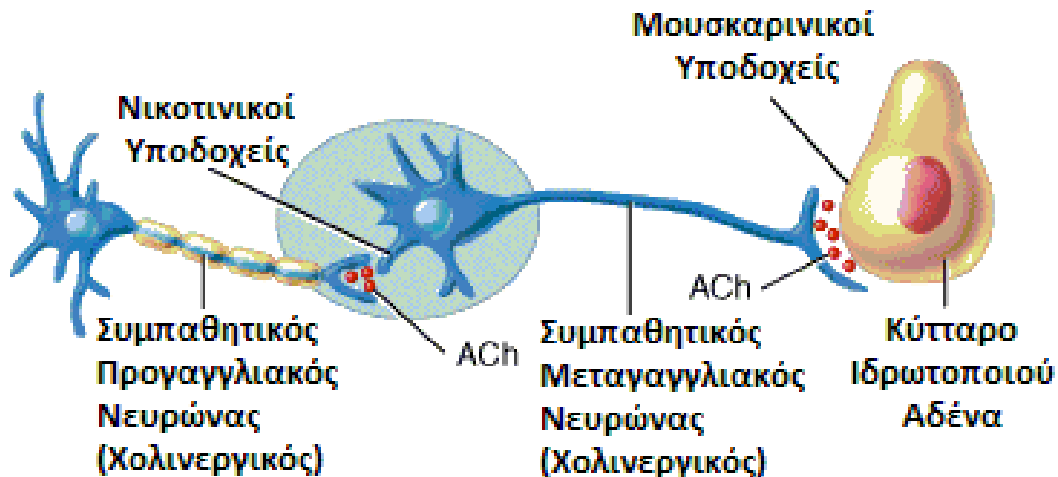
2.9.3 Ιδρωτοποιοί Αδένες και Α.Ν.Σ

Τα συμπαθητικά νεύρα που διανέμονται στους ιδρωτοποιούς αδένες αποτελούνται από μεγάλο αριθμό χολινεργικών υποδοχέων και μικρό αδρενεργικών υποδοχέων. Η επίδραση αυτών των αδρενεργικών υποδοχέων στην πρόκληση εφίδρωσης είναι ελάχιστη σε σχέση με την δράση της ακετυλοχολίνης, η οποία είναι ο κύριος νευροδιαβιβαστής που προκαλεί εφίδρωση. Η τοπική ή γενική χορήγηση ατροπίνης (ένας μουσκαρινικός ανταγωνιστής υποδοχέας) εξασθενεί κατά πολύ ή εξαφανίζει την εφίδρωση κατά τη διάρκεια μιας θερμικής πρόκλησης ή κατά τη διάρκεια εξωγενούς χορήγησης

ακετυλοχολίνης, επιβεβαιώνοντας περαιτέρω την κυριαρχία του χολινεργικού συστήματος και των μουσκαρινικών υποδοχέων στην ανθρώπινη εφίδρωση.

Οι ιδρωτοποιοί αδένες δεν επηρεάζονται άμεσα από το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα. Αντίθετα, αύξηση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος αυξάνει σημαντικά την ποσότητα ιδρώτα που εκκρίνεται. Είναι αξιοσημείωτο ότι πρόκειται για τον μόνο αδένα που αυξάνει τον όγκο της έκκρισής του κατά τον ερεθισμό του συμπαθητικού. Ακόμα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η δραστηριότητα των ιδρωτοποιών αδένων ελέγχεται από την έκκριση ακετυλοχολίνης πάνω σε μουσκαρινικούς υποδοχείς ενώ όλοι οι υπόλοιποι συμπαθητικοί νευρώνες χρησιμοποιούν νοροεπινεφρίνη(με μοναδική εξαίρεση αυτή των επινεφριδίων).

Γενικά όλες οι προγαγγλιακές νευρικές ίνες τόσο στο συμπαθητικό όσο και στο παρασυμπαθητικό είναι χολινεργικές. Σχεδόν όλες οι μεταγαγγλιακές νευρικές ίνες του παρασυμπαθητικού είναι χολινεργικές ενώ του συμπαθητικού είναι αδρενεργικές. Η μόνη εξαίρεση είναι αυτή των ιδρωτοποιών αδένων. [1]



Εικόνα 30: Συμπαθητική Νεύρωση Ιδρωτοποιών Αδένων

2.10 Ερέθισμα – Απόκριση

Έχοντας λοιπόν περιγράψει γενικά τα κυριότερα τμήματα που απαρτίζουν το νευρικό σύστημα θα αναφέρουμε εν συντομία τη διαδικασία που εκτελείται για την απόκριση του οργανισμού σε ένα ερέθισμα.

Τα αισθητικά συστήματα ανταποκρίνονται σε τέσσερις ιδιότητες ενός ερεθίσματος: τον τύπο του (τροπικότητα), την ένταση, τη θέση, και τη διάρκεια. Ο χρόνος άφιξης ενός ηχητικού παλμού και οι διαφορές φάσης στον συνεχή ήχο χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της πηγής που παράγει τον ήχο. Συγκεκριμένοι υποδοχείς είναι ευαίσθητοι σε συγκεκριμένο τύπο ερεθισμάτων(για παράδειγμα, διαφορετικοί μηχανοϋποδοχείς είναι ευαίσθητοι σε διαφορετικά είδη ερεθισμάτων αφής). Οι υποδοχείς στέλνουν παλμούς συγκεκριμένης μορφής προκειμένου να μεταδώσουν την πληροφορία ενός ερεθίσματος (για παράδειγμα, πόσο δυνατός είναι ένας ήχος). Καθώς οι νευρικοί παλμοί που

διαδίδονται στα νεύρα έχουν σταθερό πλάτος, η πληροφορία για την ένταση του ερεθίσματος κωδικοποιείται μέσω της συχνότητας των παλμών. Η θέση του υποδοχέα που διεγέρθηκε δίνει στο μυαλό πληροφορία για τη θέση της πηγής του ερεθίσματος (για παράδειγμα, η διεγερση ενός μηχανοϋποδοχέα σε κάποιο δάχτυλο θα στείλει στον εγκέφαλο πληροφορία ότι η πηγή του ερεθίσματος βρισκόταν σε εκείνο το δάχτυλο).

Το αισθητικό πεδίο είναι το συγκεκριμένο τμήμα του κόσμου στο οποίο ανταποκρίνονται συγκεκριμένα αισθητικά όργανα και κύτταρα. Για παράδειγμα, το εύρος των συχνοτήτων που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί, είναι το αισθητικό του πεδίο. Το φως που κάθε ραβδί ή κωνίο μπορεί να μετατρέψει σε νευρικό σήμα, είναι το αισθητικό τους πεδίο. Αισθητικά πεδία έχουν καθοριστεί για το οπτικό, το ακουστικό και σωματοαισθητικό σύστημα ως τώρα.

Η αίσθηση ξεκινά από την ανταπόκριση ενός συγκεκριμένου υποδοχέα σε ένα φυσικό ερέθισμα. Οι αισθητικοί υποδοχείς, αλλιώς γνωστοί και σαν αισθητικοί δέκτες, είναι ειδικά κύτταρα που αντιδρούν στο ερέθισμα και ξεκινούν τη διαδικασία της αίσθησης. Μετατρέπουν το ερέθισμα σε νευρικό παλμό, και εν συνεχεία σε ένα ηλεκτρικό σήμα προς τον εγκέφαλο. Κάθε τύπος υποδοχέα είναι ειδικευμένος σε κάποιο είδος ερεθίσματος, το λεγόμενο "ομόλογο ερέθισμα" του υποδοχέα.

Όλα τα ερεθίσματα που ανιχνεύονται από τους υποδοχείς μετατρέπονται σε ένα δυναμικό ενέργειας, έναν ηλεκτρικό παλμό που μεταδίδεται κατά μήκος ενός προσαγωγού νευρώνα και φτάνει σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του εγκεφάλου όπου θα γίνει η επεξεργασία και η ερμηνεία της πληροφορίας. Τα τμήματα αυτά αποτελούν τον αισθητικό φλοιό κάθε αίσθησης, και συνήθως αναφέρονται σαν εγκεφαλικά "κέντρα" κάθε μιας (το κέντρο της όρασης, της ακοής κ.λπ.), βρίσκονται δε σε διαφορετικά τμήματα του εγκεφάλου το καθένα. Για τις πέντε παραδοσιακές αισθήσεις, τα κέντρα αυτά είναι: ο σωματοαισθητικός φλοιός, ο οπτικός φλοιός, ο ακουστικός, ο οσφρητικός και ο γευστικός φλοιός. Κάθε αίσθηση έχει δυο πανομοιότυπα "κέντρα", ένα σε κάθε ημισφαίριο του εγκεφάλου. Ο νωτιαίος μυελός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη μεταφορά των πληροφοριών, καθώς από αυτόν περνούν όλα τα ερεθίσματα από κάθε σημείο του σώματος πλην του κεφαλιού. Όλες οι πληροφορίες που έρχονται από τα διάφορα αισθητήρια συστήματα, με εξαίρεση το οσφρητικό σύστημα, περνούν πρώτα από τον θάλαμο του εγκεφάλου, ο οποίος στη συνέχεια διανέμει τις πληροφορίες στα αντίστοιχα κέντρα.

Στην ψυχολογία, το αίσθημα και η αντίληψη αποτελούν στάδια της επεξεργασίας των πληροφοριών που λαμβάνονται από τις αισθήσεις όπως η όραση, η ακοή ή η αίσθηση του πόνου, τόσο στα ζώα όσο και στους ανθρώπους. Τα θέματα αυτά ενδιαφέρουν την ψυχολογία, παρά την ανατομία ή τη φυσιολογία, επειδή οι νοητικές διαδικασίες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αντίληψή μας για ένα ερέθισμα. Ακραία, περισσότερο ή λιγότερο, παραδείγματα αυτού αποτελούν αισθητικές καταστάσεις όπως η ψευδαίσθηση της κίνησης, η χρωματική συνέπεια, οι ακουστικές ψευδαισθήσεις, η παρειδωλία και η αίσθηση του βάθους.

Το αίσθημα είναι η λειτουργία των χαμηλού επιπέδου βιοχημικών και νευρολογικών γεγονότων που ξεκινούν με την επίδραση ενός ερεθίσματος πάνω στα κύτταρα-υποδοχείς ενός αισθητηρίου οργάνου. Είναι ο εντοπισμός των στοιχειωδών ιδιοτήτων ενός ερεθίσματος.

Η αντίληψη είναι η νοητική διαδικασία ή κατάσταση που αποτυπώνεται σε δηλώσεις του τύπου "βλέπω έναν μονόχρωμο μπλε τοίχο", που αντιπροσωπεύουν γνώση ή κατανόηση της αιτίας του αισθητηριακού ερεθίσματος στον πραγματικό κόσμο. Σκοπός του αισθήματος είναι ο εντοπισμός, ενώ της αντίληψης είναι να δημιουργήσει χρήσιμη πληροφορία για το περιβάλλον.

Με άλλα λόγια, το αίσθημα είναι ένα πρώτο στάδιο στη λειτουργία περιγραφής των ερεθισμάτων από το περιβάλλον, και η αντίληψη είναι μια ανώτερη νοητική λειτουργία για την ερμηνεία των γεγονότων και των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου.

Οι υποδοχείς είναι μετατροπείς πληροφορίας, καθώς μετατρέπουν, με διάφορους τρόπους, ένα ερέθισμα σε ηλεκτρικό σήμα. Για παράδειγμα, τα ραβδία, ένας τύπος υποδοχέων της όρασης, περιέχουν την πρωτεΐνη ροδοψίνη, η οποία όταν δεχτεί ένα φωτόνιο υφίσταται μια διαμορφωτική αλλαγή, που με τη σειρά της προκαλεί μια σειρά μοριακών και κυτταρικών μεταβολών που έχουν ως κατάληξη την απελευθέρωση ενός νευροδιαβιβαστή από το διπολικό κύτταρο που υπάρχει δίπλα στο ραβδίο.

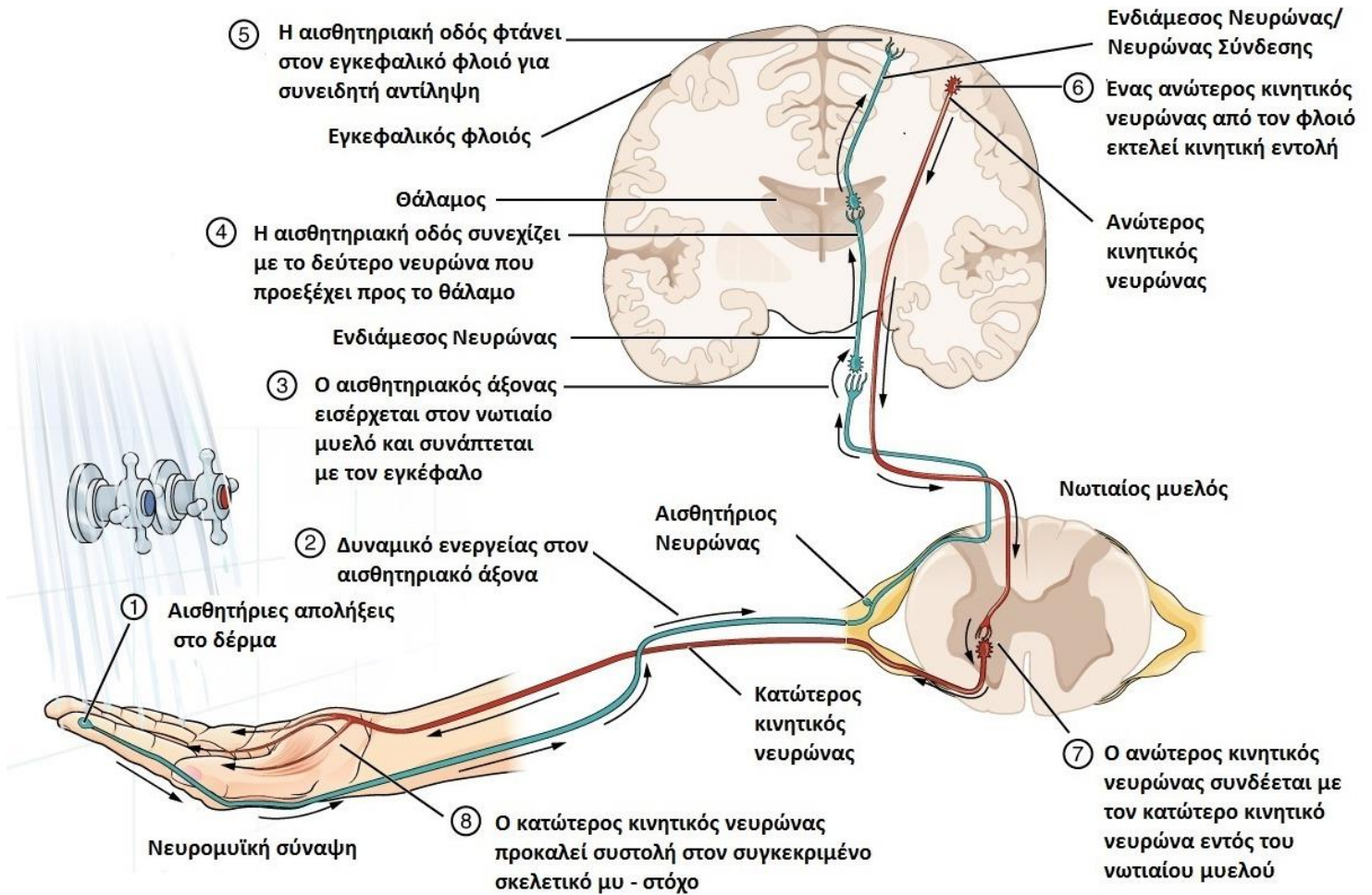
Τα σήματα που προκύπτουν από τη διέγερσή των υποδοχέων μεταδίδονται μέσα στα νεύρα μέσω ενός νευρικού σήματος, ενός δυναμικού ενέργειας. Αυτό το δυναμικό ταξιδεύει κατά μήκος ενός προσαγωγού νευρώνα, και τελικά θα καταλήξει σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου, ειδικευμένη για τη συγκεκριμένη αίσθηση, όπου θα υποστεί επεξεργασία και θα ερμηνευτεί. Η τιμή του δυναμικού ενέργειας είναι γύρω στα 30 mV, ενώ για να διεγερθεί ο υποδοχέας και να παραχθεί το δυναμικό ενέργειας πρέπει η ένταση του ερεθίσματος να ξεπεράσει ένα κατώφλι που λέγεται ουδός πυροδότησης.

Βασικοί τύποι υποδοχέων ανάλογα με την προέλευση των ερεθισμάτων είναι οι εξωδεκτικοί (που λαμβάνουν ερεθίσματα από το εξωτερικό περιβάλλον), ενδοδεκτικοί (που λαμβάνουν ερεθίσματα από το εσωτερικό του οργανισμού, π.χ. συγκέντρωση γλυκόζης ή οξυγόνου στο αίμα) και ιδιοδεκτικοί, που βρίσκονται στους μύες και τις αρθρώσεις και συλλέγουν πληροφορίες για τη θέση των μελών του σώματος και τις κινήσεις τους, υποστηρίζοντας την αίσθηση της ιδιοδεκτικότητας.

Τα βασικά είδη αισθητικών υποδοχέων, ανάλογα με το ερέθισμα που τους διεγείρει, είναι οι χημειοϋποδοχείς, φωτοϋποδοχείς, μηχανοϋποδοχείς και αλγοϋποδοχείς, υπάρχουν όμως και άλλα όπως οι θερμοϋποδοχείς, ωσμωυποδοχείς, υδροϋποδοχείς κ.α.

Μια τροπικότητα (ή αισθητηριακή ενότητα, modality) είναι ένας τύπος φυσικού φαινομένου που μπορεί να αναγνωρίσει το αισθητήριο σύστημα. Παραδείγματα αποτελούν η θερμοκρασία, η γεύση, ο ήχος και η πίεση. Ο τύπος του αισθητηριακού υποδοχέα που διεγείρεται από το ερέθισμα παίζει κεντρικό ρόλο στην αναγνώριση της τροπικότητας του ερεθίσματος.

Δεξιά πλευρά του εγκεφάλου Αριστερή πλευρά του εγκεφάλου



Εικόνα 31: Σχηματική Αναπαράσταση Ερεθίσματος – Απόκρισης

Κεφάλαιο 3 Θεωρητικά Κατασκευαστικού Τμήματος

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στους αισθητήρες, τα είδη και τα χαρακτηριστικά τους όπως επίσης και στα ολοκληρωμένα κυκλώματα και τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήσαμε στη κατασκευή του κυκλώματος/πλακέτας.

3.2. Αισθητήρες

Με τον όρο αισθητήρες περιγράφονται όλες εκείνες οι συσκευές που μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό -συνήθως- σήμα, που είναι άλλοτε τάση άλλοτε ρεύμα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των αισθητήρων. Ένας από αυτούς αφορά το τι μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας με πιο σημαντική διάκριση αυτή μεταξύ των φυσικών και χημικών αισθητήρων. Οι φυσικοί ελέγχουν φυσικά μεγέθη όπως μάζα, ρεύμα, χρόνο και σχετικά τους μεγέθη ενώ οι χημικοί ελέγχουν την παρουσία διαφορετικών αερίων σε συγκεκριμένη ατμόσφαιρα. Ένας δεύτερος τρόπος σχετίζεται με τα υλικά στις φυσικές ιδιότητες των οποίων βασίζεται η λειτουργία τον αισθητήρα, με κύριες κατηγορίες τους αισθητήρες με αγώγιμα, ημιαγώγιμα, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγώγιμα υλικά. Τέλος ένας τρίτος τρόπος κατηγοριοποίησης αναφέρεται στη χρήση που έχει ο αισθητήρας με σημαντικότερες κατηγορίες τους βιομηχανικούς, τους ιατρικούς, τους στρατιωτικούς, τους περιβαλλοντικούς αισθητήρες καθώς και τους αισθητήρες μεταφοράς και αυτοματισμού.[49][50]

Γενικά οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από ένα σύστημα μέτρησης αλλά και για τον έλεγχο των ίδιων των συστημάτων.[49] Ανάλογα με την μορφή της πληροφορίας που επιθυμούμε να μετρήσουμε κάνουμε επιλογή του αντίστοιχου αισθητήρα δίνοντας βάση στα χαρακτηριστικά, την καταλληλότητα της μορφής του, το κόστος του κ.α. επιλέγοντας συνήθως αυτούς που έχουν δυνατότητα συνεργασίας με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και κατ' επέκταση μπορούν να συνδεθούν με μικροεπεξεργαστές.

3.2.2 Είδη Αισθητήρων

Ο διαχωρισμός των αισθητήρων γίνεται είτε σύμφωνα με το μέγεθος που μετρούν είτε σε σχέση με τη λειτουργία τους. Έχουμε έτσι τις παρακάτω κατηγορίες.



Εικόνα 32: Είδη Βιο-Αισθητήρων

3.2.2.1 Επαγωγικοί, χωρητικοί και μαγνητικοί

Οι **επαγωγικοί Αισθητήρες** εκμεταλλεύονται το φυσικό φαινόμενο της μεταβολής του συντελεστή ποιότητας σε ένα κύκλωμα συντονισμού, η οποία οφείλεται σε απώλειες δινορευμάτων σε αγώγιμα υλικά. Αυτή η αρχή επιτρέπει την χωρίς επαφή ανίχνευση όλων των αγώγιμων υλικών (μεταλλικά αντικείμενα, γραφίτης κ.λπ.).

Οι **χωρητικοί Αισθητήρες** υπολογίζουν την μεταβολή της χωρητικότητας, που οφείλεται στην εισαγωγή ενός αντικείμενου σε ρόλο διηλεκτρικό στο ηλεκτρικό πεδίο ενός πυκνωτή. Οι χωρητικοί αισθητήρες προσέγγισης, αντίθετα με τους επαγωγικούς, δεν ανιχνεύουν μόνο αγώγιμα υλικά, όπως πχ τα μέταλλα, αλλά λόγω της αρχής λειτουργίας τους ανιχνεύουν επίσης και μη αγώγιμα υλικά, όπως κεραμικά, ξύλο, πλαστικό, γυαλί, υγρά κτλ.

Οι **μαγνητικοί Αισθητήρες** ανιχνεύουν χωρίς επαφή μαγνητικά αντικείμενα. Παρόλο που χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως και οι επαγωγικοί, η αρχή λειτουργίας τους επιτρέπει την ανίχνευση σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και από μικρούς διακόπτες. Οι μαγνητικοί αισθητήρες βοήθησαν στο να αναλυθούν και να ελεγχθούν εκατοντάδες παράγοντες για αρκετές δεκαετίες. Οι υπολογιστές έχουν απεριόριστη μνήμη χάρη στη χρήση μαγνητικών αισθητήρων στους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους και στις δισκέτες εγγραφής. Τα αεροπλάνα πετούν με υψηλότερα στάνταρ ασφαλείας εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας των διακοπών χωρίς επαφή οι οποίοι έχουν μαγνητικούς αισθητήρες. Οι βιομηχανίες έχουν υψηλή παραγωγικότητα εξαιτίας της υψηλής

σταθερότητας και του χαμηλού κόστους των μαγνητικών αισθητήρων. [51]

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ανιχνεύσεις το μαγνητικό πεδίο, οι περισσότεροι από αυτούς βασίζονται στην στενή σχέση μεταξύ των μαγνητικών και ηλεκτρικών φαινομένων. Ένα κοινό στοιχείο όλων των εφαρμογών είναι ότι οι μαγνητικοί αισθητήρες εξασφαλίζουν μία αξιόπιστη τεχνολογία συγκρινόμενοι με άλλες τεχνολογίες αισθητήρων.

3.2.2.2 Laser

Φωτοκύτταρα

Τα Φωτοκύτταρα έχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές αυτοματισμού, επειδή επιτρέπουν την ανίχνευση αντικειμένων με ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. Όπου υπάρχει περιορισμός χώρου ή και υψηλές θερμοκρασίες, η χρήση των οπτικών ινών επιτρέπει την υλοποίηση ιδιαίτερα αποτελεσματικών συστημάτων ανίχνευσης. Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των φωτοκυττάρων είναι η εξής: ένας δέκτης λαμβάνει το εκπεμπόμενο φως (ορατό ή μη ορατό, υπέρυθρο) και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα. Οι αισθητήρες laser αποτελούν τη λύση σε αμέτρητες βιομηχανικές εφαρμογές ειδικά, όταν το μέγεθος του προς ανίχνευση αντικειμένου είναι πολύ μικρό ή όταν αυτό βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Η μέτρηση ροής υγρών είναι απαραίτητη σε πολλές βιομηχανίες. Η ροή διακρίνεται σε ροή ανοιχτού καναλιού και σε ροή κλειστού αγωγού. Τα περισσότερα όργανα μετράνε την ροή έμμεσα και διαχωρίζονται σε αυτά που μετράνε ταχύτητα και σε αυτά που μετράνε πίεση ή στάθμη.[51]

Laser Υπερήχων

Οι αισθητήρες ροής υπερήχων doppler (φαινόμενο Doppler) μετρούν τη ροή εξωτερικά του αγωγού μέσω δετού αισθητήρα. Εκπέμπουν συνεχώς υπέρηχους στα 640 kHz που διασχίζουν τα τοιχώματα του σωλήνα και το τρεχούμενο υγρό. Ο ήχος ανακλάται πίσω στον αισθητήρα από σωματίδια ή φυσαλίδες που υπάρχουν στο υγρό. Για παράδειγμα, αν το υγρό ρέει, η ηχώ επιστρέφει σε διαφορετική συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας ροής. Οι μετρητές ροής doppler μετρούν διαρκώς αυτές τις μεταβολές συχνότητας για να υπολογίσουν τη ροή. Το «φαινόμενο doppler» παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1842 από έναν Αυστριακό φυσικό, τον Christian Doppler. Η τεχνική doppler εφαρμόζεται μόνο σε υγρά που περιέχουν σωματίδια ή φυσαλίδες που αντανακλούν το σήμα.

Υπάρχουν ορισμένα «δύσκολα» υγρά που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους κανονικούς μετρητές ροής: παχύρρευστα, κατακάθια, λήμματα, σπλιβωτικά, διαβρωτικά χημικά κλπ. Επιπλέον, λόγω της εξωτερικής εγκατάστασης του αισθητήρα δεν προκαλείται πτώση της πίεσης ή παρεμπόδιση του υγρού. Για καλύτερα αποτελέσματα οι αισθητήρες doppler πρέπει να τοποθετούνται μακριά από αναταράξεις και διαταραχές της ροής, όπως γωνίες σωληνώσεων και μακριά από εξαρτήματα επιτάχυνσης της ροής, όπως πχ βαλβίδες ελέγχου και αντλίες. Η τυπική ακρίβεια είναι $\pm 2\%$ της πλήρους κλίμακας. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα δετό αισθητήρα, καλώδιο σύνδεσης και μονάδα ελέγχου, που μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βολική θέση (εντός 150 m). Οι αισθητήρες αυτού του είδους θεωρούνται εξαιρετικά ασφαλείς για εφαρμογές σε επικίνδυνες περιοχές.[51], [52]

Laser Θερμιδομετρικοί

Σε πολλούς τομείς της βιομηχανικής παραγωγής τα υγρά και τα αέρια παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον ποιοτικό έλεγχο και στην ασφάλεια λειτουργίας. Οι ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής που βασίζονται στη θερμιδομετρική αρχή είναι οι πλέον κατάλληλοι για την ορθή επιτήρηση ροής. Οι

ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής βασίζονται στην αρχή της θερμικής αγωγιμότητας. Ο επιτηρητής ροής αποτελείται από έναν αισθητήρα, ο οποίος μετατρέπει το φυσικό μέγεθος σε ένα ηλεκτρικό σήμα και ένα ελεγκτή που μετατρέπει τα σήματα του αισθητήρα σε δυαδικό σήμα εξόδου. Ο αισθητήρας τοποθετείται εντός του μέσου σε επαφή με αυτό.

3.2.2.3 Πίεσης

Η πίεση και η μηχανική τάση έχουν τον ίδιο βασικό ορισμό, καθώς αποτελούν μέτρα της δύναμης που ασκείται πάνω σε μία επιφάνεια. Επομένως μετρούνται και τα δύο με τις ίδιες μονάδες, που είναι «νιούτον ανά τετραγωνικό μέτρο(Nm⁻²)». Η λέξη πίεση αποτελεί ένα γενικό όρο και γενικά είναι μία μορφή μηχανικής τάσης. Όταν αναλύουμε τη δύναμη που παράγεται από ένα ρευστό, για παράδειγμα τον αέρα ή κάποιο υγρό, χρησιμοποιούμε συνήθως τη λέξη «πίεση».

Η δύναμη που προκαλείται από ένα στερεό αντικείμενο ή ασκείται σε ένα στερεό αντικείμενο, αναφέρεται ως μηχανική τάση. Οι αισθητήρες που μετρούν την πίεση, η οποία ασκείται σε υγρά ή αέρια, ονομάζονται αισθητήρες πίεσης. Ένας μετατροπέας πίεσης ανιχνεύει ενέργεια με την μορφή πίεσης και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (ρεύμα ή τάση). Η σχέση ανάμεσα στην πραγματική ηλεκτρική έξοδο και στην θεωρητική κλίμακα της πίεσης του οργάνου ορίζεται ως η ακρίβεια του μετατροπέα ή μεταδότη. Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος στις βιομηχανικές εφαρμογές, στην διαχείριση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, όπως επίσης και σε μετεωρολογικούς σταθμούς.[51], [52]

Ελαστικοί αισθητήρες πίεσης

Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης (elastic pressure sensors) ονομάζονται έτσι, επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί ή παροδικά να παραμορφωθεί, όταν εφαρμόζεται σε αυτό μία πίεση.

Ένας μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτή τη μέτρηση. Έχει ονομαστεί από τον Eugene Bourdon και είναι ο πιο δημοφιλής μετρητής πίεσης. Οι σωλήνες Bourdon κατασκευάζονται στην απλούστερη περίπτωση από μεταλλικά κράματα, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο ορείχαλκος. Αποτελούνται από ένα σωλήνα με ελλειπτική ή οβάλ διατομή, ο οποίος είναι σφραγισμένος στο ένα άκρο. Ο σωλήνας συνδέεται με μία ενδεικτική βελόνα. Η βελόνα μετακινείται επάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα. Όταν εφαρμόζεται κάποια πίεση, η κίνηση του σωλήνα

είναι σχετικά μικρή και έτσι για να αυξηθεί η απόκλιση της βελόνας πραγματοποιείται μηχανική ενίσχυση. Στην περίπτωση μετρήσεων από απόσταση, η μετατόπιση που υφίσταται ο σωλήνας Bourdon λόγω αλλαγών πίεσης μπορεί να ανιχνευθεί από κάποιον κατάλληλο αισθητήρα μετατόπισης.

Υπάρχουν διάφορες μορφές σωλήνων Bourdon, όπως είναι ο σπειροειδής, ο ελικοειδής και ο συνεστραμμένος. Οι σωλήνες Bourdon τείνουν να είναι σχετικά φθηνοί, επειδή παράγονται μαζικά και έχουν μειωμένο κόστος παραγωγής. Είναι κατάλληλοι για χρήση σε υγρά και αέρια και χρησιμοποιούνται σε ευρύ πεδίο εφαρμογών, βιομηχανικών και οικιακών. Μερικοί αισθητήρες πίεσης ονομάζονται με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να μετρούν αυτήν την μετατόπιση, όπως οι πιεζοηλεκτρικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης.[51], [52]

Χωρητικοί Αισθητήρες Πίεσης

Η κατασκευή ενός χωρητικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης απεικονίζεται στο σχήμα 2.2.6. Το διάφραγμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σπλισμούς, οπότε το διάφραγμα και κάθε σπλισμός σχηματίζουν έναν πυκνωτή. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται σε γέφυρα, όπως φαίνεται στο σχήμα, η οποία ισορροπεί όταν η εφαρμοζόμενη πίεση είναι μηδέν. Η κίνηση του διαφράγματος εξαιτίας της εφαρμοζόμενης πίεσης μεταβάλλει τη χωρητικότητα των πυκνωτών, ισορροπία της γέφυρας διαταράσσεται και συνακόλουθα αναπτύσσεται τάση ανάλογη της πίεσης.[51]

Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης

Λόγω των δυναμικών χαρακτηριστικών λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών υλικών, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης (πχ. λόγω εκρήξεων, δονήσεων σε κινητήρες κλπ.).

Όταν εφαρμόζεται η μετρούμενη πίεση προκαλείται μετατόπιση του διαφράγματος. Για τη μέτρηση αυτής της μετατόπισης χρησιμοποιείται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.

Όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί αισθητήρες μετατόπισης, η μέθοδος ανίχνευσης της αλλαγής πίεσης χρησιμοποιεί ένα διάφραγμα. Ολοκληρώνοντας οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης μετρούν την πίεση διαφορετικά.

