



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

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΠΑΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ
ΠΛΑΝΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΛΟΣΟΥΣΑΣ ΠΑΥΛΟΣ

Καθηγητής: Διονύσιος - Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

Επιβλέπων: Χάρης Τσίρμπας
Υπ. Διδάκτωρ ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013



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

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΘΗΣΕΩΝ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΛΑΝΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΛΟΣΟΥΣΑΣ ΠΑΥΛΟΣ

Καθηγητής: Διονύσιος - Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

Επιβλέπων: Χάρης Τσίρμπας
Υπ. Διδάκτωρ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Κουτσούρης Δ.
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Μπίμπας Αθ.
Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Αθηνών

.....
Ματσόπουλος Γ.
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....

Κολοσούσας Παύλος

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

Copyright © Κολοσούσας Παύλος, 2013.

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

Η εξέλιξη στη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η συνεργασία Ιατρικής και Πληροφορικής έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη σημαντικής ερευνητικής και εκπαιδευτικής δραστηριότητας και ποιοτικών υποδομών στο χώρο της Βιοϊατρικής. Σχεδιάζονται και υλοποιούνται εφαρμογές που καθιστούν αποτελεσματικότερη την παροχή υπηρεσιών υγείας και βελτιώνουν την σχέση ιατρού – ασθενούς. Το μέγεθος των μονάδων παροχής υπηρεσιών υγείας και οι ανάγκες των διάφορων ειδικοτήτων έχουν οδηγήσει στην δημιουργία μεγάλου εύρους εφαρμογών.

Η εφαρμογή που αναπτύξαμε εστιάζει στις ανάγκες ωτορινολαρυγγολογικών κλινικών και ιατρείων. Σκοπός της εφαρμογής είναι η αξιολόγηση της αιθουσαίας ανεπάρκειας μέσω της φορητής και οικονομικής πλατφόρμας ισορροπομετρίας (Wii Balance Board). Όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν, μετά από έρευνα για τις απαιτήσεις της ειδικότητας, οργανώθηκαν και ταξινομήθηκαν ανάλογα με την σημασία τους για τους γιατρούς.

Ιδιαίτερη σημασία στην εφαρμογή δίνεται στο είδος και την ποιότητα των πληροφοριών που μπορεί να αποθηκεύσει ο χρήστης, στην λειτουργικότητα της και στην ευκολία του χρήστη να εξοικειωθεί με το περιβάλλον εργασίας. Με αυτά τα κριτήρια έχει αναπτυχθεί μια απλή και αποτελεσματική εφαρμογή που μπορεί να αποτελέσει μια αξιόπιστη λύση στις ανάγκες των μονάδων παροχής υπηρεσιών υγείας στις οποίες απευθύνεται. Η εφαρμογή απαιτεί την απόκτηση του Wii Balance Board, μπορεί να εγκατασταθεί στον προσωπικό υπολογιστή του ιατρού και είναι εύκολα προσβάσιμη στο ιατρείο.

Λέξεις Κλειδιά: Ταξινόμηση, WEKA, wii, πλατφόρμα ισορροπίας, αιθουσαίο σύστημα.

Abstract

The increase of computer usage and the cooperation between Medicine and Informatics has lead over the past years to the development of important research and educational activity as well as high quality infrastructure in the field of Biomedicine. Software is being developed, in order to provide efficiency in Health Care and improve patient – doctor relationship. Various sizes of Health Care Organizations and unique needs of each Medical specialty have created the need for a wide range of software.

The application we developed focuses on the needs of otolaryngology clinics and infirmaries. The purpose of this application is the assessment of vestibular deficiency with a mobile and economic balance platform (Wii Balance Board). All the necessary information was gathered via research concerning the needs of the practice and was organized and categorized according to its importance to the clinicians.

It is of great importance throughout the whole software that the user can store and manage all the quality information concerning his patients and that the software is highly functional and with an easy to use UI. Under these considerations has developed a simple and effective software that can offer a reliable solution to the needs of the organizations to which it is addressed. The software requires the acquisition of the Wii Balance Board, can be installed directly to the clinicians PC and is easily accessible to the infirmary.

Key Words: Classification, WEKA, wii, balance board, vestibular system.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ήταν ο Καθηγητής κ. Διονύσιος - Δημήτριος Κουτσούρης, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση αυτής και την δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα τέλος, να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Χάρη Τσίρμπα, επιβλέπων της διπλωματικής εργασίας, για την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Κολοσούσας Παύλος

Ιούλιος 2013

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
Πρόλογος.....	8
Πίνακας Περιεχομένων.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	12
Ανατομία Λαβυρίνθου και Αιθουσαίο Σύστημα	12
1.1 Το Έσω αυτί	13
1.2 Οστέινος Λαβύρινθος	13
1.2.1 Αίθουσα.....	13
1.2.2 Κοχλίας	14
1.2.3 Οστέινοι Ημικύκλιοι Σωλήνες.....	15
1.3 Υμενώδης Λαβύρινθος.....	16
1.3.1 Αίθουσα.....	16
1.3.2 Υμενώδες Ημικύκλιοι Σωλήνες	17
1.3.3 Κοχλίας	18
1.4 Το Αιθουσαίο Σύστημα στη Διατήρηση της Ισορροπίας	19
1.4.1 Ανατομία του Αιθουσαίου Συστήματος.....	20
1.4.1.1 Περιφερικό Αιθουσαίο Σύστημα.....	20
1.4.1.2 Κεντρικό Αιθουσαίο Σύστημα	21
1.4.2 Φυσιολογία του Αιθουσαίου Συστήματος.....	21
1.5 Αιθουσαία Νευρωτίτιδα	22
1.5.1 Συμπτώματα	22
1.5.1.1 Ίλιγγος	23
1.5.1.2 Νυσταγμός	23
1.5.2 Διάγνωση - Μελέτη Αυτόματου Νυσταγμού	23
1.5.3 Αίτια Αιθουσαίας Νευρωτίτιδας.....	24
1.5.4 Θεραπεία και Αντιμετώπιση	25
1.5.4.1 Φαρμακευτική Αγωγή.....	25
1.5.4.2 Αιθουσαία Αποκατάσταση.....	26
1.5.4.3 Τρόπος Δράσης της Αιθουσαίας Αποκατάστασης	26

1.5.4.4 Ασκήσεις της Αιθουσαίας Αποκατάστασης	27
1.5.5 Χρονική Διάρκεια της Νόσου.....	27
1.6 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως (ΚΠΙΘ)	28
Ορισμός.....	28
1.6.1 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως Οπίσθιου Ημικούκλιου Σωλήνα	29
1.6.1.1 Φυσιολογία της Πάθησης	29
1.6.1.2 Διάγνωση της Πάθησης	30
1.6.2 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως Οριζόντιου Ημικούκλιου Σωλήνα.....	31
1.6.2.1 Διάγνωση της Πάθησης	31
1.6.2.2 Φυσιολογία της Πάθησης.....	31
1.6.3 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως Πρόσθιου Ημικούκλιου Σωλήνα	32
1.6.3.1 Φυσιολογία της Πάθησης.....	32
1.6.3.2 Διάγνωση της Πάθησης	32
1.6.4 Θεραπεία Καλοήθη Παροξυσμικού Ίλιγγου Θέσεως.....	33
1.6.4.1 Χειρισμοί Επανατοποθέτησης Ωτοκοκίας	33
1.6.4.2 Οπίσθιος Κάθετος Ημικούκλιος Σωλήνας.....	33
1.6.4.3 Οριζόντιος Ημικούκλιος Σωλήνας	35
1.6.4.4 Πρόσθιος Ημικούκλιος Σωλήνας.....	36
1.6.5 Επιπλοκές των Χειρισμών Επανατοποθέτησης της Ωτοκοκίας.....	36
1.7 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	40
Ταξινόμηση.....	40
2.1 Ταξινόμηση Γενικά.....	41
2.2 Αξιολόγηση Μεθόδων Ταξινόμησης	42
2.3 Αλγόριθμοι Ταξινόμησης.....	43
2.3.1 Δέντρα Αποφάσεων	43
2.3.1.1 Ο αλγόριθμος ID3	45
2.3.1.2 Ο αλγόριθμος C4.5(J48)	45
2.3.1.3 Ο αλγόριθμος των Τυχαίων Δασών.....	46
2.3.2 Ταξινόμηση κατά Bayes.....	47
2.3.2.1 Δίκτυα Bayes	48
2.3.3 Νευρωνικά Δίκτυα	48

2.3.4 Εύρεση Κοντινότερων Γειτόνων	49
2.4 Ταξινόμηση στη Βιοϊατρική.....	50
2.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	54
Μέρη Για Την Ολοκλήρωση Της Τελικής Εφαρμογής.....	54
3.1 Wii Balance Board.....	55
3.1.1 Το Balance Board ως Πλατφόρμα Μέτρησης Δύναμης και Ισορροπίας.....	56
3.1.2 Συγχρονισμός του Balance Board με τον Υπολογιστή	57
3.2 Το εργαλείο WEKA	57
3.2.1 Γενικά	57
3.2.2 Προεπεξεργασία στο WEKA	60
3.2.3 Το Φίλτρο MultiInstanceToPropositional.....	61
3.2.4 Ταξινόμηση στο WEKA	61
3.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	63
Η Εφαρμογή Μέτρησης του Κέντρου Πίεσης και Ισορροπίας.....	63
4.1 Η βιβλιοθήκη της εφαρμογής (WiiLab).....	64
4.2 Η αρχική ανάπτυξη της εφαρμογής.....	64
4.3 Η λειτουργία της εφαρμογής	64
4.4 Επεξεργασία Δεδομένων.....	71
4.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	74
Κεφάλαιο 5	75
Συμπεράσματα	75
Παράρτημα 1 Το εργαλείο MATLAB.....	77

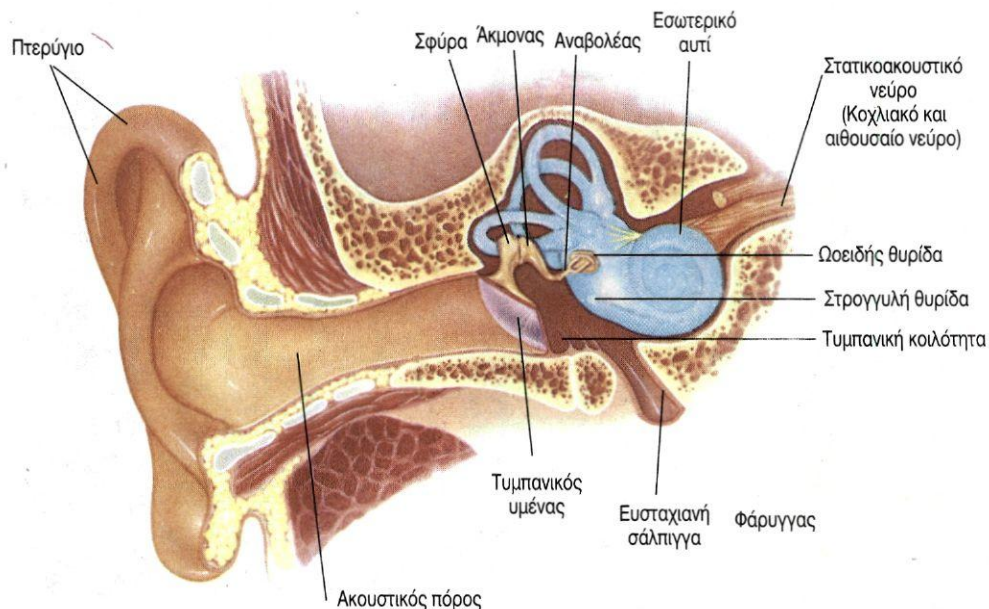
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ανατομία Λαβυρίνθου και Αιθουσαίο Σύστημα

1.1 Το Έσω αυτί

Το έσω αυτί ή λαβύρινθος ευρίσκεται μέσα στην λιθοειδή μοίρα του κροταφικού οστού και περιλαμβάνει τα νευροαισθητηριακά στοιχεία της ακοής (κοχλίας, όργανο του Corti, κοχλιακό νεύρο) και της ισορροπίας (αίθουσα, ημικύκλιοι σωλήνες, αιθουσαίο νεύρο).

Αποτελείται από τον οστέινο λαβύρινθο, μέσα στον οποίο περικλείεται ο υμενώδης λαβύρινθος. Ο υμενώδης λαβύρινθος περιέχει την ενδόλεμφο ή έσω λέμφο. Ο χώρος έξω από τον υμενώδη λαβύρινθο και μεταξύ αυτού και του οστέινου λαβύρινθου λέγεται περιλεμφικός και περιέχει την περίλεμφο ή έξω λέμφο.



Σχήμα 1.1 Το Αυτί

1.2 Οστέινος Λαβύρινθος

Ο οστέινος λαβύρινθος διαιρείται σε τρεις περιοχές: αίθουσα, κοχλία και ημικύκλιους σωλήνες (σχήμα 1.2).

1.2.1 Αίθουσα

Η αίθουσα αποτελεί την κεντρική μοίρα του οστέινου λαβυρίνθου, έχει σχήμα ωοειδές και ευρίσκεται μεταξύ κοχλία και ημικύκλιων σωλήνων. Διαιρείται σε 6 τοιχώματα από τα οποία το πρόσθιο είναι το αιθουσαίο στόμιο του κοχλία, που οδηγεί στην κλίμακα της αίθουσας, το πίσω, με το οποίο συνέχεται από το πίσω σκέλος του οριζώντιου ημικύκλιου σωλήνα, το άνω το οποίο συνέχεται με το ληκυθιαίο στόμιο του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα και με το κοινό σκέλος. Το κάτω που εμφανίζει το ληκυθιαίο στόμιο του πίσω ημικύκλιου σωλήνα, το έξω που

αντιστοιχεί στο κοίλο του τυμπάνου και εμφανίζει την ωοειδή θυρίδα (αύτη αποφράσσεται από τη βάση του αναβολέα), την στρογγυλή θυρίδα (αποφράσσεται από τη δευτερεύουσα τυμπανική μεμβράνη) και την εκβολή του ληκυθαίου σκέλους του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα.

Τέλος, το έσω τοίχωμα που αντιστοιχεί στον έσω ακουστικό πόρο, εμφανίζει: α) Προς τα εμπρός ένα εντύπωμα, το *σφαιρικό εντύπωμα*, για το *σφαιρικό κυστίδιο* του υμενώδους λαβύρινθου. Από το εντύπωμα αυτό διέρχονται οι ίνες του κάτω *αιθουσαίου νεύρου*. Το σημείο αυτό ονομάζεται *μέση τρηματώδης κηλίδα*.

β) Προς τα πίσω βρίσκεται το *ελλειπτικό εντύπωμα*, που φιλοξενεί το *ελλειπτικό κυστίδιο*. Μεταξύ των δύο αυτών αποφύσεων υπάρχει μια οστέινη ακρολοφία, η *αιθουσαία ακρολοφία*. Αυτή στο ανώτερο σημείο της παίρνει ένα πυραμοειδές σχήμα και ονομάζεται *πυραμίδα της αίθουσας*.

Η *πυραμίδα της αίθουσας* και το ελλειπτικό εντύπωμα εμφανίζουν μια διάτρητη περιοχή που ονομάζεται *άνω τρηματώδης κηλίδα*, διαμέσου της οποίας διέρχονται οι ίνες του άνω αιθουσαίου νεύρου. Το άνω αιθουσαίο νεύρο νευρώνει τη λήκυθο του άνω και οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα καθώς και το ελλειπτικό κυστίδιο, το κάτω νευρώνει το σφαιρικό κυστίδιο και το οπίσθιο τη λήκυθο του οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα.

Το *ελλειπτικό εντύπωμα* εμφανίζει ένα άνοιγμα για τον *υδραγωγό της αίθουσας*. Μέσα στον υδραγωγό της αίθουσας υπάρχει μια μικρή φλέβα καθώς και ο *ενδολεμφικός πόρος*. Οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες είναι: ο πρόσθιος κάθετος, ο οριζόντιος, ο οπίσθιος κάθετος. Κάθε ημικύκλιος σωλήνας σχηματίζει τα $2/3$ ενός κύκλου και περιέχει τον αντίστοιχο υμενώδη ημικύκλιο σωλήνα, που καταλαμβάνει το $1/4$ του διαθέσιμου χώρου. Ο υπόλοιπος ελεύθερος χώρος ονομάζεται *περιλεμφικός χώρος*. Το πρόσθιο άκρο κάθε σωλήνα διευρύνεται και σχηματίζει τη *λήκυθο*, η οποία φιλοξενεί μία αντίστοιχη διεύρυνση του υμενώδους πόρου, που ονομάζεται *ληκυθαία ακρολοφία* (τελικό αιθουσαίο όργανο). Ο *οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας* σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο γωνία 30 μοιρών. Το οπίσθιο τμήμα του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα ενώνεται με το άνω σκέλος του οπίσθιου κάθετου σχηματίζοντας έτσι το *κοινό σκέλος*. Ο πρόσθιος με τον οπίσθιο κάθετο ημικύκλιο σωλήνα σχηματίζουν γωνία 90 μοιρών στο κοινό σκέλος.

1.2.2 Κοχλίας

Ο *κοχλίας* σχηματίζει το πρόσθιο τμήμα του οστέινου λαβυρίνθου. Είναι ένας κοίλος σωλήνας που σχηματίζει 2 και $3/4$ στροφές (έλικες) γύρω από έναν οστέινο κώνο που ονομάζεται *άτρακτος του κοχλίας*.

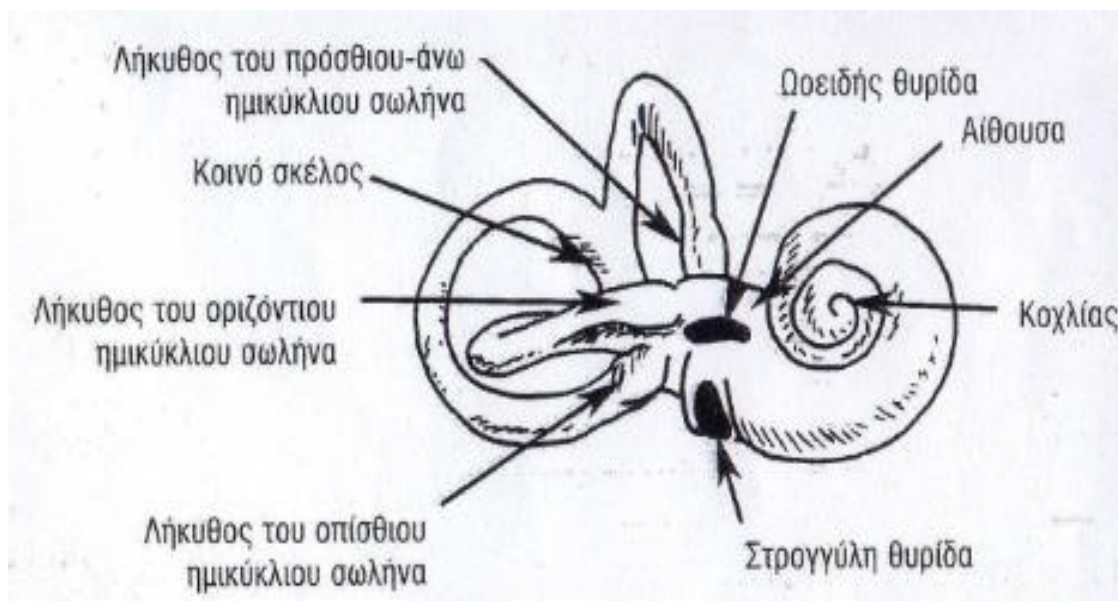
Το οστέινο ελικοειδές πέταλο μαζί με τη βασική μεμβράνη του υμενώδους κοχλίας διαιρεί τον αυλό του κοχλίας σε δύο διαστήματα: την *αιθουσαία κλίμακα* και την *τυμπανική κλίμακα*. Το οστέινο σπειροειδές πέταλο είναι μια οστέινη ακρολοφία. Η δομή αυτή τερματίζει στην κορυφή του κοχλίας, δημιουργώντας μια επικοινωνία μεταξύ της αιθουσαίας και της τυμπανικής κλίμακας, που ονομάζεται *ελικότρημα*.