3.2.2.4 Θερμοκρασίας

Θερμοκρασία ονομάζεται ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σώμα, ουσία ή μέσο είναι θερμό σε σύγκριση με κάποιο άλλο. Όταν μετράμε τη θερμοκρασία συγκρίνουμε το βαθμό θερμότητας με κάποιο άλλο συγκεκριμένο σημείο αναφοράς χρησιμοποιώντας κάποιες θερμοκρασιακές κλίμακες. Η θερμοδυναμική κλίμακα Κέλβιν χρησιμοποιεί το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς. Η κλίμακα Κελσίου χρησιμοποιεί ως πρώτο σημείο αναφοράς το σημείο πήξης του νερού (0 °C) και ως δεύτερο σημείο αναφοράς το σημείο βρασμού του νερού (100 °C). Η θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των αισθητήριων και των τρόπων μέτρησης είναι ένας μακρύς δρόμος. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με αισθητήρες επαφής και υπέρυθρων.[51]



Εικόνα 33: Αισθητήρας Θερμοκρασίας

3.2.2.5 Στάθμης

Η μέτρηση στάθμης αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των διαδικασιών ελέγχου και χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανίες. Τέτοιες βιομηχανίες παρέχουν αισθητήρες για μέτρηση στάθμης σημείου/σημείων και συνεχούς μετρήσεως. Οι αισθητήρες στάθμης σημείου/σημείων χρησιμοποιούνται γενικά για

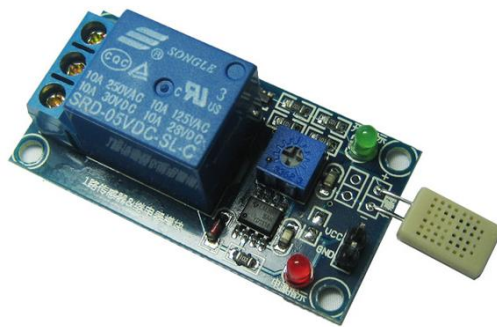
έλεγχου υψηλής/χαμηλής στάθμης, ελάχιστου και μέγιστου ύψους στάθμης ή για ενεργοποίηση συναγερμού. Οι αισθητήρες

στάθμης συνεχούς μέτρησης χρησιμοποιούνται για μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και εξασφαλίζουν συνεχή επιτήρηση στάθμης.[51]

3.2.2.6 Υγρασία

Η υγρασία είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, που μετρούνται μαζί με την θερμοκρασία. Η υγρασία είναι στην πράξη μόρια νερού στον αέρα και πολλές χημικές αντιδράσεις, διαδικασίες ξήρανσης, μετεωρολογικές παράμετροι ακόμα και οι συνθήκες εργασίας μέσα στα γραφεία επηρεάζονται από αυτήν. Πρέπει να διακρίνουμε την απόλυτη από την σχετική υγρασία του αέρα.

Η απόλυτη υγρασία είναι το βάρος του περιεχομένου του νερού στον αέρα, δηλαδή η πυκνότητα του νερού. Η μονάδα μέτρησης είναι gr/m^3 . Η σχετική υγρασία δείχνει το ποσοστό της μέγιστης δυνατής ποσότητας υδρατμού στον αέρα με αναφορά την θερμοκρασία τη στιγμή της μέτρησης. Η μέτρηση γίνεται επί τοις εκατό (%). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 34: Αισθητήρας Υγρασίας

3.2.2.7 Ταχύτητας

Η διατήρηση της ροής του αέρα σε επιθυμητό επίπεδο είναι κρίσιμη σε ορισμένες εφαρμογές, ειδικά σε συστήματα κλιματισμού, θέρμανσης και εξαερισμού. Η ταχύτητα αέρα (διανυόμενη απόσταση ανά μονάδα χρόνου) εκφράζεται συνήθως σε πόδια ανά λεπτό ή σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec). Ο όγκος του αέρα μπορεί να προσδιοριστεί πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του αέρα με την επιφάνεια της εγκάρσιας τομής ενός αγωγού. Συνήθως μετριέται σε κυβικά πόδια ανά λεπτό (cfm/s) ή κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h).[51]

3.2.2.8 Ανίχνευσης Αερίων/Χημικών

Η καθημερινή χρήση του αερίου (φυσικού ή υγραερίου) για μαγείρεμα, θέρμανση, ζεστό νερό, αλλά και η χρήση διαφόρων αερίων και των παραγώγων τους στη βιομηχανία δημιουργεί την ανάγκη ανίχνευσης των πιθανών διαρροών, που μπορεί να προκληθούν, είτε από το σύστημα διανομής, είτε ακόμη και από τις ίδιες τις συσκευές αερίου.

3.2.2.9 Έξυπνοι Αισθητήρες

Ο «έξυπνος αισθητήρας (smart sensor) είναι μια διάταξη η οποία περιέχει τουλάχιστον ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Ο όρος έξυπνος (smart) διατηρείται για να δηλώσει

την επιμέρους ή την ολοκληρωτική ενσωμάτωση της κύριας μονάδας επεξεργασίας, η οποία προσθέτει ευφυΐα.

Από την άλλη, ο ορισμός που προτάθηκε από τους Breckenbridge και Husson λαμβάνει κατά κάποιο τρόπο υπόψη την δουλειά, που έχει γίνει στην τεχνητή νοημοσύνη και έχει ως εξής : «Ο έξυπνος αισθητήρας από μόνος του έχει μία λειτουργία επεξεργασίας δεδομένων, όπως και μία λειτουργία αυτόματης βαθμονόμησης ή αυτόματης αντιστάθμισης, κατά την οποία ο αισθητήρας ανιχνεύει και εξαλείφει τις μη κανονικές ή τις ακραίες τιμές.

Ενσωματώνει έναν αλγόριθμο, ο οποίος είναι δυνατό να τροποποιηθεί και να έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό λειτουργιών μνήμης». Οι μέθοδοι σχεδιασμού διατάξεων αισθητήρων έχουν εξελιχθεί χρονικά σε διάφορα στάδια. Οι αισθητήρες «1ης γενιάς» συνδέονται με στοιχειώδη (ή καθόλου) ηλεκτρονικά κυκλώματα ενίσχυσης και επεξεργασίας του σήματος τους, ενώ οι αισθητήρες «2ης γενιάς» αποτελούν τμήμα αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στα οποία η ρύθμιση και η επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα γίνεται μακριά από τον αισθητήρα.[51], [52]

3.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων χωρίζονται σε στατικά και δυναμικά. Αναλύονται εν συντομία κάποια από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων.

3.2.3.1 Στατικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Τα στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων αναφέρονται στην κατάσταση όπου έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ μετρούμενου μεγέθους και του αισθητήρα. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει το μέγεθος που μετράται να παραμένει είτε σταθερό είτε η μεταβολή του να είναι πολύ αργή σε σχέση με τη δυνατότητα του αισθητήρα να αντιληφθεί αυτή τη μεταβολή. Τα σήματα εισόδου – εξόδου δεν μεταβάλλονται με το χρόνο. Τα χαρακτηριστικά αυτά μας επιτρέπουν την αξιολόγηση του αισθητήρα και μπορούν να επεκταθούν και στην επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα(ενίσχυση, φιλτράρισμα).[50]

Τα κυριότερα στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι:

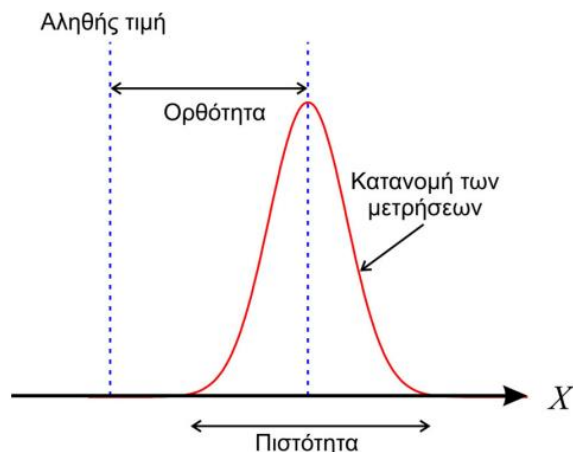
3.2.3.1.1 Ακρίβεια

Η ακρίβεια(accuracy) εκφράζει τη μέγιστη απόκλιση της τιμής που μετράται από την άγνωστη πραγματική του τιμή. Ορίζεται ως επί τοις εκατό ποσοστό της πλήρους κλίμακας του οργάνου. Εναλλακτικά εκφράζεται συναρτήσει των μονάδων του μετρούμενου μεγέθους. Για παράδειγμα αν έχουμε ένα μανόμετρο με ακρίβεια ± 0.1 atm σε κάθε μέτρηση που θα κάνουμε, σε όλο το εύρος των μετρούμενων τιμών, θα έχουμε αυτή τη μέγιστη απόκλιση από την πραγματική τιμή.[49]

3.2.3.1.2 Πιστότητα

Η πιστότητα (precision) του αισθητήρα περιγράφει ποιοτικά τη διασπορά των αποτελεσμάτων του φυσικού μεγέθους που μετράμε. Αυτό συνεπάγεται ότι ένας αισθητήρας υψηλής πιστότητας παρουσιάζει μικρή διασπορά στις ενδείξεις του σε σχέση με κάποιον που έχει χαμηλή πιστότητα. Η πιστότητα(precision) είναι διαφορετική από την έννοια της ακρίβειας(accuracy) πράγμα που σημαίνει

πως υψηλή πιστότητα δεν συνεπάγεται υψηλή ακρίβεια και το ανάποδο. Η ακρίβεια έχει να κάνει με συστηματικά σφάλματα που υπάρχουν κατά τη μέτρηση ενός μεγέθους ενώ η πιστότητα με αναπόφευκτα τυχαία σφάλματα του οργάνου μέτρησης. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως μπορούμε να περιορίσουμε ή ακόμα και να εξαλείψουμε τα συστηματικά σφάλματα μέσω της διακρίβωσης του οργάνου μέτρησης έτσι ώστε να βελτιώσουμε την ακρίβεια των μετρήσεών μας. Αντίθετα η πιστότητα αποτελεί ένα αμετάβλητο χαρακτηριστικό του κάθε οργάνου και δεν επιδέχεται διόρθωσης, πράγμα που σημαίνει ότι αν επιζητούμε μετρήσεις υψηλότερης πιστότητας χρησιμοποιούμε διαφορετικό όργανο που τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά μας παρέχουν αυτή τη δυνατότητα. Παρατίθεται και σχηματικά στην εικόνα XXXX η διαφορά μεταξύ ακρίβειας και πιστότητας.[49], [52]



Εικόνα 35: Σχηματική απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ Ορθότητας και Πιστότητας

3.2.3.1.3 Ευαισθησία

Ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι μια απόλυτη ποσότητα, η οποία ορίζεται ως ο λόγος των μεταβολών των τιμών στην έξοδο του προς τις αντίστοιχες τιμές της εισόδου. Αναφέρεται και ως συνάρτηση μεταφοράς. Αποτελεί δηλαδή τη μικρότερη απόλυτη ποσότητα αλλαγής που μπορεί να ανιχνευθεί από μια μέτρηση. Όταν ένα όργανο συμπεριφέρεται γραμμικά εμφανίζει σταθερή ευαισθησία σε όλο ου το εύρος.[49], [52]

3.2.3.1.4 Βαθμονόμηση/Διακρίβωση

Βαθμονόμηση ενός οργάνου είναι η ρύθμιση του οργάνου πριν από τη μέτρηση ώστε να εξασφαλιστεί η ορθότητα στην τιμή που μετράται. Αυτό γίνεται μετρώντας μια πρότυπη τιμή από μια διάταξη που ονομάζεται βαθμονομητήρας.

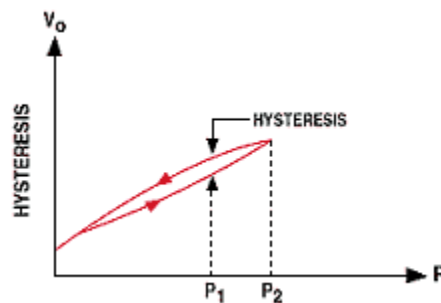
Διακρίβωση είναι «ο περιοδικός λεπτομερειακός έλεγχος και βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση πρότυπων οργάνων εξασφαλισμένης ορθότητας και σταθερότητας».[51]

3.2.3.1.5 Σφάλμα

Με τον όρο σφάλμα αναφερόμαστε στους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μετρήσεις μας και δεν μπορούν να εξαιρεθούν όπως επίσης και στην αβεβαιότητα που υπάρχει στη μέτρηση κάθε τιμής είτε λόγω του τρόπου εκτέλεσης της μέτρησης είτε λόγω της ακρίβειας των οργάνων. Οι δυο κύριες κατηγορίες σφαλμάτων είναι τα συστηματικά και τα τυχαία ή στατιστικά.[53]

3.2.3.1.6 Υστέρηση

Υστέρηση(hysteresis) είναι η απόκλιση στη μέτρηση μιας συγκεκριμένης τιμής του μετρούμενου μεγέθους όταν η κατεύθυνση προς τη τιμή είναι αυξανόμενη ή μειούμενη. Κύριος λόγος εμφάνισής της στα όργανα μέτρησης είναι τα κινητά μέρη του οργάνου όπως ρουλεμάν ή γρανάζια ή ελατήρια στα οποία παραμένουν τάσεις για κάποιο χρόνο μετά τη μέτρηση επηρεάζοντας έτσι τις επόμενες μετρήσεις. Για παράδειγμα σε ένα ζυγό τοποθετούμε 2 βαρίδια των 10kg έκαστο. Η πρώτη ένδειξη είναι 20kg ενώ μόλις αφαιρεθεί το ένα από τα δυο βαρίδια η καινούργια μας ένδειξη είναι 9.9kg. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η έννοια της υστέρησης.[49], [52]



Εικόνα 36: Υστέρηση

3.2.3.1.7 Νεκρή ζώνη

Νεκρή ζώνη (dead band) είναι το πεδίο των τιμών εισόδου που το όργανο δεν υφίσταται αλλαγή στην ένδειξη. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα τα όργανα που εμφανίζουν υστέρηση εμφανίζουν και νεκρή ζώνη αλλά υπάρχουν και όργανα που δεν εμφανίζουν υστέρηση αλλά παρ' ολ' αυτά έχουν νεκρή ζώνη, όπως για παράδειγμα τα όργανα που διαθέτουν μηχανισμό με γρανάζια.[52]

3.2.3.1.8 Εύρος Τιμών

Το εύρος (range)ενός αισθητήρα μέτρησης ισούται με την απόσταση που έχει η ελάχιστη από τη μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει το συγκεκριμένο όργανο. Το αλγεβρικό άθροισμα δηλαδή της ελάχιστης και της μέγιστης δυνατής μετρούμενης τιμής του οργάνου. Για παράδειγμα ένα θερμομέτρου με τιμές από -50°C έως 120°C έχει εύρος $120 - (-50) = 170^{\circ}\text{C}$. [49], [52]

3.2.3.1.9 Επαναληψιμότητα

Με τον όρο αυτό αποδίδεται η έννοια της απόκλισης στις τιμές όταν έχουμε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου μεγέθους σε ελάχιστο χρονικό διάστημα ή μία από την άλλη διατηρώντας τις ίδιες συνθήκες μέτρησης, το ίδιο όργανο, περιβαντολογικές συνθήκες κ.α.[52]

3.2.3.1.10 Κατώφλι

Κατώφλι (threshold) είναι η ελάχιστη μεταβολή του μεγέθους από μηδενική τιμή η οποία είναι ανιχνεύσιμη από το όργανο μέτρησης. Μπορεί να δίνεται ως απόλυτη τιμή είτε ως ποσοστό του εύρους εξόδου του οργάνου.[52]

3.2.3.2 Δυναμικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Εκτός από τα στατικά χαρακτηριστικά, κάθε αισθητήρας διαθέτει και δυναμικά χαρακτηριστικά. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης αφορούν την απόκριση του οργάνου όταν το σήμα είναι χρονικά μεταβαλλόμενο. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά περιγράφουν τη συμπεριφορά του οργάνου ανάμεσα στα χρονικά σημεία της αλλαγής της τιμής του φυσικού μεγέθους και της σταθεροποίησης της ένδειξης του οργάνου. Και τα δυναμικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα όπως και τα στατικά, ισχύουν εντός του εύρους συνθηκών του αισθητήρα. Η απόκριση αυτή χαρακτηρίζεται από μια δυναμική συμπεριφορά που δε μπορεί να περιγραφεί επαρκώς από τα στατικά χαρακτηριστικά του καθώς οι αισθητήρες περιλαμβάνουν στοιχεία που συσσωρεύουν ενέργεια όπως πυκνωτές, πηνία, θερμικά στοιχεία κ.α. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά προσδιορίζονται εξετάζοντας την απόκριση του αισθητήρα σε διάφορες κυματομορφές του σήματος εισόδου όπως ώθησης, γραμμικές, θορύβου κ.α. Παρατίθεται πίνακας με τα επιθυμητά δυναμικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα, που όμως παραμένουν ιδανικά καθώς σε μια πραγματική διάταξη τόσο το ηλεκτρονικό κύκλωμα όσο και περιβαντολογικοί παράγοντες και πιθανά κατασκευαστικά προβλήματα κάνουν τα χαρακτηριστικά να διαφέρουν. Τα όργανα χωρίζονται γενικά σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή της απόκρισής τους σε δυναμικά σήματα και είναι όργανα μηδενικής, πρώτης και δεύτερης τάξης.[50]

3.3 Ολοκληρωμένα Κυκλώματα(IC's) και Ηλεκτρόδια

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε σε γενικές πληροφορίες για την ιστορία, τη εξέλιξη αλλά και τα κύρια χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Αρχικά, όλα τα ψηφιακά κυκλώματα κατασκευάζονται με ολοκληρωμένα κυκλώματα (Integrated Circuits / IC), όπου ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα σε σμίκρυνση που αποτελείται κυρίως από ημιαγώγιμα αλλά και παθητικά στοιχεία όπως διόδους, τρανζίστορ, αντιστάσεις που τοποθετούνται στην επιφάνεια του λεπτού υποστρώματος ενός ημιαγώγιμου υλικού. Πάνω σε ένα κεραμικό ή πλαστικό περίβλημα τοποθετείται το chip και ενώνονται και συγκολλούνται οι επαφές του με εξωτερικούς ακροδέκτες "pins", για να σχηματιστεί τελικά το ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους σύμφωνα με τη διαδικασία κατασκευής, δομής και τρόπου λειτουργίας τους: σε αναλογικά, σε ψηφιακά και σε υβριδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Τα ICs που λειτουργούν μόνο σε λίγα καθορισμένα επίπεδα αντί να λειτουργούν σε όλα τα επίπεδα του πλάτους του σήματος ονομάζονται ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Αυτά σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας πολλαπλούς αριθμούς ψηφιακών πυλών, πολυπλέκτες, flip flops, και άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα κυκλωμάτων. Οι λογικές πύλες λειτουργούν με δυαδικά δεδομένα εισόδου ή ψηφιακά δεδομένα εισόδου όπως 0 ή 1. Αυτά τα ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται συχνά στους υπολογιστές, τους μικροεπεξεργαστές, τους επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων, τα δίκτυα υπολογιστών και τους μετρητές συχνότητας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ψηφιακών ολοκληρωμένων όπως προγραμματιζόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα, μνήμες, λογικά ολοκληρωμένα κυκλώματα, ενσωματωμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα διαχείρισης ενέργειας και διασυνδέσεις IC.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που λειτουργούν σε ένα συνεχές εύρος σήματος ονομάζονται αναλογικά IC. Αυτά υποδιαιρούνται ως γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (γραμμικά IC) και ολοκληρωμένα κυκλώματα ραδιοσυχνότητας (ICs). Στην πραγματικότητα, η σχέση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος μπορεί να είναι μη γραμμική σε μερικές περιπτώσεις σε ένα μεγάλο εύρος του συνεχούς αναλογικού σήματος. Ο αναλογικός IC είναι ένας λειτουργικός ενισχυτής και απλά ονομάζεται op-amp, παρόμοιο με το διαφορικό ενισχυτή, αλλά διαθέτει πολύ υψηλό κέρδος τάσης. Αποτελείται από πολύ μικρότερο αριθμό τρανζίστορ σε σύγκριση με τα ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα και, για την ανάπτυξη ειδικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αναλογικής εφαρμογής (αναλογικά ASIC), χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης μέσω υπολογιστή.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που λαμβάνονται από τον συνδυασμό αναλογικών και ψηφιακών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε ένα ενιαίο chip ονομάζονται μικτά IC. Αυτά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα λειτουργούν ως μετατροπείς ψηφιακού σε αναλογικό(D / A), μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (A / D) και ενσωματωμένων χρονιστών. Αυτό το σύστημα είναι ένα αποτέλεσμα των προόδων στην τεχνολογία ενσωμάτωσης, που επέτρεψε την ενσωμάτωση ψηφιακών, πολλαπλών αναλογικών και RF λειτουργιών σε ένα ενιαίο τσιπ.[54], [55]



Εικόνα 37: Ολοκληρωμένα Κυκλώματα

3.3.1 Χαρακτηριστικά Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα κάποια από τα οποία είναι το πολύ μικρό τους μέγεθος, η μικρή κατανάλωση ισχύος, το χαμηλό κόστος παραγωγής και η υψηλή αξιοπιστία και ταχύτητα λειτουργίας τους.

Το πρώτο και κύριο χαρακτηριστικό του IC είναι ότι πραγματοποιεί, με ανεξάρτητο τρόπο μια καθορισμένη συχνά πολύ πολύπλοκη λειτουργία αντίθετα με άλλες στοιχειώδεις ηλεκτρονικές διατάξεις όπως αντιστάτες ή πυκνωτές που δεν μπορούν να εκπληρώσουν ανάλογη λειτουργία αν δεν συνεργαστούν/συνδεθούν με άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι το γεγονός ότι εμφανίζουν αυξημένη λειτουργική πολυπλοκότητα σε σχέση με όλες τις θεμελιώδεις διατάξεις ενώ ταυτόχρονα δεν υποβαθμίζονται, αντιθέτως εμφανίζονται όλες οι κύριες παράμετροι όπως πιστότητα, κόστος κ.α. εμφανώς βελτιωμένες.

Τα ICs εμφανίζουν προτίμηση στα ενεργά στοιχεία, αυτά δηλαδή που παράγουν ενέργεια(π.χ. τρανζίστορ), παρά στα παθητικά, αυτά δηλαδή που αποθηκεύουν ενέργεια(π.χ αντιστάτες). Έτσι στο ίδιο chip τοποθετούνται όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία ελάχιστης επιφάνειας που είναι χαρακτηριστικό των ενεργών στοιχείων.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των ICs αφορά στο γεγονός ότι πάνω στο chip τα γειτονικά στοιχεία απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από 100μm και λόγω αυτού επωφελούμαστε μειώνοντας την επίδραση των θερμικών μεταβολών και της διασποράς των παραμέτρων. [55]

3.3.2 Ταξινόμηση ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

Συνήθως τα IC ταξινομούνται με βάση την πυκνότητα/πολυπλοκότητα των πυλών που υπάρχουν πάνω στο chip σε τέσσερις κατηγορίες

3.3.2.1 SSI (Small Scale Integration)

Η πρώτη κατηγορία είναι τα IC's μικρής κλίμακας ολοκλήρωσης ή SSI τα οποία περιέχουν από 1 έως 10 τρανζίστορ ή 1 έως 12 λογικές πύλες σε ένα ενιαίο πλαστικό περίβλημα. Τα κυκλώματα μικρής κλίμακας ολοκλήρωσης υπήρξαν πολύ σημαντικά στα πρώτα διαστημικά προγράμματα και στα πρώτα πυραυλικά συστήματα.

3.3.2.2 MSI(Medium Scale Integration)

Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα IC's μεσαίας κλίμακας ολοκλήρωσης που αποτελούνται από 10 ως 500 τρανζίστορς ή από 13 ως 99 λογικές πύλες. Τα ολοκληρωμένα αυτής της κατηγορίας κοστίζουν ελάχιστα περισσότερο στην παραγωγή τους από τα μικρής κλίμακας ολοκλήρωσης και μπορούν να επιτελέσουν πολυπλοκότερες διεργασίες(αθροιστές, αποκωδικοποιητές, πολυπλέκτες, flip-flop).

3.3.2.3 LSI (Large Scale Integration)

Στη κατηγορία αυτή συναντούμε τα ολοκληρωμένα κυκλώματα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης ή LSI που αποτελούνται από 500 έως 20000 τρανζίστορ πάνω στο chip ή 100 έως 9999 λογικές πύλες.

Τέτοιου είδους ολοκληρωμένα ξεκίνησαν να παράγονται γύρω στο 1974 κυρίως για την κύρια μνήμη υπολογιστών και δεύτερης γενιάς μικροεπεξεργαστών.

3.3.2.4 VLSI (Very Large Scale Integration)

Η τέταρτη κατηγορία είναι τα ολοκληρωμένα πολύ μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης ή VLSI όπου εμφανίζουν από 20000 ως 1000000 τρανζίστορ ή 10000 ως 99999 λογικές πύλες. Είναι ικανά για υπολογιστικές εργασίες υψηλού επιπέδου όπως επεξεργαστές, μεγάλες συστοιχίες μνήμης και προγραμματιζόμενες διατάξεις λογικής.

Στη τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα εξαιρετικά μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης ή ULSI (Ultra Large Scale Integration) τα οποία έχουν πάνω από 1000000 τρανζίστορ ή περισσότερες από 100000 λογικές πύλες ενσωματωμένα σε ένα μόνο chip ημιαγωγού πυριτίου. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και είναι διάδοχος της LSI τεχνολογίας αλλά βρίσκεται στη ίδια κατηγορία με αυτή των VLSI.



Εικόνα 38: Τεχνολογία VLSI

Εκτός από το βαθμό ολοκλήρωσης χρησιμοποιούμε και έναν άλλο όρο, την πυκνότητα στοιχείων, δηλαδή τον αριθμό των στοιχείων (τρανζίστορ) ανά μονάδα επιφάνειας του τσιπ. Αυτό το μέγεθος χαρακτηρίζει κυρίως τη στάθμη της τεχνολογίας. [56]

3.4 Μικροεπεξεργαστές

3.4.1 Εισαγωγικά

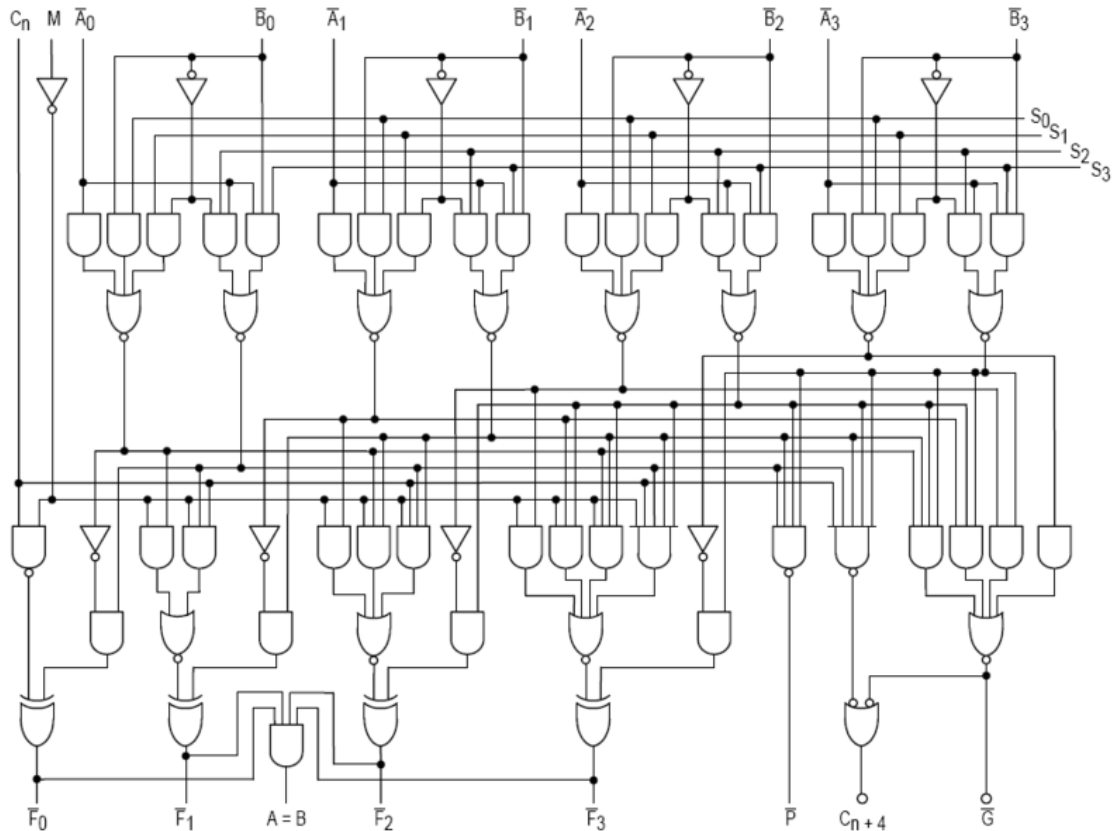
Η εμφάνιση της τεχνολογίας των IC σε συνδυασμό με την επιθυμία για κατασκευή συστημάτων αυξημένων δυνατοτήτων στο ελάχιστο δυνατό μέγεθος, είχε ως αποτέλεσμα να ενσωματωθεί ολόκληρη η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) σε ένα μόνο IC, η οποία όμως θα έπρεπε αν προγραμματίζεται έτσι ώστε να περιέχει τις δυνατότητες ενός ψηφιακού υπολογιστή. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται μικροεπεξεργαστής. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με μια σειρά από εντολές γραμμένες σε γλώσσα μηχανής που εκτελούνται από τον μικροεπεξεργαστή και είναι αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη. Οι εντολές είναι κωδικοποιημένες σε μια σειρά από δυαδικά ψηφία. Ο μικροεπεξεργαστής είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του υπολογιστή ενώ η λειτουργικότητά του εξαρτάται από το σύνολο των εντολών που μπορεί να εκτελέσει. [56]

3.4.2 Μονάδες του μικροεπεξεργαστή

Ο σύγχρονος μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες: τη μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών, μια ή και περισσότερες αριθμητικές και λογικές μονάδες (ALU), την μονάδα ελέγχου, καταχωρητές, τη μονάδα προσκόμισης και την ομάδα προστασίας, το εσωτερικό ρολόι που συντονίζει τα υπόλοιπα εξαρτήματα μέσω της αποστολής περιοδικών σημάτων.

3.4.2.1 Αριθμητική και Λογική Μονάδα (ALU)

Η μονάδα του μικροεπεξεργαστή στην οποία εκτελούνται όλες οι λογικές ή αριθμητικές πράξεις όπως αυτές υπαγορεύονται από τις εντολές που έχουν δοθεί ονομάζεται αριθμητική και λογική μονάδα, εν συντομία ALU. Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν ακέραιες αριθμητικές πράξεις(πρόσθεση, αφαίρεση, πολ/σμο, διαίρεση), λογικές πράξεις(ΚΑΙ, ΟΧΙ, Η), και ολίσθηση, μετατόπιση ή περιστροφή μια λέξης ή ενός καθορισμένου αριθμού bits. Η ALU αποτελείται αποκλειστικά από συνδυαστική λογική. Διαθέτει δύο εισόδους και μια έξοδο καθώς και δυο καταχωρητές ώστε να συγκρατεί τα δεδομένα στις εισόδους.[57]



Εικόνα 39: Αριθμητική και Λογική Μονάδα 74181 TTL 4 bits

3.4.2.2 Καταχωρητές (Registers)

Οι καταχωρητές(registers) είναι ένας τύπος μικρής και πολύ γρήγορης μνήμης που αποτελείται από ένα σύνολο δυαδικών στοιχείων αποθήκευσης (flip-flops). Ο αριθμός των bits σε έναν καταχωρητή εξαρτάται από τον τύπο και τη διεύθυνση των δεδομένων. Οι καταχωρητές παίζουν σημαντικό ρόλο

στις λειτουργίες της CPU. Ο μικροεπεξεργαστής συλλέγει δεδομένα από έναν από τους καταχωρητές για να κάνει αριθμητικές ή λογικές λειτουργίες. Μόλις τελειώσει η λειτουργία, αποθηκεύει το αποτέλεσμα στον καταχωρητή. Τα δεδομένα φορτώνονται συνήθως από τη μνήμη στον καταχωρητή και όμοια τα δεδομένα που προκύπτουν θα φορτωθούν από τους καταχωρητές στη μνήμη. Τα κυριότερα είδη καταχωρητών είναι ο συσσωρευτής(accumulator), ο μετρητής προγράμματος(program counter), ο δείκτης στοίβας(stack pointer), ο καταχωρητής εντολών(instruction register) και ο καταχωρητής κατάστασης(status register). Θα αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά των επιμέρους καταχωρητών εκτενέστερα.[57]

3.4.2.2.1 Συσσωρευτής (Accumulator)

Ο συσσωρευτής είναι ένας πολύ σημαντικός καταχωρητής για τις εργασίες που εκτελούνται στον μικροεπεξεργαστή. Χρησιμοποιείται ως πηγή αποθήκευσης για τον ένα από τους τελεστές στην αριθμητική και λογική μονάδα (ALU) και είναι επίσης ο προορισμός του αποτελέσματος. Συνήθως αντιπροσωπεύεται από ένα σύμβολο, A.[57]

3.4.2.2.2 Μετρητής Προγράμματος (Program Counter)

Ο μετρητής προγράμματος (PC) είναι ένας καταχωρητής που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της διεύθυνσης της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί στη συνέχεια στην ακολουθία των λειτουργιών. Η εκτέλεση του προγράμματος αρχικοποιείται με τη φόρτωση του μετρητή προγράμματος από τη διεύθυνση της πρώτης εντολής του προγράμματος. Μόλις εκτελεστεί η πρώτη εντολή, ο καταχωρητής αυξάνεται αυτόματα για να δείξει την επόμενη εντολή εκτός αν είναι απαραίτητο ένα άλμα σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το τέλος του προγράμματος.

3.4.2.2.3 Καταχωρητής Εντολών (Instruction Register)

Κατά τον υπολογισμό, ένας καταχωρητής εντολών (IR) είναι το τμήμα της μονάδας ελέγχου της CPU που κατέχει την τρέχουσα εντολή που εκτελείται ή αποκωδικοποιείται. Σε απλούς επεξεργαστές, κάθε εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί φορτώνεται στον IR που την κρατάει ενώ είναι αποκωδικοποιημένη, προετοιμασμένη και τελικά εκτελούμενη, διαδικασία η οποία μπορεί να πάρει αρκετά βήματα.[58]

3.4.2.2.4 Δείκτης Στοίβας (Stack Pointer)

Μια στοίβα είναι μια σειρά από μητρώα που οργανώνονται σε μορφή Last In First Out (LIFO), όπου η τελευταία πληροφορία, που τοποθετείται στη στοίβα, είναι και η πρώτη που θα πρέπει να αποσπαστεί. Η κορυφή του στοιχείου υποδεικνύεται πάντοτε από έναν καταχωρητή ειδικού σκοπού που ονομάζεται δείκτης στοίβας (SP). Αυτός περιέχει την τελευταία πληροφορία που τοποθετήθηκε στη στοίβα. Το μέγεθος του δείκτη στοίβας είναι ίσο με το μήκος της διεύθυνσης.[57], [58]

3.4.2.2.5 Καταχωρητής Κατάστασης Μικροεπεξεργαστή (Status Register)

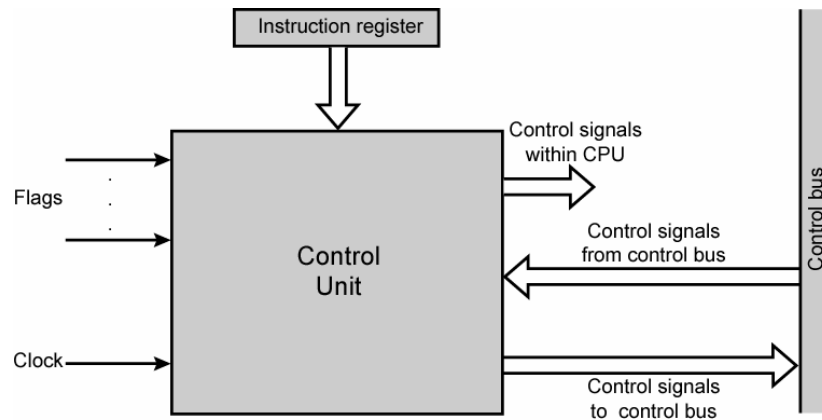
Βρίσκεται στην ALU. Συνήθως αποτελείται από ένα σύνολο από δυαδικά ψηφία (bits), που ονομάζονται δείκτες (flags) ή σημαίες κατάστασης. Αυτά χρησιμοποιούνται για να δείχνουν στο χρήστη την παρούσα κατάσταση του μικροεπεξεργαστή, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αποτελεσμάτων της προηγούμενης πράξης. Όλοι οι μικροεπεξεργαστές είναι σε θέση μέσω του καταχωρητή κατάστασης να υποδείξουν ένα μηδενικό αποτέλεσμα (zero), ένα αρνητικό αποτέλεσμα (negative), ένα κρατούμενο (carry), μία υπερχείλιση (overflow), κ.λπ.[57]

3.4.2.3 Μονάδα Ελέγχου (Control Unit)

Η μονάδα ελέγχου (CU) είναι ένα στοιχείο της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) ενός υπολογιστή που κατευθύνει τη λειτουργία του επεξεργαστή. Ρυθμίζει τη μνήμη του υπολογιστή, την αριθμητική / λογική μονάδα και τις συσκευές εισόδου και εξόδου σχετικά με τον τρόπο ανταπόκρισής τους στις οδηγίες ενός προγράμματος.

Κατευθύνει τη λειτουργία των άλλων μονάδων παρέχοντας σήματα χρονισμού και ελέγχου. Οι περισσότεροι πόροι υπολογιστών διοικούνται από το CU. Κατευθύνει τη ροή δεδομένων μεταξύ της CPU και των άλλων συσκευών. Στα σύγχρονα σχέδια ηλεκτρονικών υπολογιστών, η μονάδα ελέγχου είναι συνήθως ένα εσωτερικό τμήμα της CPU με τον γενικό ρόλο και τη λειτουργία της αμετάβλητη από την εισαγωγή της.

Η βασική πηγή για όλα τα σήματα ελέγχου, που κατευθύνουν τις συσκευές του συστήματος, είναι το ρολόι. Οι απαιτήσεις για χρονισμό σ' ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα ποικίλλουν από σχετικά μεγάλης διάρκειας παλμούς μέχρι πολύ μικρής διάρκειας. Η φύση των σημάτων χρονισμού είναι τέτοια ώστε οι παλμοί να εμφανίζονται και να διαρκούν μόνο για ένα απαιτούμενο χρονικό διάστημα, να επαναλαμβάνονται με μια καθορισμένη ακολουθία ή να εμφανίζονται μετά από απαίτηση. [57], [58]



Εικόνα 40: Block Diagram της CU

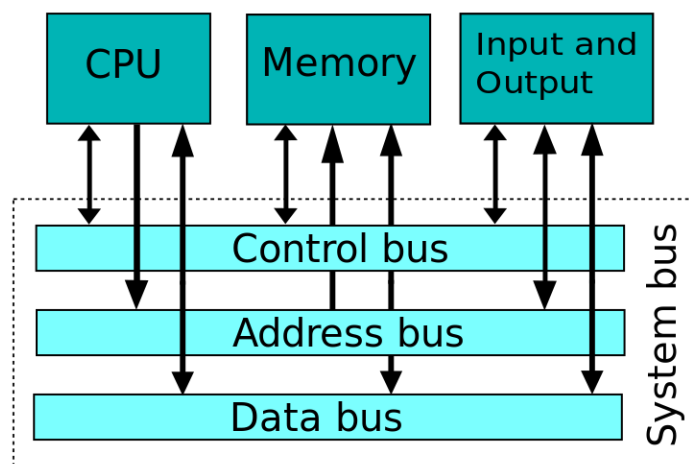
3.4.2.4 Δίαυλος Διευθύνσεων/Δεδομένων/Ελέγχου

Δίαυλος(bus) είναι ένα σύνολο από γραμμές που συνδέουν τα επιμέρους τμήματα ενός μικροεπεξεργαστή μεταξύ τους. Η λειτουργία του διαύλου συνεπώς είναι να παρέχει ένα μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ δύο ή περισσότερων τμημάτων ενός μικροϋπολογιστή. Η μονάδα ελέγχου αποφασίζει κάθε φορά σε ποιο τμήμα θα προωθήσει τη πληροφορία και ποια τμήματα θα χρησιμοποιηθούν ενεργοποιώντας τον κατάλληλο δίαυλο κάθε φορά.

Ο δίαυλος διευθύνσεων (Address Bus) ενός μικροεπεξεργαστή είναι μοναδικής κατεύθυνσης και το εύρος του προσδιορίζει τον αριθμό των θέσεων μνήμης που μπορεί να διευθυνσιοδοτήσει. Σε πολλούς μικροεπεξεργαστές ο δίαυλος διευθύνσεων χρησιμοποιείται για να ορίσει εκτός από την κύρια μνήμη και ποιες συσκευές I/O πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Στους μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούμε στις ηλεκτρονικές συσκευές ο δίαυλος διευθύνσεων συνήθως αποτελείται από 12(4K διευθύνσεις) έως 18(256K διευθύνσεις) γραμμές.

Ο δίαυλος δεδομένων (Data Bus) ενός μικροεπεξεργαστή μεταφέρει πληροφορίες που πρόκειται να επεξεργαστούν είτε εντολές που πρόκειται να αποκωδικοποιηθούν. Σε αντίθεση με το δίαυλο διευθύνσεων ο δίαυλος δεδομένων είναι δίαυλος διπλής κατεύθυνσης πράγμα που σημαίνει ότι εκτός από τη μεταφορά σε μια χρονική περίοδο πληροφοριών από το μικροεπεξεργαστή προς τα άλλα τμήματα του μικροϋπολογιστή, μπορεί να μεταφέρει σε άλλες περιόδους πληροφορίες από το διάφορα τμήματα του μικροϋπολογιστή προς τον μικροεπεξεργαστή. Το εύρος του διαύλου δεδομένων ενός μικροεπεξεργαστή μπορεί να είναι 4-bit, 8-bit, 16-bit, 32-bit, 64-bit και χαρακτηρίζει το μέγιστο αριθμό που μπορεί να μεταφερθεί ανάμεσα στις δομικές μονάδες του μικροεπεξεργαστή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δίαυλος δεδομένων τόσο ισχυρότερη είναι η CPU. Η κατεύθυνση των δεδομένων πάνω στο δίαυλο δεδομένων ελέγχεται από τη μονάδα ελέγχου.

Ο δίαυλος ελέγχου είναι και αυτός μοναδικής κατεύθυνσης και μεταφέρει πληροφορίες που περιγράφουν το είδος της λειτουργίας, το που πρόκειται να εκτελεστεί και ποιες συσκευές θα ανταποκριθούν. Αποτελείται από αγωγούς με ξεχωριστή λειτουργία ο καθένας, οι οποίοι ελέγχουν τον τρόπο που επικοινωνεί ο επεξεργαστής με τα υπόλοιπα υποσυστήματα. Για παράδειγμα, όταν ο επεξεργαστής επικοινωνεί με την μνήμη ο δίαυλος ελέγχου προσδιορίζει την κατεύθυνση των δεδομένων με τα σήματα read ή write.[57]



Εικόνα 41: Δίαυλος Διευθύνσεων/Δεδομένων/Ελέγχου

3.2.4.5 Χρονισμός των Εντολών

Οι περισσότεροι σύγχρονοι μικροεπεξεργαστές απαιτούν την ύπαρξη ενός ρολογιού(κύκλωμα χρονισμού) για την λειτουργία τους, καθώς είναι σχεδιασμένοι ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με ένα ηλεκτρικό σήμα συγχρονισμού. Σε πολλές περιπτώσεις το ρολόι χρονισμού είναι ανεξάρτητο του μικροεπεξεργαστή ώστε να μπορεί αυτός που σχεδιάζει τη διάταξη να διαλέξει ρολόι με την ακολουθία παλμών που τον ενδιαφέρει. Σε πολλές περιπτώσεις τον παλμό στον μικροεπεξεργαστή δίνει μια διάταξη RC ή LC ή ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής.

Το ρολόι αυτό είναι μια γεννήτρια παλμών η οποία παράγει ίδιας συχνότητας παλμούς αλλά διαφορετικών φάσεων, συνήθως δυο. Κάθε παραγόμενος παλμός ονομάζεται κύκλος ρολογιού (clock cycle) και κατά τη διάρκειά του γίνονται οι στοιχειώδεις λειτουργίες. Ο χρόνος που απαιτείται για τον συνδυασμό των λειτουργιών που χρειάζονται κατά την εκτέλεση μιας εντολής λέγεται κύκλος εντολής (instruction cycle). Κάθε κύκλος εντολής, για τις πιο σύνθετες εντολές, διαιρείται σε τμήματα που ονομάζονται κύκλοι μηχανής (machine cycles) και είναι από έναν ως πέντε. Κύκλος μηχανής είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο μικροεπεξεργαστής να εκτελέσει μια βασική λειτουργία. Με τη σειρά του ο κύκλος μηχανής αποτελείται από τρεις έως έξι κύκλους ρολογιού. Ο πρώτος κύκλος μηχανής κάθε εντολής ονομάζεται κύκλος προσκόμισης (fetch cycle) και κατά τη διάρκειά του μεταφέρεται η εντολή από τη θέση μνήμης στον καταχωρητή εντολής. Στο δεύτερο κύκλο ρολογιού του κύκλου προσκόμισης ο μετρητής προγράμματος αυξάνεται ώστε να υποδεικνύει την επόμενη θέση μνήμης για προσπέλαση. Στον τρίτο κύκλο γίνεται η μετακίνηση του κώδικα της εντολής από την θέση μνήμης στον καταχωρητή εντολής του μικροεπεξεργαστή. Στον τελευταίο κύκλο επιτελούνται εσωτερικές λειτουργίες του μικροεπεξεργαστή.

Εκτός από το ρολόι απαιτείται και ένα σήμα αρχικοποίησης καθώς κάθε φορά που δίνουμε τροφοδοσία σε ένα μικροεπεξεργαστή οι εσωτερικοί καταχωρητές του έχουν απροσδιόριστες-τυχαίες τιμές, πράγμα που σημαίνει πως το σύστημα θα αναγκάζεται κάθε φορά να ξεκινάει τη εκτέλεση ενός προγράμματος από διαφορετική εντολή. Το πρόβλημα λύνει έτσι το σήμα αρχικοποίησης, το οποίο κάθε φορά που ενεργοποιείται επαναφέρει τον μικροεπεξεργαστή σε μια γνωστή αρχική κατάσταση. [57]

3.5 Μικροελεγκτές

Με τον όρο μικροελεγκτής αναφερόμαστε σε ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης το οποίο διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, κυκλώματα καταχωρητών και διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου/εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές.

3.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

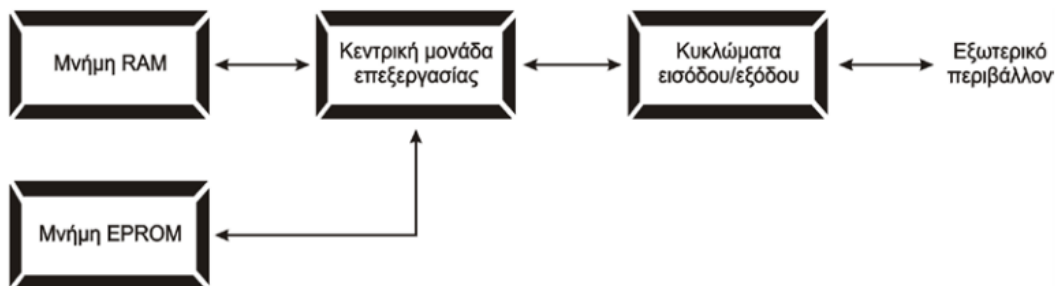
Θα μπορούσαμε να τον παρομοιάσουμε με έναν μικροϋπολογιστή καθώς διαθέτει μνήμη, επεξεργαστή, περιφερειακές συσκευές και εκτελεί προγράμματα με μόνη διαφορά ότι ο μικροελεγκτής διαθέτει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ολοκληρωμένα σε ένα μόνο chip. Η ύπαρξη όλων των παραπάνω σε μια μόνο ψηφίδα πυριτίου σημαίνει ότι η ταχύτητα ενισχύεται σημαντικά διότι οι I/O περιφερειακές μονάδες απαιτούν λιγότερο χρόνο για να διαβάσουν ή να γράψουν από τις εξωτερικές συσκευές. Επίσης επεξεργαστής και μνήμη ανταλλάσσουν δεδομένα γρηγορότερα. Το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στη μνήμη προγράμματος. Συνήθως ο μικροεπεξεργαστής του μικροελεγκτή είναι βελτιστοποιημένος ώστε να συντονίζει τη ροή των δεδομένων μεταξύ των μονάδων μνήμης και των περιφερειακών συσκευών εκτός του chip. Οι συνδέσεις του μικροεπεξεργαστή του επιτρέπουν να επιλέγει τα περιφερειακά του έτσι ώστε να στέλνει ή να ανακτά πληροφορίες.

Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems), δηλαδή όλα τα συστήματα που είναι βασισμένα σε μικροεπεξεργαστή, και βρίσκουν κυρίως εφαρμογή

σε συστήματα αυτοματισμών, σε ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, σε εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος, σε εφαρμογές δικτύων και γενικότερα οπουδήποτε απαιτείται έλεγχος των συστημάτων.

Γενικά οι μικροελεγκτές προγραμματίζονται σε γλώσσα χαμηλού επιπέδου, δηλαδή γλώσσα που βρίσκεται κοντά στο υλικό(γλώσσα μηχανής, assembly), αν και τελευταία όλο και περισσότεροι προγραμματιστές επιλέγουν γλώσσες υψηλότερου επιπέδου. Ως υψηλού επιπέδου γλώσσα ορίζεται αυτή που είναι αυστηρά δομημένη και υπάρχει συγκεκριμένος compiler ο οποίος μετατρέπει το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής ώστε να αναγνωριστεί από το συγκεκριμένο μικροελεγκτή.

Κάθε μικροελεγκτής περιέχει μέσα σε ένα και μοναδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα ένα αριθμό από καταχωρητές ειδικού σκοπού(όπως τους περιγράψαμε στο κεφ.3.4.2.2), εσωτερικούς χρονιστές-απαριθμητές, αριθμητική και λογική μονάδα(ALU), τη μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών. Τα βασικά στοιχεία ενός μικροελεγκτή είναι η μνήμη προγράμματος(ROM ή EPROM) και η μνήμη καταχωρητών/μεταβλητών(RAM) που θα αναλύσουμε αναλυτικότερα στο υποκεφάλαιο 3.5.6, τα κυκλώματα χρονισμού και ελέγχου και τέλος οι παράλληλες θύρες εισόδου/εξόδου και τα άλλα περιφερειακά κυκλώματα(UART, A/D μετατροπείς).[59], [60]

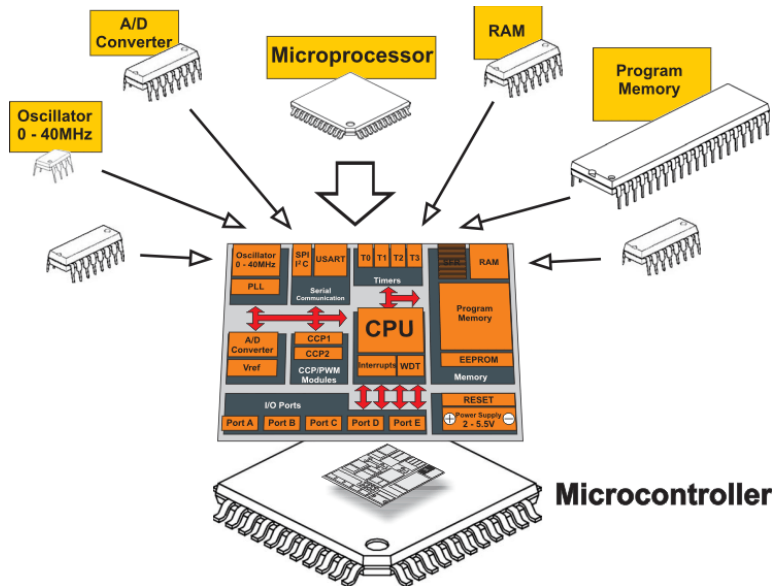


Εικόνα 42: Βασική Δομή Μικροελεγκτή

3.5.2 Σύγκριση Μικροελεγκτών – Μικροεπεξεργαστών

Οι μικροελεγκτές διαφέρουν σε πολλά σημεία από τους μικροεπεξεργαστές με πρώτη και κύρια διαφορά αυτή της λειτουργικότητας. Ο μικροεπεξεργαστής αποτελεί την καρδιά ενός (μικρο)υπολογιστή και από μόνος του δεν είναι σε θέση να λάβει ή να στείλει δεδομένα αν δεν του προστεθούν επιπλέον μονάδες όπως μνήμη κ.α. Μια ακόμη διαφορά είναι ότι στους προσωπικούς υπολογιστές(PC) δίνεται μεγάλη έμφαση στην υπολογιστική ισχύ καθώς η λειτουργικότητα του PC καθορίζεται από πολλά εξωτερικά περιφερειακά. Αντίθετα στους μικροεπεξεργαστές των μικροελεγκτών αυτή η ευελιξία είναι περιορισμένη. Στους μικροεπεξεργαστές των μικροελεγκτών δίνεται έμφαση στο μικρό αριθμό IC's για τη λειτουργία των μικροελεγκτών καθώς ο σχεδιασμός τους είναι τέτοιος ώστε να είναι όλα σε ένα χωρίς να απαιτούνται άλλα εξωτερικά εξαρτήματα για τη λειτουργία τους. Μια ουσιαστική διαφορά είναι ότι ένας μικροελεγκτής λόγω αυτής της "όλα-σε-ένα" ενσωμάτωσης των υποσυστημάτων(μνήμες, θύρες επικοινωνίας) δεν χρειάζεται κανένα άλλο IC για την λειτουργία του. Η ενσωμάτωση επίσης έχει ως αποτέλεσμα πολύ απλούστερες διασυνδέσεις με αποτέλεσμα χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, ελαχιστοποίηση του κόστους και του μεγέθους, μέγιστη φορητότητα και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Τέλος εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά όσον αφορά στη

βασική αρχιτεκτονική τους αν και στους μικροεπεξεργαστές συνήθίζεται η διάταξη μνήμης τύπου Von-Neumann ενώ στους μικροελεγκτές απαντάται συνήθως η αρχιτεκτονική τύπου Harvard.[61]



Εικόνα 43: Δομικά Στοιχεία Μικροελεγκτή

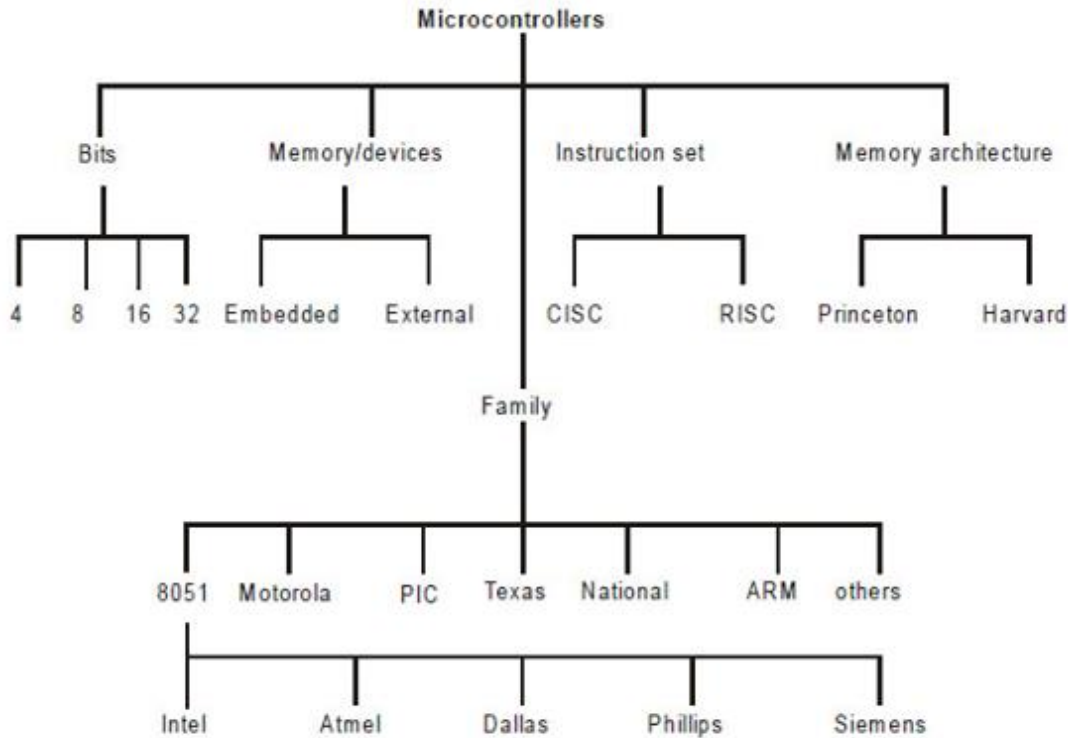
3.5.3 Είδη Μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται ανάλογα με το εύρος των διαύλων (σε bits), την αρχιτεκτονική της μνήμης, τα σετ εντολών και το είδος μνήμης.

Ανάλογα με το εύρος των διαύλων έχουμε τις εξής κατηγορίες μικροελεγκτών: 8-bit, 16-bit και 32-bit. Στους 8-bit μικροελεγκτές η ALU εκτελεί τις αριθμητικές και λογικές λειτουργίες μιας εντολής σε 8-bit δίαυλο. Αντίστοιχα συμβαίνει και στους 16-bit και 32-bit μικροελεγκτές. Οι 16-bit εκτελούν τις εντολές με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα σε σχέση με τους 8-bit ενώ οι 32-bit χρησιμοποιούνται σε αυτόματα ελεγχόμενες συσκευές όπως ιατρικές συσκευές, συστήματα ελέγχου κινητήρα, συσκευές και άλλους τύπους ενσωματωμένων συστημάτων.

Ανάλογα με τις συσκευές μνήμης κατηγοριοποιούνται σε ενσωματωμένους μικροελεγκτές και μικροελεγκτές εξωτερικής μνήμης. Όταν ένα ενσωματωμένο σύστημα διαθέτει μια μονάδα μικροελεγκτή που έχει όλα τα λειτουργικά μπλοκ διαθέσιμα σε ένα chip καλείται ενσωματωμένος μικροελεγκτής. Για παράδειγμα, ο 8051 που διαθέτει μνήμη προγράμματος & δεδομένων, θύρες εισόδου / εξόδου, σειριακή επικοινωνία, μετρητές και χρονοδιακόπτες και διακοπές στο τσιπ είναι ένας ενσωματωμένος μικροελεγκτής. Αντίθετα όταν ένα ενσωματωμένο σύστημα διαθέτει μια μονάδα μικροελεγκτή που δεν διαθέτει όλα τα λειτουργικά μπλοκ που είναι διαθέσιμα σε ένα chip, ονομάζεται μικροελεγκτής εξωτερικής μνήμης. Για παράδειγμα, ο 8031 είναι ένας μικροελεγκτής εξωτερικής μνήμης καθότι δεν έχει μνήμη προγράμματος στο τσιπ.

Η αρχιτεκτονική μνήμης των μικροελεγκτών και τα είδη μνήμης αναλύονται εκτενέστερα στα δυο παρακάτω υποκεφάλαια.[60]



Εικόνα 44: Είδη Μικροελεγκτών

3.5.4 Αρχιτεκτονικές Μνήμης Μικροελεγκτών

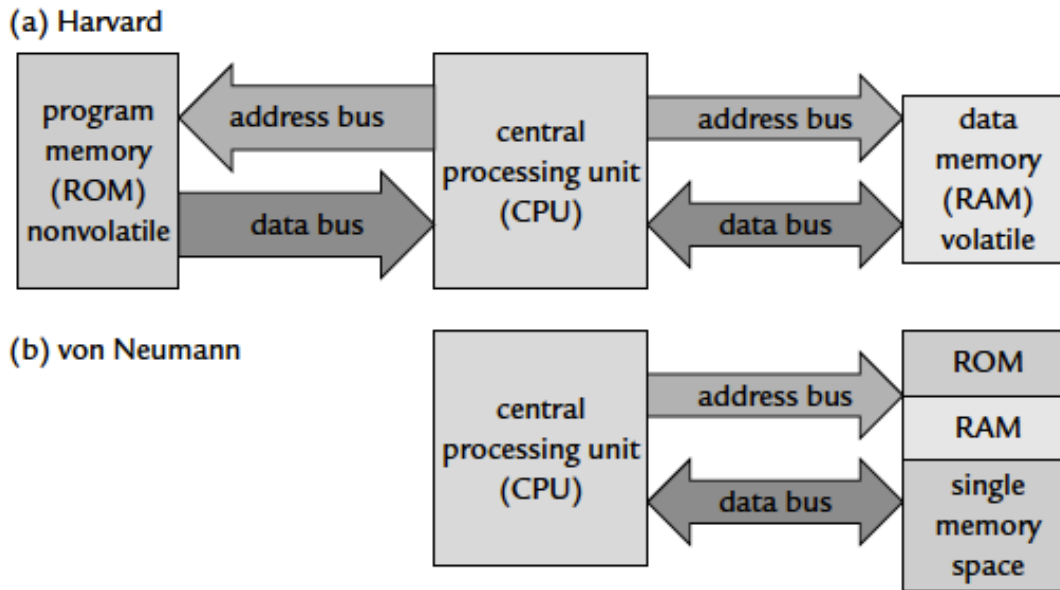
Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε στις διαφορετικές δομές/αρχιτεκτονικές μνήμης των μικροεπεξεργαστών.

3.5.4.1 Αρχιτεκτονική Harvard

Οι μικροελεγκτές δομημένοι με βάση την αρχιτεκτονική Harvard διαθέτουν δυο διαύλους ξεχωριστούς, έναν δίαυλο δεδομένων και έναν δίαυλο εντολών καθώς επίσης και δυο ξεχωριστές μνήμες, μία για τα δεδομένα και μια για τις εντολές. Οι εντολές μπορούν να εκτελούνται παράλληλα, καθώς επιτρέπονται δυο ταυτόχρονες προσκομίσεις εντολών από τη μνήμη. Η μνήμη αυτή εμφανίζει σε σχέση με την Von-Neumann μεγαλύτερη ταχύτητα εκτέλεσης εντολών αλλά σε βάρος της αυξημένης πολυπλοκότητας. Η αρχιτεκτονική Harvard μπορεί να εκτελεί τις εντολές σε λιγότερους κύκλους εντολών (instruction cycles) από την Von-Neumann αρχιτεκτονική.[60]

3.5.4.2 Αρχιτεκτονική Von-Neumann (ή Princeton)

Οι μικροελεγκτές με βάση την αρχιτεκτονική Von-Neumann διαθέτουν μόνο ένα δίαυλο δεδομένων που ουσιαστικά μεταφέρει και δεδομένα και εντολές καθώς και μια κοινή μνήμη όπου φυλάσσονται και τα δεδομένα και οι εντολές. Η CPU χρησιμοποιεί την κύρια μνήμη, πρώτα εκτελεί αυτή την εντολή, και στη συνέχεια ανακαλεί τα δεδομένα για την εκτέλεση της εντολής. Οι λειτουργίες επειδή είναι ξεχωριστές επιβραδύνουν τη λειτουργία του μικροελεγκτή.[60]



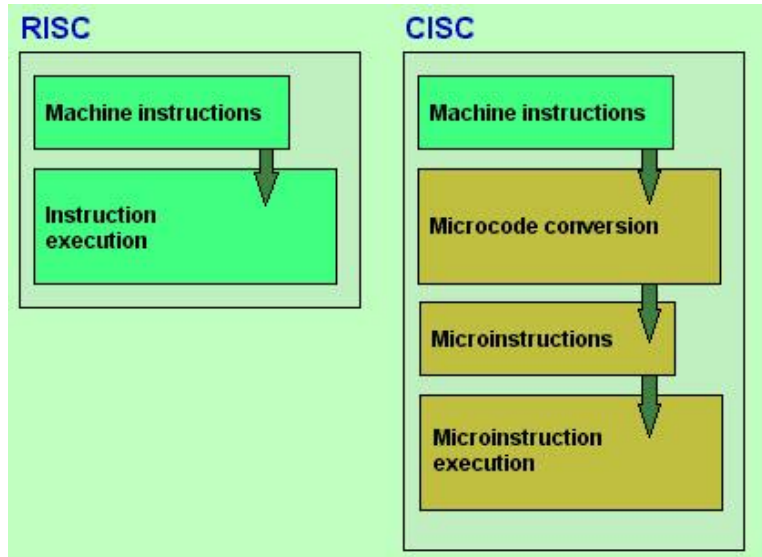
Εικόνα 45: Διαφορές στην αρχιτεκτονική μνήμης Harvard και Von Neumann

3.5.4.3 Αρχιτεκτονική CISC (Complex Instruction Set Computer)

Η αρχιτεκτονική CISC (υπολογιστής σύνθετου συνόλου εντολών) σημαίνει ότι ο μικροελεγκτής διαθέτει ένα σετ εντολών που υποστηρίζει σύνθετες λειτουργίες για την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών εντολών, μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης μνήμης. Σαν πλεονέκτημα έχει τον εύκολο προγραμματισμό της καθώς υπάρχουν εντολές για κάθε είδους εργασία, ενώ σαν μειονέκτημα έχει το υπερβολικά σύνθετο ηλεκτρονικό κύκλωμα της CPU και της μονάδας ελέγχου που απαιτεί την προσθήκη ενός ειδικού τύπου μνήμης και τον περαιτέρω μικροπρογραμματισμό της.[61]

3.5.4.4 Αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computers)

Η αρχιτεκτονική RISC (υπολογιστής περιορισμένου συνόλου εντολών) αντίθετα με την αρχιτεκτονική CISC βασίζεται στην ύπαρξη ενός μικρού συνόλου εντολών που υποστηρίζει απλούστερους τρόπους εκτέλεσης αριθμητικών και λογικών εντολών, μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης μνήμης. Μειονέκτημα στην αρχιτεκτονική αυτής είναι το γεγονός ότι ο προγραμματισμός της είναι αισθητά δυσκολότερος και πιο χρονοβόρος από της CISC.[61]



Εικόνα 46: Διαφορές στις αρχιτεκτονικές CISC και RISC

3.5.5 Βασική Δομή Μικροελεγκτή

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή του 3.5 τα βασικά δομικά στοιχεία ενός μικροελεγκτή περιλαμβάνουν την CPU(8-bit,16bit or 32-bit), μονάδες μνήμης(RAM, ROM, flash) για αποθήκευση και ανάκληση δεδομένων, I/O σε παράλληλη ή σειριακή συνδεσμολογία(ροή δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτή και άλλων συσκευών), μονάδες χρονισμού και γεννήτριες παλμών(εκτέλεση εργασιών για συγκεκριμένες περιόδους και στιγμές) καθώς και A/D & D/A μετατροπείς(είσοδο αναλογικών δεδομένων για επεξεργασία), διαύλους για την αποδοτική μεταφορά δεδομένων μεταξύ CPU και υπόλοιπων μονάδων και μονάδες εποπτείας χρονισμού που επιτρέπει τον έλεγχο της σωστής εκτέλεσης προγράμματος.[59]

3.5.6 Είδη Μνήμης

Βασικά στοιχεία ενός μικροελεγκτή αποτελούν η μνήμη προγράμματος (ROM η EPROM) και η μνήμη των καταχωρητών (RAM). Πιο αναλυτικά:

3.5.6.1 Μνήμη ROM

Η μνήμη ROM(Read-Only-Memory), μνήμη μόνο για ανάγνωση, είναι ένας τύπος μνήμης που χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσουμε μόνιμα το πρόγραμμα που εκτελείται. Στην μνήμη ROM δεν αποθηκεύονται δεδομένα από τις ενέργειες του χρήστη, δεν είναι δηλαδή εγγράψιμη, αλλά περιέχει μέσα της δεδομένα μόνο για ανάγνωση. Εκτός από σπάνιες περιπτώσεις τα περιεχόμενα της μνήμης δεν αλλάζουν. Αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα και διαθέτει μικρή χωρητικότητα.[57], [60]

3.5.6.2 Μνήμη RAM

Η μνήμη RAM(Random-Access-Memory), μνήμη τυχαίας προσπέλασης, είναι μια μνήμη η οποία αποθηκεύει προσωρινά πληροφορίες και δεδομένα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια λειτουργίας των επεξεργαστών ή μικροελεγκτών. Το περιεχόμενο αυτής της μνήμης διαγράφεται όταν η παροχή ρεύματος διακόπτεται. [57], [60]

3.5.6.3 Μνήμη EEPROM

Η μνήμη EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only-Memory), ηλεκτρικά διαγράψιμη και προγραμματίσιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση, όπως και η μνήμη ROM, διατηρούν τα περιεχόμενά τους και μετά την παροχή της τροφοδοσίας, σε αντίθεση με τις μνήμες RAM. Δεν περιλαμβάνεται σε όλους τους μικροελεγκτές και η βασική της ιδιότητα είναι ότι μπορούμε να αλλάξουμε το περιεχόμενο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος(όπως στην RAM), αλλά ακόμα και αν διακοπεί η παροχή ρεύματος, το περιεχόμενο παραμένει μόνιμα αποθηκευμένο. Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων τα οποία πρέπει να αποθηκεύονται πριν την διακοπή της παροχής ρεύματος. [57], [60]

3.6 Arduino

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά του Arduino και καθώς και στο λόγο που οδηγηθήκαμε στη χρήση του συγκεκριμένου microcontroller.