Ο υδραγωγός του κοχλία (*cochlear aqueduct*, ή *cochlear canaliculus*) φέρνει σε επικοινωνία την τυμπανική κλίμακα του κοχλία με το εγκεφαλονωτιαίο υγρό (υπαραχνοειδής χώρος. Ο υδραγωγός του κοχλία περιέχει τον *περιωτικό ή περιλεμφικό πόρο του κοχλία (periotic ή perilymphatic duct)* ο οποίος ξεκινάει από την τυμπανική κλίμακα, κοντά στη στρογγυλή θυρίδα, πορεύεται παράλληλα και κάτω από τον έσω ακουστικό πόρο και καταλήγει σε ένα χροανοειδές άνοιγμα προς τα έσω του σφαγιτιδικού βόθρου. Ο υδραγωγός του κοχλία μπορεί να αναγνωριστεί στην αξονική τομογραφία των κροταφικών οστών και δεν πρέπει να συγχέεται με τον έσω ακουστικό πόρο.

1.2.3 Οστέινοι Ημικύκλιοι Σωλήνες

Οι οστέινοι ημικύκλιοι σωλήνες, ευρίσκονται πίσω και πάνω από την αίθουσα, είναι τρεις και διακρίνονται στον: *έξω ή οριζόντιο, άνω ή πρόσθιο κάθετο και οπίσθιο κάθετο ή μετωπιαίο*. Ο κάθε ημικύκλιος σωλήνας αντιστοιχεί στη μια από τις τρεις διαστάσεις του χώρου. Το επίπεδο του πρόσθιου κάθετου είναι κάθετο προς αυτό του πίσω. Τα δύο επίπεδα των κάθετων ημικυκλίων σωλήνων είναι κάθετα στο επίπεδο του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα και έτσι σχηματίζεται μία τρίεδρη ορθή γωνία.

Κάθε ημικύκλιος σωλήνας είναι αποπεπλατυσμένος από τα πλάγια, διαγράφει στο χώρο περίπου τα 2/3 του κύκλου και εμφανίζει δύο σκέλη, τα οποία επικοινωνούν με την αίθουσα. Από τα σκέλη αυτά το ένα λέγεται ληκυθαίο γιατί πριν από την εκβολή του στην αίθουσα παρουσιάζει ληκυθοειδή διεύρυνση και το άλλο απλό. Τα απλά σκέλη του πίσω και του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα ενώνονται πριν από την εκβολή τους στην αίθουσα σε ένα κοινό σκέλος.



Σχήμα 1.2 Οστέινος Λαβύρινθος

1.3 Υμενώδης Λαβύρινθος

Ο υμενώδης λαβύρινθος ευρίσκεται μέσα στον οστέινο, έχει μεμβρανώδη υφή και χωρίζεται από αυτόν με τον περιλεμφικό χώρο, ο οποίος πληρούται από την έξω λέμφο. Αποτελείται, όπως και ο οστέινος λαβύρινθος από τρεις περιοχές: την αίθουσα, τον κοχλία και τους ημικύκλιους σωλήνες, οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους και πληρούνται από την έσω λέμφο (σχήμα 1.3).

1.3.1 Αίθουσα

Η αίθουσα αποτελείται από δύο υμενώδη κυστίδια, το σφαιρικό κυστίδιο και το ελλειπτικό κυστίδιο, τα οποία συνδέονται με ένα δισκελή πόρο, τον σφαιρικοελλειπτικό, ο οποίος προς τα πίσω μεταπίπτει στον ενδολεμφικό πόρο.

Το ελλειπτικό κυστίδιο βρίσκεται επάνω και πίσω από το σφαιρικό κυστίδιο, μέσα στο ομώνυμο εντύπωμα. Στην έσω επιφάνεια του πρόσθιου κάτω τοιχώματος βρίσκεται η ακουστική κηλίδα του ελλειπτικού κυστιδίου, από την οποία αρχίζει ο ελλειπτικός κλάδος του αιθουσαίου νεύρου. Οι ακουστικές κηλίδες περιέχουν νευροεπιθηλιακά κύτταρα, τα οποία φέρουν τριχίδια που διεισδύουν στον καλυπτήριο ωτολιθοφόρο υμένα.

Το σφαιρικό κυστίδιο (*sacculle*) βρίσκεται στο σφαιρικό εντύπωμα της αίθουσας. Είναι πολύ μικρότερο από το ελλειπτικό κυστίδιο. Στο πρόσθιο τοίχωμά του εντοπίζεται η ακουστική κηλίδα, από την οποία αρχίζει ο κάτω σφαιρικός κλάδος του αιθουσαίου νεύρου και έχει ίδια δομή με αυτή του ελλειπτικού κυστιδίου. Η μόνη διαφορά τους είναι ότι το επίπεδο της κηλίδας του σφαιρικού κυστιδίου είναι σχεδόν κάθετο με το επίπεδο της κηλίδας του ελλειπτικού κυστιδίου.

Ο ενδολεμφικός θύλακος ή σάκος και ο ενδολεμφικός πόρος σχηματίζονται από τον σφαιρικοελλειπτικό πόρο. Ο ενδολεμφικός πόρος βρίσκεται κατά τη μεγαλύτερη έκτασή του σε ένα οστέινο κανάλι, τον υδραγωγό της αίθουσας και καταλήγει σε μια διατεταμένη περιοχή στο οπίσθιο τμήμα του λιθοειδούς οστού, που ονομάζεται ενδολεμφικός θύλακος ή σάκος. Ένα τμήμα του θύλακου βρίσκεται ενδοοστικά μέσα στον υδραγωγό της αίθουσας και το υπόλοιπο μέσα στα τοιχώματα της σκληράς μήνιγγας του οπίσθιου κρανιακού βόθρου (στο οπίσθιο τμήμα του λιθοειδούς οστού). Το διατεταμένο τμήμα του ενδολεμφικού πόρου, που βρίσκεται μέσα στην αίθουσα, ονομάζεται κόλπος. Το στενότερο ενδιάμεσο τμήμα του ενδολεμφικού πόρου, που διέρχεται από το στενότερο τμήμα του υδραγωγού της αίθουσας, ονομάζεται ισθμός. Ο ενδολεμφικός θύλακος αποτελεί την τελική διεύρυνση του πόρου. Στον θύλακο αναγνωρίζονται δύο περιοχές: το εγγύς ή τραχύ τμήμα και το άπω ή λείο τμήμα. Ο θύλακος καλύπτεται στο μεγαλύτερο τμήμα του από κυβοειδές επιθήλιο.

Ο υδραγωγός της αίθουσας διέρχεται κάθετα από τον ενδολεμφικό θύλακο κατά μήκος του οπίσθιου λιθοειδούς οστού, όπου και καλύπτεται από μια οστέινη προεξοχή. Μετά τη διόδό του από το οστέινο αυτό κάλυμμα, στρέφεται προς τα εμπρός σε μια κάθετη θέση που ονομάζεται «γόνυ» του υδραγωγού της αίθουσας. Στη συνέχεια το οριζόντιο τμήμα του

υδραγωγού της αίθουσας πορεύεται παράλληλα προς το άνω-έσω χείλος του κοινού σκέλους των ημικύκλιων σωλήνων, με κατεύθυνση προς την αίθουσα.

1.3.2 Υμενώδες Ημικύκλιοι Σωλήνες

Οι υμενώδεις ημικύκλιοι σωλήνες εντοπίζονται έκκεντρα μέσα στο περιβάλλον περιωτικό χώρο (οστέινοι ημικύκλιοι σωλήνες) και κατά μήκος της μεγαλύτερης κυρτότητάς τους συμφύονται με το ενδόστεο της λαβυρινθικής κάψας. Το υπόλοιπο διάστημα μέσα στους οστέιους ημικύκλιους σωλήνες διασχίζεται από αραιά κατανεμημένες αραχνοειδείς δοκίδες, ανάμεσα από τις οποίες κυκλοφορεί το *περιωτικό υγρό*.

Οι ημικύκλιοι σωλήνες ξεκινούν και καταλήγουν στο ελλειπτικό κυστίδιο και κάθε ένας φέρεται σε ένα επίπεδο κάθετο προς το επίπεδο του άλλου στον άξονα του λιθοειδούς. Οι σωλήνες αυτοί είναι ο *άνω κάθετος ή πρόσθιος, ο οπίσθιος κάθετος και ο πλάγιος ή οριζόντιος*. Το οπίσθιο σκέλος του άνω ημικύκλιου σωλήνα ενώνεται σε κοινό σκέλος με το άνω σκέλος του οπίσθιου σωλήνα, πριν καταλήξει στο ελλειπτικό κυστίδιο, ενώ τα άλλα σκέλη είναι ξεχωριστά. Το πρόσθιο μέρος κάθε σωλήνα σχηματίζει την *υμενώδη λήκυθο* που περιέχει το τελικό όργανο της ισορροπίας, την *ακουστική ακρολοφία*.

Η *ακουστική ακρολοφία* σχηματίζει ένα χείλος κατά μήκος της ληκύθου κάθετο προς τη φορά της κίνησης του υγρού. Το χείλος αυτό καλύπτεται από ένα στρώμα τριχωτών κυττάρων που υποστηρίζεται μεταξύ κυπελλοειδών κυττάρων. Ένα ημισεληνοειδές κάλυμμα ζελατινώδους υλικού, το τελικό *κυπέλλιο (cupula)*, εκτείνεται από τα τριχωτά κύτταρα μέχρι το απέναντι τοίχωμα της ληκύθου, σχηματίζοντας μια βαλβίδα που παρεκκλίνει με την παραμικρή κίνηση του υγρού και προς τις δύο κατευθύνσεις. Δύο τύποι κυβοειδών κυττάρων, ανοιχτόχρωμα και σκοτεινόχρωμα, φέρονται κατά μήκος της βάσης της ακρολοφίας και μετά προς τα πάνω στα τοιχώματα της ληκύθου σε κάθε άκρο της ακουστικής ακρολοφίας, για να σχηματίσουν το ημισεληνοειδές επίπεδο (*planum semilunatum*), που φαίνεται να έχει τόσο εκκριτική, όσο και απορροφητική λειτουργία. Το τελικό κυπέλλιο έχει μια συγκεκριμένη κατασκευή, με σωληνάκια που διατρέχουν μέσα σε αυτό και περιέχουν τουλάχιστον ένα μέρος του μήκους των τριχών των τριχωτών κυττάρων. Μεταξύ των τριχωτών κυττάρων και του τελικού κυπελλίου υπάρχει μια λεπτή διαυγής ζώνη.

Εκτός από τη χρησιμότητά του ως αποθήκης για το υγρό των υμενωδών ημικυκλίων σωλήνων, το ελλειπτικό κυστίδιο έχει ένα ωτολιθικό αισθητήριο όργανο, την ακουστική κηλίδα (*macula*), που βρίσκεται στο έδαφος του στο οριζόντιο επίπεδο και μερικές φορές εκτείνεται λίγο προς τα πάνω στο πρόσθιο τοίχωμα. Οι ακουστικές κηλίδες είναι αποπλατυσμένα μορφώματα, που αποτελούνται από τριχωτά κύτταρα μεταξύ ερειστικών κυττάρων. Το ζελατινώδες στρώμα (ωτολιθοφόρος υμένας) που καλύπτει τα τριχωτά κύτταρα είναι επίπεδο και προσφύεται γερά στις τρίχες. Μεταξύ της κάτω επιφάνειας του ωτολιθοφόρου υμένα και της ελεύθερης επιφάνειας των τριχωτών κυττάρων υπάρχει ένα ελεύθερο διάστημα δια μέσου οποίου προεξέχουν οι τρίχες. Εμβυθισμένα μέσα στην επιφάνεια του ωτολιθοφόρου υμένα

βρίσκονται πολυάριθμα μικρά συγκρίματα ασβεστίου, που ονομάζονται *ωτόλιθοι* ή *ωτοκονία* και δίνουν επιπρόσθετη μάζα.

1.3.3 Κοχλίας

Ο *κοχλίας* αποτελείται από τον κοχλιακό πόρο, ο οποίος πορεύεται ελικοειδώς μέσα στην αιθουσαία κλίμακα, από τη βάση μέχρι την κορυφή.

Ένας μικρός σωληνίσκος ξεκινά από το τοίχωμα του σφαιρικού κυστιδίου, πορεύεται κατά μήκος του εδάφους της αίθουσας και καταλήγει στον κοχλιακό πόρο. Ο σωληνίσκος αυτός ονομάζεται *συνδετικός* ή *ενωτικός πόρος* και είναι το κανάλι που φέρνει σε επικοινωνία το βασικό άκρο του κοχλιακού πόρου με το σφαιρικό κυστίδιο. Ο *υδραγωγός του κοχλία* πορεύεται από το ευρύτερο σημείο του στην κάτω ακρολοφία του οπίσθιου τμήματος του λιθοειδούς οστού μεταξύ του έσω ακουστικού πόρου και του βολβού της σφαγιτίδας.

Ο *κοχλιακός πόρος* ή *μεμβρανώδης κοχλίας* ή *διάμεση κλίμακα* βρίσκεται στην κοιλότητα του οστέινου κοχλία και διαχωρίζεται από την αιθουσαία κλίμακα από τη μεμβράνη του Reissner και από την τυμπανική κλίμακα από τον βασικό υμένα. Ο βασικός υμένας είναι προσκολλημένος προς τα έξω στο οστέινο τοίχωμα του κοχλία. Ο βασικός υμένας ή βασική μεμβράνη διαιρείται σε ένα έσω λεπτό τμήμα, που ονομάζεται *καμαρωτή ζώνη* και ένα έξω πεπαχυσμένο τμήμα, που ονομάζεται *κτενοειδής ζώνη*. Η κάτω επιφάνεια του βασικού υμένα αποτελείται από αγγειακό συνδετικό ιστό και περιέχει ένα μεγαλύτερο αγγείο, που ονομάζεται *ελικοειδής αγγείο*.



Σχήμα 1.3 Υμενώδης Λαβύρινθος

1.4 Το Αιθουσαίο Σύστημα στη Διατήρηση της Ισορροπίας

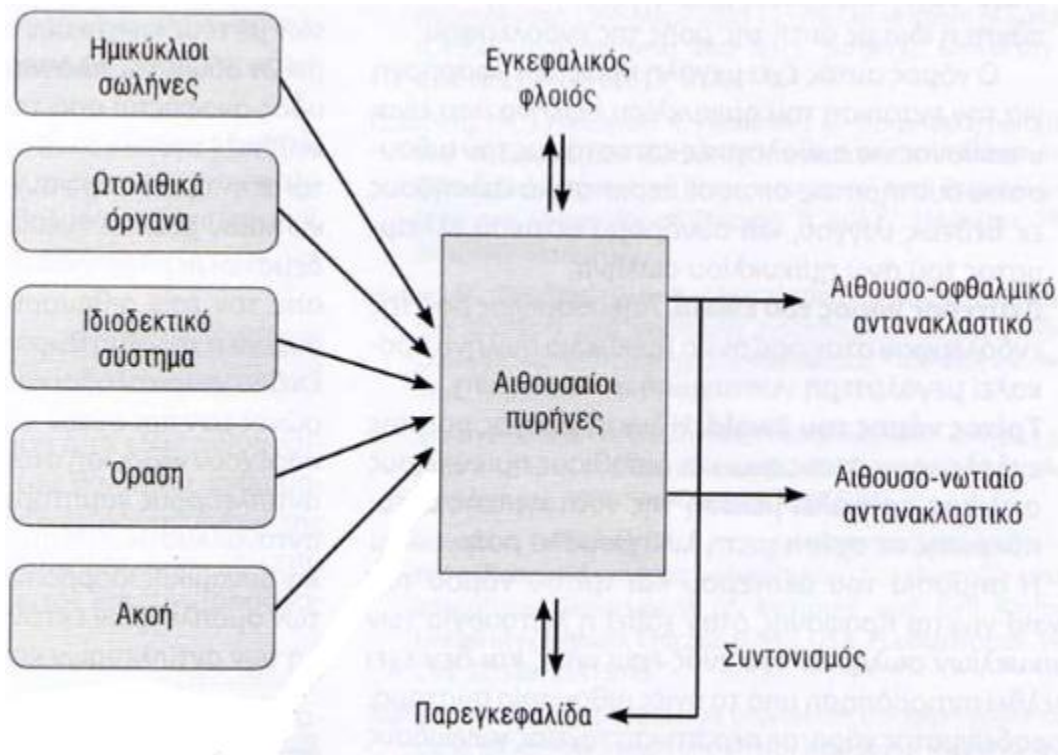
Το *αιθουσαίο σύστημα* είναι το πρώτο αισθητηριακό σύστημα του ανθρώπου, που αναπτύσσεται πλήρως μέσα στους πρώτους έξι μήνες από την ημερομηνία της σύλληψης και το οποίο ελέγχει την αίσθηση της κίνησης και της ισορροπίας. Θεωρείται δε, ως το σύστημα που έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στα άλλα αισθητικά συστήματα και στην ικανότητά μας να λειτουργούμε καλά στην καθημερινότητά μας. Με έμμεσο ή άμεσο τρόπο, το αιθουσαίο σύστημα επηρεάζει οτιδήποτε κάνουμε. Ρυθμίζει και συντονίζει τις πληροφορίες που προσλαμβάνουμε από τα άλλα συστήματα και λειτουργεί ως ένα είδος τροχονόμου που λέει στην κάθε αίσθηση πότε και πού πρέπει να κινηθεί και πότε όχι.