3.6.1 Χαρακτηριστικά Arduino UNO

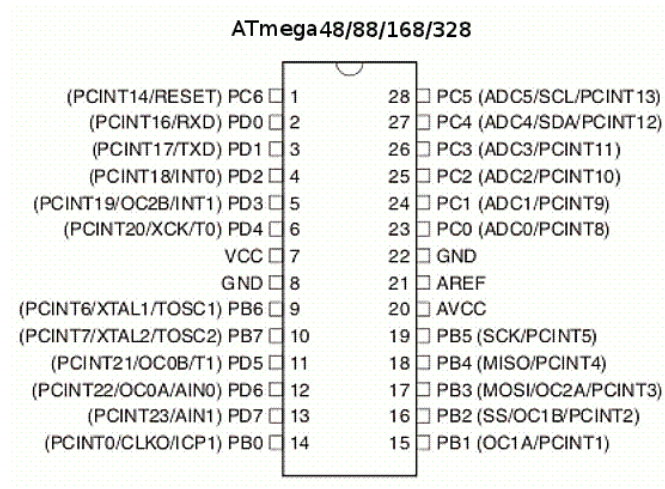
Ο μικροελεγκτής Arduino Uno Rev3 είναι ένας μικροελεγκτής που βασίζεται στον επεξεργαστή Atmel AVR ATmega328, και είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα. Η αναπτυξιακή πλακέτα που τον αποτελεί περιλαμβάνει εκτός του επεξεργαστή, σύστημα ακροδεκτών ψηφιακών I/O, αναλογικές εισόδους, σύνδεση USB,ταλαντωτή κρυστάλλου, κουμπί επαναφοράς, υποδοχή τροφοδοσίας κ.α. Ο Arduino μπορεί να δεχτεί σαν είσοδο μια ποικιλία από αναλογικά ή ψηφιακά σήματα και να ελέγχει με αυτά περιφερειακές συσκευές που είναι συνδεδεμένες με αυτόν, όπως κινητήρες, μοτέρ, LEDs.

Το λογισμικό του περιβάλλοντος ανάπτυξης του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring(ουσιαστικά παραλλαγή της C++) και μπορεί να συνδεθεί με τον υπολογιστή μέσω προγραμμάτων χρησιμοποιώντας και άλλα αναπτυξιακά περιβάλλοντα όπως αυτό του Processing(που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική) και του Max/MSP που είναι open source. [60]

Μικροελεγκτής	ATMEGA328
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εισόδου(συνίσταται)	7-12V
Όρια τάσης εισόδου	6-20V
Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O	14 (6 εκ των οποίων PWM έξοδο)
Αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου	6
Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος ανά ακροδέκτη	40 mA
Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος για ακροδέκτη τάσης 3.3 V	50 mA
Μνήμη flash	32KB (ATMEGA328)
Μνήμη SRAM	2KB (ATMEGA328)
Μνήμη EEPROM	1 KB (ATMEGA328)
Ταχύτητα ρολογιού	16MHz

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Arduino

Εδώ βλέπουμε τη σχηματική αναπαράσταση των ακροδεκτών του μικροεπεξεργαστή του Arduino Uno ATmega328:



Εικόνα 48: Pins του ATmega 328

Όπου:

Vcc: Είναι η τάση τροφοδοσίας

GND: Η γείωση

Port B: Είναι θύρα I/O διπλής κατεύθυνσης 8-bit. Οι ακροδέκτες της Port B δηλώνονται τρεις φορές όταν ενεργοποιείται μια κατάσταση επαναφοράς ή μία, ακόμα και αν το ρολόι δεν λειτουργεί.

Port C: Είναι θύρα I/O διπλής κατεύθυνσης 7-bit.

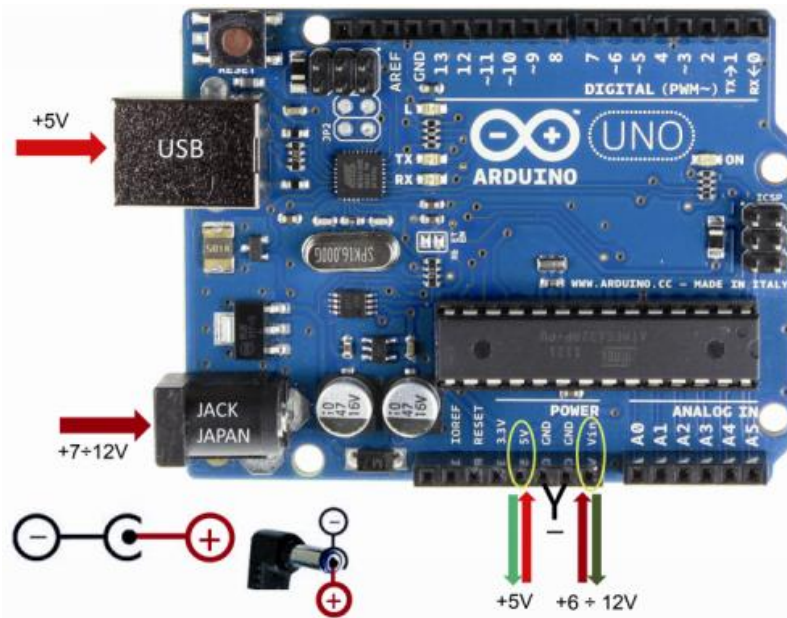
Port D: Είναι θύρα I/O διπλής κατεύθυνσης 8-bit. Οι ρυθμιστές εξόδου του Port D περιλαμβάνουν συμμετρικά χαρακτηριστικά κίνησης.

AVcc: Είναι ο ακροδέκτης τροφοδοσίας για τους A/D μετατροπείς.

AREF: Είναι ο αναλογικός ακροδέκτης αναφοράς για τους A/D μετατροπείς

3.6.2 Τροφοδοσία

Ο Arduino Uno διαθέτει τη δυνατότητα τροφοδοσίας και απευθείας από θύρα USB και από εξωτερική πηγή-τροφοδοσία. Υπάρχουν 4 διαφορετικές δυνατότητες τροφοδοσίας:



Εικόνα 49: Τροφοδοσία Arduino

- Από USB Port : Στη θύρα του USB πρέπει να φτάνουν 5V από τη θύρα USB ενός υπολογιστή ή από οποιαδήποτε τροφοδοσία που παρέχεται με μια θύρα USB και δεν επιτρέπεται καμία άλλη τάση. Στη περίπτωση του υπολογιστή υπάρχει περιορισμός τάσης ρεύματος 250mA ή 500mA , ενώ από οποιαδήποτε εξωτερική τροφοδοσία το μέγιστο ρεύμα εξόδου περιορίζεται στα 500mA όσο και αν είναι, από το PTC του Arduino για τη ασφάλειά του.
- Από Japan Jack Socket: Εδώ έχουμε παροχή από εξωτερική πηγή, με τον θετικό πόλο να πηγαίνει στο κεντρικό τμήμα του βύσματος και η τιμή να κυμαίνεται από 6V-20V αν και το εύρος του κατασκευαστή είναι από 7V-12V και εκεί πρέπει να επιλέγονται τιμές ώστε να επιτυγχάνεται σταθερότητα. Η επιλογή τάσης άνω των 12V θα δημιουργούσε μεγάλη διαφορά μεταξύ εισόδου – εξόδου που θα προκαλούσε άσκοπη υπερθέρμανση του ρυθμιστή.
- Vin Socket: Εδώ το Vin έχει διπλή λειτουργία. Η μια είναι ότι αποτελεί είσοδος για εξωτερική τροφοδοσία, και η άλλη είναι ότι αποτελεί έξοδο από την οποία μπορούμε να μειώσουμε τη τάση που εφαρμόζεται στην υποδοχή JACK. Και στις δύο περιπτώσεις ο αρνητικός πόλος τάσης της τροφοδοσίας πηγαίνει στην υποδοχή GND του Arduino Uno.

- 5V Socket : Συνδέεται άμεσα με την έξοδο του ρυθμιστή ώστε να χρησιμοποιηθούν τα 5V για την τροφοδοσία εξωτερικών φορτίων/ηλεκτρονικών στοιχείων στο Arduino. Σε περίπτωση που δεν εφαρμόζεται τάση στον Arduino σε καμία από τις παραπάνω υποδοχές, η υποδοχή των 5V μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση τροφοδοσία του Arduino με τη χρήση εξωτερικής σταθεροποιημένης πηγής 5V.[62]

3.6.3. Μνήμη

Ο ATmega328P έχει 32KB αυτοπρογραμματιζόμενης μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα . Τα 2KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader ενώ τα υπόλοιπα 30KB χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων αφού μεταγλωττιστούν. Έχει επίσης 2 KB SRAM για την εκτέλεση υπολογισμών, αποθήκευση μεταβλητών και πινάκων και 1 KB μνήμης EEPROM για την μόνιμη αποθήκευση δεδομένων μετά την διακοπή τροφοδοσίας ή επανεκκίνηση.

3.6.4 Ακροδέκτες Arduino UNO

Κάθε Arduino Uno 20 ακροδέκτες(Pins) που λειτουργούν τόσο σαν είσοδοι όσο και σαν έξοδοι για την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον και τα εξαρτήματα με τα οποία συνδέεται. Από τους 20 ακροδέκτες οι 14 είναι ψηφιακοί και οι 6 αναλογικοί. Οι ψηφιακοί είναι:

- Ακροδέκτες 0 και 1: Λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής θύρας, όταν από το πρόγραμμα ενεργοποιείται η σειριακή θύρα. Τα δεδομένα στέλνονται στη θύρα αυτή, προωθούνται μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB στη θύρα USB και στον ακροδέκτη 0 για να διαβαστούν τελικά από κάποια συσκευή.
- Ακροδέκτες 2 και 3: Λειτουργούν ως εξωτερικά interrupts(0 και 1) και αποκλειστικά ως ψηφιακές είσοδοι, στις οποίες όταν συμβούν συγκεκριμένες αλλαγές σταματά η κανονική ροή του προγράμματος και εκτελείται κάποια συνάρτηση. Είναι ιδιαίτερα σημαντικά όταν λειτουργούμε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.
- Ακροδέκτες 3,5,6,9,10,11: Λειτουργούν ως ψευδό-αναλογικές έξοδοι με το σύστημα διαμόρφωσης παλμών PWM(Pulse Width Modulation)
- Ακροδέκτες 10,11,12 και 13: Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI, η οποία παρέχεται από το hardware.
- Ακροδέκτης 13: Στον ακροδέκτη αυτό υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED το οποίο όταν ο ακροδέκτης έχει τιμή HIGH αυτό φωτοβολεί.

Από την άλλη πλευρά της πλακέτας του Arduino βρίσκονται οι ακροδέκτες με την σήμανση ANALOG IN που είναι μια σειρά από 6 pins με αρίθμηση από 0 ως 5. Πρόκειται για 6 γραμμές για αναλογική είσοδο στις οποίες συνδέεται ένας ADC(Analog to Digital Converter). Κάθε μετατροπέας έχει ανάλυση 10bit και επιστρέφει σαν αποτέλεσμα ακέραιους από 0 έως 1024 και η βασική του λειτουργία είναι να διαβάζει αναλογικές εισόδους (όπως τον αισθητήρα στη δική μας διάταξη).[60]

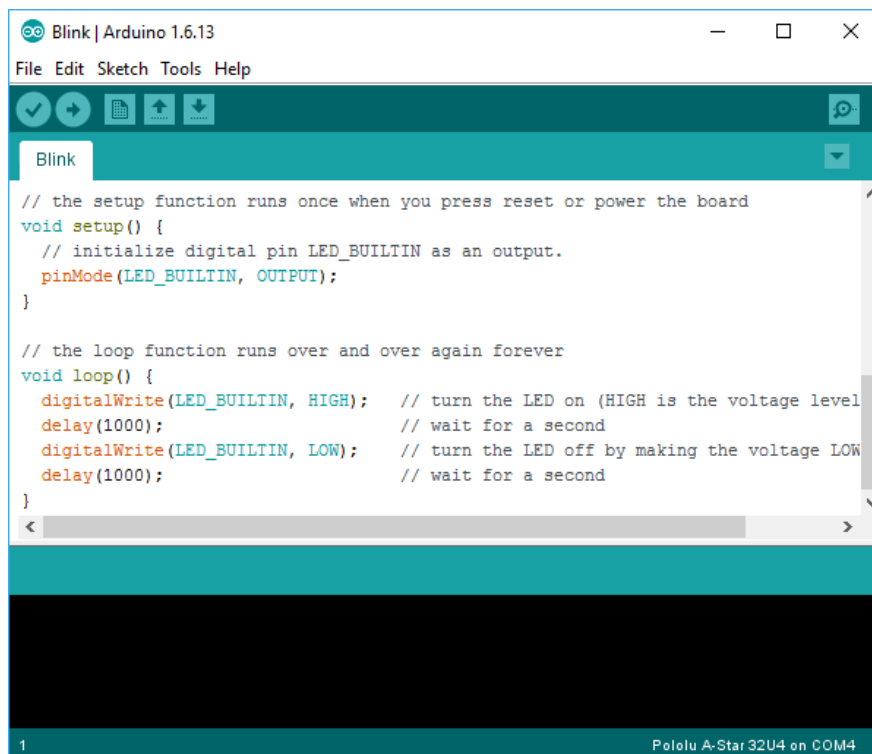
3.6.5 USB Προστασία από υπέρταση

Όπως αναφέραμε και στο υποκεφάλαιο με την τροφοδοσία του Arduino, διαθέτει ασφάλεια που προκαλεί reset ώστε να προστατεύονται οι θύρες USB του υπολογιστή από υψηλές τιμές τάσης και βραχυκυκλώματα που ενδέχεται να προκύψουν. Σε περίπτωση που η ένταση των ρευμάτων που περνούν τη θύρα USB ξεπεράσουν τα 500mA αυτόματα η ασφάλεια του Arduino θα διακόψει τη σύνδεση έως ότου η υπέρταση ή το βραχυκύκλωμα σταματήσουν.[60]

3.6.6 Περιβάλλον Ανάπτυξης Εφαρμογών

Το IDE, ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino, είναι μια εφαρμογή γραμμένη σε Java, προέρχεται από το γραφικό περιβάλλον για τη γλώσσα προγραμματισμού Processing και μας δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας κώδικα περιλαμβάνοντας, compiler, code uploader καθώς και τη δυνατότητα διαχείρισης βιβλιοθηκών και αρχείων κώδικα. Διαθέτει επίσης χαρακτηριστικά όπως επισήμανση σύνταξης και συνδυασμό αγκυλών διευκολύνοντας πολύ τον προγραμματισμό του. Τα προγράμματα είναι γραμμένα σε C++ ή C, και αφού τελειώσει η συγγραφή του κώδικα στη συνέχεια μέσω της επιλογής upload code αποστέλλεται στον Arduino.[60]

«Ο ATmega328P παρέχεται preburned με έναν bootloader που μας επιτρέπει να φορτώσουμε τον νέο κώδικα χωρίς τη χρήση εξωτερικού programmer (προγραμματιστή υλικού). Επικοινωνεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο STK 500 . Μπορεί επίσης να παρακάμψει τον bootloader και το πρόγραμμα του μικροελεγκτή μέσω της ICSP (In-Circuit Serial Programming).»