Το *αιθουσαίο σύστημα* είναι ένα από τα τρία αισθητήρια συστήματα, που λειτουργούν για τη διατήρηση της ισορροπίας του σώματος. Τα άλλα δύο συστήματα είναι το σωματοαισθητήριο (κυρίως το ιδιοδεκτικό) και το οπτικό. Κατάργηση της ιδιοδεκτικότητας ή της όρασης προκαλεί σημαντική δυσχέρεια της ισορροπίας. Κατά την αμφοτερόπλευρη κατάργηση της αιθουσαίας λειτουργίας, δυσχέρειες παρουσιάζονται μόνον όταν διακόπτεται η λειτουργία ενός από τα άλλα δύο συστήματα (π.χ. κατά τη βάδιση στο σκοτάδι ή πάνω σε μια μαλακή επιφάνεια) ή όταν πρέπει να διατηρηθεί ισορροπία υπό ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες (π.χ. βάδιση πάνω σε μια στενή δοκό). Οι σημαντικότερες λειτουργικές ανεπάρκειες παρουσιάζονται όταν το αιθουσαίο σύστημα υποστεί οξεία ασύμμετρη βλάβη και δίνει “ψευδή” σήματα, όσον αφορά τη θέση ή την περιστροφή της κεφαλής.

Μια λοίμωξη, μια ειδική αρρώστια, ένα τραύμα, ή απλά το φυσικό γήρας μπορεί να προκαλέσει μια αλλαγή ή μείωση στα μηνύματα του ενός ή και των δύο υπεύθυνων για την ισορροπία τμημάτων του εσωτερικού αυτιού (αιθουσαίο σύστημα). Τα μηνύματα αυτά φτάνουν στον εγκέφαλο κι αφορούν την ισορροπία. Τα συμπτώματα μιας τέτοιας αλλαγής ή μείωσης περιλαμβάνουν: τον ίλιγγο, τη διαταραχή της ισορροπίας και τη ψευδαίσθηση μετακίνησης με τις γρήγορες κινήσεις της κεφαλής.

Τα παραπάνω συμπτώματα μπορούν να αποδοθούν σε μια αιθουσοπάθεια. Μια τέτοια πάθηση μπορεί να περιγραφεί ως μια αλλαγή ή μείωση της λειτουργίας ενός εκ των δύο περιφερικών αιθουσαίων μηχανισμών. Η πραγματική αιθουσοπάθεια είναι λιγότερη σημαντική από τους προκλητικούς ερεθισμούς των συμπτωμάτων. Έτσι, ανεξάρτητα από το αν μια αιθουσοπάθεια έχει προέλθει από λαβυρινθίτιδα, αιθουσαία νευρίτιδα, νόσο του Meniere, ή ακόμη κι από μια εγχειρητική διαδικασία όπως μια αιθουσαία νευρεκτομή, είναι η εκδήλωση της δυσλειτουργίας που θα θεραπευτεί.

Τέλος, το αιθουσαίο σύστημα συνιστά μια πολύπλοκη συσκευή με ιδιαίτερη σημασία τόσο για την ισορροπία του σώματος και της κεφαλής όσο και για τον έλεγχο των κινήσεων των ματιών στο χώρο. Αποτελείται από πληθώρα περιφερικών υποδοχέων, σχετικά μεγαλύτερων συγκριτικά με άλλα συστήματα, που συγκροτούν το λεγόμενο *λαβυρίνθιο σύστημα*.



Σχήμα 1.4 Συντονισμός Νευρικών Ώσεων από Διάφορα Συστήματα για τη Διατήρηση της Ισορροπίας

1.4.1 Ανατομία του Αιθουσαίου Συστήματος

Ο οπίσθιος λαβύρινθος (οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες και η αίθουσα με το σφαιρικό και ελλειπτικό κυστίδιο), σε συνεργασία με την αίσθηση της όρασης και την εν τω βάθει αισθητικότητα, είναι ο κατ' εξοχήν ισορροπιστής του σώματος, προσανατολίζοντας επιπλέον τον άνθρωπο στο χώρο.

Το αιθουσαίο σύστημα, μέρος του οποίου αποτελεί ο οπίσθιος λαβύρινθος, διακρίνεται σε περιφερικό και κεντρικό τμήμα.

1.4.1.1 Περιφερικό Αιθουσαίο Σύστημα

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τους τρεις ημικύκλιους σωλήνες, την ωτολιθική μεμβράνη (ελλειπτικό και σφαιρικό κυστίδιο) και το αιθουσαίο νεύρο. Για τους ημικύκλιους σωλήνες και την ωτολιθική μεμβράνη αναφερθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Το αιθουσαίο νεύρο συνίσταται από τρία νεύρα: το άνω αιθουσαίο, που παρέχει νεύρωση στον οριζόντιο ημικύκλιο σωλήνα, στον άνω ημικύκλιο σωλήνα, και στο ελλειπτικό κυστίδιο, το κάτω αιθουσαίο που παρέχει νεύρωση στο σφαιρικό κυστίδιο και το οπίσθιο αιθουσαίο που παρέχει νεύρωση στον οπίσθιο ημικύκλιο σωλήνα.

Τα αιθουσαία τριχωτά κύτταρα διακρίνονται σε τύπου I και τύπου II. Τα τριχωτά κύτταρα τύπου I έχουν κυπελοειδές σχήμα και παρουσιάζουν καλυκοειδές κεντρομόλους νευρικές απολήξεις, που περιβάλλουν όλο το κύτταρο εκτός από το τριχωτό άκρο του. Είναι

συγκεντρωμένα στην κεντρική κορυφή της ακουστικής ακρολοφίας και στο κεντρικό τμήμα της ακουστικής κηλίδας. Τα τριχωτά κύτταρα τύπου II έχουν κυλινδρικό ή σωληνοειδές σχήμα και παρουσιάζουν αρκετές κομβιοειδείς νευρικές απολήξεις, που αντιπροσωπεύουν τόσο την κεντρομόλο όσο και την φυγόκεντρο νεύρωση.

Τα αιθουσαία τριχωτά κύτταρα διαθέτουν ένα μακρύ και παχύ ινίδιο, το *κινোসίλιο* (*kinocilium*), και πολλά κοντά και λεπτά ινίδια, τα *στερεοσίλια* (*stereocilia*). Το κινোসίλιο καταλήγει σε ένα βασικό σώμα, που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τη μεμβράνη του τριχωτού κυττάρου. Μέσα του υπάρχουν εννέα λεπτοί σωληνίσκοι με διπλό αυλό, τοποθετημένα συμμετρικά σε κύκλο γύρω από δύο κεντρικά σωληνοειδή νημάτια. Τα στερεοσίλια είναι σχετικώς άκαμπτες ραβδοειδείς προσεκβολές που δίνουν την εντύπωση ενός σωληνοειδούς οργάνου και προεξέχουν στο κορυφαίο άκρο του τριχωτού κυττάρου από μια συμπαγή επιφανειακή πλάκα.

Τα ινίδια των τριχωτών κυττάρων εισέρχονται εντός του τελικού κυπελλίου των ημικυκλίων σωλήνων και του ωτολιθοφόρου υμένα των ωτολιθικών οργάνων του σφαιρικού και του ελλειπτικού κυστιδίου.

1.4.1.2 Κεντρικό Αιθουσαίο Σύστημα

Το *κεντρικό τμήμα* (κεντρικός αιθουσαίος νευρώνας) αποτελούν οι συνδέσεις των αιθουσαίων πυρήνων και των νευροφυτικών κέντρων με το δικτυωτό σχηματισμό, την παρεγκεφαλίδα, το νωτιαίο μυελό, τους πυρήνες των οφθαλμοκινητικών μυών και το φλοιό των ημισφαιρίων.

Το προσαγωγό σύστημα άγει τις διεγέρσεις στα αιθουσαία γάγγλια ή τα γάγγλια του Scarpa, στη συνέχεια στους αιθουσαίους πυρήνες που βρίσκονται στο εγκεφαλικό στέλεχος, δημιουργώντας τον δεύτερο νευρώνα της κεντρικής αιθουσαίας οδού. Οι αιθουσαίοι πυρήνες κατασκηνούν στο έδαφος της τετάρτης κοιλίας στο στέλεχος του εγκεφάλου, και διακρίνονται, στον *έξω* (του *Deiters*), τον *έσω*, τον *άνω* και τον *κατώτερο αιθουσαίο πυρήνα*, καθώς και σε δύο μικρότερους πυρήνες, τον *διάμεσο πυρήνα* και τον *πυρήνα Υ*. Οι αιθουσαίοι πυρήνες δέχονται προσαγωγές ίνες από το σύστοιχο αιθουσαίο νεύρο και έχουν πολύπλευρες διασυνδέσεις από το αντίπλευρο αιθουσαίο σύστημα, τον δικτυωτό σχηματισμό, τους μύες του τραχήλου, τον νωτιαίο μυελό και την παρεγκεφαλίδα.

1.4.2 Φυσιολογία του Αιθουσαίου Συστήματος

Οι ημικύκλιοι σωλήνες ερεθίζονται από γωνιακές επιταχύνσεις, ενώ τα ωτολιθικά όργανα από γραμμικές επιταχύνσεις.

Η κίνηση των στερεοσιλίων προς τη μεριά του κινোসιλίου προκαλεί εκπόλωση και διέγερση των κυττάρων, οδηγώντας σε αύξηση του ρυθμού αγωγής νευρικών ώσεων. Αντίθετη κίνηση των στερεοσιλίων μακριά από τη μεριά του κινোসιλίου προκαλεί υπερπόλωση και μείωση του ρυθμού αγωγής νευρικών ώσεων.

Η θέση του κινোসιλίου στο αιθουσαίο τριχωτό κύτταρο και η κατεύθυνση της κάμψης του καθορίζει και τη μορφή της πόλωσης του. Σε περίπτωση κάμψης των κινোসιλίων προς το αιθουσαίο άκρο του οριζώντιου ημικυκλίου σωλήνα προκαλείται αύξηση των νευρικών ερεθισμών στις νευρικές προσαγωγές ίνες. Η κίνηση προς την αντίθετη πλευρά προκαλεί αναστολή του ερεθισμού.

Το κινোসίλιο των τριχωτών κυττάρων της ακουστικής κηλίδας του ελλειπτικού κυστιδίου είναι προσανατολισμένο προς το κέντρο της ακουστικής κηλίδας, ενώ στο σφαιρικό κυστίδιο είναι προσανατολισμένο προς την περιφέρεια.

Το ειδικό βάρος του ωτολιθοφόρου υμένα, που μέσα σε αυτόν είναι βυθισμένα τα ινίδια της ακουστικής κηλίδας του ελλειπτικού και του σφαιρικού κυστιδίου, είναι μεγαλύτερο από αυτό της υπερκείμενης ενδόλεμφου. Η διαφορά αυτή του ειδικού βάρους μεταξύ του ωτολιθοφόρου υμένα και της ενδόλεμφου προκαλεί κάμψη των ινιδίων και τη γένεση ερεθίσματος κατά κίνηση της κεφαλής σε γραμμική επιτάχυνση.

Η κίνηση της κεφαλής είναι μια συνδυασμένη κίνηση στην οποία ερεθίζονται με διαφορετικό τρόπο οι αισθητικές περιοχές του αιθουσαίου οργάνου. Συγκεκριμένα, σε κάθε κίνηση της κεφαλής, οι ημικύκλιοι σωλήνες ή/και τα ωτολιθικά όργανα προς την πλευρά κίνησης της κεφαλής διεγείρονται, ενώ η διέγερση προς την αντίθετη πλευρά αναστέλλεται.

Για τη διατήρηση της ισορροπίας και του προσανατολισμού ενός ατόμου στον χώρο είναι απαραίτητος ο συντονισμός των νευρικών ώσεων από τα δύο περιφερικά αιθουσαία συστήματα, τους οφθαλμούς, και τα ιδιοδεκτικά όργανα που είναι στους μύες, στους τένοντες και στις αρθρώσεις του κορμού, της κεφαλής και των άκρων. Ο συντονισμός των νευρικών ώσεων πραγματοποιείται μέσω αντανακλαστικών νευρικών μηχανισμών.

Τέλος, οι κυριότεροι νευρικοί οδοί που εξυπηρετούν τα αντανακλαστικά αυτά είναι η αιθουσαίο-οφθαλμική, η αιθουσαίο-νωτιαία, η αιθουσαίο-φυτική καθώς και οι διασυνδέσεις τους με την παρεγκεφαλίδα, η οποία ελέγχει τη θέση του σώματος και της κεφαλής κατά τη διάρκεια ενεργητικής ή παθητικής κίνησης.

1.5 Αιθουσαία Νευρωτίτιδα

Η *αιθουσαία νευρωνίτιδα* είναι μια φλεγμονή του νεύρου που μεταφέρει την πληροφορία για την ισορροπία από το έσω ους (το εσωτερικό τμήμα του αυτιού) προς τον εγκέφαλο (αιθουσαίο νεύρο). Η αιθουσαία νευρωνίτιδα συχνότατα αναπτύσσεται μετά από κάποιο πρόσφατο κρυολόγημα ή λοίμωξη του ανωτέρου αναπνευστικού συστήματος. Προσβάλλει, κυρίως, άτομα μέσης ηλικίας με μεγαλύτερη συχνότητα τις ηλικίες 30 - 40 ετών και με ίση συχνότητα στα δύο φύλα.

1.5.1 Συμπτώματα

Η *αιθουσαία νευρωτίτιδα*, πιθανόν προκαλείται μετά από κάποια ιογενή λοίμωξη που προσβάλλει επίσης και το αιθουσαίο νεύρο. Η λοίμωξη αναγκάζει το αιθουσαίο νεύρο να στείλει σήματα στον εγκέφαλο που ερμηνεύονται ως κίνηση. Επειδή τα άλλα αισθητήρια

συστήματα ισορροπίας του σώματος δεν ανιχνεύουν την ίδια κίνηση, η σύγχυση των σημάτων που προσλαμβάνει τελικά ο εγκέφαλος προκαλούν, αιφνίδιο ίλιγγο διάρκειας αρκετών ημερών, με αυτόματο νυσταγμό, διαταραχή της ισορροπίας, ναυτία και συχνά εμετό.

1.5.1.1 Ίλιγγος

Ο ίλιγγος είναι η ψευδαίσθηση του ασθενούς ότι τα γύρω αντικείμενα περιστρέφονται ή κινούνται. Ο ίλιγγος που προκαλείται από βλάβη του στατικού οργάνου λέγεται αιθουσαίος ή λαβυρινθικός ίλιγγος και περιλαμβάνει μια μεγάλη κλίμακα διαβαθμίσεων σε σχέση με τη μορφή, την ένταση και τη διάρκειά του.

Στην περίπτωση της αιθουσαίας νευρωτίτιδας, ο ίλιγγος μπορεί να ενισχυθεί βαθμιαία εντός ολίγων ωρών και να φθάσει το μέγιστο της έντασής του εντός 24 ωρών και συνήθως συνοδεύεται από ναυτία και εμετούς. Συνήθως, οι πάσχοντες αναγκάζονται να μένουν κλινήρεις, διότι δεν έχουν την ικανότητα να περπατήσουν ή να σταθούν όρθιοι. Τέλος, ο ίλιγγος επιτείνεται με τις κινήσεις το κεφαλιού.

1.5.1.2 Νυσταγμός

Ο νυσταγμός είναι οι ρυθμικές παλίνδρομες κινήσεις των βολβών των οφθαλμών που χαρακτηρίζονται από μια βραδεία απόκλιση των οφθαλμών προς τη μία πλευρά(βραδεία φάση) και μια ταχεία επαναφορά στην αρχική τους θέση (ταχεία φάση). Όπως και ο αυτόματος νυσταγμός έτσι και οι διαταραχές της ισορροπίας είναι αποτέλεσμα ασυμμετρίας του τόνου μεταξύ των δύο λαβυρίνθων. Οι αποκλίσεις του σώματος εκδηλώνονται προς την πλευρά της βραδείας φάσης του νυσταγμού, δηλαδή προς την πλευρά του πάσχοντος λαβύρινθου ή γενικά προς την αντίθετη από την υπερισχύουσα πλευρά εκ των δύο λαβυρίνθων.

Ο νυσταγμός της αιθουσαίας νευρωτίτιδας είναι οριζόντιος και πιο σπάνια οριζοντιοκυκλικός, με ταχεία φάση προς την υγιή πλευρά. Η οξεία φάση ακολουθείται από μια περίοδο βραδείας υποχώρησης, η οποία χαρακτηρίζεται από αστάθεια και διαταραχή της ισορροπίας, που συχνά διαρκεί αρκετές εβδομάδες. Ο νυσταγμός έχει όλα τα χαρακτηριστικά του *περιφερικού νυσταγμού*, δηλαδή ελαττώνεται όταν ο ασθενής προσηλώνει το βλέμμα του σε ένα σημείο, ενώ ενισχύεται με το κλείσιμο των οφθαλμών. Τέλος, ο νυσταγμός ακολουθεί το νόμο του *Alexander*, ο οποίος ισχύει στους περιφερικούς νυσταγμούς, δηλαδή ενισχύεται όταν ο ασθενής στρέφει το βλέμμα του προς την υγιή πλευρά(πλευρά ταχείας φάσεως), ενώ εξασθενεί όταν κοιτάζει προς την πάσχουσα πλευρά (πλευρά βραδείας φάσεως).

1.5.2 Διάγνωση - Μελέτη Αυτόματου Νυσταγμού

Η μελέτη του *αυτόματου νυσταγμού* της πάθησης μπορεί να γίνει με την ηλεκτρονυσταγμογραφία ή βιντεονυσταγμογραφία. Οι καταγραφές δείχνουν, ότι η ταχύτητα βραδείας φάσεως, η οποία αποτελεί την πιο αξιόπιστη νυσταγμογραφική παράμετρο, παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των πασχόντων. Η ταχύτητα βραδείας φάσεως

είναι δυνατόν αρχικά να είναι σημαντικά υψηλότερη, στη συνέχεια δε να ελαττωθεί βαθμιαία, κατά τις πρώτες ημέρες μετά την έναρξη της πάθησης. Σημαντική εξέταση αποτελούν οι ψυχοθερμο-διακλυσμοί των ώτων. Με την εξέταση αυτή διερευνάται η λειτουργία έκαστου λαβυρίνθου, όπου το σύνηθες εύρημα είναι η αιθουσαία υπολειτουργία, η οποία εκφράζει το ποσοστό απώλειας της λαβυρινθικής λειτουργίας του πάσχοντος ωτός.

Εκτός από τις παραπάνω δοκιμασίες νυσταγμογραφικού ελέγχου, υπάρχουν κι άλλες όχι ευρέως διαδιδόμενες εξετάσεις του λαβυρίνθου, οι οποίες χρησιμοποιούνται όπως οι δοκιμασίες του περιστρεφόμενου και ταλαντευόμενου εδράνου, στις οποίες παρουσιάζονται διάφορα παθολογικά ευρήματα. Τέλος, όσον αφορά τις εργαστηριακές εξετάσεις, δε βοηθούν στη διάγνωση της πάθησης, ενώ ο απεικονιστικός έλεγχος, ο οποίος συνίσταται σε μαγνητική τομογραφία εγκεφάλου, είναι αναγκαίος μόνο για τον αποκλεισμό ιλίγγου κεντρικής αιτιολογίας, λόγω αιμορραγίας, εμφράκτων και όγκων της παρεγκεφαλίτιδας.

1.5.3 Αίτια Αιθουσαίας Νευρωτίτιδας

Τα κλινικά ευρήματα της πάθησης υποδεικνύουν την απότομη διακοπή των νευρικών ερεθισμάτων από τον έναν εκ των δύο λαβυρίνθων προς τις κεντρικές αιθουσαίες οδούς. Η διαταραχή αυτή εξηγεί την παρουσία ιλίγγου και έντονου αυτόματου νυσταγμού και επιφέρει τονική αιθουσαία ανισορροπία. Η ακριβής εντόπιση και έκταση της βλάβης δεν είναι γνωστή.

Ορισμένοι ερευνητές, υποστηρίζουν ότι η κύρια βλάβη ευρίσκεται στον οριζόντιο ημικύκλιο σωλήνα, όπως αποδεικνύεται από τον τύπο του νυσταγμού (είναι οριζοντιοκυκλικός περιφερικού τύπου) και από την υπαισθησία που παρατηρείται στις θερμικές δοκιμασίες. Εξειδικευμένες εξετάσεις που έχουν γίνει για την εκτίμηση της λειτουργίας των άλλων ημικύκλιων σωλήνων, αλλά και του ελλειπτικού και σφαιρικού κυστιδίου, δείχνουν ότι παραμένει κάποια λειτουργικότητα στα τμήματα αυτά και επομένως η έκταση της πάθησης είναι σχετικά περιορισμένη. Επίσης, μελέτες από κροταφικά οστά υποστηρίζουν τη μερική προσβολή του λαβυρίνθου. Η προσβολή αυτή εντοπίζεται στην ανώτερη μοίρα, περιλαμβάνοντας τον οριζόντιο και πρόσθιο ημικύκλιο σωλήνα, το ελλειπτικό κυστίδιο και το άνω-πρόσθιο τμήμα του σφαιρικού κυστιδίου, όργανα που αντιστοιχούν στο άνω αιθουσαίο νεύρο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όμως, φαίνεται ότι η προσβολή είναι περισσότερο εκτεταμένη, περιλαμβάνοντας και τον κάτω κλάδο του αιθουσαίου νεύρου.

Σύμφωνα με μελέτες, ο λεπτομερής ακοολογικός έλεγχος και η σχολαστική νευρολογική εξέταση, είναι δυνατόν να δείξουν περισσότερο εκτεταμένη προσβολή που να αφορά το κοχλιακό νεύρο και το εγκεφαλικό στέλεχος, παρόλο που η απουσία ακοολογικών και νευρολογικών ευρημάτων αποτελεί κριτήριο διάγνωσης της πάθησης. Το τελικό συμπέρασμα, που βγαίνει από όλα τα παραπάνω, είναι ότι η αιθουσαία νευρωτίτιδα οφείλεται σε προσβολή του άνω αιθουσαίου νεύρου.

Παρόλα τα παραπάνω, η ακριβής αιτιολογία της αιθουσαίας νευρωτίτιδας δεν είναι γνωστή. Κατά καιρούς, διάφορες θεωρίες όπως η αγγειακή βλάβη λόγω λαβυρινθικής ισχαιμίας, η φλεγμονή του αιθουσαίου νεύρου, καθώς και μικροαγγειακές διαταραχές λόγω φλεγμονής,

έχουν αναπτυχθεί ως αιτία. Στο παρελθόν, ο *Schuknecht* υποστήριξε ότι η τυπική αιθουσαία νευρωτίτιδα είναι αποτέλεσμα ιογενούς νευρωτίτιδας του άνω αιθουσαίου νεύρου. Επίσης, περιέγραψε και την οξεία αμφίπλευρη διαδοχική αιθουσαία νευρωτίτιδα, η οποία οδηγεί σε μόνιμη αιθουσαία δυσλειτουργία.

Κατά τα τελευταία έτη, η προσοχή των ερευνητών έχει στραφεί προς την ιογενή αιτιολογία της νόσου. Μερικά επιχειρήματα υπέρ αυτής της εξέλιξης δίνονται παρακάτω:

- Υπάρχουν επιδημιολογικά δεδομένα, σύμφωνα με τα οποία αυξάνει η συχνότητα της αιθουσαίας νευρωτίτιδος σε ορισμένες χρονικές περιόδους. Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση με πρόσφατη ή ταυτόχρονη λοίμωξη του ανώτερου αναπνευστικού.
- Οι μελέτες κροταφικών οστών, σε ορισμένες περιπτώσεις, δείχνουν παρόμοια ευρήματα σε κροταφικά προσβεβλημένα από αιθουσαία νευρωτίτιδα, με αυτά που έχουν προσβληθεί από τον ιό του έρπητα ζωστήρα. Επίσης, μελέτες κροταφικών από ασθενείς με ιστορικό χρόνιου υποτροπιάζοντος ιλίγγου έδειξαν καταστροφή του αιθουσαίου συστήματος.
- Εργαστηριακές εξετάσεις του εγκεφαλονωτιαίου υγρού έδειξαν αύξηση της πρωτεΐνης, δύο εβδομάδες μετά την έναρξη της αιθουσαίας νευρωτίτιδας. Αυτό, αποδόθηκε στην αυξημένη είσοδο πρωτεϊνών εκ του πλάσματος λόγω διάσπασης του αιματοεγκεφαλικού φραγμού, σε αυξημένη παραγωγή τοπικών ανοσοσφαιρινών (αυξημένος τίτλος αντισωμάτων) ή σε απομυελίνωση του αιθουσαίου νεύρου.
- Σε ιστολογικές εξετάσεις αιθουσαίων γαγγλίων, χρησιμοποιώντας την αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) ανευρέθηκε επανειλημμένα DNA του ιού του απλού έρπητα, ενδεικτικό λανθάνουσας φλεγμονής των από τον ιό.

1.5.4 Θεραπεία και Αντιμετώπιση

Για τη θεραπεία και την αντιμετώπιση της αιθουσαίας νευρωτίτιδας απαιτείται χορήγηση φαρμάκων που καταστέλλουν τη λειτουργία του λαβύρινθου για την αντιμετώπιση των υποκειμενικών συμπτωμάτων. Επίσης, εκτός της φαρμακευτικής αγωγής, θα πρέπει να συστηθεί στον πάσχοντα να διεξάγει ασκήσεις αιθουσαίας αποκατάστασης. Η αντιμετώπιση της αιθουσαίας νευρωτίτιδας είναι συμπτωματική.

1.5.4.1 Φαρμακευτική Αγωγή

Ένας κύριος στόχος της φαρμακευτικής αγωγής είναι η άμεση ανακούφιση του πάσχοντος από τα συμπτώματα. Θα πρέπει, λοιπόν, ακόμη και πριν την ολοκλήρωση του διαγνωστικού ελέγχου να αντιμετωπισθεί άμεσα, με ενδοφλέβια ενυδάτωση και παρεντερική χορήγηση κατασταλτικών του λαβυρίνθου ή αντιεμετικών. Για την άμεση καταπολέμηση του ιλίγγου χορηγούνται βενζοδιαζεπίνες, συνήθως διαζεπάμη, οι οποίες καταστέλλουν κεντρικά τις λαβυρινθικές αποκρίσεις. Επίσης, μπορεί να χορηγηθούν νευροληπτικά φάρμακα, όπως προχλωπεραζίνη ή δροπεριδόλη. Εάν βελτιωθούν τα συμπτώματα μπορεί να συνεχίσουμε αμέσως με χορήγηση από το στόμα, ενώ τα φάρμακα αυτά θα πρέπει να διακοπούν το

ταχύτερο δυνατόν, εφόσον βελτιωθεί σημαντικά η κατάσταση του ασθενούς, διότι επιβραδύνουν την αιθουσαία αντιρρόπηση. Με τη θεραπεία αυτή η νόσος συνήθως υποχωρεί και οι ασθενείς, ιδιαίτερα της νεαρής και μέσης ηλικίας, αποκαθίστανται προοδευτικά πλήρως μέσα σε λίγες εβδομάδες.

Ένας ακόμα στόχος είναι η διευκόλυνση της κεντρικής αντιρρόπησης το ταχύτερο δυνατόν, με κινητοποίηση του ασθενούς, ανάληψη όλων των καθημερινών δραστηριοτήτων του. Ο ασθενής αρχικά ωθείται να στρέψει το βλέμμα του γύρω του. Ακολουθως και όσο είναι ακόμη κλινήρης, του δίνονται οδηγίες να κινεί το κεφάλι του και τέλος, να κάθεται στο κρεβάτι, να σηκώνεται και να αναλαμβάνει τις καθημερινές δραστηριότητές του, όσο το δυνατό ταχύτερα. Σύμφωνα με υπάρχοντα δεδομένα, η χορήγηση κορτικοστεροειδών μπορεί να ελαττώσει τη μακροχρόνια απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας. Φαίνεται ότι οι αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους μπορεί να επιφέρουν ελάττωση της φλεγμονής και του οιδήματος του αιθουσαίου νεύρου, οδηγώντας σε ταχύτερη αποκατάσταση και λιγότερη μόνιμη βλάβη. Τα κορτικοστεροειδή πιθανώς να διευκολύνουν την κεντρική αιθουσαία αντιρρόπηση.

1.5.4.2 Αιθουσαία Αποκατάσταση

Η αιθουσαία αποκατάσταση εισήλθε τα τελευταία χρόνια στο χώρο της θεραπείας των ασθενών με χρόνια, δυσεπίλυτα προβλήματα ισορροπίας και κινητικότητας ως μια εναλλακτική αλλά επιτυχής προσέγγιση. Η κεντρική ιδέα ότι οι συντονισμένες με τους οφθαλμούς ασκήσεις της κεφαλής και του σώματος αποτελούν θεραπεία για αιθουσαίες διαταραχές είναι πενήντα χρόνων. Το 1944 ένας Άγγλος ωτορινολαρυγγολόγος, ο Cawthorne, παρατήρησε ότι κάποιοι ασθενείς του που παρουσίαζαν ίλιγγο βελτιώθηκαν ή ανάρρωσαν γρηγορότερα μετά από εκτέλεση γρήγορων κινήσεων της κεφαλής. Το 1946 σε συνεργασία με ένα φυσικοθεραπευτή, τον Cooksey, ανέπτυξαν μια αγωγή ασκήσεων που με μερικές τροποποιήσεις χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

1.5.4.3 Τρόπος Δράσης της Αιθουσαίας Αποκατάστασης

Η αιθουσαία αποκατάσταση επιτυγχάνεται λόγω της πλαστικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος (εγκέφαλος), η οποία στηρίζεται κυρίως σε δύο μηχανισμούς, την προσαρμογή και την υποκατάσταση.

Η προσαρμογή είναι η ικανότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος να διορθώνει τη διαταραχή του αιθουσο-οφθαλμικού και των αιθουσο-νωτιαίων αντανακλαστικών, που προκύπτει μετά από αιφνίδια απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας μονόπλευρα. Το κεντρικό αιθουσαίο σύστημα και ο εγκέφαλος μαθαίνουν να προσαρμόζονται στην ανισόρροπη είσοδο ερεθισμάτων από τους υποδοχείς του διαταραγμένου περιφερικού αιθουσαίου συστήματος. Ο ρόλος του αιθουσο - οφθαλμικού αντανακλαστικού είναι να κρατά τα μάτια καθηλωμένα σε ένα στόχο κατά τις κινήσεις της κεφαλής. Εάν τα ερεθίσματα από τα δύο εσωτερικά συστήματα δεν είναι συγχρονισμένα το αποτέλεσμα είναι μια αίσθηση μετακίνησης με την κίνηση της κεφαλής.

Η υποκατάσταση είναι η ικανότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος να αξιοποιεί άλλα κεντρομόλα ερεθίσματα, εκτός των αιθουσαίων, όπως τα οπτικά και τα ερεθίσματα από την εν τω βάθει αισθητικότητα, προκειμένου να είναι δυνατή η διατήρηση της ισορροπίας. Ο πλεονασμός πολλαπλών αισθητικών ερεθισμάτων επιτρέπει στον άνθρωπο, που δεν έχει στερηθεί τη δυνατότητα της επεξεργασίας τους, να εκμεταλλευτεί όσα μπορεί, ακόμη κι όταν κάποια έχουν χαθεί. Έτσι, για ένα άτομο που έχει χάσει την αιθουσαία λειτουργία του, η εξάρτηση από τα υπόλοιπα στοιχεία της ισορροπιστικής αισθητικότητας, για παράδειγμα τα αιθουσο-νωτιαία, αυχENO-νωτιαία και οπτικά ερεθίσματα, πρέπει να διασφαλιστεί αξιόπιστα.

1.5.4.4 Ασκήσεις της Αιθουσαίας Αποκατάστασης

Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα ασκήσεων από τα οποία μπορεί ένας θεραπευτής να επιλέξει και να συνθέσει ένα πρόγραμμα αιθουσαίας αποκατάστασης. Παρακάτω, κάνουμε μια μικρή αναφορά σε μερικά από αυτά:

- Δυναμικές ασκήσεις. Φυσικές δραστηριότητες και ενέργειες που απαιτούν τη συμμετοχή πολλών συστημάτων και οργάνων, όπως τα μάτια, το κεφάλι και το σώμα. Αποτελεσματικοί είναι οι περίπατοι όπου κοιτούμε μακριά προς τον ορίζοντα. Εξαιρετική άσκηση είναι ο χορός και οι αντίστοιχες ασκήσεις. Αποτελεσματικές είναι και οι απλές κινήσεις του κεφαλιού που συνδυάζονται με τη ρίψη μιας μικρής μπάλας στον τοίχο.
- Στατικές ασκήσεις. Υπάρχουν διάφορα είδη τέτοιων ασκήσεων: Η ισορροπία στο ένα πόδι για λίγα δευτερόλεπτα, εναλλαγή ασκήσεων ισορροπίας στα δύο πόδια αρχικά με μάτια ανοιχτά και έπειτα με μάτια κλειστά, η ισορροπία πάνω σε μαλακό μαξιλάρι ή γενικά σε αφρώδες υλικό και η κάμψη του σώματος προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση κατά τη διάρκεια ισορροπίας στο ένα πόδι.
- Ασκήσεις προσήλωσης βλέμματος. Στροφή του κεφαλιού, διατηρώντας σταθερή βλεμματική θέση, εναλλάξ στο ένα και στο άλλο πλάγιο.
- Ασκήσεις περιορισμού της οπτικής προσήλωσης. Έχουν ως στόχο τον περιορισμό των οπτικών ερεθισμάτων και την προσπάθεια για υποκατάσταση μέσω άλλων αισθητήριων οργάνων στις καθημερινές φυσικές δραστηριότητες.
- Ασκήσεις ενίσχυσης του ιδιοδεκτικού συστήματος. Έχουν ως στόχο τη διατήρηση της ισορροπίας σε καταστάσεις που τα ερεθίσματα από τους τένοντες και τις αρθρώσεις των κάτω άκρων περιορίζονται ή μεταβάλλονται διαρκώς.
- Ασκήσεις σε κινούμενη εξέδρα. Ο ασθενής προσηλώνει το βλέμμα του σε μια οθόνη όπου του δίνονται οπτικές παραστάσεις, ενώ η κινητή εξέδρα πραγματοποιεί προκαθορισμένες και σταθερές κινήσεις ταλάντωσης με ελεγχόμενο τρόπο.

1.5.5 Χρονική Διάρκεια της Νόσου

Τις περισσότερες φορές, μέσα σε λίγες εβδομάδες, επέρχεται αυτόματη αποκατάσταση του ιλίγγου και της αστάθειας, μέσω του μηχανισμού της αιθουσαίας αντιρροπήσεως. Ο ισχυρός

ίλιγγος διαρκεί λιγότερο από μία εβδομάδα, με μέση διάρκεια περίπου δύο ημερών, ενώ σε ελάχιστους ασθενείς η κρίση του εντόνου ίλιγγου διαρκεί πάνω από δύο εβδομάδες. Η αποκατάσταση των αιθουσονωτιαίων αντιδράσεων επέρχεται ταχύτερα από τις οφθαλμοκινητικές διαταραχές. Σε δύο εβδομάδες οι δοκιμασίες στάσεως και βαδίσεως είναι φυσιολογικές, ακόμη και σε ασθενείς με μόνιμη πλήρη μονόπλευρη αιθουσαία πάρεση.

Ο σημαντικός αυτόματος νυσταγμός, ο οποίος είναι εμφανής χωρίς οπτική προσήλωση, εξαφανίζεται μέσα σε έναν μήνα στην πλειοψηφία των ασθενών. Σε μερικές περιπτώσεις διαπιστώνεται παροδικά η παρουσία αντιθέτου φοράς νυσταγμού, με την ταχεία φάση προς την πάσχουσα πλευρά. Ο νυσταγμός αυτός θεωρείται ως νυσταγμός αποκαταστάσεως και συμπίπτει συνήθως με την αποκατάσταση των θερμικών δοκιμασιών του προσβληθέντος λαβυρίνθου. Η θερμική αντίδραση βελτιώνεται είτε εντός των πρώτων ημερών μετά την έναρξη της νόσου, είτε μετά από αρκετά έτη, αλλά σε ένα ποσοστό μπορεί να μην αποκατασταθεί ποτέ. Τέλος, βελτίωση της λαβυρινθικής λειτουργίας έχει παρατηρηθεί και μετά από τρία ως πέντε χρόνια.

Η αιθουσαία νευρωτίτιδα χαρακτηρίζεται από ένα μονήρες επεισόδιο ίλιγγου, παρότι έχουν αναφερθεί και περιπτώσεις με υποτροπιάζοντα επεισόδια ίλιγγου. Συνήθως τα επεισόδια αυτά μικρότερης έντασης και βραχύτερης διάρκειας μπορεί να συνεχίσουν να εμφανίζονται ακόμη και πέραν των πέντε ετών, αλλά σε όλο και μικρότερο ποσοστό ασθενών όσον παρέρχεται ο χρόνος.

1.6 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως (ΚΠΙΘ)

Ορισμός

Ο *καλοήθης παροξυσμικός ίλιγγος θέσεως (ΚΠΙΘ)* αποτελεί τη συνηθέστερη αιτία ίλιγγου. Ο όρος «καλοήθης» υποδηλώνει περιφερική λαβυρινθική προέλευση της νόσου, ο όρος «παροξυσμικός» περιγράφει τον επεισοδιακό χαρακτήρα του ίλιγγου, και ο όρος «θέσεως» τονίζει το γεγονός πως η διαταραχή αυτή, τις περισσότερες φορές, εκδηλώνεται μετά από απότομη μεταβολή της θέσης της κεφαλής στον χώρο. Η πάθηση αυτή χαρακτηρίζεται από συχνά επεισόδια ίλιγγου βραχείας διάρκειας που προκαλούνται από ορισμένες κινήσεις του κεφαλιού. Ο ΚΠΙΘ συνοδεύεται από χαρακτηριστικό παροξυσμικό νυσταγμό θέσεως, τα γνωρίσματα του οποίου είναι ο λανθάνων χρόνος, η παροξυσμικότητα, η κόπωση, η αναστρεψιμότητα και η προσαρμογή. Στις περισσότερες περιπτώσεις συμβαίνει χωρίς συγκεκριμένη αιτία και χαρακτηρίζεται ως ιδιοπαθείς, ενώ σε έναν αριθμό ασθενών μπορεί να συνυπάρχει με άλλες ωτολογικές παθήσεις και χαρακτηρίζεται ως δευτεροπαθείς.