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Blink | Arduino 1.6.13". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for opening files, saving, uploading, and downloading. The main editor area displays the code for the "Blink" sketch. The code is as follows:

```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

The status bar at the bottom indicates "1" on the left and "Pololu A-Star 32U4 on COM4" on the right.

Εικόνα 50: Το περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino

3.6.7 Γιατί Arduino Uno

Έχοντας συνοψίσει τα γενικά χαρακτηριστικά και τις βασικές λειτουργίες του Arduino UNO, θα αναφέρουμε συνοπτικά τους λόγους που οδήγησαν στην επιλογή του έναντι τόσων άλλων μικροελεγκτών που κυκλοφορούν στην αγορά. Το Arduino διαφέρει από πολλούς άλλους μικροελεγκτές καθότι πέραν του ότι απλοποιεί ιδιαίτερα την διαδικασία ανάπτυξης των εφαρμογών παρέχει μια πληθώρα από πλεονεκτήματα που διευκολύνουν τους χρήστες.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του Arduino είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιώντας τον, απλοποιούμε την ποσότητα του υλικού και του λογισμικού που απαιτείται για την δημιουργία και τη λειτουργία ενός συστήματος, καθιστώντας τον πολύ εύκολο στη χρήση.

Η πλατφόρμα του Arduino UNO έχει ήδη τη ρύθμιση κυκλώματος τροφοδοσίας και επαναφοράς, καθώς και κυκλώματα για προγραμματισμό και επικοινωνία με τον μικροελεγκτή μέσω USB. Συνδέεται απευθείας με τον υπολογιστή μέσω θύρας USB και επικοινωνεί με σειριακό πρωτόκολλο και τρέχει σε διάφορα λειτουργικά προγράμματα όπως Windows, Macintosh, Linux. Επιπλέον, τα pins εισόδου/εξόδου του μικροελεγκτή τυπικά έχουν ήδη τροφοδοτηθεί σε υποδοχές για εύκολη πρόσβαση

Από την πλευρά του λογισμικού, είναι ανοιχτού λογισμικού που μπορεί να επεκταθεί. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών της C++ και της AVR C που είναι για τον προγραμματισμό των Atmel μικροελεγκτών. Επίσης το Arduino παρέχει αρκετές βιβλιοθήκες για να διευκολύνει τον προγραμματισμό και την κωδικοποίηση του μικροελεγκτή. Οι πιο απλές από αυτές είναι λειτουργίες για τον έλεγχο και την ανάγνωση των pins I/O ενώ πιο χρήσιμες είναι ιδιότητες όπως η δυνατότητα ρύθμισης των pins I/O στο PWM σε ένα συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας χρησιμοποιώντας μία μόνο εντολή ή πραγματοποιώντας σειριακή επικοινωνία.

Το Arduino βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328P της Atmel που είναι ανοιχτού υλικού που μπορεί να επεκταθεί. Τα σχηματικά για την αναπτυξιακή πλακέτα βρίσκονται υπό την άδεια χρήσης της Creative Commons, επιτρέποντας σε σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα.

Ένα ακόμα από τα πλεονεκτήματα του Arduino είναι το χαμηλό του κόστος καθώς οι πλακέτες του είναι εξαιρετικά πιο φθηνές σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές.

Κεφάλαιο 4 Κατασκευή και Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης

4.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου καταγραφής με χρήση μικροελεγκτή και αισθητήρα, της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος. Οι τιμές θα συλλέγονται από τον αισθητήρα και θα στέλνονται μέσω ενός Bluetooth στο Matlab όπου θα φιλτράρονται με βάση κάποια δεδομένα ώστε να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα πάνω στη λειτουργία της δερματικής απόκρισης σε σχέση με τα συναισθήματα. Η διάταξη που κατασκευάστηκε αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα:

- Μικροελεγκτή Arduino UNO
- Arduino Grove – Shield V1.3
- Bluetooth HC-06 Module 2.4GHz Wireless Module
- GSR sensor
- R
- C
- LM358 ολοκληρωμένο

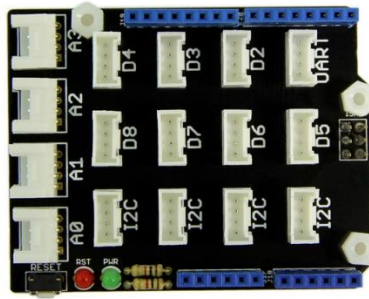
Παρακάτω θα αναλύσουμε το κάθε τμήμα ξεχωριστά.

4.1.1 Arduino UNO Rev3

Για την υλοποίηση του μοντέλου επιλέχτηκε η χρήση της πλακέτας Arduino Uno, λόγω των πολλών δυνατοτήτων του και της χαμηλής τιμής του. Το Arduino Uno είναι μία πλακέτα μικροελεγκτή "ανοικτού κώδικα" με βάση τον ATmega 328P της Atmel. Πρόκειται για μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού λογισμικού, που λόγω στην ευελιξία και στην ευκολία χρήσης του μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε που ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικές εφαρμογές. Μπορεί να δεχθεί σαν είσοδο μια ποικιλία από αναλογικά ή ψηφιακά σήματα και να ελέγχει σύμφωνα με τα σήματα αυτά κάποιες περιφερειακές συσκευές που θα είναι συνδεδεμένες σε αυτόν, όπως LEDs, αισθητήρες, διακόπτες, κινητήρες κ.τ.λ. Ο μικροελεγκτής του προγραμματίζεται χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Arduino (βλέπε παράρτημα 1). Στην εικόνα 51 βλέπουμε τον μικροελεγκτή Arduino UNO Rev3. Στο υποκεφάλαιο 3.6 αναφέραμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά του Arduino καθώς και τους λόγους που μας οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου.

4.1.2 Grove – Base Shield V1.3

Το Grove - Base Shield V1.3 είναι ένα διαμορφωμένο, έτοιμο προς χρήση σετ εργαλείων. Σε σύγκριση με την παραδοσιακή, περίπλοκη μέθοδο εκμάθησης με χρήση ενός breadboard και διαφόρων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων για τη συναρμολόγηση ενός έργου, το Grove απλοποιεί και συμπυκνώνει σημαντικά τη διαδικασία της μάθησης. Το σύστημα Grove αποτελείται από μια ασπίδα βάσης με τυποποιημένες υποδοχές. Η βάση αυτή επιτρέπει την εύκολη σύνδεση της κάθε εισόδου ή εξόδου με τον microprocessor από τις ενότητες Grove.



Εικόνα 51: To Grove – Base Shield V1.3

Χαρακτηριστικά:

- Συμβατό με SeeedunoV2.21(168p και 328p),Arduino UNO και Arduino Duemilanove
- Συμβατό με όλα τα Grove modules
- 7 Ψηφιακούς Ακροδέκτες (D2-D8)
- 4 Αναλογικούς Ακροδέκτες (A0-A3)
- 4 I2C sockets
- NO SPI socket
- UART/D0-D1 connector
- ISP/ICSP κεφαλή
- Green Power indicator LED
- Πλήκτρο επανεκκίνησης με ένδειξη LED
- Stacking connectors
- Simplified screen printing

4.1.3 Bluetooth HC-06 Module 2.4GHz Wireless Module

Στη περίπτωση αυτή, θέλουμε ασύρματη αποστολή δεδομένων από τους γαλβανικούς αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι με τον Arduino στον υπολογιστή. Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν το HC-06 Bluetooth Module.



Εικόνα 52: To Bluetooth HC-06

Χαρακτηριστικά :

- *Wireless transceiver*
 1. Sensitivity (Bit error rate) can reach -80dBm.
 2. The change range of output's power:-4 - +6dBm.
- Function description (perfect Bluetooth solution)
 1. Has an EDR module; and the change range of modulation depth: 2Mbps - 3Mbps.
 2. Has a build-in 2.4GHz antenna; user needn't test antenna.
 3. Has the external 8Mbit FLASH
 4. Can work at the low voltage (3.1V~4.2V). The current in pairing is in the range of 30~40mA. The current in communication is 8mA.
 5. Standard HCI Port (UART or USB)
 6. USB Protocol: Full Speed USB1.1, Compliant With 2.0
 7. This module can be used in the SMD.
 8. It's made through RoHS process.
 9. The board PIN is half hole size.
 10. Has a 2.4GHz digital wireless transceiver.
 11. Bases at CSR BC04 Bluetooth technology.
 12. Has the function of adaptive frequency hopping.
 13. Small (27mm X 13mm X 2mm)
 14. Peripherals circuit is simple.
 15. It's at the Bluetooth class 2 power level.
 16. Storage temperature range: -40 °C - 85 °C, work temperature range: -25 °C - +75 °C
 17. Any wave inter Interference: 2.4MHz, the power of emitting: 3 dBm.
 18. Bit error rate: 0. Only the signal decays at the transmission link, bit error may be produced. For example, when RS232 or TTL is being processed, some signals may decay.
- Low power consumption
- Has high-performance wireless transceiver system
- Low Cost
- Application fields:
 1. Bluetooth Car Hands free Device
 2. Bluetooth GPS
 3. Bluetooth PCMCIA, USB Dongle
 4. Bluetooth Data Transfer
- Software
 1. CSR

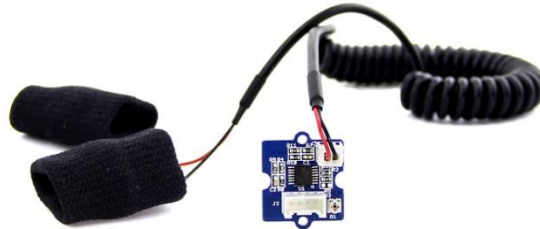
4.1.4 GSR Sensor

Η GSR, γαλβανική δερματική απόκριση, είναι μια μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του δέρματος, η οποία ποικίλλει ανάλογα με το επίπεδο υγρασίας του. Ισχυρά συναισθήματα μπορεί να προκαλέσουν ώθηση για το συμπαθητικό νευρικό σύστημα, με αποτέλεσμα περισσότερος ιδρώτας να

εκκρίνεται από τους ιδρωτοποιούς αδένες δημιουργώντας μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του δέρματος. Το Grove - GSR μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τέτοια έντονα συναισθήματα με απλή τοποθέτηση ηλεκτροδίων σε δύο δάχτυλα του ενός χεριού.

Χαρακτηριστικά:

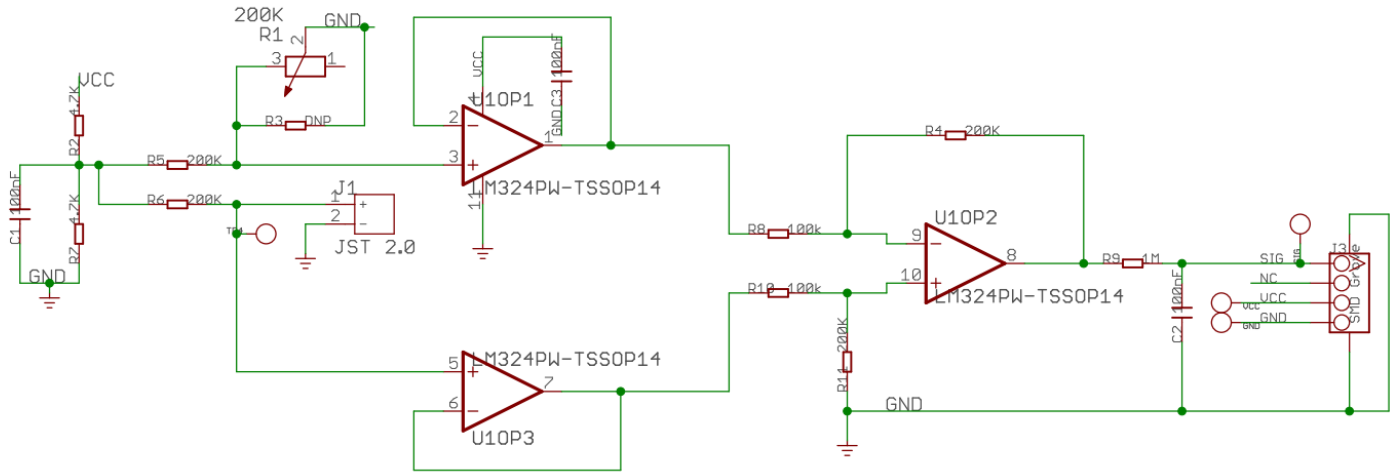
- Τάση Εισόδου : 5V/3.3v
- Ευαισθησία προσαρμοζόμενη με ποτενσιόμετρο
- Εξωτερικοί αισθητήρες δακτύλου



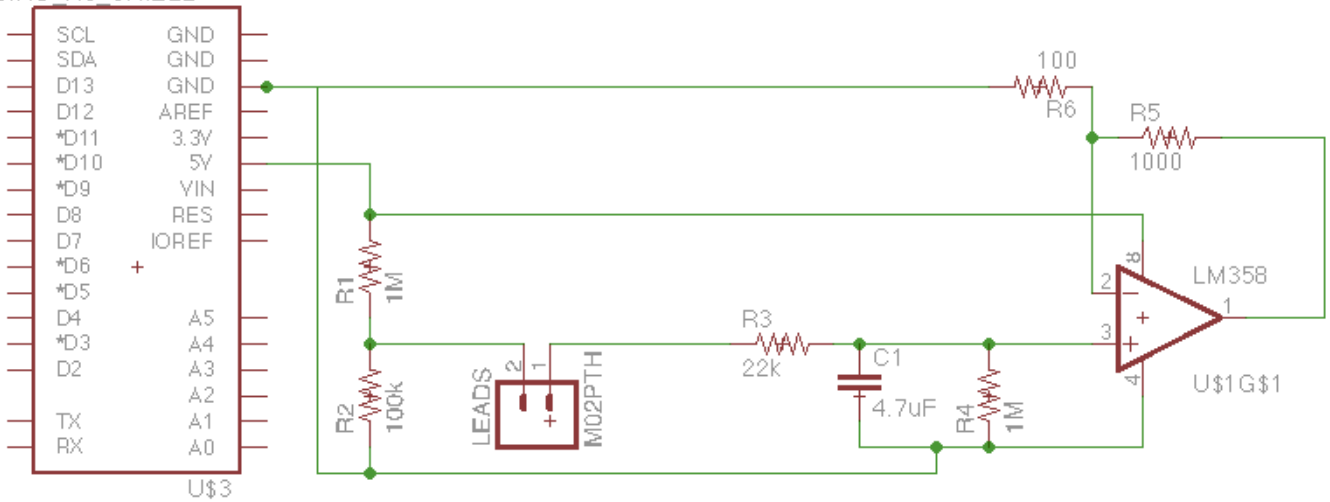
Εικόνα 53: Ο GSR αισθητήρας GSR

4.1.5 RC

Στη διάταξη που κατασκευάσαμε χρησιμοποιήσαμε μια αντίσταση $R=1M\Omega$ και ένα πυκνωτή $C=4.7\mu F$ ώστε να μειώσουμε τα επίπεδα θορύβου των μετρήσεών μας. Πρόκειται στην ουσία για ένα βαθυπερατό φίλτρο με μια αντίσταση και ένα πυκνωτή σε παράλληλη διάταξη. Γενικά παρά την αυξημένη πολυπλοκότητά τους, προτιμούμε τη σχεδίαση πυκνωτικού φίλτρου έναντι αυτής του επαγωγικού καθώς οι πυκνωτές είναι πιο "καθαρά" στοιχεία από τα πηνία και πιο προβλέψιμα στη συμπεριφορά τους. Με τη λέξη "καθαρά" εννοούμε ότι οι πυκνωτές εμφανίζουν λιγότερα resistive effects από τα πηνία, πράγμα που τα καθιστά σχεδόν 100% reactive. Τα πηνία από την άλλη, εμφανίζουν σημαντικά φαινόμενα διάχυσης τόσο λόγω του μεγάλου μήκους του καλωδίου που χρειάζεται για την κατασκευή τους όσο και λόγω των μαγνητικών απωλειών του υλικού του πυρήνα.



ARDUINO R3 SHIELD



Εικόνα 54: Οι συνδεσμολογίες που ακολουθήσαμε

4.2 Κόστος Κατασκευής

Το κόστος της υλοποίησης της κατασκευής παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Arduino Uno Rev3	20.00
Grove – Base Shield V1.3	8.24
Bluetooth HC-06 2.4GHz	10.57
GSR sensor Grove	13.80
Arduino 9V Jack adapter	1.30
Breadboard Δοκιμών	4.90
Καλώδια – Αντιστάσεις - Διάφορα	5.00

Πίνακας 2: Κόστος Κατασκευής

4.3 Συνδεσμολογία – Κατασκευή –Στάδια - Φωτος

Η συνδεσμολογία των αισθητήρων και των άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για το κύκλωμα του συστήματος πραγματοποιήθηκε σε μία βάση breadboard, όπου γίναν όλες οι απαραίτητες δοκιμές. Το συνολικό κύκλωμα αποτελείται από τον Arduino UNO Rev3, το Grove – Base Shield, το Bluetooth module, τους GSR sensor, ένα breadboard και τα καλώδια που τα συνδέουν μεταξύ τους.

- Αισθητήρας GSR

Ο ένας ακροδέκτης του αισθητήρα πηγαίνει πάνω στη τροφοδοσία του Arduino στην τάση των 5V, και ο άλλος συνδέεται με την αναλογική είσοδο A0 του Arduino.



Εικόνα 55: Τα ηλεκτρόδια του Grove-GSR

- Grove – Base Shield

Η “ασπίδα” ενσωματώθηκε πάνω από την αρχική πλακέτα του Arduino Uno Rev3. Η συνδεσμολογία είναι πολύ απλή.

- Bluetooth HC-06

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την ασύρματη επικοινωνία της διάταξης με το MatLab 2014b μέσω του Bluetooth βρίσκεται στο Παράρτημα 3.1

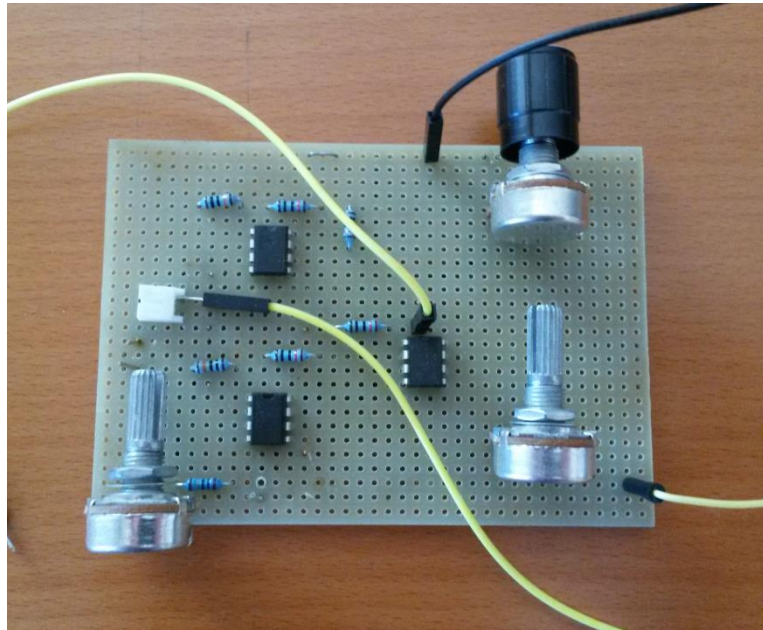
Ακολουθούν εικόνες από το κατασκευαστικό κομμάτι της διπλωματικής καθώς και τη συνδεσμολογία που ακολουθήθηκε.



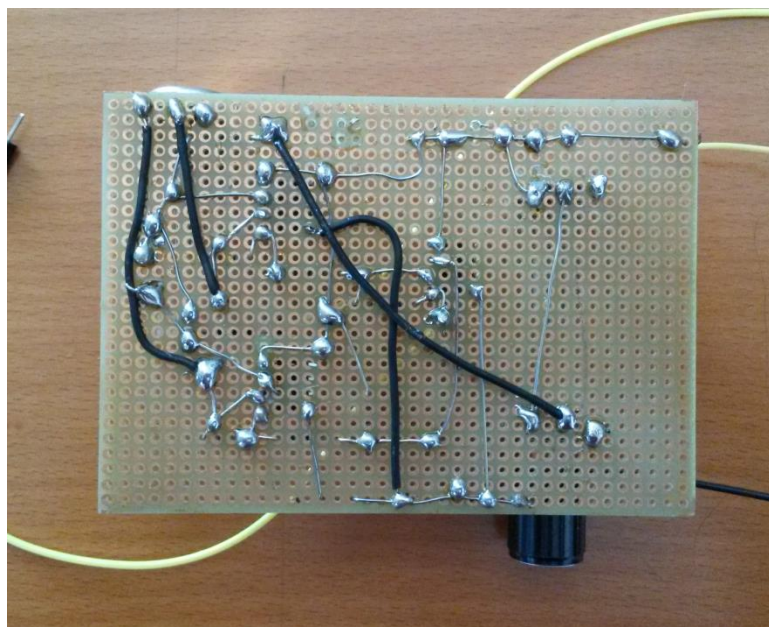
Εικόνα 56: Η συνδεσμολογία του GSR Grove

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται πάνω στην αναλογική είσοδο A2 του Grove Base Shield. Χρησιμοποιείται 9V μπαταρία που συνδέεται στο Japan Jack Socket ενώ στην ψηφιακή είσοδο D7 συνδέεται το Digital Buzzer όπου βγάζει ένα ήχο υψηλής συχνότητας όταν η ένδειξη της GSR μεταβληθεί κάποια χρονική στιγμή περισσότερο από κάποια τιμή(ρυθμιζόμενη) που έχει οριστεί από τον κώδικα του Arduino, ώστε να γίνεται αντιληπτό

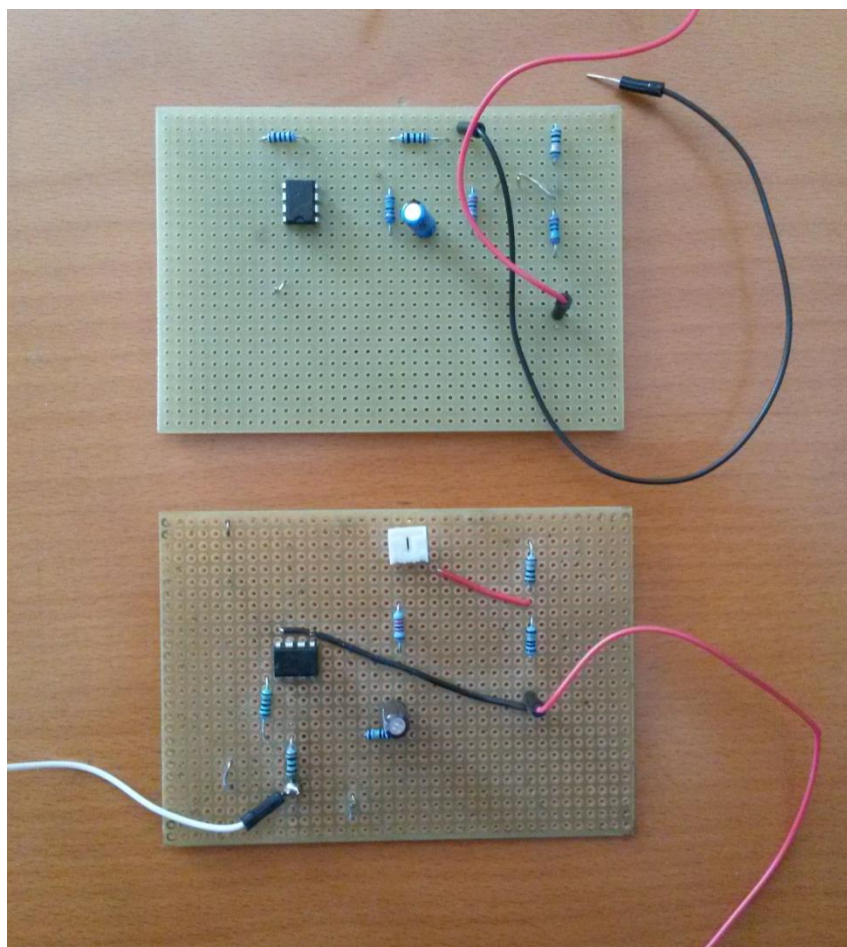
ότι την συγκεκριμένη χρονική στιγμή έχουμε σημαντική μεταβολή(αύξηση ή μείωση της GSR. Τα usb είναι Bluetooth modules για desktop PC ώστε να καθίσταται δυνατή η λήψη των δεδομένων από το Matlab ασύρματα.



Εικόνα 57: Η κατασκευή του GSR schematic(αντί Grove)



Εικόνα 58: Η κατασκευή του GSR schematic(πίσω όψη)



Εικόνα 59: Βοηθητικές πλακέτες που κατασκευάστηκαν

4.4 Λειτουργία Διάταξης – Προβλήματα και Επίλυση

Για την λήψη των δεδομένων χρησιμοποιήσαμε την παραπάνω διάταξη που περιγράψαμε. Ο κώδικας διαβάζει την τιμή από τον ακροδέκτη/ηλεκτρόδιο του GSR σε μια κλίμακα από 0-1023 και στη συνέχεια το περνάει στο processing με την εντολή `sendToProcessing`. Ο ένας ακροδέκτης του GSR είναι συνδεδεμένος στα 5V και ο άλλος στο `AnalogInput(A0)` του Arduino.

Η μέτρηση της GSR γίνεται παθητικά, δηλαδή χωρίς εφαρμογή τάσης μεταξύ των δακτύλων. Τοποθετούνται δύο ηλεκτρόδια στα δύο δάκτυλα (μέσο, δείκτη), στα πέλματα των ποδιών στις παλάμες τα οποία έχουν επιφάνεια περίπου 1cm^2 και αποτελούνται από άργυρο ή χλωριούχο άργυρο και συνήθως είναι εφαρμοσμένα στην εσωτερική πλευρά ενός δακτυλιδιού από velcro. Μια εναλλακτική είναι να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες με τη μορφή αυτοκόλλητου σε συνδυασμό με gel υπερήχων ώστε να ενισχυθεί η αγωγιμότητα μεταξύ σημείου εφαρμογής και ηλεκτροδίου.

4.5 Κώδικες

Arduino

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε είναι γραμμένος στη γλώσσα του Arduino και παρατίθεται στο Παράρτημα 3.2 .

Processing

Το Processing είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα και ένα προγραμματιστικό περιβάλλον για προγραμματισμό εικόνων, animation και ήχου. Η γλώσσα αναπτύχθηκε στη Java, το συντακτικό της είναι απλουστευμένο και το προγραμματιστικό της μοντέλο βασίζεται στα γραφικά. Το λογισμικό επεξεργασίας είναι δωρεάν και ανοικτού κώδικα, και τρέχει σε πλατφόρμες Mac, Windows και GNU/Linux.

Στη συνέχεια έχουμε τον κώδικα του Processing που παίρνει την τιμή από τον Arduino και σχεδιάζει σε πραγματικό χρόνο την γραφική παράσταση του GSR που μετράται εκείνη τη στιγμή. Ταυτόχρονα αποθηκεύει τις τιμές που διαβάζονται σε ένα αρχείο txt. Όπου αργότερα μπορούμε να πάρουμε τις τιμές και να ξανασχηματίσουμε τη γραφική παράσταση ώστε να επανεξετάσουμε το δείγμα. Οι κώδικες βρίσκονται στο Παράρτημα 3.3

Χρησιμοποιούμε και δυο υποπρογράμματα. Το `keyboard_input` και το `serial` τα οποία σου δίνουν τη δυνατότητα πριν τρέξει το πρόγραμμα σχεδιασμού της γραφικής παράστασης να διαλέξεις πια θύρα θέλεις (COM0,COM1,COM2....) καθώς και τη δυνατότητα να ονοματίσεις το αρχείο txt. στο οποίο θα αποθηκευτούν οι τιμές που μετρούνται. Σε περίπτωση λάθους στο πληκτρολόγιο έχουν ληφθεί υπόψιν οι πιθανές επιλογές για το χρήστη. Στο Παράρτημα 3.4 παρατίθενται τα υποπρογράμματα σε Processing:

Matlab

Μια άλλη εναλλακτική για να αποφύγουμε το Processing είναι να στείλουμε το σήμα κατευθείαν στο MatLab. Χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Matlab 2014b. Χρησιμοποιώντας τον κώδικα σε Arduino που παραθέσαμε παραπάνω παίρνουμε τις τιμές του GSR. Με τον παρακάτω κώδικα στο Matlab συγχρονίζεται το Matlab με τον Arduino και έχουμε τη δημιουργία μιας real-time γραφικής παράστασης καθώς και την αποθήκευση των δεδομένων σε ένα αρχείο txt.

Ο κώδικας σε Matlab στο Παράρτημα 3.5.

Κεφάλαιο 5 Λήψεις Δεδομένων – Επεξεργασία Σήματος

5.1 Εισαγωγή

Το δέρμα μας φανερώνει πολλές πληροφορίες σχετικά με το πως νιώθουμε όταν παρακολουθούμε συναισθηματικά φορτισμένες εικόνες, βίντεο, γεγονότα ή άλλα είδη ερεθίσματος αρνητικά και θετικά. Οποτεδήποτε είμαστε στρεσαρισμένοι, νευρικοί, φοβισμένοι, τρομαγμένοι ή έκπληκτοι, σε όποια δηλαδή συναισθηματική διέγερση, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος μεταβάλλεται. Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους μέτρησης της συναισθηματικής διέγερσης είναι η γαλβανική απόκριση δέρματος(GSR) ή EDA(Electrodermal Activity) ή SC(Skin Conductivity).

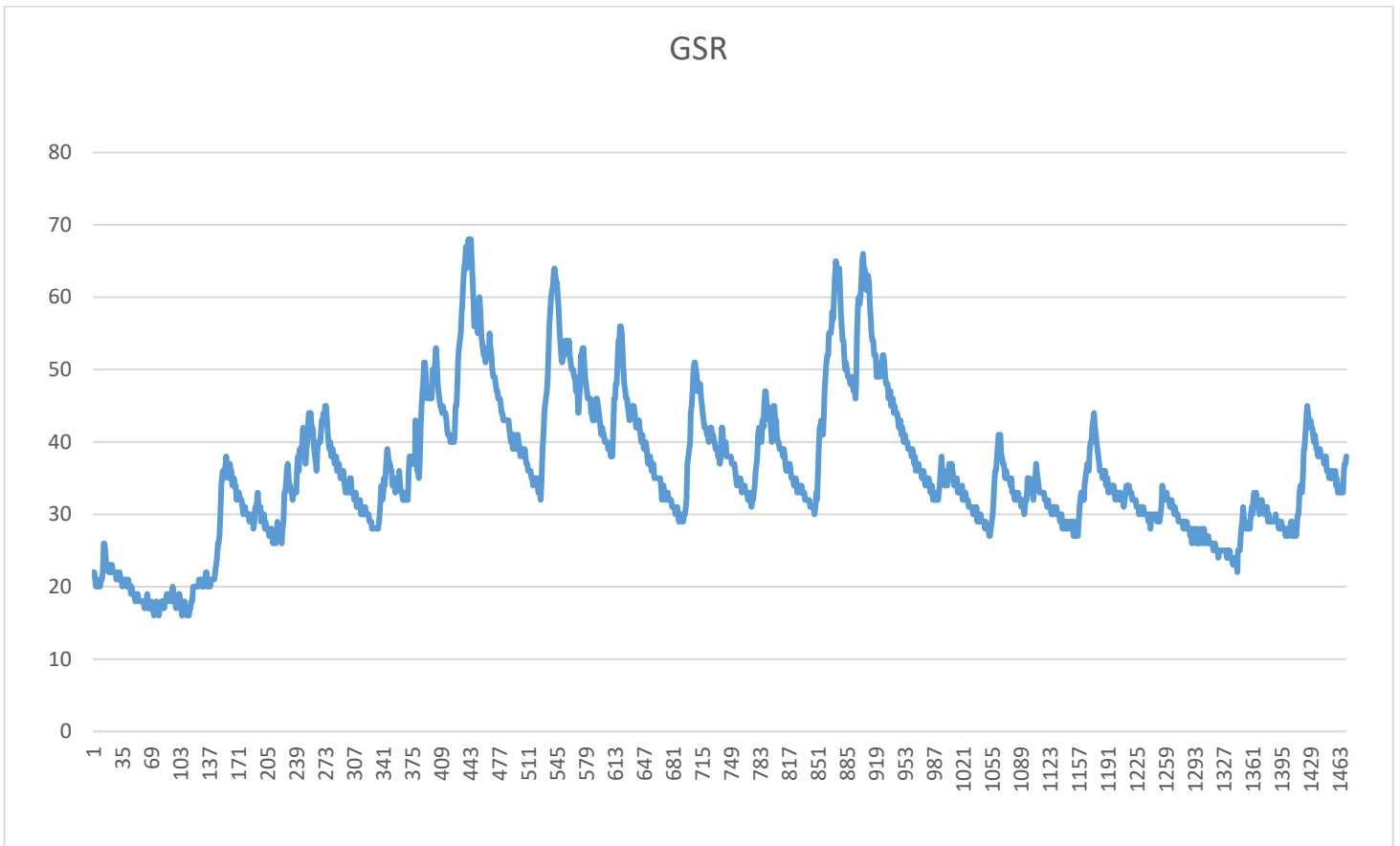
Η GSR βασίζεται στην ενεργοποίηση των ιδρωτοποιών αδένων από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Η εφίδρωση στα χέρια και τα πόδια πυροδοτείται από την συναισθηματική διέγερση. Με τη χρήση του μετρητή GSR μπορούμε να διεισδύσουμε στο υποσυνείδητο καθώς όπως αναφέραμε η διέγερση των ιδρωτοποιών αδένων ρυθμίζεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει κανένας συνειδητός έλεγχος. Το γεγονός αυτό καθιστά την μέτρηση της GSR ένα πολύτιμο βιομετρικό παράγοντα στην αξιολόγηση της συναισθηματικής συμπεριφοράς μας.

Όταν υπάρχει συναισθηματική ή ψυχοσωματική διέγερση οι σωματικές διαδικασίες (εφίδρωση, αύξηση αρτηριακής πίεσης, αύξηση παλμών) διεγείρονται αυτόματα. Σύγχρονες μελέτες έχουν υποδείξει ότι η αγωγιμότητα του δέρματος είναι ευαίσθητη και σε άλλες μορφές ερεθισμάτων πέραν των προφανών(τρόμος, χαρά κ.λπ.). Ακόμα και η ανάμνηση ενός ερεθίσματος ή μιας κατάστασης μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολή της αγωγιμότητας του δέρματος.

Το πείραμα που διενεργήθηκε αποτελείται από δύο φάσεις : κατά την πρώτη, τα υποκείμενα παρακολουθούν ένα σύντομο video, με πλήθος εναλλαγών (εικόνων, μουσικής) το οποίο στοχεύει στην πρόκληση διαφορετικών συναισθηματικών αποκρίσεων. Αφού λάβουμε δεδομένα από ένα επαρκές σύνολο ανθρώπων, καταγράφοντας δημογραφικά (ηλικία, φύλο κ.λπ.) και σωματομετρικά (βάρος, ύψος κ.λπ.) χαρακτηριστικά, προχωράμε στην επεξεργασία των μετρήσεων για την εξαγωγή ενός baseline βασισμένοι στον συγχρονισμό εναλλαγών του video με τις μεταβολές που έχουμε στη γαλβανική απόκριση.

Τέλος προκειμένου να διαπιστωθεί περαιτέρω η μεταβολή της αγωγιμότητας του δέρματος σε μεγαλύτερο εύρος περιστάσεων πραγματοποιήθηκαν επίσης δοκιμές του μετρητή γαλβανικής απόκρισης με εφαρμογή του σε υγρά/στεγνά χέρια, καθώς και σε καταστάσεις που περιλάμβαναν θόρυβο, κίνηση, ομιλία στο κινητό, ανοιχτά/κλειστά μάτια, ακρόαση ποικιλίας μουσικών ειδών (κλασική, metal, death κ.λπ.).

Παρακάτω παρατίθεται μια γραφική παράσταση μια τυχαίας μέτρησης:



Εικόνα 59 : Τυχαία μέτρηση GSR

5.2 Περιγραφή του Video

Το video αποτελεί ένα οπτικοακουστικό κολλάζ στο οποίο οι εικόνες και οι ήχοι εναλλάσσονται χωρίς σαφή συνοχή ως προς το θέμα, αλλά και την έντασή τους, με στόχο την πρόκληση συναισθηματικής διέγερσης στα υποκείμενα. Ειδικότερα, περιλαμβάνει αποσπάσματα από ταινίες, video clips και art performances επενδεδυμένα με ποικίλα είδη μουσικής, σε διαφορετικές εντάσεις, συνδυασμένα κατά τρόπο μη αναμενόμενο, ώστε να αιφνιδιάζουν τον θεατή και να πυροδοτούν ισχυρές συναισθηματικές αποκρίσεις. Όσο περισσότερο τροφοδοτούμε τα συναισθήματα των υποκειμένων με τα κατάλληλα ερεθίσματα, τόσο πιθανότερο είναι να προκαλούμε έντονες συναισθηματικές μεταπτώσεις. Έτσι μέσω της εναλλαγής εικόνων και ηχητικών αποσπασμάτων, που διεγείρουν συναισθήματα χαράς ή συμπόνιας, με άλλες που διεγείρουν συναισθήματα λύπης ή φόβου, επιτυγχάνουμε μετάβαση από την μία στην άλλη συναισθηματική κατάσταση, άρα και αλλαγή στις ενδείξεις της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος(ιδρωτοποιοί αδένες).

<i>Clips</i>	<i>Χρόνος Ενσωμάτωσης Clip</i>	<i>Χρόνος Ενσωμάτωσης (sec) Clip Άξονα x</i>	<i>Διάρκεια (sec)</i>	<i>Τίτλος Video</i>	<i>Περιγραφή</i>
1° Clip	00:00:00-01:01:01	000-061	61	Eye of the storm 4K	Landscapes
2° Clip	01:01:02-01:13:06	061-073	12	Messhugah-Bleed	Metal Videoclip(Pt.1)
3° Clip	01:13:07-01:47:17	073-107	34	Moonrise Kingdom(Mv.)	Dance and kiss scene
4° Clip	01:47:18-02:25:07	107-145	38	Lost in Forest	Short Horror Movie
5° Clip	02:25:08-02:57:23	145-177	32	Hypnosis Spiral	Hypnosis Video
6° Clip	02:57:24-04:00:23	177-240	63	Monsters Inc.(Mv.)	Touching Goodbye Scene
7° Clip	04:04:10-04:27:17	240-267	27	Irreversible(Mv.)	Fire Extinguisher Scene
8° Clip	04:27:18-05:57:02	267-357	90	Samsara Documentary(Mv.)	Food sequence
9° Clip	05:57:03-06:31:20	357-391	34	Hunger	Pictures of Hunger/Poverty
10° Clip	06:31:21-07:09:01	391-429	38	Compilation of Gifs	Fast Hightek Music
11° Clip	07:09:02-07:29:16	429-449	20	Meditation	Relaxing Music And Video
12° Clip	07:29:19-07:35:11	449-455	6	Messhugah-Bleed	Metal Videoclip(Pt.2)
13° Clip	07:35:12-08:31:21	455-511	56	Caught Out In The Rain	Hot erotic scene
14° Clip	08:31:22-09:08:07	511-548	37	Nonotak-Versus	Audiovisual installation(Pt.1)
15° Clip	09:08:08-09:23:06	548-563	15	Nature Meditation	Nature Relaxing Video
16° Clip	09:23:07-09:35:01	563-575	12	Nonotak-Versus	Audiovisual installation(Pt.2)
17° Clip	09:35:02-10:16:05	575-616	41	Irreversible(Mv.)	Rape Scene
18° Clip	10:16:06-10:36:10	616-636	20	Pets and Babies	Cute Scenes
19° Clip	10:36:11-11:40:17	636-700	64	The Green Inferno(Mv.)	Cannibalism Scene
20° Clip	11:40:17-13:04:03	700-784	84	Landscapes Volume 4K	Landscapes
21° Clip	13:04:04-13:37:15	784-817	33	Scary video	Scary video

Πίνακας 3: Περιγραφή του video

Στον παραπάνω πίνακα περιλαμβάνεται λεπτομερής περιγραφή του κάθε clip, με διάρκεια, χρόνο ενσωμάτωσης, τίτλο και σύντομη περιγραφή του τι παρουσιάζει κάθε τμήμα ώστε να γίνεται ευκολότερο να αντιληφθούμε τις μεταβολές της GSR και να εξάγουμε συμπεράσματα χωρίς να είναι απαραίτητη/αναγκαία η παρακολούθηση του video.

Καθώς οι αποκρίσεις της GSR εμφανίζονται μέσα σε 1-5 δευτερόλεπτα μετά την έναρξη ενός ερεθίσματος, θα πρέπει το υλικό που παρουσιάζεται να είναι αρκετά μεγάλο ώστε οι ερωτώμενοι να έχουν χρόνο να επεξεργαστούν το περιεχόμενό του και να καταγραφεί η μέτρηση. Αυτό συμβαίνει λόγω της της καθυστέρησης όλων των αισθητήριων διαδικασιών: όραση, ακοή, γεύση, οσμή και αφή. Επιπλέον, αυτό που θα μπορούσε να είναι χρήσιμο να τοποθετηθεί ένας cool-off χρόνος κατάλληλης διάρκειας μεταξύ των έντονων ερεθισμάτων ώστε το σήμα GSR να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Εάν δηλαδή παρουσιάσουμε συναισθηματικά φορτωμένες εικόνες σε πολύ γρήγορη

διαδοχή, πιθανότατα θα δούμε μια άνοδο των κορυφών της GSR πράγμα που καθιστά δύσκολο να διακρίνει κανείς ποια κορυφή προκλήθηκε από το πρώτο, δεύτερο ή τρίτο ερέθισμα. Επομένως, προσπαθούμε να κρατήσουμε τις συνθήκες εγγραφής καθαρές και δομημένες.

5.3 Γραφήματα

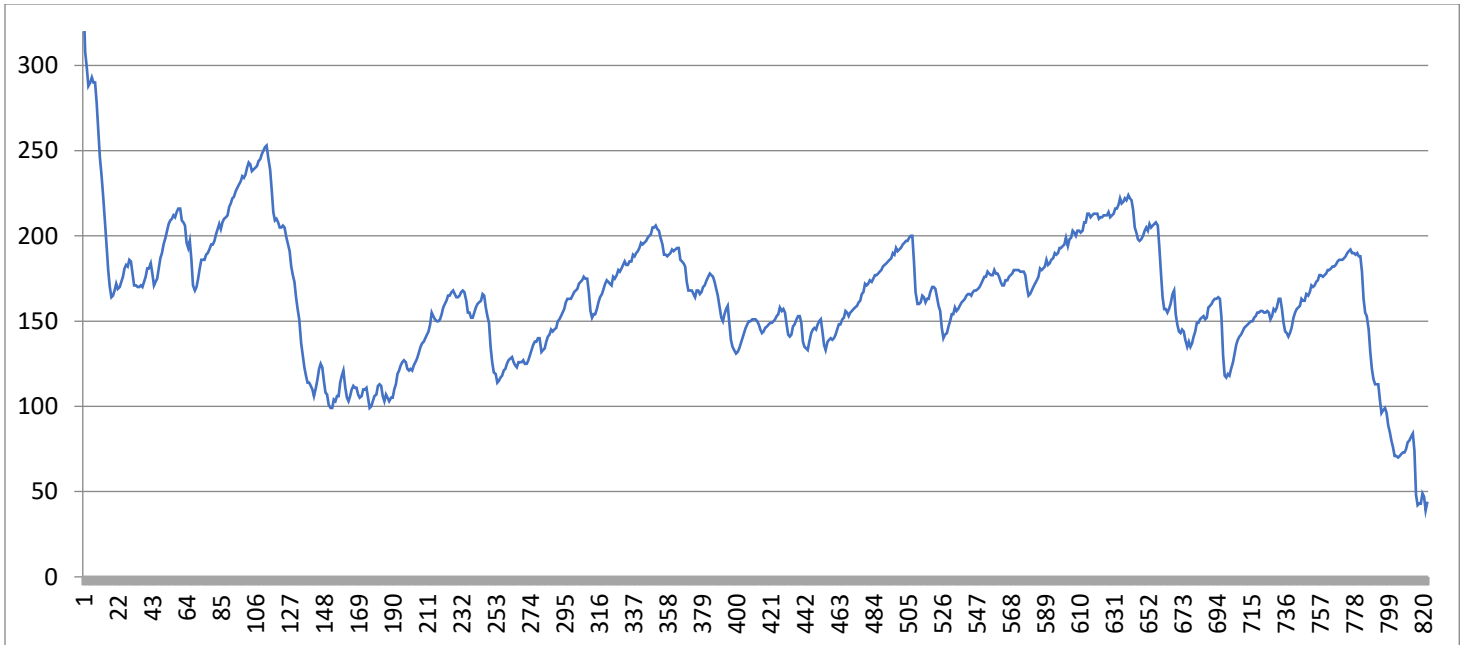
Εδώ αναφέρουμε ανώνυμα τα χαρακτηριστικά των υποκειμένων που έλαβαν μέρος στο πείραμα / μέτρηση παραθέτοντας κάποια δημογραφικά στοιχεία όπως ηλικία, φύλο, ύψος, βάρος καθώς και την ένδειξη του πολυμέτρου και παραθέτουμε τα γραφήματα από την παρακολούθηση του video. Το video το οποίο παρακολούθησαν τα δείγματα είναι μια συλλογή από επιμέρους μικρά βίντεο μέσω των οποίων έγινε η προσπάθεια να «πυροδοτηθεί» στο εκάστοτε υποκείμενο όσο το δυνατόν πιο έντονο το συναίσθημα του άγχους, στρες, χαράς, λύπης κ.λπ.

Δείγμα	Ηλικία	Φύλο	Ύψος(cm)	Βάρος(kg)	Ένδειξη Πολυμέτρου(MΩ)
1	30	Θ	1.65	60	2
2	28	A	1.70	72	1.8
3	30	Θ	1,65	55	4
4	26	Θ	1.58	65	10
5	23	Θ	1.67	65	0.9
6	30	Θ	1.65	48	5
7	35	A	1.82	70	6.3
8	29	Θ	1.60	60	3
9	32	Θ	1.63	52	15
10	30	A	1.75	65	4
11	30	Θ	1.65	55	3.5
12	38	A	1.87	80	5.5
13	35	Θ	1.65	60	4.25
14	29	A	1.76	70	3.7

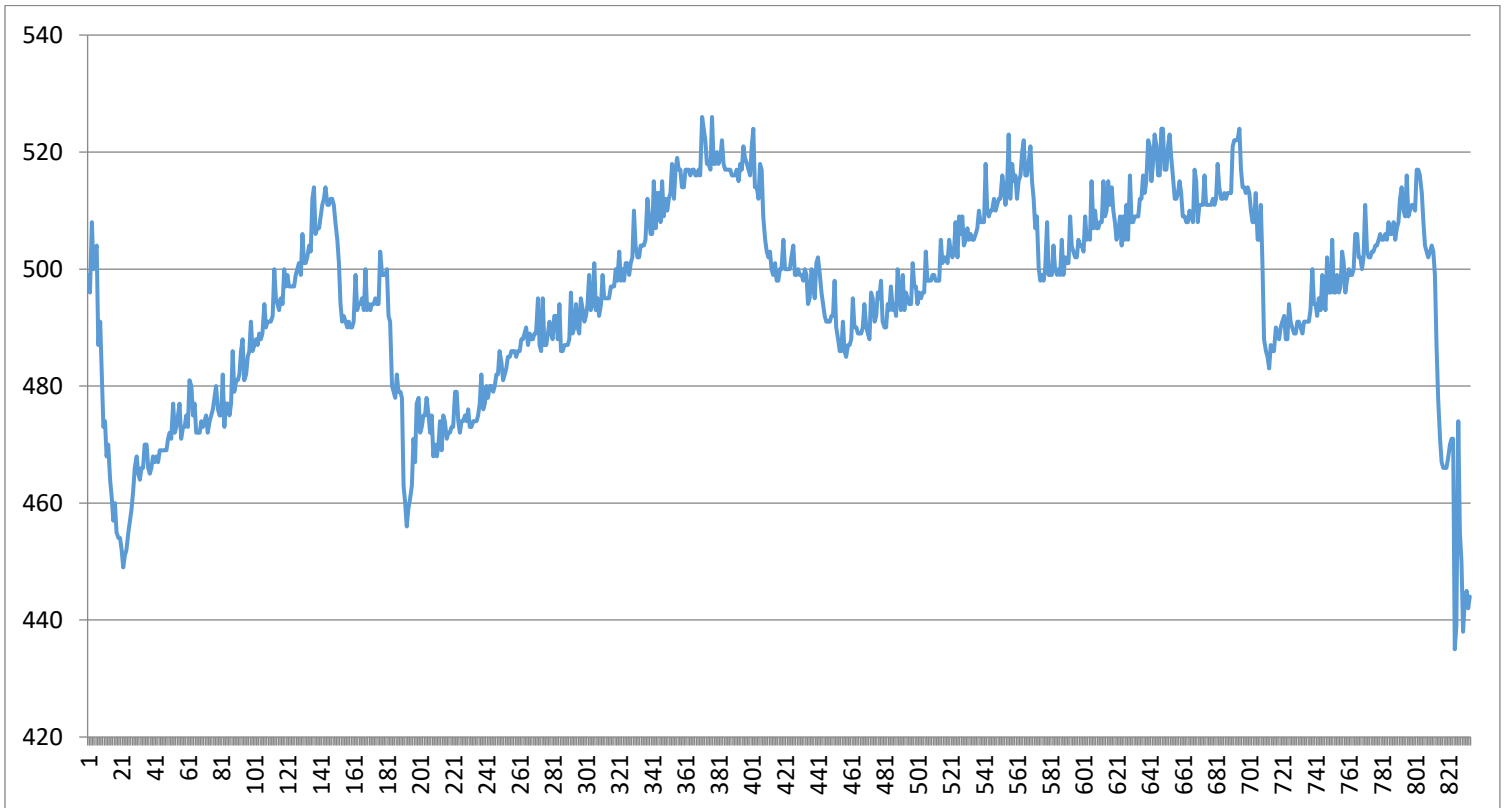
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά των υποκειμένων του πειράματος

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν από την συλλογή των δεδομένων από τα υποκείμενα που παρακολούθησαν το βίντεο συμμετέχοντας στο πείραμα. Σε κάθε γράφημα θα σημειώνονται τα επίμαχα σημεία που χρήζουν της προσοχής μας και θα ακολουθήσει συνολική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στη μέτρηση της GSR μπορούμε να λάβουμε δεδομένα μέχρι 2000Hz η συνιστώμενη συχνότητα για το δείγμα είναι 1 – 10Hz δηλαδή 1 – 10 μετρήσεις/sec. Πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι όταν λαμβάνονται επιπλέον φυσιολογικές παράμετροι όπως καρδιακός παλμός ή εκφράσεις προσώπου, χρειάζεται λήψη δεδομένων υψηλότερης συχνότητας. Στην παρούσα εργασία λαμβάνουμε 1 μέτρηση της GSR/sec.

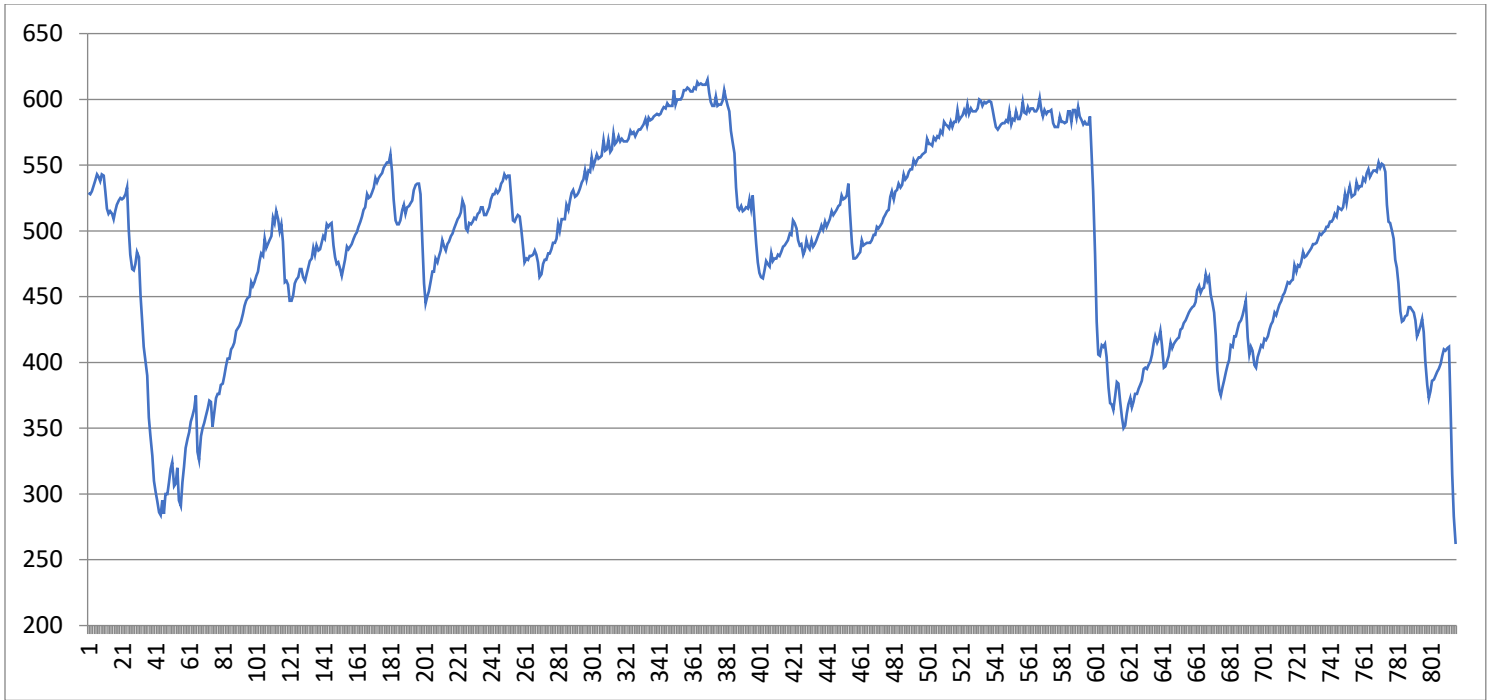
5.3.1 Δείγμα 1°



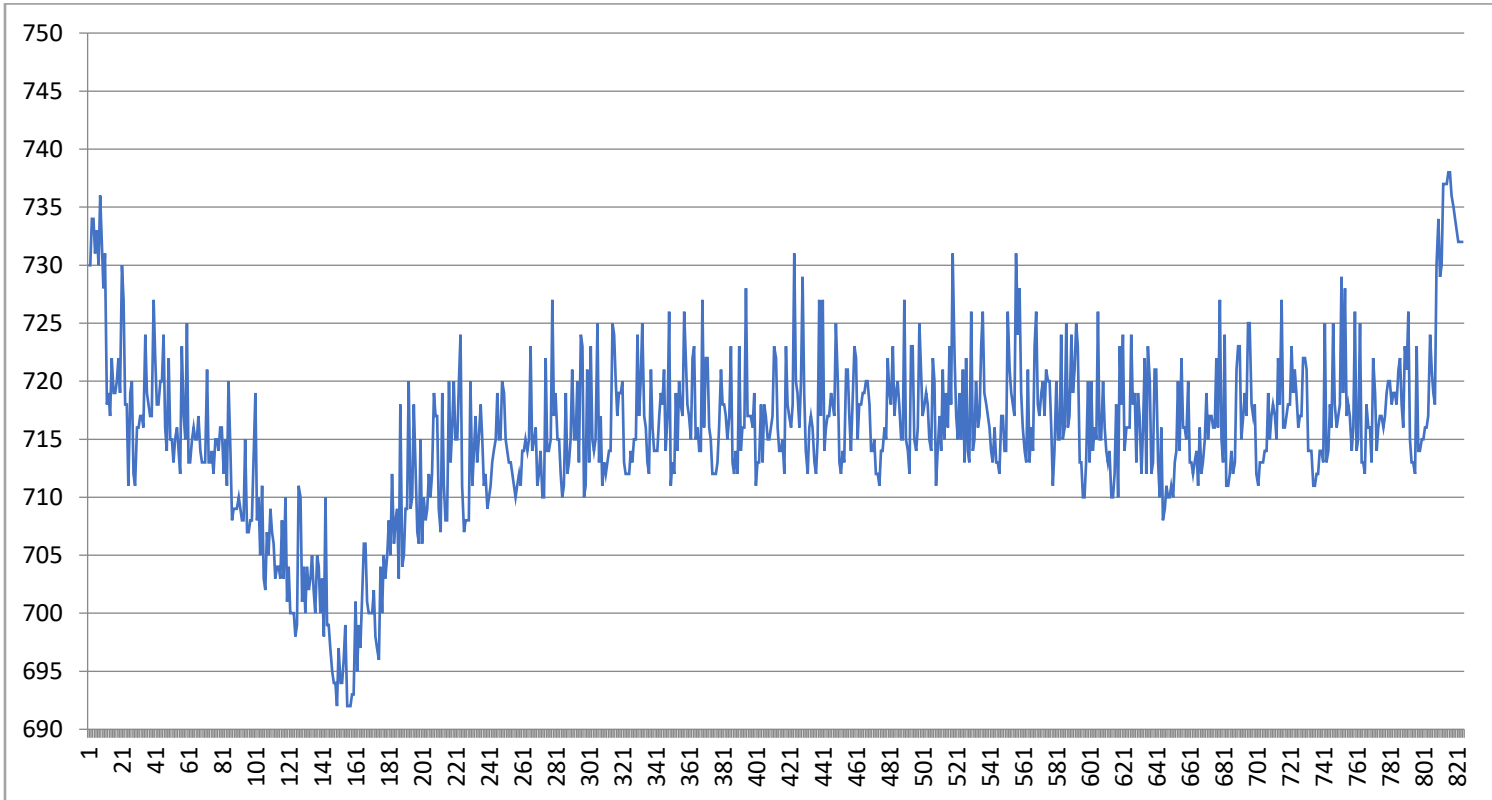
5.3.2 Δείγμα 2°



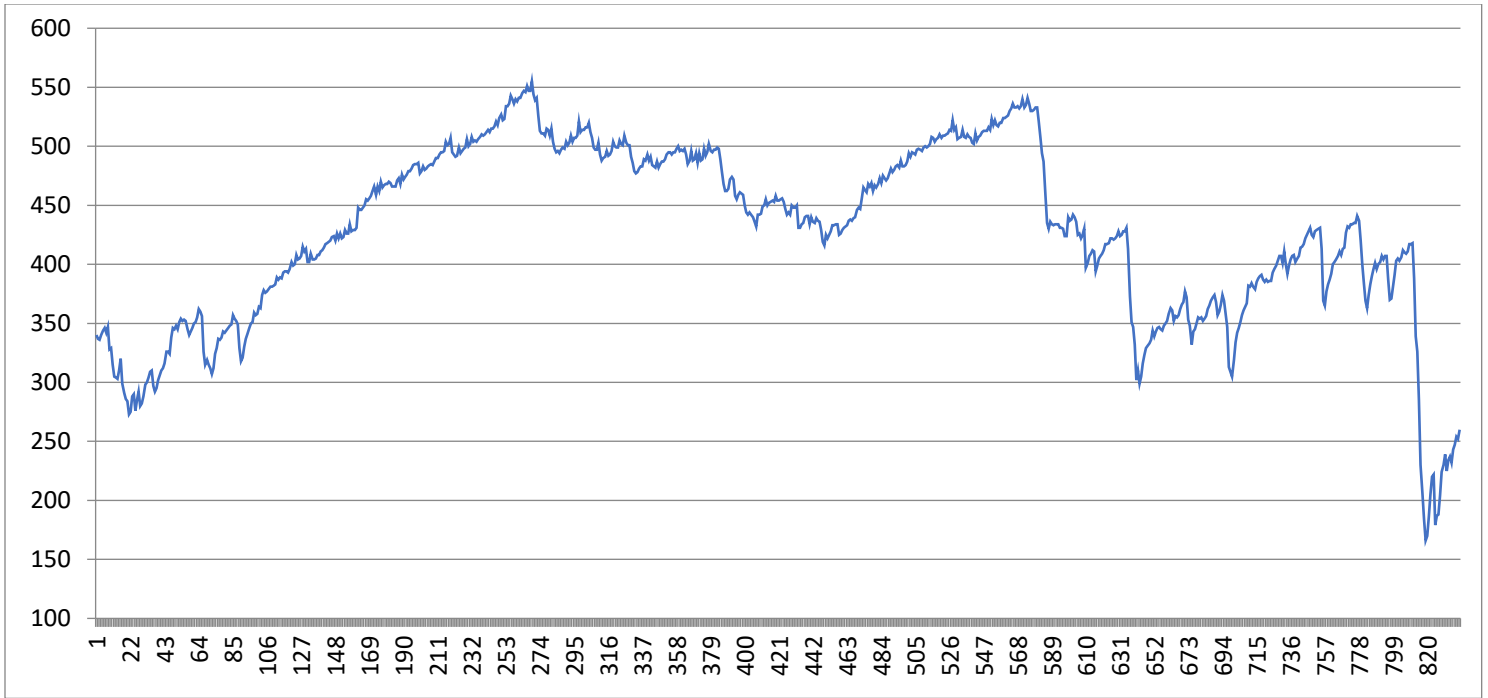
5.3.3 Δείγμα 3°



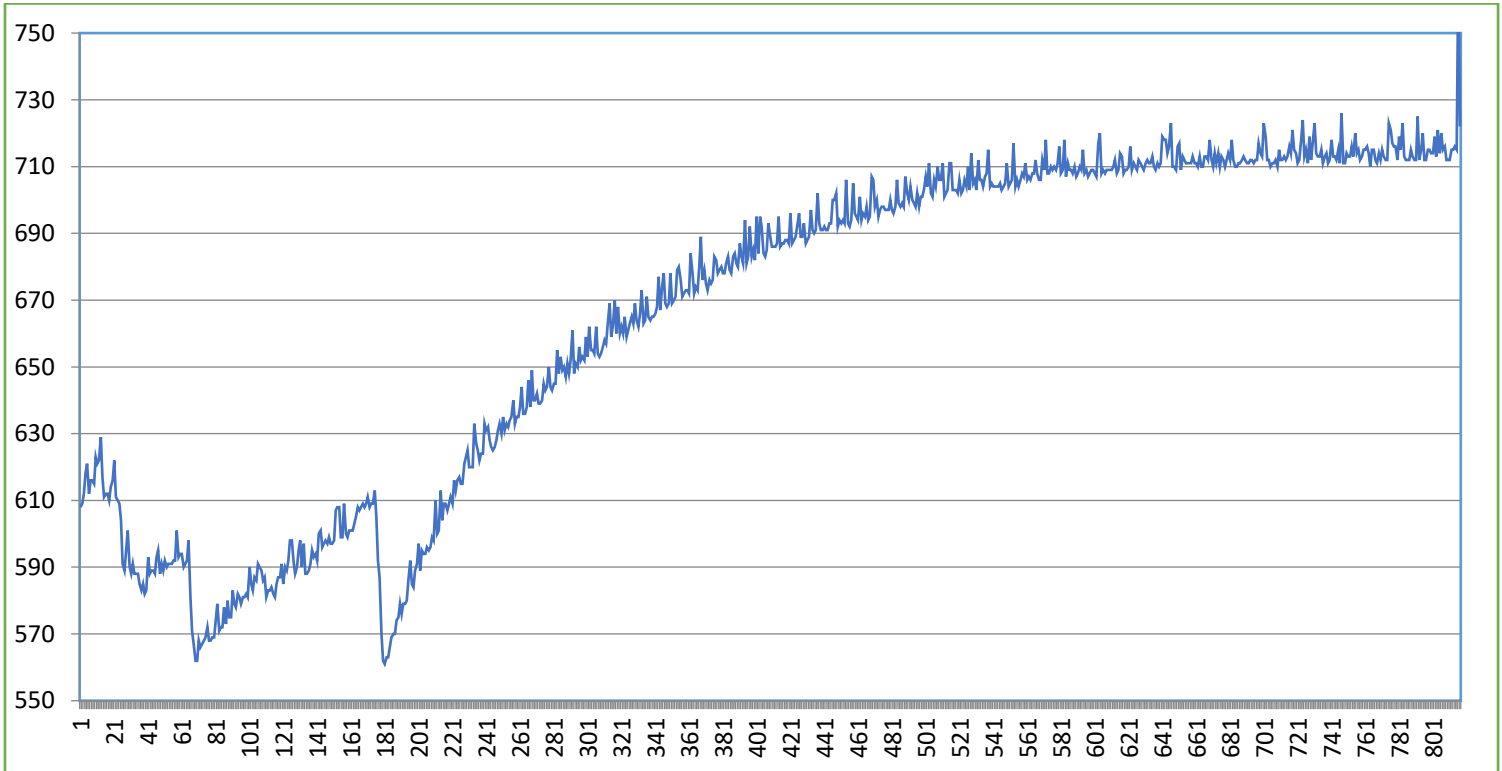
5.3.4 Δείγμα 4°



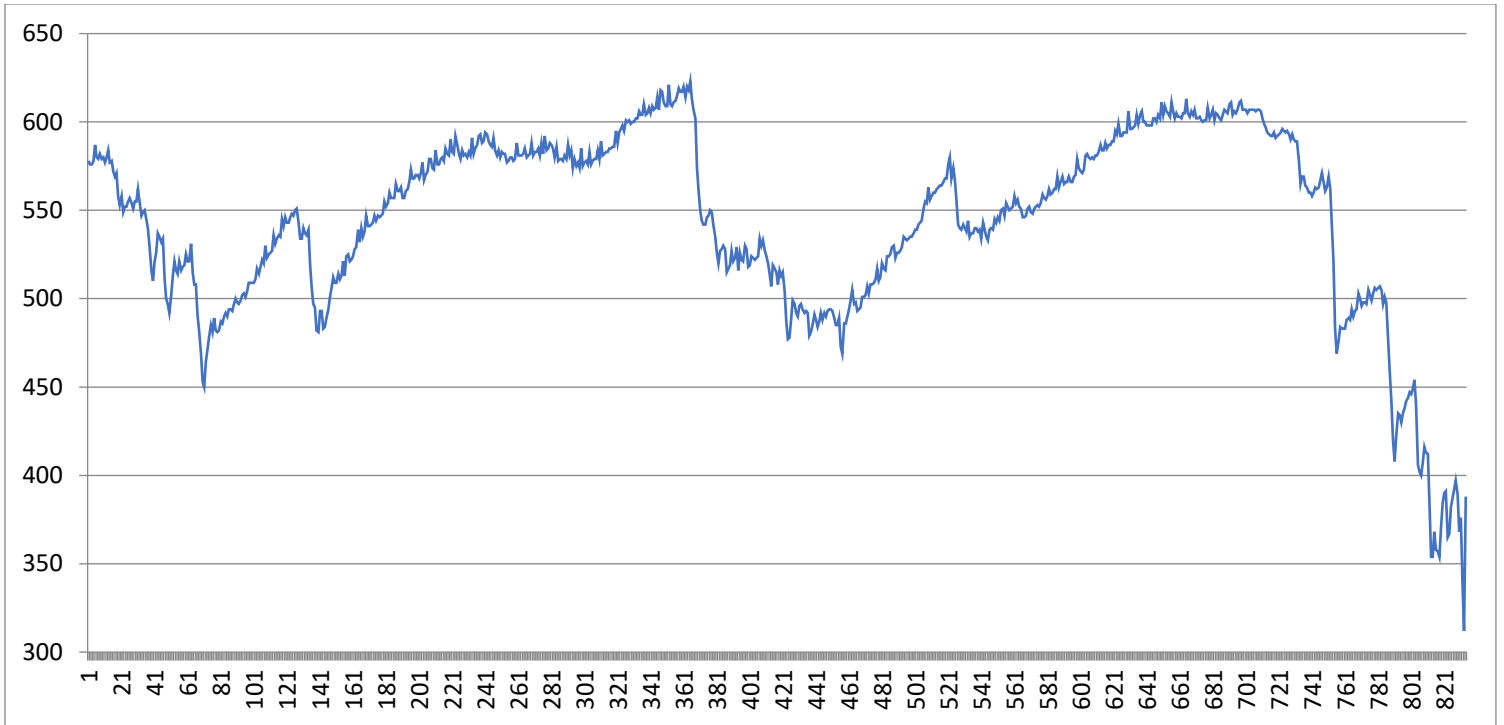
5.3.5 Δείγμα 5°



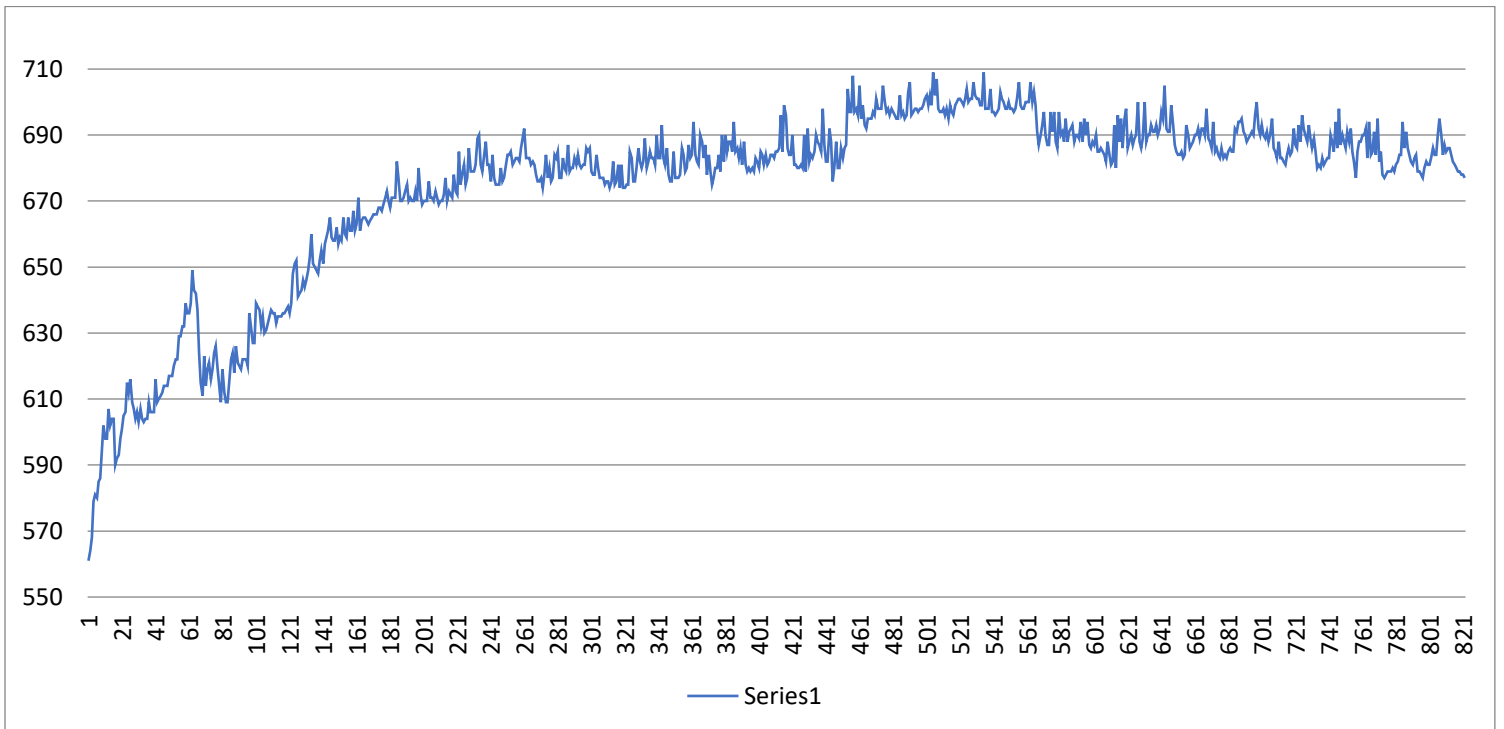
5.3.6 Δείγμα 6°



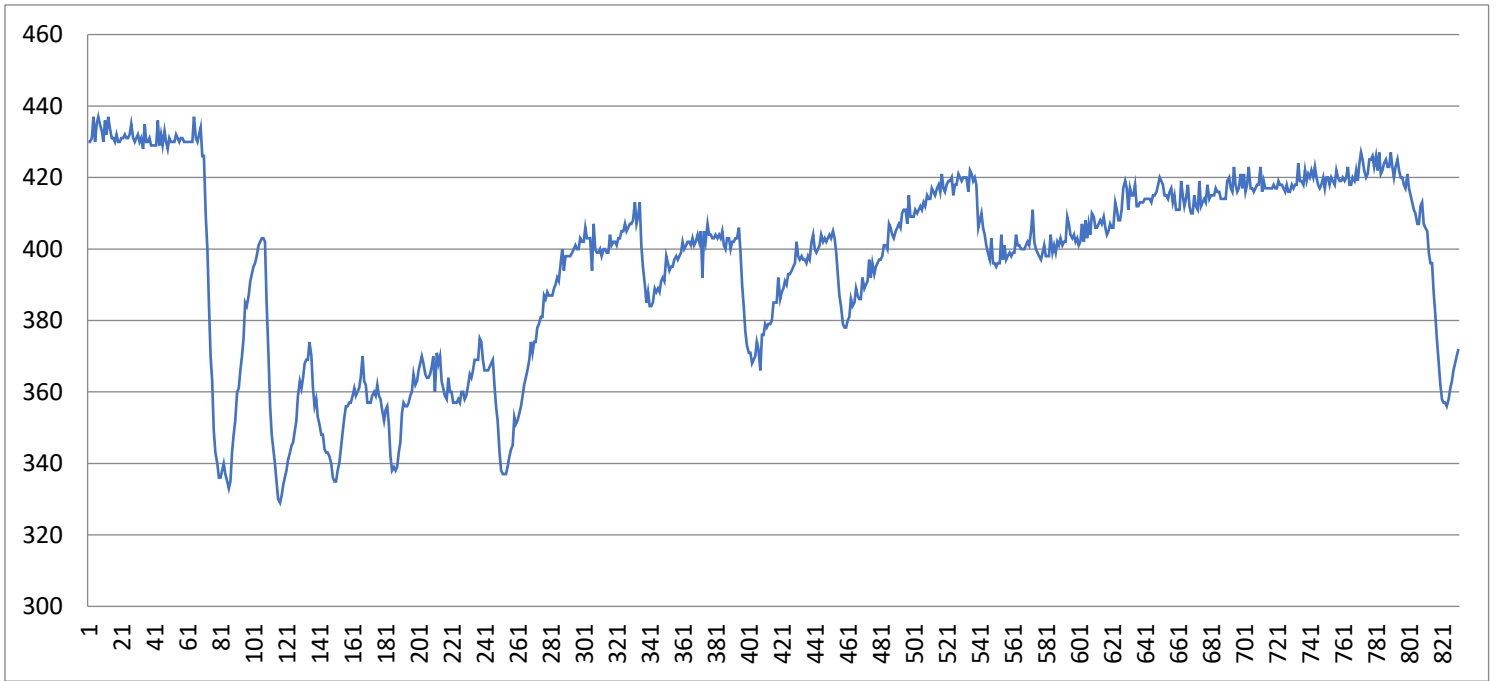
5.3.7 Δείγμα 7°



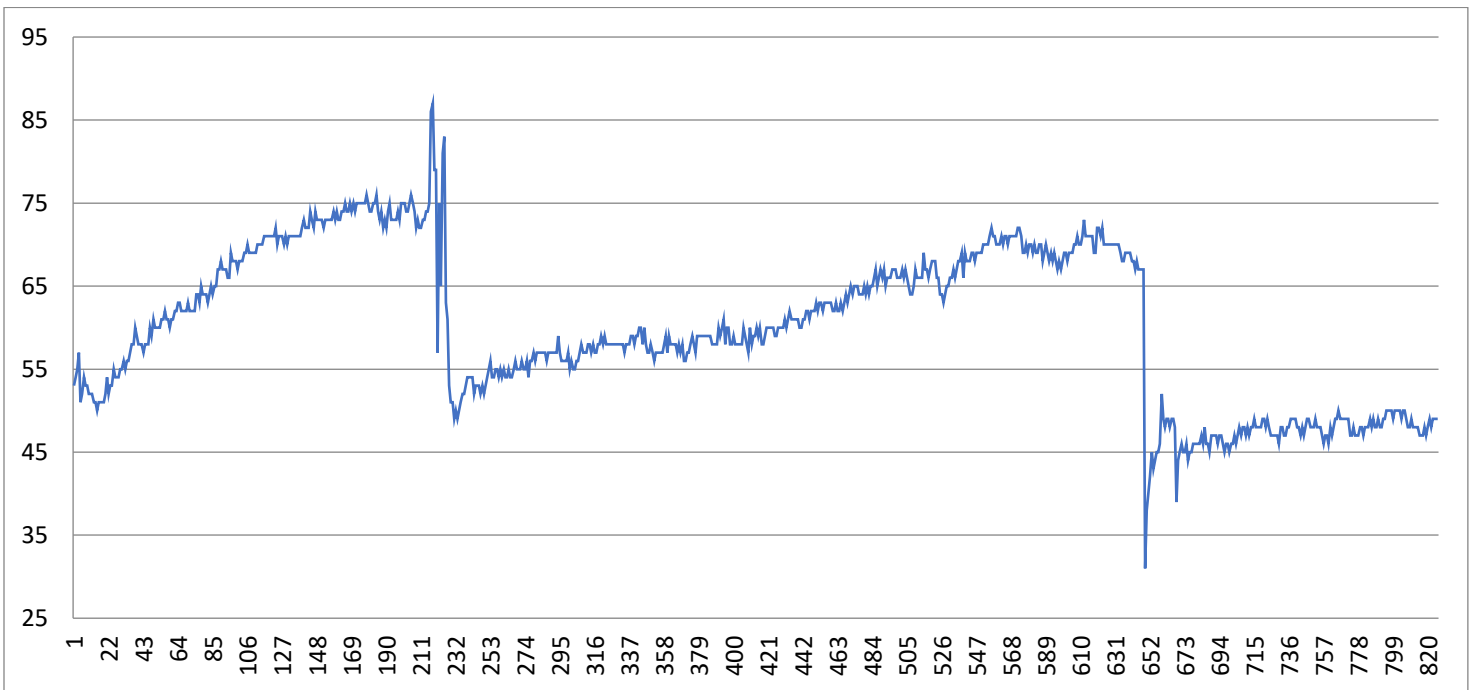
5.3.8 Δείγμα 8°



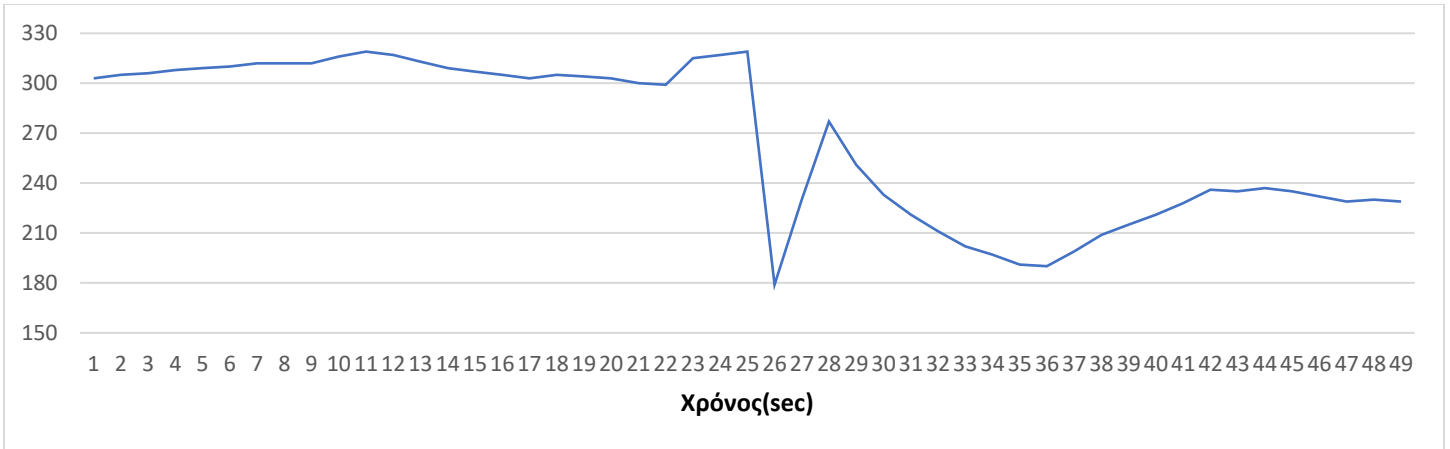
5.3.9 Δείγμα 9°



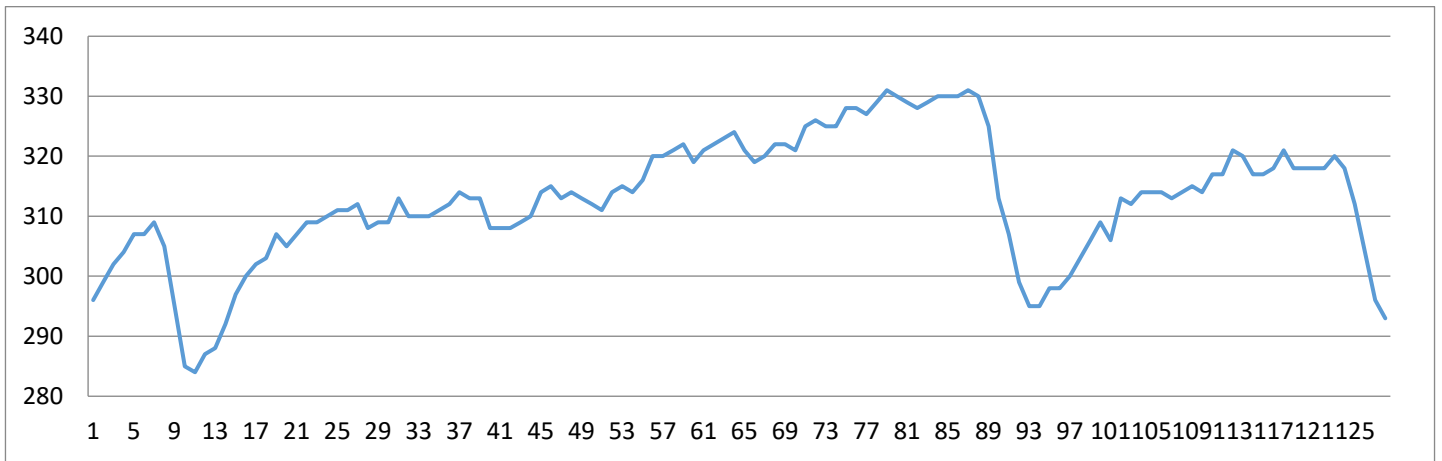
3.10 Δείγμα 10°



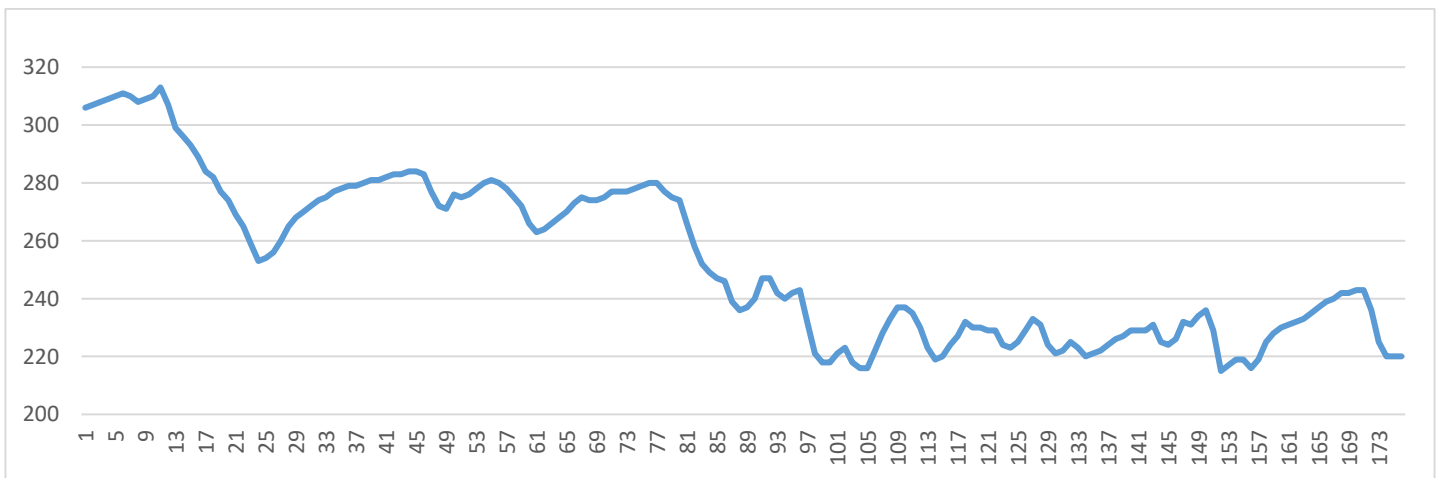
5.3.10 Δείγμα 11°



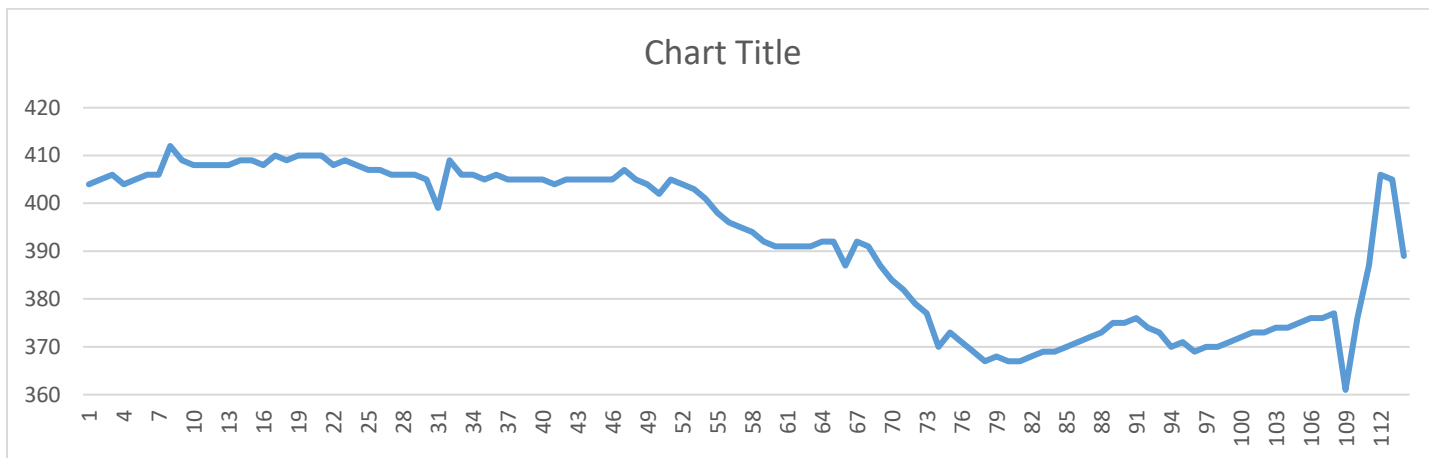
5.3.10 Δείγμα 12°



5.3.10 Δείγμα 13°



5.3.10 Δείγμα 14°



5.4 Αποκλίσεις – Παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις

Για να είμαστε σίγουροι για την ακρίβεια των βιολογικών μετρήσεων θα πρέπει οι αισθητήρες να είναι εφαπτόμενοι στο δέρμα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ένας τρόπος να λυθεί αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση ηλεκτροδίων, είτε με χρήση velchro είτε με gel που κολλά στο δέρμα.

Επίσης θα πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι τα ηλεκτρόδια είναι κοντά, αλλά απαλά τοποθετημένα και ποτέ πολύ σφικτά στα δάκτυλα ή τις παλάμες, καθώς αυτό μειώνει την ακρίβεια και την ποιότητα του σήματος.

Ακόμα για την εξαγωγή όσο το δυνατόν ασφαλέστερων συμπερασμάτων θα πρέπει όλες οι μετρήσεις από τα υποκείμενα να ληφθούν από το ίδιο σημείο που θα έχει επιλεγεί από την αρχή. Δεν επιτρέπεται αλλαγή σημείου για το ίδιο πείραμα αλλά και ούτε κατά την διάρκεια τέλεσης του από παλάμη σε δάκτυλα κ.ο.κ.

Ένας ακόμα λόγος διαστρεβλωμένων μετρήσεων είναι το εξαιρετικά λαδερό δέρμα που ενδεχομένως να έχουν κάποια από τα υποκείμενα του πειράματος. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία και να βελτιωθεί η σταθερότητα των ηλεκτροδίων προτείνεται καθαρισμός του δέρματος με αλκοολούχο διάλυμα (70% ισοπροπόλη). Στην αντίθετη περίπτωση που κάποιος έχει εξαιρετικά ξηρό δέρμα συνίσταται εφαρμογή κρέμας ή οτιδήποτε ενυδατικό.

Ακόμα για τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια των μετρήσεων θα πρέπει τα υποκείμενα να αναπνέουν κανονικά. Αυτό συμβαίνει γιατί οι έντονες εισπνοές ή εκπνοές όπως και το κράτημα της αναπνοής οδηγεί σε παραμόρφωση του σήματος της GSR. Αυτό μπορεί να μας οδηγήσει λανθασμένα σε εκτίμηση συναισθηματικής αλλαγής ενώ στην πραγματικότητα δεν συντελείται κάτι τέτοιο. Αυτό φυσικά στα πλαίσια του δυνατού καθώς όπως είναι λογικό σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συναισθηματικής διέγερσης από κάποιο ερέθισμα μπορείτε να κρατήσουμε την αναπνοή μας. Για την μέγιστη δυνατή ανάλυση του σήματος ενδείκνυται η χρήση μετρητή αναπνοής σε συνδυασμό με τον μετρητή GSR.

Κατά τη διάρκεια τέλεσης του πειράματος θα πρέπει το υποκείμενο να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο ακίνητο και ιδίως τα σημεία εκείνα από τα οποία παίρνεται η μέτρηση. Σκοπός είναι λοιπόν να βρεθεί μια θέση άνετη ώστε να γίνονται όσο το δυνατόν λιγότερες κινήσεις. Για παράδειγμα έντονη κίνηση ή σφίξιμο του χεριού σε γροθιά μπορούν να παραμορφώσουν το σήμα αισθητά. Σε περίπτωση το πείραμα περιλαμβάνει ελεύθερη κίνηση του υποκειμένου θα πρέπει το χέρι να κάνει την ελάχιστη κίνηση ή προτιμότερα τα ηλεκτρόδια να τοποθετηθούν στο παπούτσι και μέσα από την κάλτσα ώστε να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή κίνηση.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που ενδεχομένως να επηρεάσει τις μετρήσεις μας είναι η ομιλία η οποία πρέπει να αποφεύγεται καθώς οδηγεί σε μικρές μεταβολές στο σήμα που δεν είναι επιθυμητές.

Τέλος βασικός κανόνας για την καλύτερη δυνατή ποιότητα των βιο - μετρήσεων είναι τα υποκείμενα να νοιώσουν άνετα πριν και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ώστε τα αποτελέσματα του πειράματος να είναι μόνο λόγω του πειράματος και όχι άλλων παραγόντων όπως άγχος ή δυσπιστία κλπ.

5.5 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Κατά την ανάλυση των μετρήσεων, όπως εμφανίζονται στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρατηρήθηκαν ομοιότητες, αλλά και διαφορές στις αποκρίσεις των διαφορετικών υποκειμένων. Σε γενικές γραμμές οι ομοιότητες αφορούν σε αντιδράσεις που καταγράφηκαν κατά την θέαση βίαιων εικόνων ή κατά την ακρόαση hardcore μουσικών αποσπασμάτων, οι οποίες έπονταν της προβολής ουδέτερων εικόνων με χαλαρή μουσική. Στις γραφικές παραστάσεις οι συγκεκριμένες μεταβολές διαγράφονται ευκρινώς στα σημεία που διακρίνεται σημαντική πτώση στην τιμή των ενδείξεων των δειγμάτων.

Ως προς τις διαφορές των γραφημάτων, θεωρούμε πως είναι εύλογο να καταγράφονται ενδείξεις με απόκλιση κατά την διάρκεια παρακολούθησης του βίντεο, καθώς τα εκάστοτε υποκείμενα διαφέρουν ως προς τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, αλλά και ως προς τα ατομικά, όπως αυτά διαμορφώνονται από τα βιώματα και τις εμπειρίες του κάθε υποκειμένου. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να εξαγάγουμε σαφή συμπεράσματα, καθώς η κυματομορφή εμφανίζεται διαστρεβλωμένη, λόγω του θορύβου, που πιθανότατα οφείλεται σε υπερβολική ξηρότητα ή λιπαρότητα του δέρματος όπου εφαρμόστηκαν τα ηλεκτρόδια.

Ειδικότερα στο 1ο γράφημα παρατηρούμε μια απότομη μεταβολή της GSR από το 114sec έως το 151sec. Στο τμήμα αυτό του βίντεο παρουσιάζεται μια μικρού μήκους ταινία τρόμου με ένα παιδάκι που περιφέρεται ολομόναχο στο δάσος. Αν λάβουμε υπ' όψιν ότι η μέγιστη τιμή είναι τα 300 και η ελάχιστη τα 50, το συνολικό εύρος των ενδείξεων του υποκειμένου είναι 250 μονάδες. Η πτώση λοιπόν σε αυτό το σημείο είναι περίπου της τάξης των 150 μονάδων (250 – 100) και αποτελεί την μεγαλύτερη μεταβολή της GSR καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος για αυτό το υποκείμενο. Ακολουθεί στο 774sec – 820sec(τέλος) η δεύτερη μεγαλύτερη μεταβολή με ελάχιστη απόκλιση από την πρώτη, της τάξης των 140 μονάδων (από 190-50), όπου ομοίως προβάλλεται ένα τρομακτικό video που σοκάρει τον θεατή .

Για να κρατήσουμε δομημένες τις ενδείξεις, διατηρούμε έναν cool-off χρόνο με χαλαρωτική μουσική και ουδέτερες συναισθηματικά σκηνές πριν και μετά από τις έντονες σκηνές, οι οποίες και οδήγησαν σε έντονες μεταβολές της GSR. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η δημιουργία έντονων συναισθημάτων

άγχους/φόβου κ.λπ. οδηγεί σε ραγδαία πτώση της γαλβανικής απόκρισης δέρματος, όπως επαληθεύτηκε και στις δυο περιπτώσεις.

Προκειμένου να οδηγηθούμε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα συγκρίνουμε τα γραφήματα των δειγμάτων 1,2,3,7 και 9, όπου στο σημείο 802sec - 811sec του προβαλλομένου video και έως το 819sec - 830sec εντοπίζεται η ίδια απότομη μεταβολή στις μετρήσεις, με εύρος πτώσης των τιμών της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος περί των 65-246 μονάδων. Παρατηρούμε δηλαδή ότι για το ίδιο απόσπασμα του βίντεο το 1ο δείγμα έχει πτώση 150 μονάδων (250 – 100) σε συνολικό εύρος τιμών 252(max:300 – min:48), το 2ο δείγμα έχει πτώση της τάξεως των 82 μονάδων (517– 435) με εύρος τιμών 91(max:526 – min:435), το 3ο δείγμα πτώση της τάξεως των 143 μονάδων (405– 262) με εύρος τιμών 352(max:612 – min:260), το 5ο πτώση της τάξεως των 246 μονάδων (412– 166) με εύρος τιμών 385(max:551 – min:166), το 7ο δείγμα πτώση της τάξεως των 137 μονάδων (449– 312) με εύρος τιμών 305(max:617 – min:312), και το 9ο δείγμα πτώση της τάξεως των 65 μονάδων (423– 358) με εύρος τιμών 106(max:436 – min:330). Στο συγκεκριμένο σημείο του βίντεο προβάλλεται απόσπασμα ταινίας θρίλερ, που στοχεύει στην πρόκληση φόβου στους θεατές , άρα και στην μεταβολή των ενδείξεων του μετρητή GSR.

Το 4ο, το 6ο και 8ο δείγμα παρουσιάζουν κυματομορφές δύσκολα αναγνώσιμες και ερμηνεύσιμες, καθώς, όπως ήδη αναφέρθηκε, στα συγκεκριμένα υποκείμενα παρατηρήθηκε έντονη λιπαρότητα(4ο και 8ο) ή ξηρότητα (6ο), με αποτέλεσμα τα γραφήματα να εμφανίζουν θόρυβο. Παρ' ολ' αυτά μπορούμε να εξάγουμε, έστω επισφαλή συμπεράσματα, ακόμα και από τα συγκεκριμένα παραμορφωμένα γραφήματα σχετικά με έντονα συναισθήματα, όπως αυτό του φόβου. Παραδείγματος χάριν, η μέγιστη μεταβολή και η χαμηλότερη τιμή ταυτόχρονα του 4ου δείγματος εντοπίζεται στο σημείο έντονης συναισθηματικής κορύφωσης του video με στόχο την πρόκληση φόβου, σημείο που εμφάνισαν αξιοσημείωτη μεταβολή και τα υπόλοιπα δείγματα.

Στο 4ο γράφημα επίσης παρατηρούμε κάτι το αξιοσημείωτο σε σχέση με τα υπόλοιπα υποκείμενα. Ενώ όλοι οι συμμετέχοντες στα τμήματα που στόχευαν στην πρόκληση φόβου εμφάνισαν ραγδαία πτώση της μετρούμενης παραμέτρου τους, το υποκείμενο 4 στο επίμαχο σημείο του βίντεο (805-813) εμφανίζει απότομη άνοδο φτάνοντας και το peak των συνολικών τιμών που εμφάνισε. Αυτό έρχεται σε άμεση συμφωνία με τους Hopkins & Fletcher, 1994 , οι οποίοι ανέφεραν ότι ενώ η GSR μετρά την συναισθηματική διέγερση ο κύριος περιορισμός της παραμένει το γεγονός ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση αυτής (θετική ή αρνητική).

Στο 6ο γράφημα, παρότι αφορά και αυτό σε υποκείμενο με έντονη ξηρότητα δέρματος στο οποίο δεν εφαρμόστηκε ενυδατικός παράγοντας, παρατηρούμε επίσης δύο σημεία έντονης μεταβολής. Η πρώτη αφορά στο τμήμα 60-69sec, όπου καταγράφεται πτώση 38 μονάδων(600-562), με συνολικό εύρος τιμών 163(min:562-max:725) κατά την μετάβαση από ουδέτερο οπτικό ερέθισμα (Landscapes) με χαλαρή μουσική, σε έντονο ηχητικό ερέθισμα (death metal μουσική) με βίαιο videoclip. Η δεύτερη συντελείται ενόσω προβάλλεται το ίδιο μονότονο βίντεο με στροβιλιζόμενο pattern και την ίδια μονότονη μουσική. Συνεπώς σε αυτή την περίπτωση δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα σχετικά με το αν έχουμε συναισθηματική διέγερση. Η μονοτονία του βίντεο μπορεί να οδήγησε το υποκείμενο σε οποιαδήποτε εξωτερική του πειράματος σκέψη και να οδήγησε σε μεταβολή της αγωγιμότητας.

Στο 8ο γράφημα παρατηρούμε ελάχιστες και ασήμαντες μεταβολές των ενδείξεων GSR. Στο συγκεκριμένο υποκείμενο παρατηρήθηκε έντονη λιπαρότητα στα σημεία εφαρμογής των ηλεκτροδίων

και επιπρόσθετα είχε παρακολουθήσει κατά τη διάρκεια τέλεσης του πειράματος αρκετές φορές το συγκεκριμένο video με αποτέλεσμα να μην πυροδοτείται κάποια έντονη συναισθηματική διέγερση.

Στο 11^ο γράφημα στο υποκείμενο παρουσιάστηκε απόσπασμα ενός βίντεο από ταινία τρόμου. Παρατηρούμε ότι στο peak της σκηνής παρουσίασε ραγδαία πτώση 140 μονάδων, από την τιμή 319 στην 179. Η πτώση αυτή αποτελεί και το συνολικό εύρος τιμών που εμφάνισε καθ' όλη τη διάρκεια της προβολής. το αποτέλεσμα αυτό έρχεται να επιβεβαιώσει όσα έχουμε παρατηρήσει στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Σύμφωνα με την ανάλυση των γραφημάτων οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το αίσθημα του φόβου έχει άμεση επίδραση στη δράση του αυτόνομου νευρικού συστήματος με σαφή και άμεσο συσχετισμό με την λειτουργία των ιδρωτοποιών αδένων.

Ομοίως το υποκείμενο 12 εμφανίζει δυο σημεία αξιόλογων μεταβολών, 22 μονάδων (307-285) στα 6sec- 11sec, και 36 μονάδων (331-295) στα 87sec – 93sec με συνολικό εύρος τιμών 46 (min:285 – max:331). Και στα δύο επίμαχα σημεία το διεγερόμενο συναίσθημα είναι αυτό του φόβου όπου το δείγμα εμφάνισε την αναμενόμενη συμπεριφορά, ανάλογη με αυτή των υπολοίπων υποκειμένων.

Στο υποκείμενο 13 προκαλέσαμε απρόσμενα το αίσθημα του πόνου τσιμπώντας με καρφίτσα ελαφρά τυχαίο σημείο του σώματός του. Όπως φαίνεται και από το γράφημα GSR το τσίμπημα έγινε στο 10^ο δευτερόλεπτο και στο 77^ο όπου και παρατηρούνται οι μεγαλύτερες πτώσεις στη μέτρησή μας. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε πτώση από τις 313 μονάδες στις 253, και στη συνέχεια υπάρχει σταδιακή αύξηση στις ενδείξεις(ηρεμία) μέχρι το δευτερόλεπτο 77 όπου χωρίς προειδοποίηση εφαρμόσαμε και το δεύτερο τσίμπημα. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε πάλι πτώση αντίστοιχου μεγέθους από τις 280 στις 235 μονάδες. Παρατηρούμε λοιπόν πως έχουμε πτώση στις ενδείξεις τις GSR όταν στα υποκείμενα πέρα από την αίσθηση του φόβου προκαλείται το αίσθημα του πόνου(σωματικός)

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη όσα αναφέραμε στην ανάλυση των γραφημάτων προτείνουμε την εξέταση του κάθε υποκειμένου χωριστά.

Κεφάλαιο 6 Χρήσεις - Μελλοντικές Βελτιώσεις

6.1 Χρήσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την σχεδίαση, την κατασκευή και την λειτουργία ενός συστήματος που θα μετρά τη γαλβανική απόκριση του δέρματος, βασισμένου στην αρχιτεκτονική Arduino. Στη πορεία του κειμένου αναφερθήκαμε τόσο στο ιατρικό κομμάτι, αναλύοντας εκτενώς την λειτουργία του νευρικού συστήματος και τη σύνδεση μεταξύ αυτού και των ιδρωτοποιών αδένων, όσο και στην λειτουργία των μικροεπεξεργαστών και στην τελική δημιουργία του κυκλώματος. Με βάση το πείραμα που εκτελέσαμε αλλά και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση του GSR μπορεί να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για το υποκείμενο όσον αφορά στη συναισθηματική του απόκριση σε οπτικοακουστικά ερεθίσματα και να καταστεί χρήσιμο εργαλείο σε ιατρικές μελέτες.

Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη των νευροεπιστημών συνειδητοποιήσαμε την ύπαρξη συναισθηματικής νοημοσύνης. Τα συναισθήματά μας όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ελέγχονται από την αμυγδαλή. Η αμυγδαλή ελέγχεται από τον φλοιό του εγκεφάλου και πιο συγκεκριμένα από τον μετωπιαίο λοβό. Η αμυγδαλή είναι πιο ενστικτώδης από τον φλοιό ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη σκέψη. Άτομα που ζουν με Αλτσχάιμερ αισθάνονται συναισθήματα αλλά δεν διαθέτουν την ικανότητα να τα ρυθμίσουν με αποτέλεσμα τις περισσότερες φορές να εμφανίζουν παράλογη ή ακατάλληλη συμπεριφορά. Τα άτομα που ζουν με άνοια πολύ συχνά εμφανίζουν αναστάτωση χωρίς προφανή λόγο. Αυτό συμβαίνει καθότι τα άτομα αυτά ξεχνούν τις συνθήκες που προκάλεσαν αυτή την αντίδραση, αλλά μπορούν και διατηρούν το συναίσθημα αυτό για κάποιο χρονικό διάστημα, παρά το γεγονός ότι η αρχική αιτία που το πυροδότησε δεν έχει αποθηκευτεί. Ο καθηγητής νευροψυχολογίας Steven Sabat, συγγραφέας του βιβλίου "The Experience of Alzheimer's Disease" (2001) αναφέρει ότι τα άτομα με Αλτσχάιμερ μπορούν να σχηματίσουν νέες συναισθηματικές μνήμες που σχετίζονται με τον τρόπο που τους συμπεριφέρονται ή μια εμπειρία. Έτσι τα άτομα αυτά αργότερα μπορούν να παρουσιάσουν σε αντίστοιχη περίπτωση το σχετικό συναίσθημα ακόμα και αν δεν μπορούν συνειδητά να θυμηθούν το περιστατικό που σχετίζεται με το ανάλογο συναίσθημα. Η τεχνική λοιπόν του GSR μας παρέχει συγκεκριμένες τιμές σχετικά με τις εκκρίσεις του σώματος κατά τις μεταβολές της συναισθηματικής κατάστασης των υποκειμένων, δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για αυτά σε τέτοιες ειδικές περιπτώσεις, ώστε να έχουμε ενδείξεις του τι προκαλεί έντονες αλλαγές στη συναισθηματική φόρτιση του εκάστοτε ασθενούς, βοηθώντας έτσι στη δημιουργία κατάλληλων μελλοντικών συνθηκών με σκοπό τη βελτίωση της κατάστασής τους.

Η αξιολόγηση της GSR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση παθήσεων/διαταραχών στο Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα και στο Περιφερικό Νευρικό Σύστημα. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για τη διάγνωση διαβητικής νευροπάθειας, αλκοολικής νευροπάθειας και ουραιμικού συνδρόμου. Έλλειψη GSR παρατηρείται σε άτομα με κληρονομικότητα σε κινητικά και αισθητικά νευρικά προβλήματα. Ακόμα, ανωμαλίες στις ενδείξεις του GSR παρατηρούνται στα πρώτα ασυμπτωματικά στάδια της προσβολής από τον ιό του HIV.

Προσπάθειες γίνονται για την εφαρμογή του GSR σε διαγνώσεις δερματολογικών παθήσεων όπως η σκληροδερμία και η ψωρίαση, η αρθρίτιδα, η νόσος Fabry, αλλά και άλλων αυτοάνοσων νοσημάτων όπως η λέυκη, ο αυτοάνοσος υποθυρεοειδισμός, η νόσος Αδαμαντιάδη – Behcet, όπου το ανοσοποιητικό

σύστημα επιτίθεται στους ιστούς του οργανισμού αναγνωρίζοντάς τους ως ξένους και η και σε άλλες, ψυχικές ασθένειες, όπως η κατάθλιψη και η ψύχωση.

Η γαλβανική απόκριση δέρματος μελετήθηκε επίσης σε ασθενείς που υπέστησαν εγκεφαλικά ως μέθοδος αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της χειρουργικής ή της θωρακικής συμπαθεκτομής. Η θωρακοσκοπική συμπαθεκτομή επιλύει την πρωτοπαθή υπεριδρωσία, το φαινόμενο Raynaud και την υπερβολική ερυθρότητα του προσώπου. Η υπεριδρωσία δεν οφείλεται σε υψηλότερη πυκνότητα των ιδρωτοποιών αδένων, αλλά πιθανόν στην υπερδιέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Γι' αυτό εκδηλώνεται συχνά σε περιπτώσεις ψυχονοητικής και συναισθηματικής φόρτισης ειδικά στις παλάμες, τα πέλματα, τις μασχάλες και πιο σπάνια στο πρόσωπο. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ένας χειρουργός απενεργοποιεί μερικώς το συμπαθητικό νεύρο που ελέγχει τους ιδρωτοποιούς αδένες, καθώς και την διαστολή των αιμοφόρων αγγείων κοντά στην επιφάνεια του δέρματος του προσώπου και των δακτύλων. Η θωρακοσκοπική συμπαθεκτομή εκτελείται ως μια ελάχιστα επεμβατική διαδικασία, έχει λίγους κινδύνους, αλλά οι άνθρωποι που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση συχνά αντιμετωπίζουν αργότερα προβλήματα εφίδρωσης και σε άλλα μέρη του σώματός τους. Οι άνθρωποι με πρωτοπαθή υπεριδρωσία αποβάλλουν ιδρώτα αφειδώς από τις μασχάλες τους, τα χέρια και τα πόδια, ακόμη και όταν ο αέρας είναι δροσερός και όταν δεν είναι οι ίδιοι ασκούνται ή κινούνται. Η μέτρηση της GSR σε ασθενείς μετά από μια τέτοια επέμβαση μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την παρακολούθηση και την αποκατάσταση των ασθενών.