Ο ΚΠΙΘ εμφανίζεται συχνά σε ασθενείς που πάσχουν από ημικρανία, στους οποίους και υποτροπιάζει ευκολότερα μετά την αρχικά επιτυχή θεραπεία, και αποδίδεται συνήθως σε σπασμούς των αγγείων του έσω αυτιού. Η ηλικία έναρξης της πάθησης είναι συνήθως μεταξύ 50 και 70 ετών και αποτελεί συχνό πρόβλημα των ηλικιωμένων.

Οι περισσότερες περιπτώσεις ΚΠΙΘ οφείλονται σε προσβολή του οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα, αλλά αρκετά συχνή είναι και η προσβολή του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα. Η

συχνότητα προσβολής του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα είναι πολύ μικρότερη. Υπάρχουν και περιπτώσεις αμφοτερόπλευρης προσβολής ή και προσβολής περισσοτέρων του ενός ημικύκλιων σωλήνων στο ίδιο αυτί. Οι περισσότερες περιπτώσεις του ΚΠΙΘ θεραπεύονται εύκολα, δίχως ανάγκη νοσηλείας.

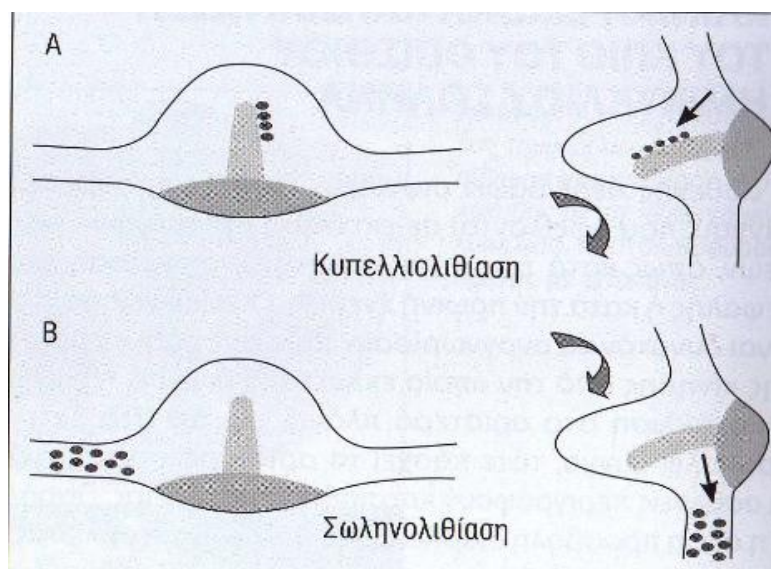
1.6.1 Καλοήθης Παροξυσμικός Ύλιγγος Θέσεως Οπίσθιου Ημικύκλιου Σωλήνα

Στην περίπτωση αυτή του ΚΠΙΘ, ο ασθενής περιγράφει αιφνίδιες και έντονες προσβολές ίλιγγου που οφείλονται σε εκτέλεση ορισμένων κινήσεων, όπως η κατάκλιση, η υπερέκταση του κεφαλιού και η πρωινή έγερση. Επίσης, οι ασθενείς, συχνά, περιγράφουν αίσθημα αστάθειας και ναυτίας, και σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζουν άγχος και αβεβαιότητα διότι δε γνωρίζουν ότι πρόκειται για καλοήθη πάθηση.

1.6.1.1 Φυσιολογία της Πάθησης

Υπάρχουν δύο θεωρίες για την πρόκληση του ΚΠΙΘ οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα, η κυπελλολιθίαση και η σωληνολιθίαση. Σύμφωνα με τη θεωρία της κυπελλολιθίασης, η εκφύλιση του ωτολιθοφόρου υμένα του ελλειπτικού κυστιδίου, οδηγεί στο να αποσπαστεί η ωτοκονία από την ακουστική κηλίδα και να εναποτεθεί στο κυπέλλιο του οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα, μεταβάλλοντας κατά συνέπεια την ειδική βαρύτητα του κυπελλίου μετατρέποντάς το σε υποδοχέα βαρύτητας, με αποτέλεσμα την πρόκληση νυσταγμού και ίλιγγου κατά τη γρήγορη μεταβολή της θέσης του κεφαλιού.

Με βάση τη θεωρία της σωληνολιθίασης, η παρουσία κατάλοιπων ωτοκονίας που πλέον ελεύθερα εντός της ενδολέμφου του οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα, εξηγούν καλύτερα την παθοφυσιολογία της πάθησης. Τα κατάλοιπα αυτά αποκολλώνται από την ωτοκονιακή στιβάδα κατόπιν εκφυλίσεως ή κακώσεως της κεφαλής, εναποτίθενται στον οπίσθιο ημικύκλιο σωλήνα, όπου σχηματίζουν βύσμα, το οποίο επιπλέει στον ληκυθόφυγο κλάδο του σωλήνα.



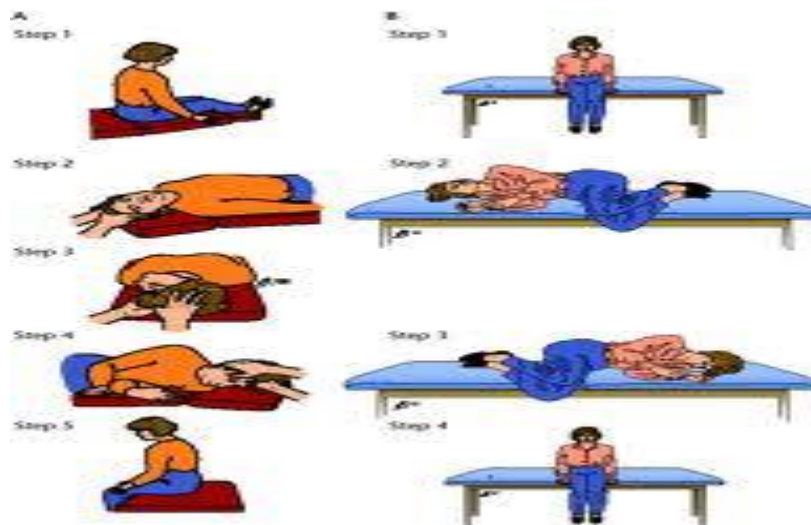
Σχήμα 1.5 Κυπελλολιθίαση - Σωληνολιθίαση

1.6.1.2 Διάγνωση της Πάθησης

Για τη διάγνωση της πάθησης χρησιμοποιείται η δοκιμασία Dix-Hallpike, (σχήμα 1.6), η οποία εκτελείται μετακινώντας ταχέως τον ασθενή από την καθιστική θέση, σε θέση οριζόντια, με το κεφάλι σε υπερέκταση και διαδοχικά εστραμμένο προς το ένα ή το άλλο αυτί. Ο ασθενής αισθάνεται έντονο ίλιγγο και ναυτία και του προκαλείται παροξυσμικός νυσταγμός. Ο τύπος αυτός του νυσταγμού παρουσιάζει κάποια στοιχεία, τα οποία είναι χαρακτηριστικά για την πάθηση και απαραίτητα για τη διάγνυσή της. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Βραχύς λανθάνων χρόνος, λίγων δευτερολέπτων, μέχρι την εκδήλωση του νυσταγμού.
- Συνοδεύεται από έντονο ίλιγγο.
- Παροξυσμικότητα, δηλαδή αρχίζει με μικρή ένταση, έπειτα η έντασή του αυξάνει και τέλος η ένταση μειώνεται και εξαφανίζεται.
- Κόπωση, δηλαδή η διάρκειά του είναι περιορισμένη.
- Αναστροφή κατά την έγερση στην καθιστική θέση.
- Προσαρμογή κατά τις επαναληπτικές δοκιμασίες, δηλαδή ο νυσταγμός εξαφανίζεται μετά από κάποιες δοκιμασίες.

Η διάγνωση της πάθησης είναι καθαρά κλινική. Η ηλεκτρονυσταγμογραφική καταγραφή του νυσταγμού θέσεως δε χρησιμεύει διαγνωστικά, διότι παρουσιάζει δύο συνιστώσες, μία κάθετη και μία στροφική, και αδυνατεί να καταγράψει την στροφική συνιστώσα. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν όλα τα κριτήρια του ΚΠΙΘ, που περιγράψαμε παραπάνω, δεν εκπληρούνται, ο ασθενής θα πρέπει να παραπεμφθεί για νευρολογική εξέταση διότι είναι πιθανή η παρουσία κεντρικού νυσταγμού θέσεως.



Σχήμα 1.6 Δοκιμασία Dix-Hallpike

1.6.2 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως Οριζόντιου Ημικύκλιου Σωλήνα

Υπάρχουν περιπτώσεις που ο καλοήθης παροξυσμικός ίλιγγος θέσεως οφείλεται στην προσβολή του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα. Οι αιτίες που εμφανίζεται αυτού του είδους η πάθηση είναι ίδιες με τον ΚΠΙΘ του οπίσθιου ημικύκλιου σωλήνα κι έτσι ο παθογενετικός μηχανισμός θεωρείται όμοιος. Ο ασθενής έχει τη δυνατότητα να ξαπλώσει, να σκύψει ή να εγερθεί με ελάχιστα συμπτώματα, αλλά η στροφή του κεφαλιού του και προς τις δύο πλευρές στην ύπτια θέση προκαλεί πολύ έντονο ίλιγγο. Ο ίλιγγος διαρκεί περίπου ένα λεπτό και συνοδεύεται από έντονη ναυτία.

1.6.2.1 Διάγνωση της Πάθησης

Η διάγνωση της πάθησης γίνεται με τη δοκιμασία της πλάγιας κατακλίσεως. Ο ασθενής τοποθετείται σε ύπτια θέση και έπειτα στρέφουμε ταχέως το κεφάλι του προς την πλευρά που εξετάζουμε. Αν έχουμε θετικό αποτέλεσμα, παρουσιάζεται παροξυσμικός νυσταγμός θέσεως που κατά κανόνα είναι οριζόντιος.

1.6.2.2 Φυσιολογία της Πάθησης

Υπάρχουν δύο σημαντικές κατηγορίες για την πρόκληση του ΚΠΙΘ του οριζόντιου ημικύκλιου σωλήνα. Η πρώτη οφείλεται στον παθογενετικό μηχανισμό σωληνολιθίασης και η δεύτερη στον παθογενετικό μηχανισμό της κυπελλιολιθίασης.

Η θεωρία της σωληνολιθίασης, χαρακτηρίζεται από παροξυσμικό γεωτροπικό νυσταγμό και έντονο ίλιγγο που συνήθως συνοδεύεται από συμπτώματα του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Όταν ο ασθενής είναι σε ύπτια θέση, εκφυλιστικά στοιχεία ωτοκονίας εισέρχονται στον προσβεβλημένο οριζόντιο ημικύκλιο σωλήνα. Με την ταχεία περιστροφή του κεφαλιού προς την παθολογική πλευρά, η βαρύτητα και η γωνιακή επιτάχυνση του κεφαλιού προκαλούν την μετακίνηση της μάζας (κάθοδο) προς τη λήκυθο. Η μάζα (βύσμα) φτάνει μέχρι το κατώτερο σημείο, όπου προξενεί ληκυθομόλο κάμψη του κυπελλίου, κι έτσι έχουμε την εμφάνιση παροξυσμικού γεωτροπικού νυσταγμού. Με τη διατήρηση του κεφαλιού προς την παθολογική πλευρά, παρατηρείται έντονος απογεωτροπικός νυσταγμός, που συνήθως οφείλεται είτε σε προσαρμογή εκ του κεντρικού συστήματος είτε σε αναστροφή της διεύθυνσης της κίνησης του βύσματος, λόγω αυτόματης εισροής ενδολέμφου μεταξύ βύσματος και μεμβρανών τοιχωμάτων του ημικύκλιου σωλήνα. Υπάρχει πιθανότητα να παρατηρήσουμε τον ίδιο τύπο νυσταγμού κατά την επιστροφή του κεφαλιού στην αρχική του θέση. Τέλος, στην περίπτωση που στρέψουμε το κεφάλι προς την υγιή πλευρά, η μάζα εκτοπίζεται περαιτέρω προς το ληκυθόφυγο άκρο του ημικύκλιου σωλήνα και έτσι έχουμε ληκυφόρο εκτόπιση του κυπελλίου και γεωτροπικό νυσταγμό με μικρότερη ένταση.

Η θεωρία της κυπελλιολιθίασης, χαρακτηρίζεται από απογεωτροπικό νυσταγμό και έντονο ίλιγγο που συνήθως συνοδεύεται από συμπτώματα του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Με τη δοκιμασία της πλάγιας κατάκλισης προς την πάσχουσα πλευρά, το κυπέλλιο υφίσταται ληκυθόφυγο διέγερση, η οποία εκδηλώνεται με νυσταγμό, του οποίου η ταχεία φάση είναι

μακριά από το έδαφος (απογεωτροπικός νυσταγμός). Η ωτοκονία είναι σταθερά προσκολλημένη στο κυπέλλιο κι έτσι ο ίλιγγος είναι πολύ έντονος και παρατεταμένος, αφού το κεφάλι είναι στην ίδια πλάγια θέση. Τέλος, με την πλάγια κατάκλιση προς την υγιή πλευρά, εκδηλώνεται απογεωτροπικός νυσταγμός με ισχυρότερη ένταση.

1.6.3 Καλοήθης Παροξυσμικός Ίλιγγος Θέσεως Πρόσθιου Ημικύκλιου Σωλήνα

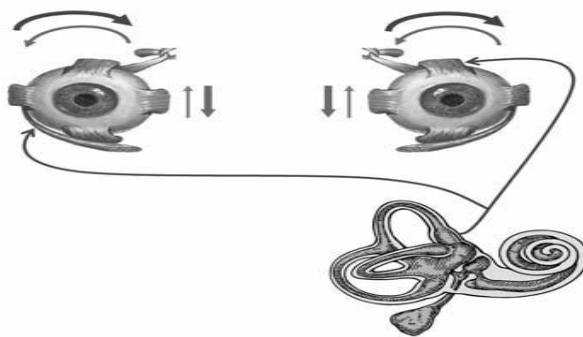
Υπάρχουν περιπτώσεις που ο καλοήθης παροξυσμικός ίλιγγος θέσεως οφείλεται στην προσβολή του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα. Η πάθηση αυτή αποτελεί το σπανιότερο τύπο ΚΠΙΘ και είναι μια αρκετά ασυνήθιστη κλινική οντότητα. Προκαλείται συνήθως όταν το «μακρύ σκέλος» του σωλήνα, δηλαδή το τμήμα μεταξύ του κυπελλίου και του κοινού στομίου, βρίσκεται σημαντικά χαμηλότερα σε σχέση με το κυπέλλιο.

1.6.3.1 Φυσιολογία της Πάθησης

Στον τύπο αυτό του ΚΠΙΘ η διεύθυνση της ταχείας φάσεως του νυσταγμού αποτελείται από ένα κάθετο και από ένα στροφικό στοιχείο. Το κάθετο στοιχείο έχει διεύθυνση πάντοτε προς τα κάτω, ενώ το στροφικό στοιχείο εξαρτάται από το ποιο αυτό πάσχει: αν πάσχει το κατώτερο αυτί τότε το στροφικό στοιχείο έχει διεύθυνση προς τα άνω, δηλαδή γεοτροπική ενώ αν πάσχει το άνω αυτί τότε η διεύθυνση του στροφικού στοιχείου της ταχείας φάσεως είναι απογεωτροπική. Η απογεωτροπική διεύθυνση οφείλεται στο ότι η διέγερση του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα του ανωτέρου αυτιού προκαλεί μετακίνηση των καταλοίπων ωτοκονίας στην κατώτερη θέση του μακρού σκέλους του σωλήνα, δημιουργώντας μετακίνηση της ενδολέμφου και διέγερση των τριχωτών κυττάρων, με αποτέλεσμα στροφικό, απογεωτροπικό νυσταγμό. Τέλος, ο πρόσθιος ημικύκλιος σωλήνας προβάλλεται στον ομόπλευρο άνω ορθό και ετερόπλευρο λοξό οφθαλμοκινητικό μυ, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7.

1.6.3.2 Διάγνωση της Πάθησης

Για τη διάγνωση της πάθησης χρησιμοποιείται η δοκιμασία Dix-Hallpike. Η διέγερση ενός πάσχοντος πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα γίνεται εκτελώντας τη δοκιμασία ετερόπλευρα της βλάβης, δηλαδή εκτελώντας αριστερό κλασικό χειρισμό Dix-Hallpike, σε ασθενή με διαταραχή του δεξιού πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα, καθώς η κίνηση του χειρισμού λαμβάνει χώρα στο επίπεδό του. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να εμφανίζονται ευρήματα, σε εκτέλεση του χειρισμού, και ομόπλευρα με τον πάσχοντα πρόσθιο ημικύκλιο σωλήνα.



Σχήμα 1.7 Σύνδεση Πρόσθιου Ημικύκλιου Σωλήνα με Οφθαλμοκινητικό Μυ

1.6.4 Θεραπεία Καλοήγη Παροξυσμικού Ιλίγγου Θέσεως

Μια μέθοδος για τη θεραπεία του ΚΠΙΘ είναι η φυσιοθεραπεία. Ο Cawthorne πρότεινε μια μέθοδο φυσιοθεραπείας, όπου ο ασθενής καθοδηγείται να δίνει στην κεφαλή του θέσεις που προκαλούν συμπτώματα ιλίγγου, με σκοπό την αύξηση της ανοχής του έναντι του ιλίγγου. Επίσης, έχουν προταθεί αρκετές χειρουργικές μέθοδοι που είναι, συνήθως, χρήσιμες σε μια μικρή αναλογία ασθενών στους οποίους αποτυγχάνει η συντηρητική θεραπεία. Από την άλλη, η χορήγηση φαρμάκων δίνει απογοητευτικά αποτελέσματα, αφού η πάθηση πρόκειται για ένα μηχανικό πρόβλημα του περιφερικού λαβυρίνθου. Τέλος, οι χειρισμοί επανατοποθέτησης της ωτοκονίας, προσφέρουν μια ικανοποιητική αντιμετώπιση της πάθησης στην πλειοψηφία των ασθενών.

1.6.4.1 Χειρισμοί Επανατοποθέτησης Ωτοκονίας

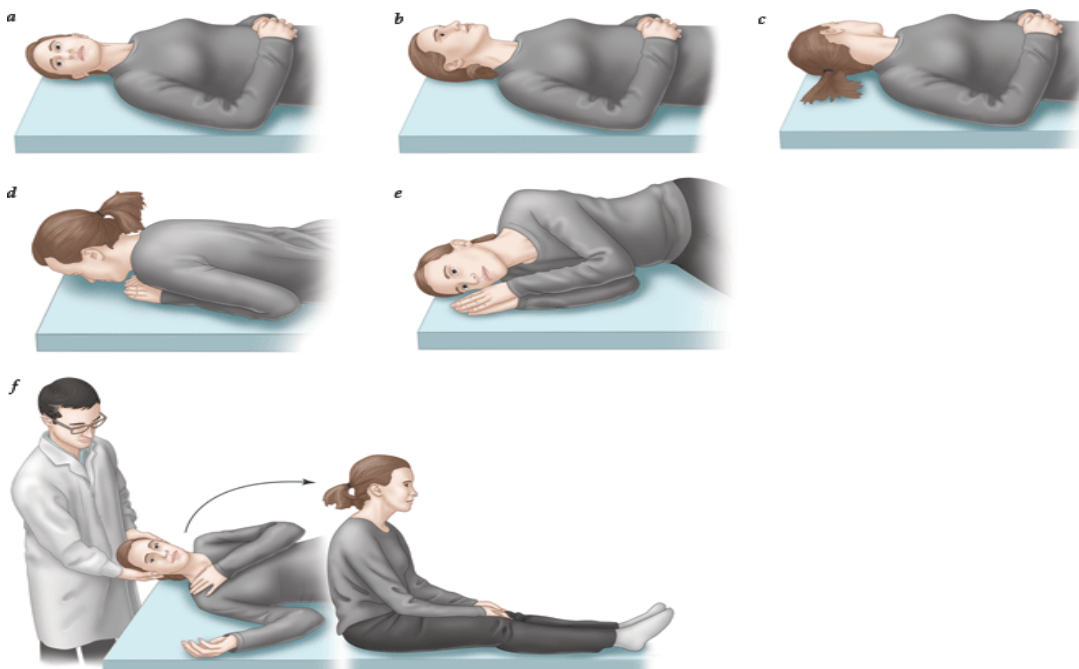
Οι χειρισμοί επανατοποθέτησης της ωτοκονίας στοχεύουν στην απομάκρυνσή της από τους ημικύκλιους σωλήνες και την επαναφορά της στην αίθουσα. Βασικές προϋποθέσεις για την εκτέλεση των χειρισμών είναι, η λήψη ατομικού αναμνηστικού, η ωτοσκόπηση και η λεπτομερής παρατήρηση των κλινικών χαρακτηριστικών του νυσταγμού που εκλύεται με τις δοκιμασίες Dix-Hallpike, για τον πρόσθιο και τον οπίσθιο κάθετο ημικύκλιο σωλήνα, ή με τη στροφή της κεφαλής δεξιά κι αριστερά όταν ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση, για τον οριζόντιο ημικύκλιο σωλήνα.

1.6.4.2 Οπίσθιος Κάθετος Ημικύκλιος Σωλήνας

Για τη θεραπευτική αντιμετώπιση της σωληνολιθίασης, ο χειρισμός Epley θεωρείται ο πιο ενδεδειγμένος. Ο χειρισμός ξεκινά με τον ασθενή να κάθεται στην εξεταστική κλίνη με το κεφάλι του στραμμένο κατά 45 μοίρες προς την πάσχουσα πλευρά, στη συνέχεια ο ασθενής τοποθετείται σε ύπτια θέση, ενώ το κεφάλι είναι σε υπερέκταση εξακολουθώντας να είναι στραμμένο προς την πάσχουσα πλευρά (σχήμα 1.8). Στο επόμενο στάδιο, η κεφαλή του ασθενούς στρέφεται κατά 90 μοίρες προς την υγιή πλευρά, ακολουθεί στροφή του κορμού ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω στροφή της κεφαλής προς την υγιή πλευρά κατά 45 μοίρες. Στο

τελευταίο αυτό στάδιο, η κεφαλή του ασθενούς είναι στραμμένη προς το πάτωμα. Κατά τη διάρκεια του βήματος αυτού είναι δυνατόν να αναφέρει ο ασθενής ίλιγγο και να παρατηρηθεί νυσταγμός, όπου αυτό μπορεί να είναι μια ένδειξη για τη σωστή κίνηση της ωτοκοινίας. Ωστόσο, απουσία του νυσταγμού δεν σημαίνει αποτυχία της θεραπείας. Τέλος, ο ασθενής φέρεται πάλι στην καθιστική θέση όπου μπορεί να αισθανθεί μια κρίση ίλιγγου και να χρειαστεί να υποστηριχθεί για λίγα λεπτά, καθώς η ωτοκοινία μετακινείται προς την αίθουσα διαμέσου του κοινού σκέλους των κάθετων ημικύκλιων σωλήνων.

Μετά τη θεραπεία συνιστάται στον ασθενή να αποφεύγει την κάμψη και έκταση της κεφαλής, καθώς επίσης και τις απότομες κινήσεις για σαράντα οχτώ τουλάχιστον ώρες. Επίσης συνιστάται κατά την κατάκλιση να έχει το κεφάλι του σε υψηλότερο επίπεδο από τον κορμό και να αποφεύγει τη στροφή προς την πάσχουσα πλευρά.



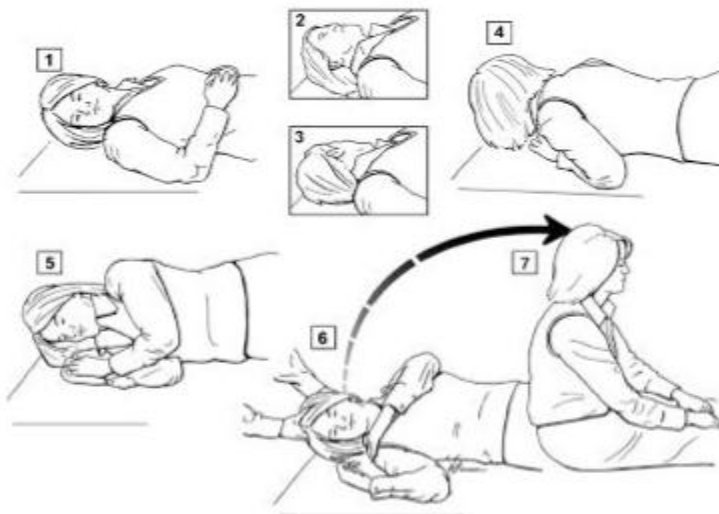
Σχήμα 1.8 Χειρισμός Epley

Για την περίπτωση της κυπελλιολιθίασης, ο Epley συνέστησε εφαρμογή της θέσης αποδέσμευσης των ωτολίθων. Το κεφάλι είναι στραμμένο προς την πάσχουσα πλευρά και σε ελαφρά κάμψη, ενώ ο ασθενής είναι ξαπλωμένος σε πρηνή ή πλάγια θέση κοιτώντας προς το δάπεδο. Στη θέση αυτή μπορεί κανείς να παρατηρήσει αναστροφή του νυσταγμού, η οποία επιτυγχάνεται με στροφή του κεφαλιού προς την πάσχουσα πλευρά και ελαφρά κάμψη του κεφαλιού, ενώ ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση. Το αποτέλεσμα οφείλεται στη μετακίνηση της ωτοκοινίας, λόγω βαρύτητας, είτε στην αίθουσα, είτε στον αντίστοιχο ημικύκλιο σωλήνα.

1.6.4.3 Οριζόντιος Ημικύκλιος Σωλήνας

Ένας απλός και αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της σωληνολιθίασης είναι ο χειρισμός Vanpuschi. Ο ασθενής παραμένει ξαπλωμένος σε πλάγια θέση προς την υγιή πλευρά για δώδεκα ώρες περίπου. Στη θέση αυτή ο πάσχων οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο από την αίθουσα με αποτέλεσμα η ωτοκονία, που βρίσκεται κοντά στο μη ληκυθαίο άκρο του σωλήνα, να πέφτει στην αίθουσα.

Ένας άλλος τρόπος είναι ο χειρισμός Lempert (σχήμα 1.9). Ο ασθενής βρίσκεται στην εξεταστική κλίνη σε ύπτια θέση, στη συνέχεια η κεφαλή στρέφεται κατά 90 μοίρες προς την υγιή πλευρά και παραμένει εκεί για όσο διαρκεί ο ίλιγγος. Έπειτα, ο κορμός και η κεφαλή του στρέφονται ακόμη 90 μοίρες προς την ίδια κατεύθυνση, ώστε ο ασθενής να κοιτά προς το δάπεδο και παραμένει εκεί για άλλα δεκαπέντε δευτερόλεπτα. Τέλος, ο κορμός και η κεφαλή του στρέφονται ακόμη 90 μοίρες προς την ίδια κατεύθυνση. Μετά από ακόμη δεκαπέντε δευτερόλεπτα ο ασθενής έρχεται στην καθιστική θέση.



Σχήμα 1.9 Χειρισμός Lempert

Για την αντιμετώπιση της κυπελλιολιθίασης, μπορεί να εφαρμοστεί ο χειρισμός του Arrighi και των συνεργατών του. Ο ασθενής φέρεται από την καθιστική θέση στην πλάγια κατάκλιση προς την υγιή πλευρά. Στη θέση αυτή παραμένει για δύο λεπτά και στη συνέχεια στρέφεται η κεφαλή γρήγορα κατά 45 μοίρες προς τα κάτω, δηλαδή προς την υγιή πλευρά, και παραμένει έτσι για άλλα δύο λεπτά. Τέλος ο ασθενής επανέρχεται στην καθιστική θέση.

Επίσης, οι Casani και οι συνεργάτες τους, προτείνουν έναν χειρισμό, όπου ο ασθενής φέρεται από την καθιστική θέση στην πλάγια κατάκλιση προς την πάσχουσα πλευρά και στροφή της κεφαλής, όχι προς τα πάνω, αλλά προς τα κάτω, δηλαδή προς την πάσχουσα πλευρά.

1.6.4.4 Πρόσθιος Ημικύκλιος Σωλήνας

Για την θεραπευτική αντιμετώπιση της σπάνιας αυτής μορφής καλοήθους παροξυσμικού λίγγου θέσεως, συχνότερα προτείνεται ο λεγόμενος «ανάστροφος Epley» χειρισμός. Για παράδειγμα, αν πάσχει ο αριστερός πρόσθιος κάθετος ημικύκλιος σωλήνας, ο χειρισμός που προτείνεται συνήθως είναι ο δεξιός Epley. Αποτελεσματικός φαίνεται να είναι ωστόσο και ο αριστερός Epley, γεγονός που πιθανόν να έχει σχέση με τη θέση του πρόσθιου κάθετου ημικύκλιου σωλήνα στον χώρο η οποία ευνοεί την καθίζηση των ωτολίθων προς την αίθουσα.

1.6.5 Επιπλοκές των Χειρισμών Επανατοποθέτησης της Ωτοκονίας

Οι χειρισμοί επανατοθέτησης παρουσιάζουν κάποιες επιπλοκές. Γι'αυτόν το λόγο θα πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή σε ασθενείς με προβλήματα στη σπονδυλική στήλη, ιδιαίτερα στην αυχενική της μοίρα και για ασθενείς με υπέρταση και παχυσαρκία. Οι επιπλοκές των χειρισμών είναι σπάνιες, ωστόσο θα πρέπει να είναι γνωστές ώστε να γίνονται έγκαιρα αντιληπτές και να αντιμετωπίζονται άμεσα, διαφορετικά μπορεί να επιδεινώσουν την κατάσταση του ασθενή. Η συχνότερη επιπλοκή είναι η μετακίνηση των ωτολίθων σε κάποιον άλλο ημικύκλιο σωλήνα. Η αντιμετώπισή της συνίσταται στην επιπρόσθετη εφαρμογή του κατάλληλου για την περίπτωση χειρισμού. Επίσης σπάνια κατά τη διάρκεια κάποιου χειρισμού μπορεί να προκληθεί συμφόρηση ωτοκονίας η οποία εκδηλώνεται με την ξαφνική εμφάνιση έντονου επίμονου νυσταγμού που δεν μεταβάλλεται με την αλλαγή της θέσης της κεφαλής και συνοδεύεται από έντονη ναυτία και τάση προς έμετο. Η αντιμετώπισή της συνίσταται, επίσης, στην επιπρόσθετη εφαρμογή του κατάλληλου για την περίπτωση χειρισμού.

1.7 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- [1] Nedzelski JM, Barber HO, McIlmoyl L. *Diagnoses in a dizziness unit*. J Otolaryngol 1986;15:101-4.
- [2] Korres SG, Balatsouras DG. *Diagnostic, pathophysiologic, and therapeutic aspects of benign paroxysmal positional vertigo*. Otolaryngol Head Neck Surg 2004;131: 438-44.
- [3] Brandt T. *Positional and positioning vertigo and nystagmus*. J Neurol Sci 1990; 95: 3-28.
- [4] Korres S, Balatsouras DG, Kaberos A, Economou C, Kandiloros D, Ferekidis E. *Occurrence of semicircular canal involvement in benign paroxysmal positional vertigo*. Otol Neurotol 2002; 23: 926-932.
- [5] Katsarkas A. *Paroxysmal positional vertigo: An overview and the deposits repositioning maneuver*. Am J Otol 1995; 16: 725- 30.
- [6] Kohut RI, Lindsay JR: *Pathologic changes in idiopathic labyrinthine hydrops*. Acta Otolaryngol (Stockh) 73:402-412,1972.

- [7] Buttner U, Helmchen C, Brandt T. *Diagnostic criteria for central versus peripheral positioning nystagmus and vertigo: a review*. Acta Otolaryngol 1999;119(1):1-5.
- [8] Kerber KA, Jen JC, Perlman S, Baloh RW. *Late-onset pure cerebellar ataxia: differentiating those with and without identifiable mutations*. J Neurol Sci 2005;238(1-2):41-45.
- [9] Μπλιόσκας Σ., Βέρος Κ., Τσαλιγόπουλος Μ., Μάρκου Κ. *Καλοήθης παροξυσμικός ίλιγγος θέσεως του πρόσθιου ημικύκλιου σωλήνα: από την παθοφυσιολογία στην διάγνωση και αντιμετώπιση*. Α΄ Πανεπιστημιακή ΩΡΛ Κλινική, ΠΓ ΝΘ «ΑΧΕΠΑ», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [10] Γ. Παπαχαραλάμπους, Α. Χρυσοβέργης, Γ. Κότσης, Ελ. Παπαδοπούλου, Δ. Νταβίλης, Σ. Κορρές. *Αντιμετώπιση του Καλοήθους Παροξυσμικού Ιλίγγου Θέσεως με Χειρισμούς Επανατοποθέτησης Ωτοκονίας*. Ωτορινολαρυγγολογική Κλινική ΓΝΑ « Η ΕΛΠΙΣ», Α΄ Ωτορινολαρυγγολογική Κλινική Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιπποκράτειο ΓΝΑ.
- [11] Katsarkas A. *Electronystagmographic (ENG) findings in paroxysmal positional vertigo (PPV) as a sign of vestibular dysfunction*. Acta Otolaryngol (Stockh) 1991; 111: 193-200.
- [12] Brandt T, Steddin S. *Current view of the mechanism of benign paroxysmal positional vertigo: cupulolithiasis or canalolithiasis?* Journal of Vestibular Research 1993; 3: 373- 382.
- [13] Hamid, M., Sheykholeslami K., *Clinical anatomy and physiology of the auditory and vestibular systems*, PP1-10. in Medical Otolaryngology and Neurotology. Thieme Medical Publisher, inc., New York, NY, 2006
- [14] Manzoni D. *The cerebellum may implement the appropriate coupling of sensory inputs and motor responses: evidence from vestibular physiology*. Cerebellum 2005 4(3):178-188.
- [15] Zupan LH, Merfeld DM. *Human ocular torsion and perceived roll responses to linear acceleration*. J Vestib Res 2005; 15(4):173- 183.
- [16] Agrawal Y, Carey JP, Della Santina CC, Schubert MC, Minor LB. *Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004*. Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, The Johns Hopkins University School of Medicine, 601 N Caroline St, Baltimore, MD 21287, USA. Arch Intern Med. 2009 May 25;169(10):938-44.
- [17] Wall C 3rd, Kos MI, Guyot JP. *Eye movements in response to electric stimulation of the human posterior ampullary nerve*. Department of Otolaryngology and Laryngology, Harvard Medical School, Boston, MA, USA. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2007 May; 116(5):369-74.
- [18] Merchant SN, Velazquez-Villasenor L, Tsuji K, Glynn RJ, Wall C 3rd, Rauch SD. *Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system. Normative vestibular hair cell data*. Department of Otolaryngology, Massachusetts Eye and Ear, Infirmary 02114, USA. Ann OtolRhinol Laryngol Suppl.2000 May;181: 3-13.

- [19] Velazquez-Villasier L, Merchant SN, Tsuji K, Glynn RJ, Wall C 3rd, Rauch SD. *Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system. Normative Scarpa's ganglion cell data.* Department of Otolaryngology, Massachusetts Eye and Ear Infirmary, Boston 02114, USA. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl.* 2000 May;181: 14-9.
- [20] *Σύγχρονη Ωτορινολαρυγγολογία*, Εμμανουήλ Σ. Χελιδόνη, Αθήνα, 1989.
- [21] *Μαθήματα Ωτορινολαρυγγολογίας*, Γ. Αδαμόπουλος, Κ. Παπαφράγκου, Ε. Φερεκίδης, Α. Τζαγκαρουλάκης, Δ. Κανδηλώρος, Λ. Μανωλόπουλος, Αθήνα, 1990.
- [22] Moser T, Brandt A, Lysakowski A. *Hair cell ribbon synapses.* Department of Otolaryngology and Center for Molecular Physiology of the Brain, University of Gottingen, Robert-Koch-Strasse 40, 37075 Gottingen, Germany. *Cell Tissue Res.* 2006 Nov; 326(2):347-59. Epub 2006 Aug 31.
- [23] Eatock RA, Rusch A, Lysakowski A, Saeki M. *Hair cells in mammalian utricles.* Bobby R. Alford Department of Otorhinolaryngology and Communicative Sciences, Baylor College of Medicine, Houston, Texas 77030, USA. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1998 Sep;119(3):172-81.
- [24] Lysakowski A, Goldberg JM. *A regional ultrastructural analysis of the cellular and synaptic architecture in the chinchilla cristae ampullares.* Department of Anatomy and Cell Biology, University of Illinois, Chicago 60612, USA. *J Comp Neurol.* 1997 Dec 22;389(3):419-43.
- [25] Fernandez C, Lysakowski A, Goldberg JM. *Hair-cell counts and afferent innervation patterns in the cristae ampullares of the squirrel monkey with a comparison to the chinchilla.* *J Neurophysiol.* 1995 Mar;73(3):1253-69. Department of Surgery (Otolaryngology-Head and Neck Surgery), University of Chicago, Illinois 60637, USA.
- [26] Bermingham NA, Hassan BA, Price SD, Vollrath MA, Ben-Arie N, Eatock RA, Bellen HJ, Lysakowski A, Zoghbi HY. *Math1: an essential gene for the generation of inner ear hair cells.* Howard Hughes Medical Institute, Department of Molecular and Human Genetics, Baylor College of Medicine, Houston, TX 77030, USA. *Science.* 1999 Jun 11 ;284(5421):1837-41.
- [27] Goldberg JM, Lysakowski A, Fernandez C. *Morphophysiological and ultrastructural studies in the mammalian cristae ampullares.* Department of Pharmacological and Physiological Sciences, University of Chicago, IL 60637. *Hear Res.* 1990 Nov;49(1-3):89-102.
- [28] Eckersley M. Pamela: *Elements of Paediatric Physiotherapy*, 1993.
- [29] Klein – Vogelbach Susanne: *Λειτουργική Κινητική. Παρατηρώντας, αναλύοντας και διδάσκοντας την ανθρώπινη κίνηση*, 1995.
- [30] Tyldesley B., Griere J.I.: *Muscles Nerve and Movements, Kinesiology in daily Living*, 1989.
- [31] Patten C., Horak F.B., Krebs D.E. : *Head and body center of gravity control strategies: adaptations following vestibular rehabilitation*, *Otolaryngology* 123 (1):32-40, 2003.
- [32] Westcott S. L., Lowes L. P., Richardson P. K. : *Evaluation of postural stability in children: current theories and assessment tools*, *Physical Therapy* 77 (6): 629-645, 1997.