Η GSR μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σε υπνοθεραπεία/ύπνωση. Με ένα μετρητή GSR μετράται η γαλβανική απόκριση δέρματος του υποκειμένου. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος επηρεάζεται από αλλαγές στο αλάτι και το νερό στους αγωγούς του ιδρώτα. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν σχεδόν ακαριαία ως απόκριση σε ορισμένες συναισθηματικές αντιδράσεις. Σε περιπτώσεις υπερδιέγερσης παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και σε περιπτώσεις χαλάρωσης παρατηρείται μείωσή της. Έτσι ο μετρητής GSR είναι σε θέση να μετρήσει και να επιδείξει μια γενική κατάσταση χαλάρωσης του ασθενούς αλλά και άμεσες συναισθηματικές αντιδράσεις. Το βάθος χαλάρωσης ή έντασης της συναισθηματικής απόκρισης υποδεικνύεται από την αλλαγή στην ανάγνωση της μέτρησης. Κανονικά, καθώς ο ασθενής εισέρχεται στην ύπνωση, η ανάγνωση των τιμών θα πέσει και θα συνεχίσει να μειώνεται καθώς ο ασθενής θα χαλαρώνει. Περιστασιακά, οι μετρούμενες τιμές της GSR ενός ασθενούς μπορεί να αυξηθούν ακόμη και αν έχει εισέλθει σε βαθιά ύπνωση. Μια τέτοια ένδειξη τείνει να είναι ενδεικτικό υποσυνείδητου άγχους. Καθώς ο ασθενής αρχίζει να μιλάει κατά τη διάρκεια της ανάλυσης οι μετρούμενες τιμές τείνουν να αυξηθούν. Αυτό είναι φυσιολογικό, καθώς όταν οι ασθενείς εισέλθουν σε μια περιοχή που υπάρχουν ανήσυχες σκέψεις οι τιμές θα αυξηθούν σημαντικά, συχνά πολύ γρήγορα, παρόλο που μπορεί να φαίνονται χαλαροί. Οι μειωμένες αντιδράσεις σε συγκεκριμένους τομείς από συνεδρία σε συνεδρία μπορούν να δώσουν μια καλή ανταπόκριση σχετικά με τη πρόοδο/βελτίωση του ασθενούς. Συνοψίζοντας λοιπόν, ο μετρητής GSR αποτελεί ανεκτίμητο εργαλείο στη συγκεκριμένη μέθοδο/θεραπεία για τον ψυχίατρο/ψυχολόγο καθότι φανερώνει τις συναισθηματικές αντιδράσεις του ασθενούς κατά τη διάρκεια της ύπνωσης αλλά και πριν από αυτή αποτελώντας έτσι μια καλή ένδειξη της πρόοδου του στη προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος. (φοβία, άγχος, ψυχοθεραπεία, διαχείριση πόνου)

Η μέτρηση της γαλβανικής απόκρισης δέρματος σε έρευνες για διαφημιστικούς σκοπούς ήταν σπάνια μέχρι και τις αρχές του '90. Μερικοί ερευνητές διαφήμισης, ενώ δοκίμαζαν άλλες μεθόδους μέτρησης των συναισθημάτων χρησιμοποιούσαν την GSR απλώς ως εργαλείο επικύρωσης (Aaker, Stayman, &

Hagerty,1986). Στη πορεία όμως, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές της αγοράς οι οποίοι εφάρμοσαν την τεχνική της GSR κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η γαλβανική απόκριση δέρματος είναι η μέθοδος η οποία μπορεί να προβλέψει καλύτερα από οποιαδήποτε άλλη τεχνική/πρακτική τις επιδόσεις ενός προϊόντος στην αγορά(LaBarbera και Tucciaronne,1995). Διατυπώσανε σημαντικές οδηγίες σχετικά με τον εξοπλισμό και τις στατιστικές φόρμουλες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας έρευνας ενός προϊόντος με χρήση της τεχνικής GSR. Οι LaBarbera και Tucciaronne (1995) υποστήριξαν ότι πολλές προηγούμενες μελέτες GSR στη διαφήμιση(οι περισσότερες πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960) δεν κατάφεραν να καταστούν κατατοπιστικές καθώς υπήρχε έλλειψη επαρκώς ευαίσθητου εξοπλισμού και ακριβή στατιστικά πρωτόκολλα. Ως εκ τούτου, οι παλιότερες έρευνες δεν μπορούσαν να διαχωρίσουν τον "θόρυβο" από τη πραγματική γαλβανική απόκριση. Ευτυχώς, σήμερα, οι τεχνολογικές εξελίξεις και πολλά στατιστικά προγράμματα βοηθούν να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες. Ο κύριος περιορισμός της GSR που παραμένει, είναι ότι το γεγονός ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση ή το σθένος της συναισθηματικής αυτής διέγερσης. Απλώς μετράται ο βαθμός της διέγερσης, ο οποίος μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός. Δηλαδή ένα διαφημιστικό μήνυμα ενός προϊόντος προκαλεί μεγάλη γαλβανική απόκριση είτε το προϊόν αποτελεί κάτι το πολύ ευχάριστο είτε κάτι το απωθητικό για τον χρήστη.(Hopkins & Fletcher, 1994).

6.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις

Η αγωγιμότητα του δέρματος προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη υποσυνείδητη συναισθηματική διέγερση όταν βρισκόμαστε αντιμέτωποι με συγκεκριμένα ερεθίσματα. Ωστόσο, έχοντας ως βάση μέτρησης μόνο την GSR δεν μπορούμε να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για το αν η παρατηρούμενη διέγερση οφείλεται σε ερέθισμα με θετικό ή αρνητικό περιεχόμενο. Τα peaks των ενδείξεων της GSR φαίνονται εντελώς πανομοιότυπα σε όλες τις περιπτώσεις. Τόσο θετικά όσο και αρνητικά ερεθίσματα μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολή/αύξηση της διέγερσης που προκαλεί μεταβολές στους ιδρωτοποιούς αδένες άρα και στις μετρήσεις μας. Ενώ η GSR είναι ένα ιδανικό μέτρο για την παρακολούθηση της συναισθηματικής διέγερσης, δεν είναι σε θέση να αποκαλύπτει την ποιότητα και το πρόσημο των συναισθημάτων. Η πραγματική δύναμη της GSR βρίσκεται στον συνδυασμό με άλλες πηγές δεδομένων που εξαρτώνται από άλλες πολύπλοκες μεταβλητές ώστε να έχουμε την πλήρη εικόνα της συναισθηματικής συμπεριφοράς. Ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι ο συνδυασμός της GSR με ένα πλήθος άλλων βιομετρικών συστημάτων. Τα κυριότερα από αυτά είναι ο αισθητήρας παρακολούθησης ματιών, η αναγνώριση των εκφράσεων του προσώπου, το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, το ηλεκτρομυογράφημα και το ηλεκτροκαρδιογράφημα.

Η παρακολούθηση των οφθαλμών είναι η καταγραφή της θέσης των ματιών (σημείο ματιού) και της κίνησής τους σε μια οθόνη 2D ή σε περιβάλλον 3D με βάση την οπτική παρακολούθηση των ανακλάσεων του κερατοειδούς. Η παρακολούθηση των οφθαλμών αντικατοπτρίζει την οπτική προσοχή καθώς μας υποδεικνύει το πού, πότε και τι παρακολουθούν τα υποκείμενα. Επιπλέον, οι συσκευές παρακολούθησης ματιών μπορούν να καταγράψουν τη διαστολή και τη συστολή της κόρης, η οποία έχει αποδειχθεί ότι συσχετίζεται με τη συναισθηματική διέγερση και τη γνωστική λειτουργία. Συνεπώς, η παρακολούθηση των οφθαλμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ως μέθοδος επικύρωσης και συμπληρώσεις των μετρήσεων GSR.

Η ανάλυση των εκφράσεων του προσώπου είναι μια μη παρεμβατική μέθοδος για να αξιολογήσει και τις αισθήσεις (λεπτές κινήσεις στο μυς του προσώπου, κυρίως υποσυνείδητο) και τα συναισθήματα (που συνοδεύεται από σαφώς αισθητές αλλαγές στο πρόσωπο έκφραση). Ενώ οι εκφράσεις του προσώπου μπορούν να μετρήσουν το το σθένος ενός συναισθήματος / αίσθησης, δεν μπορούν να μετρήσουν με σχετική διέγερση που προκαλείται.

Μελέτες του Εκμαν και άλλων επιστημόνων έδειξαν ότι οι εκφράσεις του προσώπου είναι παγκόσμια κατανοητές με τον ίδιο τρόπο, ακόμα και από ιθαγενείς που δεν είχαν δει ποτέ τηλεόραση, κινηματογράφο, περιοδικά και γενικά ξένους. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, οι ανθρώπινες εκφράσεις κατατάσσονται σε 7 κύριες κατηγορίες:

- **Λύπη:** Τα βλέφαρα κατεβαίνουν καθώς οι εσωτερικές γωνίες των φρυδιών ανεβαίνουν και σε περίπτωση βαθιάς λύπης πλησιάζουν το ένα το άλλο. Οι γωνίες των χειλιών κατεβαίνουν και μερικές φορές το κάτω χείλος μπορεί να ανέβει λίγο σαν σούφρωμα.
- **Έκπληξη:** Τα πάνω βλέφαρα και τα φρύδια ανασηκώνονται και το σαγόνι πέφτει.
- **Θυμός:** Τόσο τα κάτω όσο και τα πάνω βλέφαρα τεντώνονται και τα φρύδια κατεβαίνουν και πλησιάζουν. Ο έντονος θυμός ανεβάζει τα πάνω βλέφαρα. Το σαγόνι κινείται προς τα μπρος και τα χείλη σφίγγονται.
- **Περιφρόνηση:** Αυτή είναι η μόνη έκφραση που εμφανίζεται μόνο στη μια πλευρά του προσώπου. Το μισό πάνω χείλος τεντώνεται προς τα πάνω.
- **Αηδία:** Η μύτη κάνει ρυτίδες και το πάνω χείλος ανασηκώνεται, ενώ ταυτόχρονα το κάτω προεξέχει.
- **Φόβος:** Τα μάτια ανοίγουν διάπλατα και τα πάνω βλέφαρα ανασηκώνονται, όπως στην έκπληξη, αλλά ταυτόχρονα γίνεται και συνοφρύωση. Τα χείλη τεντώνονται οριζόντια.
- **Χαρά:** Οι γωνίες του στόματος ανασηκώνονται σχηματίζοντας το χαμόγελο. Καθώς τα βλέφαρα τεντώνονται, τα μάγουλα σηκώνονται και οι εξωτερικές άκρες των φρυδιών κατεβαίνουν.

Υπάρχουν και πολλές άλλες παραλλαγές εκφράσεων για τα ίδια συναισθήματα, ανάλογα με την έντασή τους και άλλους παράγοντες. Η ελαφριά έκπληξη για παράδειγμα μπορεί να επιδειχτεί μόνο με κίνηση των μυών γύρω από τα μάτια. Το συναίσθημα συνήθως οδηγεί σε μια έκφραση του προσώπου, αλλά οι μελέτες έδειξαν ότι η διαδικασία αυτή λειτουργεί και αντίστροφα: Αν προσπαθήσετε να δείξετε λυπημένοι ή θυμωμένοι, ο οργανισμός σας θα αντιδράσει ανάλογα και μπορεί ασυναίσθητα να αρχίσετε να νιώθετε όπως προσδιορίζει η έκφρασή σας. Μια προσποιητή έκφραση θυμού στο πρόσωπο κάνει την καρδιά να χτυπά πιο γρήγορα και τα αιμοφόρα αγγεία να διαστέλλονται με αποτέλεσμα το αναψοκοκκίνισμα. Μια έκφραση φόβου προκαλεί κρύωμα και ιδρωμα των χεριών, καθώς και ανατριχίλα. Μια έκφραση αηδίας μπορεί να προκαλέσει ναυτία.

Αυτές οι αντιδράσεις του οργανισμού είναι δυνατό να διαρκέσουν επί ένα λεπτό και πλέον, δηλαδή πολύ περισσότερο από τα δύο ή τρία δευτερόλεπτα, που συνήθως κρατούν οι εκφράσεις. Όταν οι άνθρωποι προσπαθούν να κρύψουν τα συναισθήματά τους, αυτά μπορεί να φανούν περίπου επί ένα εικοστό του δευτερολέπτου από τις ακούσιες εκφράσεις του προσώπου. Μετά απ' αυτό το σύντομο χρονικό διάστημα, οι άνθρωποι καταφέρνουν να κρύψουν τις «μικροεκφράσεις» τους, όπως τις αποκαλεί ο Εκμαν.

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι μέθοδος νευρολογικής εξέτασης της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου, κατά την οποία καταγράφονται οι μεταβολές των διαφορών δυναμικού ανάμεσα στα εγκεφαλικά κύτταρα. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για τη διάγνωση ασθενειών του εγκεφάλου (κυρίως της επιληψίας), για τον εντοπισμό εγκεφαλικών βλαβών και για τη διερεύνηση διαταραχών του ύπνου. Εφαρμόζεται στον ασθενή ως εξής: τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο τριχωτό του κεφαλιού αγγίζοντας

το δέρμα. Επειδή οι διαφορές του δυναμικού είναι ασθενείς (100-150 μικροβόλτ), ενισχύονται μέσω ισχυρών ενισχυτών. Η διαφορά δυναμικού δρα στον ηλεκτρομαγνήτη, προκαλώντας έτσι τη μετατόπιση του στύλου καταγραφής, με τον οποίο γίνεται η εγγραφή στο χαρτί. Το διάγραμμα που προκύπτει ονομάζεται ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (συντομ. ΗΕΓ). Οι διαφορές του δυναμικού είναι δυνατόν να καταγραφούν μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, που τοποθετούνται στο δέρμα του κρανίου (διπολική μέθοδος), ή μεταξύ ενός ηλεκτροδίου που τοποθετείται στο δέρμα του κρανίου και ενός άλλου που εφαρμόζεται μακριά (μονοπολική μέθοδος). Το ΗΕΓ παρακολουθεί τις διεργασίες που σχετίζονται με τον ερεθισμό – τη διέγερση πολύ πιο γρήγορα σε σύγκριση με άλλους βιομετρικούς αισθητήρες.

Το ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ) εκτελείται με την τοποθέτηση ειδικών λεπτών βελονοειδών ηλεκτροδίων μέσα σε κάποιους μυς που επιλέγονται ανάλογα με τον διαγνωστικό στόχο. Με τα βελονοειδή αυτά ηλεκτρόδια μπορεί ο γιατρός να ξεχωρίσει εάν υπάρχει βλάβη στους ίδιους τους μυς ή στα νεύρα που τους «τροφοδοτούν» καθώς και άλλα στοιχεία που έχουν σχέση με τον χρόνο από την εισβολή της βλάβης και την βαρύτητα της. Η ταχύτητα αγωγής νεύρων, κινητική και αισθητική, το F κύμα και το H-reflex εκτελούνται με την εφαρμογή ηλεκτρικών ερεθισμών πάνω σε νευρικούς κορμούς και την καταγραφή της αντίδρασης τους με επιφανειακά (κολλητά) ηλεκτρόδια σε άλλα σημεία των ίδιων κορμών ή πάνω σε μυς που δέχονται νεύρωση από τους νευρικούς αυτούς κορμούς. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ξεχωρίσει κανείς εάν η βλάβη αφορά σε ένα ή περισσότερα νεύρα, εάν αφορά στην κινητικότητα, την αισθητικότητα ή και στα δύο, εάν προσβάλλεται το «σύρμα του νεύρου» (άξονας) ή η «μόνωση» (μυελίνη). Τέλος, η δοκιμασία επαναληπτικών ερεθισμών που εκτελείται με την εφαρμογή ηλεκτρικών ερεθισμών πάνω σε έναν επιλεγμένο νευρικό κορμό και την καταγραφή των απαντήσεων από έναν μυ με επιφανειακά ηλεκτρόδια, μας επιτρέπει να διερευνήσουμε την λειτουργία της νευρομυϊκής σύσπασης. Οι μυς και τα νεύρα που επιλέγονται προς μελέτη μπορούν να εντοπίζονται στα άκρα, τον κορμό ή το κεφάλι. Επιπλέον, το EMG του προσώπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό χαμόγελων και συνοφρυωμάτων και μπορεί να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου.

Ένας ακόμα τρόπος είναι η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού είτε από ηλεκτρόδια ΗΚΓ είτε από οπτικούς αισθητήρες (PPG) ώστε να λάβουμε πληροφορίες αναφορικά με την φυσική κατάσταση, το άγχος και τα επίπεδα stress (διέγερση) των υποκειμένων, και πώς οι αλλαγές στη φυσιολογική κατάσταση σχετίζονται με τις δράσεις και τις αποφάσεις.

Συνοψίζοντας λοιπόν τα παραπάνω παρατηρούμε ότι κάθε βιομετρικός αισθητήρας αποκαλύπτει μια συγκεκριμένη πτυχή της ανθρώπινη γνώσης, συγκίνησης και συμπεριφοράς. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητος ο συνδυασμός της GSR με δύο ή περισσότερους επιπλέον βιοαισθητήρες προκειμένου να εξάγουμε ουσιαστικότερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα πάνω στην περίπλοκη σχέση μεταξύ της αυτόνομης ρύθμισης της συναισθηματικής διέγερσης αλλά και του σθένος, της γνώσης, της προσοχή και των κινήτρων.

Βιβλιογραφία

- [1] W. Boucsein, *Electrodermal activity*, vol. 3. 2012.
- [2] J. . Tarchanoff, *Zur Physiologie des Geschlechtsapparates*. 1887.
- [3] Victor Daniels, *Notes on Carl Gustav Jung*. 2015.
- [4] W. Reich, "Experimentelle Ergebnisse ueber die electriche Funktion von Sexualitat und Angst," 1937.
- [5] W. Reich, "Wilhelm Reich Infant Trust." [Online]. Available: <http://www.wilhelmreichtrust.org/biography.html>.
- [6] Chuck H. Perala ; Bruce S. Sterling, "Galvanic Skin Response as a Measure of Soldier Stress," *Army Res. Lab.*, p. 37, 2007.
- [7] G. Denes and L. Pizzamiglio, *Handbook of clinical and experimental neuropsychology*. 1999.
- [8] R. Pflanzner and W. McMullen, "Galvanic Skin Response & The Polygraph," *BIOPAC Syst. Inc*, 2000.
- [9] J. Malmivuo and R. Plonsey, *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. 2012.
- [10] Γαλανού Δρ.; Ηλίου Ε.; Μαρκαντώνη Ντουράκη Μ., *Δερματολογία*. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2001.
- [11] Junqueira and Carneiro, *Histologia Básica - Junqueira 12ªed parte 1*, Π. Σταυρόπ., vol. 53, no. 9. 2013.
- [12] "Δερματολογία Α' Εξαμήνου." [Online]. Available: <http://dermatology-iek.pblogs.gr/>.
- [13] P. Vivier, A. McKee, *Κλινική Δερματολογία (Ατλας)*. 1997.
- [14] Α. Ηλιού, "Σημειώσεις Δερματολογίας Ι," Θεσσαλονίκη, 2001.
- [15] Α. Δ. Κατσάμπας, *Δερματολογία-Αφροδισιολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Πασχαλίδη, 2007.
- [16] "Εργαστήριο Ανατομίας - Ιστολογίας."
- [17] L. Gartner and J. Hiatt, *Texto Atlas de Histología*, vol. 53, no. 9. 2002.
- [18] Ι. Λεονταρίδου, *Αποτρίχωση Ι*. Θεσσαλονίκη, 2004.
- [19] Εκπαιδευτικός Διαδικτυακός Τόπος, "Δερματολογία." [Online]. Available: http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10060/001/01.pdf.
- [20] Ε. Δ. Κατρίτση, *Ανατομία - Φυσιολογία*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου, 1985.
- [21] Παπαθεοδωρόπουλος Κώστας, *Νευροεπιστήμες*. Αθήνα: Τμήμα Ιατρικής.
- [22] Χ. Κίττας, *Ιστολογία Εμβρυολογία Ι*. Αθήνα: Ιατρική Σχολή Καποδιστριακού Πανεπιστημίου, 2005.
- [23] Σ. Σφήκας, "Αρχές Νευροανατομίας - Νευροφυσιολογίας," *A.T.E.I Καλαμάτας*. [Online]. Available: <http://www.eclass.teipel.gr/eclass2/modules/document/file.php/HSPLTH107/ΜΑΘΗΜΑ 1ο.pdf>.
- [24] Ι. Θανόπουλος, "Αρχές Βιοφυσικής - Ηλεκτροφυσιολογίας." [Online]. Available: <http://bit.ly/2tmIF88>.

- [25] Δ. Κουτσούρης, *Ηλεκτρομηχανική των Βιολογικών Ρευστών*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- [26] Κ. Πίτρης, “Νευροφυσιολογία & Αισθήσεις,” *Πανεπιστήμιο Κύπρου*. [Online]. Available: <http://www.eng.ucy.ac.cy/cpitris/courses/ECE471/presentations/Lecture 6.pdf>.
- [27] P. Brodal, “The central Nervous system,” in *Nautilus*, vol. 6, 2010, p. 591.
- [28] “Νευρολογία(Ανατομία - Φυσιολογία),” *Τ.Ε.Ι Πελοποννήσου*. [Online]. Available: <http://www.eclass.teipel.gr/eclass2/modules/document/file.php/HSPLTH107/ΜΑΘΗΜΑ 4ο ΜΕΡΟΣ Β.pdf>.
- [29] J. Henley, “The Final Frontier,” *Anat. Bristol Brain*, vol. 2, no. 4, p. 2.
- [30] Χ. Τιγγινάγκας, “Μεταχιαμικό Σύστημα του Εγκεφάλου.” [Online]. Available: <https://craniosacral.gr/metaixmiako-systhma-tou-egkefalou/?print=pdf>.
- [31] Δ. Κουντούρης, “Θάλαμος και Κίνηση.” [Online]. Available: <http://bioneurologics.gr/astheneies/nevrologia/psixiatrikh-kinhtikes-diataraxes/thalamos-kinhsh/>.
- [32] A. R. Crossman, D. Neary, and B. Crossman, “Coverings of the central nervous system,” in *Neuroanatomy : an illustrated colour text*, 2015.
- [33] R. M. Sargis, “An Overview of the Hypothalamus.” [Online]. Available: <https://www.endocrineweb.com/endocrinology/overview-hypothalamus>.
- [34] Ε. Κουτσουράκη, “Παρεγκεφαλίδα και Νοσήματα της Παρεγκεφαλίδας,” *Τμήμα Ιατρικής ΑΠΘ*. [Online]. Available: <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS291/Παρουσιάσεις Μαθήματος/Ανατομία και φυσιολογία της παρεγκεφαλίδας.pdf>.
- [35] Γ. Χ. Α. Δημητρίου, Μ.Κοιρανίδου, Μ. Φλίππου, “Ο ρόλος της παρεγκεφαλίδας στο κεντρικό νευρικό σύστημα.” [Online]. Available: <http://www.encephalos.gr/full/45-3-01g.htm>.
- [36] L. G. John H. Byrne, M. Neal Waxham, “Neuroscience Online University of Texas,” *McGovern Medical School*. [Online]. Available: <http://neuroscience.uth.tmc.edu/toc.htm>.
- [37] G. C. Boeree, “Anger: A Phenomenological Sketch,” *Emotion (Washington, D.C.)*. 1998.
- [38] Χ. Τιγγινάγκας, “Stress και Πόνος: Συνδέονται;” [Online]. Available: <https://craniosacral.gr/stress-kai-ponos/?print=print>.
- [39] Χ. Ζήκα, “Ανατομία της λογικής και του συναισθήματος,” p. 1, 2009.
- [40] Ε. Αλεξάνδρου, “Λιμπικό Σύστημα.” [Online]. Available: <http://www.proseggisi.gr/λιμπικο-συστημα/>.
- [41] G. Manter J. Gatz, *Essentials of Clinical Neuroanatomy and Neurophysiology*, 10th ed. F.A. Davis Company, 2002.
- [42] S. J. Blakemore and U. Frith, “The learning brain: Lessons for education: a précis,” *Developmental Science*, vol. 8, no. 6. pp. 459–465, 2005.
- [43] Μ. Καρβέλας(Νευροχειρουργός), “Σύστομη Αναφορά στη Λειτουργικότητα του Μετωπιαίου Λοβού του Εγκεφάλου.”

- [44] Ε. Τζόνσον, “Ο Νωτιαίος Μυελός,” *Ιατρική Αθηνών*. [Online]. Available: https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED740/17-νωτιαιος_μυελος.pdf.
- [45] F. Martini, M. Timmons, and R. Tallitsch, “HUMAN ANATOMY,” in *HUMAN ANATOMY*, 2012.
- [46] Ε. Τζόνσον, “Οργάνωση του Α.Ν.Σ.” [Online]. Available: http://unpub.ecloud-eclipse.websplanetdemo.com/var/m_1/12/12e/6765/159009-26-A.N.Σ..pdf?t=1453113242.
- [47] Θεοδώρα Αστέρη, “Σεμινάριο : Νευρολογία, Αναισθησία, Πόνος,” 2015.
- [48] D. W. Robertson, I. Biaggioni, G. Burnstock, P. Low, and J. F. R. Paton, *Primer on the Autonomic Nervous System*. 2012.
- [49] Α. Αργυρίου, *Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες*. Πάτρα, 2004.
- [50] P. Elgar, *Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2000.
- [51] Ε. Κ. Κ. Κουτρούλης, *Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2010.
- [52] Γ. Ζαννής, “Χαρακτηριστικά Οργάνων Μέτρησης Τεχνικών Μεγεθών.” [Online]. Available: http://users.ntua.gr/gzannis/?p=116#ref_4.
- [53] Χ. Χαλδούπης, “Εργαστήριο Φυσικής Ι - Μετρήσεις και Σφάλματα,” *Φυσικό, Πανεπιστήμιο Κρήτης*, 1977. [Online]. Available: https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY203/askiseis/errors_zezas.pdf.
- [54] SparkFun, “Integrated Circuits.” [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/integrated-circuits>.
- [55] T. Agarwal, “Different Types of Integrated Circuits | IC Types,” *El-Pro-Cus*.
- [56] Σ. Πακτίτης, *Τελεστικοί ενισχυτές και γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα*. Εκδόσεις Ίων, 2005.
- [57] Γ. Αλεξίου, *Μικροεπεξεργαστές και Σχεδιασμός Μικροπολογιστικών Συστημάτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2012.
- [58] J. Patterson, David Hennessy, *Computer Architecture: a quantitative approach*. 1990.
- [59] Ά. Ζαχαρόπουλος, “Σημειώσεις Μικροελεγκτών,” *Τ.Ε.Ι Πειραιά*, 2013. [Online]. Available: [http://electrical-dep.teipir.gr/LotusQuickr/microprocessors/PageLibraryC2257BDE00369889.nsf/\\$defaultview/48EB2C8567DFB6F2C2257BDE0036C4AA/\\$File/Βασικές_έννοιες.pdf?OpenElement](http://electrical-dep.teipir.gr/LotusQuickr/microprocessors/PageLibraryC2257BDE00369889.nsf/$defaultview/48EB2C8567DFB6F2C2257BDE0036C4AA/$File/Βασικές_έννοιες.pdf?OpenElement).
- [60] Δ. Πογαρίδης, *Ενσωματωμένα Συστήματα, οι Μικροελεγκτές AVR και Arduino*. 2016.
- [61] A. Ken, *Embedded Controller Hardware Design*. Newnes, 2001.
- [62] O. Electronics, “Feeding power to Arduino: the ultimate guide,” 2015. [Online]. Available: <https://www.open-electronics.org/the-power-of-arduino-this-unknown/>.

Παράρτημα

Παράρτημα 1: Πίνακες

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Arduino

Πίνακας 2: Κόστος Κατασκευής

Πίνακας 3: Περιγραφή του video

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά των υποκειμένων του πειράματος

Παράρτημα 2: Κώδικας

1.Κώδικας Bluetooth:

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την ασύρματη επικοινωνία της διάταξης με το MatLab 2014b μέσω του Bluetooth.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

String command = ""; // Stores response of the HC-06 Bluetooth device

void setup()
{ // Open serial communications:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Type AT commands!"); // The HC-06 defaults to 9600 according to the datasheet.
  mySerial.begin(9600);}

void loop()
{
  // Read device output if available.
  if (mySerial.available())
  {
    while(mySerial.available()) // While there is more to be read, keep reading.
    {
      command += (char)mySerial.read();
    }
    Serial.println(command);
    command = ""; // No repeats
  }

  // Read user input if available.
  if (Serial.available())
```

```

{
  delay(10); // The delay is necessary to get this working!
  mySerial.write(Serial.read());
}
}