- [33] Strupp M, Arbusow V. *Acute vestibulopathy*. *Curr Opin Neurol* 2001; 14:11-20.
- [34] Ryu JH. *Vestibular neuritis: an overview using a classical case*. *Acta Otolaryngol Suppl* 1993; 503: 25-30.
- [35] Tahara T, Sekitani T, Imate Y, Kanesada K, Okami M. *Vestibular neuronitis in children*. *Acta Otolaryngol Suppl* 1993; 503: 49-52.
- [26] Silvoniemi P. *Vestibular neuronitis. An otoneurological evaluation*. *Acta Otolaryngol Suppl* 1988; 453:1-72.
- [37] Nadol JB Jr. *Vestibular neuritis*. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995; 112:162-172.
- [38] Bartual-Pastor J. *Vestibular neuritis: etiopathogenesis*. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 2005; 126:279-281.
- [39] Fetter M, Dichgans J. *Vestibular neuritis spares the inferior division of the vestibular nerve*. *Brain* 1996; 119:755-763.
- [40] Schuknecht HF, Kitamura K. *Vestibular neuritis*. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1981; 90(1 Pt2): 1-19.
- [41] Dominguez MO. *Treatment and rehabilitation in vestibular neuritis*. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 2005; 126: 283-286.
- [42] Ariyasu L, Byl FM, Sprague MS, Adour KK. *The beneficial effect of methylprednisolone in acute vestibular vertigo*. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1990; 116: 700-703.
- [43] Ohbayashi S, Oda M, Yamamoto M, Urano M, Harada K, Orihara H, Kitsuda C. *Recovery of the vestibular function after vestibular neuronitis*. *Acta Otolaryngol Suppl* 1993; 503: 31-34.
- [44] Cowand JL, Wrisley DM, Walker M, Strasnick B, Jacobson JT. *Efficacy of vestibular rehabilitation*. Old Dominion University, Hearing and Balance Center, Eastern Virginia Medical School, Norfolk, USA. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1998 Jan;118:49-54.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ταξινόμηση

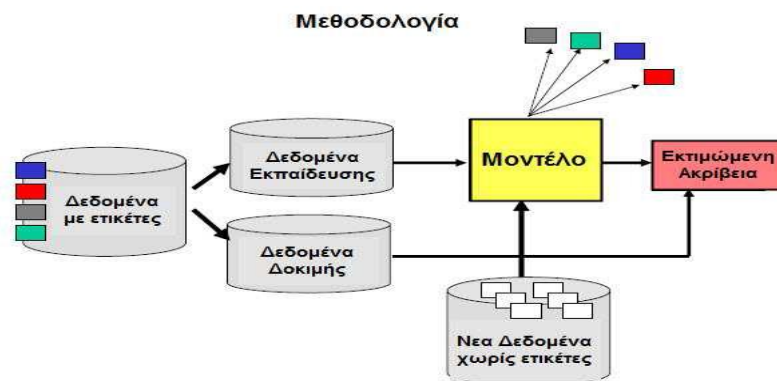
2.1 Ταξινόμηση Γενικά

Η ταξινόμηση- κατηγοριοποίηση (classification) αποτελεί μια από τις βασικότερες τεχνικές εξόρυξης γνώσης (σχήμα 2.1). Εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου το αντιστοιχεί σε ένα προκαθορισμένο σύνολο κλάσεων χρησιμοποιώντας μεθόδους μάθησης με επίβλεψη. Η εργασία της κατηγοριοποίησης χαρακτηρίζεται από ένα καθορισμένο σύνολο κατηγοριών και ένα σύνολο προκαθορισμένων παραδειγμάτων που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του μοντέλου. Βασικός στόχος είναι η κατασκευή μοντέλου που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση μη κατηγοριοποιημένων μελλοντικών δεδομένων. Πιο απλά, έχουμε ένα σύνολο εκπαίδευσης (training set) από το οποίο «μαθαίνει» ο αλγόριθμος ταξινόμησης. Δοθέντος ενός συνόλου δοκιμαστικών δεδομένων (test set) ο αλγόριθμος θα ταξινομήσει τα δεδομένα ανάλογα με την γνώση που απέκτησε.

Άρα, μπορούμε να πούμε ότι η κατηγοριοποίηση μαθαίνει σε μία λειτουργία να χαρτογραφεί (ταξινομεί) ένα στοιχείο δεδομένων σε μία από τις διάφορες προκαθορισμένες κατηγορίες. Παραδείγματα μεθόδων ταξινόμησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως τμήμα των εφαρμογών της ανακάλυψης γνώσης, περιλαμβάνουν την ταξινόμηση των τάσεων στις χρηματοοικονομικές αγορές και τον αυτοματοποιημένο προορισμό των αντικειμένων ενδιαφέροντος για τις μεγάλες βάσεις δεδομένων.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι ταξινόμησης είναι:

- α) Τα δέντρα αποφάσεων (decision trees) που είναι δενδροειδής δομές και αναπαριστούν με γραφικό τρόπο στις σχέσεις των δεδομένων εκπαίδευσης.
- β) Ταξινόμηση κατά Bayes όπου χρησιμοποιείται ένα πιθανοτικό μοντέλο βασισμένο στη θεωρία του Bayes.
- γ) Νευρωνικά δίκτυα (neural networks) που αναπαριστά ένα δίκτυο με εισόδους τα χαρακτηριστικά και εξόδους τις κλάσεις.
- δ) Εύρεση κοντινότερων γειτόνων (k- nearest neighbors) όπου έχουμε ταξινόμηση με βάση τα k κοντινότερα παραδείγματα του συνόλου εκπαίδευσης.
- ε) μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (support vector machines).



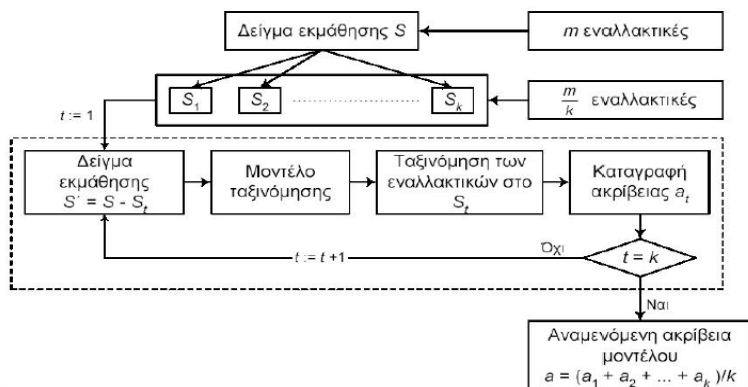
Σχήμα 2.1 Μεθοδολογία Ταξινόμησης

2.2 Αξιολόγηση Μεθόδων Ταξινόμησης

Όταν θέλουμε να αξιολογήσουμε αλγόριθμους της ταξινόμησης αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η ακρίβεια του μοντέλου. Η δυνατότητα, δηλαδή, πρόβλεψης ταξινόμησης των νέων μη κατηγοριοποιημένων δεδομένων.

Σε αυτή την μέθοδο έχουμε το σύνολο εκπαίδευσης και το σύνολο δοκιμής. Ένας τρόπος λοιπόν είναι να εφαρμόσουμε ένα αλγόριθμο στα δεδομένα εκπαίδευσης και μετά μέσω του συνόλου δοκιμής να βρούμε την ακρίβεια. Όμως η χρήση ενός τυχαίου δείγματος ως σύνολο δοκιμής δεν κάνει το αποτέλεσμα αξιόπιστο.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε την τεχνική *k-fold cross – validation* (διασταυρωμένη επικύρωση). Χωρίζουμε το σύνολο των δεδομένων σε k υποσύνολα με το καθένα να περιέχει περίπου ίσο αριθμό στοιχείων. Κάθε φορά κρατάμε ένα σύνολο για δοκιμή και τα υπόλοιπα τα εκπαιδεύουμε. Έτσι αφού επαναλάβουμε την διαδικασία k φορές θα έχουμε k ακρίβειες. Η τελική ακρίβεια είναι το άθροισμα των ακριβειών διαιρούμενο με το k (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Αλγόριθμος Διασταυρωμένης Επικύρωσης

Μια παραλλαγή είναι η μέθοδος *Bootsrapping* όπου η επιλογή των k συνόλων γίνεται με δειγματοληψία όπως και η επιλογή των $k-1$ συνόλων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά για εκπαίδευση.

Ένας άλλος τρόπος μέτρησης ακρίβειας είναι από τον *Confusion Matrix* (Πίνακας Σύγκυσης).

		Πρόβλεψη	
		ΝΑΙ	ΟΧΙ
Πραγματική τιμή	ΝΑΙ	F11	F10
	ΟΧΙ	F01	F00

$$\text{Ακρίβεια} = \frac{F11+F00}{F11+F00+F10+F01}$$

Σχήμα 2.3 Πίνακας Σύγχυσης

2.3 Αλγόριθμοι Ταξινόμησης

2.3.1 Δέντρα Αποφάσεων

Τα δέντρα αποφάσεων (decision trees) αποτελούν μια από τις πιο χρησιμοποιημένες τεχνικές στην ταξινόμηση (σχήμα 2.4). Είναι ένα δυναμικό και δημοφιλές εργαλείο για ταξινόμηση δεδομένων. Ο λόγος είναι η απλή προσέγγισή τους στην διαδικασία εξόρυξης γνώσης αφού αναπαριστούν γραφικά τα στιγμιότυπα που φέρουν την ίδια τιμή σε κάποιο χαρακτηριστικό. Ένα δέντρο απόφασης ουσιαστικά είναι μια δομή στην οποία κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια επιλογή μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών λύσεων και κάθε κόμβος φύλλων αντιπροσωπεύει μια ταξινόμηση ή μια απόφαση.

Στα δέντρα απόφασης, βασική προϋπόθεση αποτελεί το ότι κάθε δείγμα του συνόλου δεδομένων (dataset) πρέπει να μπορεί να εκφράζεται ως μια συλλογή από τα χαρακτηριστικά (attributes) του συνόλου δεδομένων. Ο αλγόριθμος λαμβάνει ως είσοδο κάθε δείγμα ως ένα *διάνυσμα εισόδου* με τις τιμές των μεταβλητών και την αντίστοιχη κλάση που ανήκει. Αυτά τα *διανύσματα εισόδου* αποτελούν το σύνολο εκπαίδευσης (training set) του ταξινομητή. Έπειτα, παρατηρώντας και συγκρίνοντας αν τα διανύσματα, των οποίων οι τιμές είναι κοντά η μία με την άλλη, ανήκουν ή όχι στην ίδια κλάση, κατασκευάζει ένα σύνολο από *κανόνες αποφάσεων* με σκοπό την ταξινόμηση μελλοντικών δειγμάτων στις γνωστές κλάσεις.

Αναλυτικότερα για την ταξινόμηση, μία εγγραφή εισέρχεται στο δέντρο από τον κόμβο της κορυφής. Στη ρίζα εφαρμόζεται έλεγχος για να καθοριστεί ποιο κόμβο θα ακολουθήσει στη συνέχεια η εγγραφή. Η επεξεργασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι η εγγραφή να φτάσει στον κόμβο φύλλο. Όλες οι εγγραφές, οι οποίες καταλήγουν σε ένα συγκεκριμένο φύλλο ταξινομούνται με τον ίδιο τρόπο.

Κατά την εκπαίδευση, το δέντρο χτίζεται με την επαναλαμβανόμενη διάσπαση του δοσμένου συνόλου δεδομένων σύμφωνα με τις διάφορες ανεξάρτητες μεταβλητές. Η «σειρά» με την οποία χρησιμοποιούνται οι ανεξάρτητες μεταβλητές στη δόμηση του δέντρου εξαρτάται από τη δυνατότητα ταξινόμησης της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής. Υπάρχουν

διάφοροι αλγόριθμοι για την επιλογή της σειράς, αλλά ο στόχος είναι να επιλέξουμε την μεταβλητή εκείνη που διαχωρίζει καλύτερα τις τελικές κλάσεις. Άρα, στη ρίζα του δέντρου θα βρίσκεται το χαρακτηριστικό εκείνο το οποίο διαχωρίζει καλύτερα τα δεδομένα εκπαίδευσης. Ο αλγόριθμος σταματάει όταν φτάσει στον κόμβο από τον οποίο δεν είναι δυνατό να ξεκινήσει μία νέα διάσπαση.

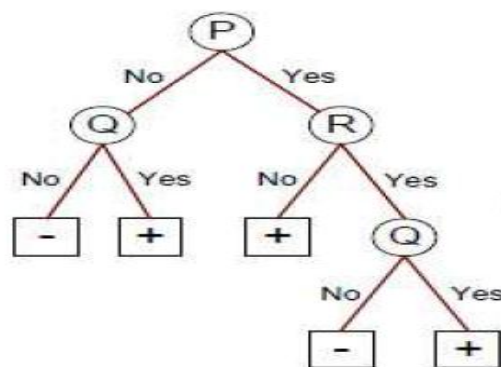
Η προσέγγιση του δέντρου απόφασης είναι πολύ χρήσιμη στα προβλήματα κατηγοριοποίησης. Υπάρχουν δύο βασικά βήματα στην τεχνική αυτή: α) η κατασκευή του δέντρου και β) η διαδικασία κατηγοριοποίησης ενός νέου στοιχείου.

α) Για την κατασκευή του δέντρου η διαδικασία είναι η εξής:

Επιλέγεται σαν ρίζα το χαρακτηριστικό που πετυχαίνει τον καλύτερο διαχωρισμό μεταξύ των κατηγοριών και με βάση τις τιμές του χαρακτηριστικού χωρίζουμε τα δεδομένα σε υποσύνολα. Για κάθε υποσύνολο αναζητούμε το αντίστοιχο καλύτερο χαρακτηριστικό και επαναλαμβάνουμε για τα επόμενα υποσύνολα μέχρις ότου χρησιμοποιηθούν όλα τα χαρακτηριστικά ή δεν έχουμε υποσύνολα με πάνω από μία κατηγορίες.

β) Η διαδικασία κατηγοριοποίησης ενός νέου στοιχείου είναι η εξής :

Ξεκινώντας από την ρίζα και κάνοντας τους ελέγχους μεταβαίνουμε στους εσωτερικούς κόμβους έως ότου από κάποιον εσωτερικό κόμβο καταλήξουμε στα φύλλα και έτσι θα έχουμε ταξινομήσει το νέο στοιχείο. Το μονοπάτι από την ρίζα στα φύλλα είναι για κάθε νέο στοιχείο μοναδικό.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα Δέντρου Απόφασης

Τα πλεονεκτήματα των δέντρων απόφασης, ως τεχνική κατηγοριοποίησης:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα και με αποτελεσματικό τρόπο.
- Μπορούμε να εξάγουμε κανόνες οι οποίοι είναι εύκολο να κατανοηθούν και να ερμηνευτούν από τον χρήστη ακόμα και αν αυτός δεν είναι ειδικός.
- Η ανοχή στην απουσία τιμών (missing values) σε κάποια χαρακτηριστικά του σώματος εκπαίδευσης.
- Η δυνατότητα μεταφοράς του παραγόμενου μοντέλου από δέντρο απόφασης σε ένα σύνολο κανόνων συμπερασμάτων, το οποίο διευκολύνει την κατανόηση του.

Για την κατασκευή του δέντρου απόφασης έχουν αναπτυχθεί πολύ αλγόριθμοι οι οποίοι διαφέρουν στο κριτήριο που χρησιμοποιούν για ρίζα του δέντρου αλλά ο στόχος είναι κοινός, δηλαδή η επιλογή της μεταβλητής που διαχωρίζει καλύτερα τα δεδομένα.

2.3.1.1 Ο αλγόριθμος ID3

Ο ID3 είναι ένας απλός αλγόριθμος για να κατασκευάζουμε δέντρα απόφασης. Δημιουργήθηκε από τον Quinlan. Η βασική ιδέα αυτού του αλγορίθμου είναι να κατασκευάσει το δέντρο εφαρμόζοντας μια από *πάνω-μέχρι-κάτω* μέθοδο και βρίσκει το ποιο χρήσιμο χαρακτηριστικό, αυτό δηλαδή που μας διαχωρίζει καλύτερα τα δεδομένα, για την κατηγοριοποίηση εφαρμόζοντας την στατιστική ιδιότητα του κέρδους πληροφορίας (information gain), ενώ συγχρόνως προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό συγκρίσεων.

Ο στόχος της κατηγοριοποίησης ενός δέντρου απόφασης είναι να διαχωρίσει επαναληπτικά το υπό εξέταση σύνολο δεδομένων σε υποσύνολα που όλα τα στοιχεία σε κάθε τελικό υποσύνολο να ανήκουν στην ίδια κατηγορία.

Η έννοια που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η ποσότητα της ομογένειας ή αλλιώς «αβεβαιότητας» του δείγματος λέγεται *εντροπία (entropy)*. Όταν όλα τα δεδομένα ενός συνόλου ανήκουν σε μία κατηγορία, δεν υπάρχει καθόλου αβεβαιότητα. Σε αυτή την περίπτωση η εντροπία είναι μηδέν και έχουμε ένα πλήρως ομογενές υποσύνολο. Στην περίπτωση που η εντροπία είναι ένα, τότε έχουμε ένα υποσύνολο το οποίο έχει δημιουργηθεί τυχαία και χρειάζεται καλύτερη ταξινόμηση. Η εντροπία χρησιμοποιείται για να καθορίσει ποίος θα είναι ο επόμενος κόμβος που θα διαχωρίσει ο αλγόριθμος ID3.