```

2. Το κύριο πρόγραμμα σε Arduino:

```

// GSR signal
int signalPin = A0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(signalPin, INPUT);
}
void loop()
{ // read values
  int signal = analogRead(signalPin);
  //Serial.println(signal); // An vgaloume ta slach vlepoume tis times sto serial monitor tou arduino alla den dexetai shma to processing
  if (Serial.available() > 0)
  { // check if data was requested
    byte inbyte=Serial.read();
    if(inbyte=='a')
    {
      sendToProcessing('G', signal);
    }
  }
}
void sendToProcessing(char c, int val)
{
  Serial.print(c);
  Serial.println(val);
}

```

3. Το κύριο πρόγραμμα σε Processing:

```

import processing.serial.*;
Serial gsrPort; // arduino port
PFont font;
PrintWriter output;
// holds data used for drawing graphs
int hPosition = width*2; // horizontal position on graph

```



```

int gsrVal;
int gsrLast;
// graph colors
color gsrColor = color(255,0,0);
int graph_height; // height of graph window
int graph_offset; // y-offset of graph window
// used to read serial, user input
String serial_string = "";
boolean serial_input = false;
char lastKey;
String userInput = "";
boolean listenToKeyboard = false;
boolean inputComplete = false;
int flash = 0;
boolean initialized = false;
String fileName = "";
int lf = 10; // ASCII linefeed
/*-----
    You may need to change these values
    -----*/
// Approximate GSR minimum and maximum expected readings
// referenced for drawing graph -- change to adjust scale
int gsrMax = 500;
int gsrMin = 20;
/*-----*/
void setup()
{
    size(1200, 700);
    font = loadFont("Arial-BoldMT-24.vlw");
    gsrVal = 0;
    gsrLast = 0;
    graph_height = (height*3/4); // 450
    graph_offset = (height - graph_height) / 2;
    background(255);
    textAlign(CENTER,CENTER);
    textFont(font);
}
void draw() {
    delay(50);

```

```

if (!initialized) {
    _init();
}
else {
    listenToKeyboard = false;
    // update horizontal position on graph
    if (hPosition >= width) {
        // move to left edge. draw over old graph
        hPosition = 1;
        // partially cover last drawing
        fill(255,200); // greyscale, alpha
        noStroke();
        rect(0,graph_offset,width,graph_height);
    }
    else
        hPosition++;
        // Draw the graphs
    strokeWeight(.5);
    stroke( gsrColor );
    line(hPosition-1, height/2-grsScale(gsrLast), hPosition, height/2-grsScale(gsrVal));
        // write data to file
    writeToFile(gsrVal);
    gsrLast = gsrVal;
        // ask for more data
    gsrPort.write('a');
    delay(10);
    setVals(serial_string);
    drawKey();
}
}
int gsrScale(int val) {
    // scales gsr values for drawing graph
    // scale range to graph_height
    val = graph_height * ( val - gsrMin ) / (gsrMax - gsrMin );
    // reference to middle of graph
    // gsrMax will be at graph_height / 2
    val -= graph_height / 2;
    return constrain( val, -graph_height/2+1, graph_height/2-1 );
}

```

```

void _init() {
    // Gets User Input to setup Serial Ports, text files

    // Setup GSR Serial Port
    if (gsrPort == null)
    {
        setup_serial(0);
        return;
    }

    // Name Text File for Saving Data
    textAlign(CENTER, CENTER);
    listenToKeyboard = true;

    String val;
    fill(255);
    noStroke();
    rect(0,0,width,height);
    fill(0);

    // prompt user for input
    text("Please enter the file name to save this data to", width/2, height/2 - 50);

    if (flash < 30)
        val = "_";
    else
        val = " ";

    flash++;

    if (flash > 60)
        flash = 0;

    // display input so far
    text(userInput + val, width/2, height/2);

    if (inputComplete) {
        // user hit 'enter'
        initialized = true;
        fileName = userInput;

        // remove file extension if found
        // shouldn't happen due to input verification
        int pos = fileName.indexOf('.');

        if (pos > -1)
            fileName = fileName.substring(0,pos);

        fill(255);
        noStroke();
        rect(0,0,width,height);
    }
}

```

```

// create file output
output = createWriter("data/"+fileName+".txt");

drawKey();

inputComplete = false;
}
}

void stop() {

// this is run whenever the program exits
output.flush(); // Writes the remaining data to the file
output.close(); // Finishes the file
}

void writeToFile(float gsr) {

// this writes the gsr data from each loop to a csv file
output.println(gsr);
output.flush();
}

void drawKey() {

// draws the legend, file name to screen
fill(255);
noStroke();
rect(0,graph_height + graph_offset,width,height);
rect(0,0,width, graph_offset);
textSize(24);
noStroke();
float x = 200;
float y = height*0.95;
fill(gsrColor);
//text("____", width/2 - x, y-12);
text("GSR " + gsrVal, width/2 - x/2-10, y);
fill(0);
text(fileName + ".txt", width/2, 20);
}

```

4. Υποπρογράμματα:

Το υποπρόγραμμα keyboard_input:

```

// rudimentary keyboard input -- alphanumeric, enter, delete
void keyPressed(){
// Keyboard events
if (!listenToKeyboard) {

```

```

// only listen for individual chars
lastKey = key;

return;
}

// else
if (key == ENTER || key == RETURN){
    inputComplete = true;
    //userInput = "ENTER";
}

else if (key == ESC){
    // program is going to shutdown, stop any loops
    // by saying input is finished
    inputComplete = true;
    //userInput = "ESC";
}

else if (key == DELETE || key == BACKSPACE ){
    userInput = userInput.substring(0, userInput.length()-1 );
    //userInput = "DELETE";
}

else if (isAllowed(key))
    userInput += key;
// else
// do nothing
}

boolean isAllowed(char c) {
    // returns true if character is valid -- alphanumeric & '_'
    if (c >= 'a' && c <= 'z' || c >= 'A' && c <= 'Z' || c == '_')
        return true;
    else if (c >= '0' && c <= '9')
        return true;
    return false;
}

boolean isNum(String str) {
    // returns true if the string is purely numeric
    return (match(str, "[0-9]*") != null);
}

```

Και το υποπρόγραμμα serial:

```

void serialEvent(Serial thisPort) {
    // Deals with Serial Events

```

```

try {
    if (thisPort == gsrPort)
        serial_string = thisPort.readString();
    //setVals( str );
}
catch (Exception e) {
    println("Initialization exception");
}
}

void setCommandValue(String str) {
    // Sets Value for GSR based on string input
    // Serial command formatted as <char><value>
    // Values are human readable
    // Example: GSR sends G250
    try {
        // isolate command character
        String cmd_string = str.substring(0,1);
        char cmd = cmd_string.charAt(0);
        // data is remainder of string
        str = str.substring(1);
        switch(cmd) {
            case 'G':
                // GSR signal
                gsrVal = int(str);
                break;
            case 'H':
                // heart rate
            default:
                // not a known command
                break;
        }
    }
    catch (Exception e) {
        // Ignore this error. Means empty string
    }
}

void setVals(String input) {
    // Sets values from serial input
    String[] list = split(input, '\n');
}

```

```

for (int i = 0; i < list.length; i++) {
    setCommandValue( trim( list[i] ) );
}
}

void setup_serial(int which) {
    // Sets up GSR. Called by void _init()
    // which == 0 -> gsr
    // which == 1 -> hr
    textAlign(LEFT, CENTER);
    fill(255);
    noStroke();
    rect(0,0,width,height);
    fill(0);
    // get list of serial connections
    // I currently filter connections
    String list[] = filterSerialList(Serial.list());
    int len = list.length;
    // display available serial connections
    String name = "GSR";
    String val = "Please Choose a Serial Connection [0-"+(len-1)+"] for " + name + "\n ";
    for( int i = 0; i < len; i++ ) {
        if (list[i] != "") {
            val += "  " + str(i) + ": " + list[i];
            if (i+1 < len) val += "\n ";
        }
    }
    // flash a cursor
    text(val, width/5, height/2);
    listenToKeyboard = true;
    textAlign(CENTER, CENTER);
    if (flash < 5)
        val = "_ ";
    else
        val = " ";
    flash++;
    if (flash > 10)
        flash = 0;
    text(userInput + val, width/2, height - 15);
    int port = -1;

```

```

if (inputComplete)
{
    // check that user input is purely numeric
    if (isNum(userInput))
        port = int(userInput);
    // if port is within the range of available serial connections
    if (0 <= port && port <= len) {
        // try to setup serial connections
        if (which == 0) {
            try{
                // attempt to set up serial connection
                gsrPort = new Serial(this, Serial.list()[port], 9600);
                gsrPort.clear();
                gsrPort.bufferUntil(lf);
            }
            catch ( Exception e ) {
                // error setting up new serial connection
                // -- connection may be busy, etc
            }
        }
    }
    else{
        //text("Choose a number between 0 and " + (len-1), width/2, height - 20);
    }
    userInput = "";
    inputComplete = false;
}
}

String[] filterSerialList(String[] arr) {
    // filter out any connections that contains
    // "Bluetooth" in the name
    for (int i = 0; i < arr.length; i++) {
        if ( match(arr[i], "Bluetooth") != null )
            arr[i] = "";
    }
    return arr;
}

```


5.0 Κώδικας σε Matlab:

```
a = arduino('COM3');
fid=fopen('TNS.txt','w');
interv = 1000;
passo = 1;
t=1;
x=0;
while(t<interv)
b=readVoltage(a,0)*1023/5;
fprintf(fid, '%f \n', b);
x=[x,b];
plot(x);
axis auto;
grid
t=t+passo;
drawnow;
end
fclose(fid);
```