Η βασική στρατηγική που εκτελείται από τον ID3 είναι η επιλογή του χαρακτηριστικού με το υψηλότερο κέρδος πληροφορίας πρώτα. Το κέρδος ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της πληροφορίας που είναι απαραίτητη για να κάνουμε μια σωστή κατηγοριοποίηση πριν από τη διάσπαση και της πληροφορίας που χρειαζόμαστε μετά.

2.3.1.2 Ο αλγόριθμος C4.5(J48)

Ο αλγόριθμος C4.5 αποτελεί μια βελτίωση του αλγορίθμου ID3 και έχει δημιουργηθεί, κι αυτός, από τον Quinlan και χρησιμοποιεί το *λόγο του κέρδους πληροφορίας*. Έχει πολύ καλό συνδυασμό ακρίβειας και εκπαίδευσης.

Ο αλγόριθμος C4.5 βελτιώνει τον ID3 με τους ακόλουθους τρόπους:

- *Ελλιπή δεδομένα*: Όταν το δέντρο απόφασης χτίζεται, τα ελλιπή δεδομένα αγνοούνται. Για την κατηγοριοποίησουμε μία εγγραφή με ελλιπή τιμή για ένα γνώρισμα, η τιμή για αυτό το στοιχείο μπορεί να προβλεφθεί με βάση γνωστών τιμών από άλλες εγγραφές.
- *Συνεχή δεδομένα*: Η βασική ιδέα είναι να χωρίσουμε τα δεδομένα σε διαστήματα, με βάση τις τιμές των γνωρισμάτων για εκείνα τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στο δείγμα της εκπαίδευσης.

- *Κανόνες:* Ο C4.5 επιτρέπει την κατηγοριοποίηση είτε μέσω δέντρων απόφασης είτε μέσω κανόνων οι οποίοι δημιουργούνται από αυτά. Επιπλέον προτείνονται μερικές τεχνικές για την απλούστευση των πολύπλοκων κανόνων.

2.3.1.3 Ο αλγόριθμος των Τυχαίων Δασών

Μια εξαιρετική μέθοδος ταξινόμησης δεδομένων είναι τα *τυχαία δάση* (Random Forests). Τα τυχαία δάση είναι μία συλλογή από δέντρα απόφασης και δημιουργός τους είναι ο Leo Breiman (σχήμα 2.5). Τα τυχαία δάση λειτουργούν ως εξής:

- Αρχικά, αναπτύσσονται πολλά δέντρα απόφασης.
- Κάθε δέντρο δίνει μία ταξινόμηση.
- Κάθε κλάση έχει έναν αριθμό ψήφων.
- Η τελική και οριστική ταξινόμηση γίνεται με το δάσος να διαλέγει την κλάση με τις περισσότερες ψήφους.

Κάθε δέντρο αναπτύσσεται σύμφωνα με τον παρακάτω αλγόριθμο:

- Θέσε N = αριθμός των δειγμάτων του συνόλου εκπαίδευσης και M = αριθμός μεταβλητών-χαρακτηριστικών των διανυσμάτων εισόδου.
- Για κάθε δέντρο επέλεξε από το σύνολο των N δεδομένων n δείγματα στην τύχη με εναπόθεση. Αυτά τα n δείγματα αποτελούν το σύνολο εκπαίδευσης για κάθε δέντρο.
- Επέλεξε τυχαία $m \ll M$ από τις M μεταβλητές και το καλύτερο split που μπορεί να γίνει σε αυτές τις m μεταβλητές επιλέγεται για να χρησιμοποιηθεί στον κόμβο. Η τιμή του m παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια κατασκευής όλου του δάσους και παίζει σημαντικό ρόλο για το *σφάλμα ταξινόμησης*.
- Κάθε δέντρο αναπτύσσεται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό χωρίς να πραγματοποιείται «κλάδεμα».

Το γεγονός ότι αναπτύσσονται πολλά δέντρα απόφασης οδηγεί στον σημαντικό περιορισμό του σφάλματος γενίκευσης. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι είναι αδύνατο να εμφανιστεί το φαινόμενο της *υπερειδίκευσης* γεγονός που αποτελεί έναν πολύ ενισχυτικό παράγοντα για την πρόβλεψη των ταξινομητών.

Τέλος θα αναφέρουμε μερικά πλεονεκτήματα και μερικά μειονεκτήματα των τυχαίων δασών.

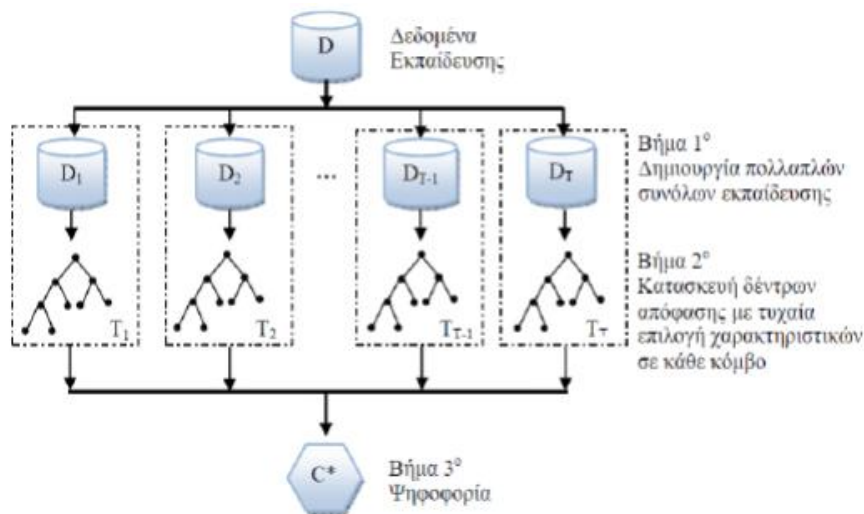
Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Μπορούν να εκπαιδευτούν σε σύνολα δεδομένων υψηλής διάστασης, χωρίς να εμφανίσουν σημαντικό βαθμό υπερεκπαίδευσης.
- Αποτελούν μη επαναληπτική διαδικασία εκπαίδευσης και ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται σε σταθερό αριθμό βημάτων.
- Η τυχαία επιλογή των μεταβλητών πρόβλεψης μειώνει τη σχέση των μεγάλων και μη κλαδεμένων δέντρων, κάτι που κάνει την όλη μέθοδο αρκετά αμερόληπτη.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Υψηλό υπολογιστικό κόστος.

- b. Λειτουργία «μαύρου κουτιού».
- c. Υπάρχει σημαντικό πλήθος ελεύθερων παραμέτρων τις οποίες πρέπει να προσδιορίσει ο χρήστης.
- d. Κάθε νέο παράδειγμα πρέπει να διασχίσει όλα τα δεδομένα του δάσους για την εκτίμηση της κατηγορίας του.
- e. Για την επέκταση του μοντέλου με στόχο την εισαγωγή μιας ακόμα κατηγορίας απαιτείται η κατασκευή του μοντέλου από την αρχή.



Σχήμα 2.5 Διαδικασία Κατασκευής των Τυχαίων Δασών

2.3.2 Ταξινόμηση κατά Bayes

Ο κατηγοριοποιητής Bayes, θεωρείται ως η βασική προσέγγιση της στατιστικής αναγνώρισης προτύπων και έχει σχεδιαστεί προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό σφάλμα κατηγοριοποίησης. Χρησιμοποιείται για να εκτιμήσουμε την πιθανότητα μια νέα πλειάδα να ανήκει σε μια από τις προκαθορισμένες κατηγορίες. Ο αλγόριθμος έχει υψηλή απόδοση και επιτυγχάνει και μεγάλες ταχύτητες. Δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα με τα ελλιπή δεδομένα καθώς δεν τα λαμβάνει υπόψη κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Το πρόβλημα του είναι η αντιμετώπιση των συνεχών μεταβλητών.

Το θεώρημα Bayes έχει στόχο την εύρεση της πιο πιθανής υπόθεσης από ένα σύνολο υποθέσεων ή δεδομένου ενός συνόλου εκπαίδευσης D, αλλά και της γνώσης που πιθανών εκ των προτέρων διαθέτουμε για τις πιθανότητες των διαφόρων υποθέσεων $h \in H$. Το θεώρημα του Bayes είναι το εξής:

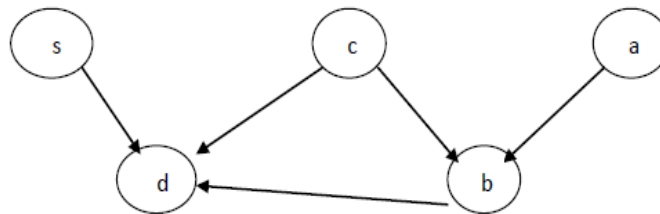
$$P(h|D) = \frac{P(h)P(D|h)}{P(D)}$$

- $P(h|D)$: Η ζητούμενη εκ των υστέρων πιθανότητα που εκφράζει την ισχύ της υπόθεσης h, δεδομένου του συνόλου εκπαίδευσης D.

- $P(h)$: Η εκ των προτέρων γνωστή πιθανότητα που εκφράζει την ισχύ της υπόθεσης h , χωρίς να έχει προηγηθεί παρατήρηση των δεδομένων του συνόλου εκπαίδευσης D .
- $P(D|h)$: Η δεσμευμένη πιθανότητα η οποία εκφράζει το ενδεχόμενο παρατήρησης των δεδομένων εκπαίδευσης D , αποδεχόμενης της ισχύος της υπόθεσης h .
- $P(D)$: Η εκ των προτέρων γνωστή πιθανότητα παρατήρησης των δεδομένων εκπαίδευσης D .

2.3.2.1 Δίκτυα Bayes

Τα δίκτυα Bayes είναι μια γραφική απεικόνιση που δείχνει τις πιθανοτικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών (σχήμα 2.6). Οι κόμβοι του δικτύου απεικονίζουν τυχαίες μεταβλητές και τα τόξα, που συνδέουν τους κόμβους, τις συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων παραδοχών. Τα δίκτυα Bayes περιγράφουν τις σχέσεις των πιθανοτήτων μεταξύ των μεταβλητών. Η χρήση τους μας επιτρέπει να ορίσουμε τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών και να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον τρόπο με τον οποίο οι αρχικές πιθανότητες επηρεάζουν αβέβαιες καταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο τα δίκτυα χρησιμοποιούνται για μελλοντική πρόβλεψη. Τέλος, αν ξέρουμε τη δομή του δικτύου τότε η εκπαίδευση είναι πολύ γρήγορη αλλά στην περίπτωση που δεν τη ξέρουμε είναι αρκετά αργή.



Σχήμα 2.6 Παράδειγμα Δικτύου Bayes

2.3.3 Νευρωνικά Δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks) αποτελούν μια πολύ γνωστή μέθοδο προβλημάτων κατηγοριοποίησης για πολλές εξαρτημένες μεταβλητές (σχήμα 2.7). Τα νευρωνικά δίκτυα είναι συστήματα επεξεργασίας πληροφορίας που αποτελούνται από ένα γράφο και διάφορους αλγόριθμους που προσπελαίνουν αυτόν το γράφο. Χρησιμοποιούν ένα σύνολο από στοιχεία επεξεργασίας (κόμβους) που συνδέονται μεταξύ τους, όπως οι νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα στοιχεία αυτά διασυνδέονται μεταξύ τους σε ένα δίκτυο το οποίο μπορεί να αναγνωρίζει πρότυπα μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων μόλις αυτά παρουσιαστούν μέσα στα δεδομένα, δηλαδή το δίκτυο μαθαίνει από την εμπειρία του, όπως και ο άνθρωπος.

Κάθε κόμβος του γράφου είναι σαν ανεξάρτητοι νευρώνες, ενώ τα τόξα είναι σύνδεσμοι των νευρώνων. Κάθε ένας από τους κόμβους είναι στοιχείο επεξεργασίας που λειτουργεί ανεξάρτητα από τους άλλους και χρησιμοποιεί μονό τοπικά δεδομένα που καθοδηγούν την επεξεργασία.

Ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από:

- Νευρώνες εισόδου (input neurons), οι οποίοι δέχονται τις πληροφορίες που θα υποστούν επεξεργασία.
- Νευρώνες εξόδου (output neurons), στους οποίους καταλήγουν και τα λαμβάνουμε τα αποτελέσματα.
- Ενδιάμεσους νευρώνες (hidden neurons), οι οποίοι βρίσκονται μεταξύ των νευρώνων εισόδου και εξόδου και αποτελούν το κρυφό επίπεδο και λαμβάνουν μέρος στην επεξεργασία των πληροφοριών.

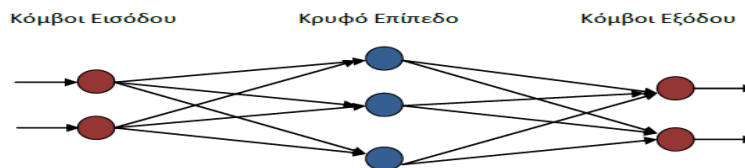
Τα νευρωνικά δίκτυα σε προβλήματα κατηγοριοποίησης έχουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Έχουν υψηλή ακρίβεια πρόγνωσης.
- Δουλεύουν ακόμα και όταν τα δεδομένα εκπαίδευσης περιέχουν λάθη.
- Οι έξοδοι μπορεί να έχουν διακριτές τιμές ή συνεχείς τιμές.
- Βελτιώνονται από τη μάθηση.
- Υπάρχει μεγάλη ακρίβεια όταν εφαρμόζεται το κατάλληλο σύνολο εκπαίδευσης.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Είναι δύσκολα στην κατανόηση από τον χρήστη.
- Η δημιουργία κανόνων δεν είναι απλή διαδικασία.
- Χρειάζονται μεγάλο χρόνο εκπαίδευσης.
- Οι τιμές των χαρακτηριστικών εισόδου πρέπει να είναι αριθμητικές.
- Μπορεί να είναι αρκετά ακριβά στη χρήση τους.



Σχήμα 2.7 Παράδειγμα Νευρωνικού Δικτύου

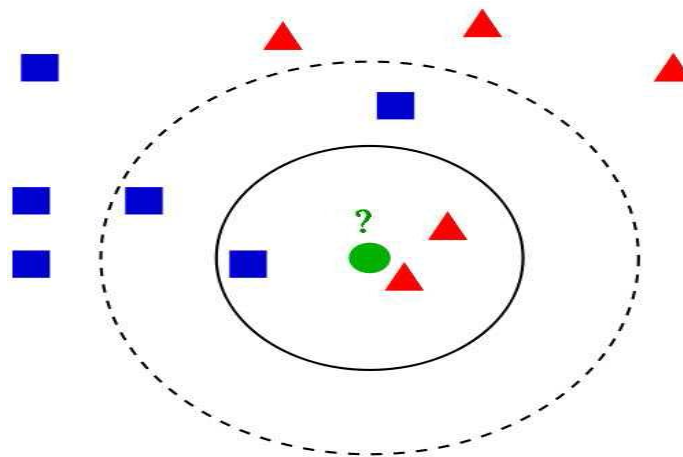
2.3.4 Εύρεση Κοντινότερων Γειτόνων

Ο αλγόριθμος εύρεσης κοντινότερων γειτόνων (k- nearest- neighbors) ανήκει στην κατηγορία μάθησης βασισμένης σε στιγμιότυπα (σχήμα 2.8). Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας δεν κατασκευάζουν ένα γενικό μοντέλο απλώς αποθηκεύουν τα δεδομένα και με την εμφάνιση ενός προς ταξινόμηση στοιχείου ανακαλεί ένα σύνολο στιγμιότυπων σχετιζόμενο με αυτό και το ταξινομεί. Η κεντρική ιδέα είναι πως η τιμή της συνάρτησης-στόχου για ένα νέο στιγμιότυπο βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στις αντίστοιχες τιμές των k πιο “κοντινών” του στιγμιότυπων εκπαίδευσης, τα οποία αποτελούν τους “γειτόνες” του. Με άλλα λόγια, κάθε απόφαση για ταξινόμηση ενός δείγματος παίρνεται αποκλειστικά με βάση τις ετικέτες των k πλησιέστερων γειτόνων του.

Αφού προσδιορισθούν μέσω κάποιας μετρικής οι k κοντινότεροι γείτονες ενός νέου στιγμιότυπου, οι τιμές της συνάρτησης-στόχου που έχει ο καθένας από αυτούς πρέπει να συνδυαστούν για να δώσουν την εκτιμώμενη τιμή για το νέο στιγμιότυπο. Στην περίπτωση που η συνάρτηση-στόχος παίρνει διακριτές τιμές, η πιο συνηθισμένη τακτική είναι να επιλέγεται η πιο συχνή από τις τιμές των γειτόνων. Σε περίπτωση ισοβαθμιών επιλέγεται εκ των ισοβαθμούντων μια τιμή, είτε τυχαία ή η καθολικά πιο συχνή τιμή.

Ο αλγόριθμος παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι προσεγγίζει ευκολότερα μια πολύπλοκη συνάρτηση-στόχο από άλλες μεθόδους και ότι προγραμματίζεται εύκολα. Επιπλέον, για μικρές αλλαγές στα δεδομένα εκπαίδευσης δεν παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στα αποτελέσματα ταξινόμησης.

Από την άλλη, το μεγάλο μειονέκτημά του είναι το υπολογιστικό κόστος κατά την κατηγοριοποίηση των νέων στοιχείων και η αργή ταξινόμησή τους. Επιπλέον, υπάρχει δυσκολία στην εύρεση του κατάλληλου k και δεν αντιμετωπίζει πολύ καλά κατηγορικές μεταβλητές.



Σχήμα 2.8 Παράδειγμα k -nearest-neighbors

2.4 Ταξινόμηση στη Βιοϊατρική

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να γνωρίζουμε την πιθανότητα ότι ένα αντικείμενο ανήκει σε μια κατηγορία. Για παράδειγμα, μπορεί να θέλουμε να υπολογιστεί η πιθανότητα ότι ένας ασθενής έχει μια συγκεκριμένη ασθένεια, δοσμένου ενός συνόλου συμπτωμάτων. Η συμβατική προσέγγιση πρώτα θα χρησιμοποιήσει έναν αλγόριθμο ταξινόμησης για να βρει τμήματα στο χώρο που διατίθεται και να εκχωρήσει το κάθε τμήμα σε μια τάξη και στη συνέχεια θα υπολογιστούν οι πιθανότητες ως το ποσοστό των ασθενών που έχουν ταξινομηθεί σωστά ή λανθασμένα σε κάθε τμήμα. Δυστυχώς αυτή η μέθοδος εκτίμησης δίνει, συχνά, περίπου 20% λανθασμένες εκτιμήσεις και έτσι μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες

αποφάσεις. Έχουν εφαρμοστεί και αναπτυχθεί εναλλακτικές μέθοδοι ταξινόμησης, όπως η διαχωριστική ανάλυση, τα κριτήρια πινάκων, τα νευρωνικά δίκτυα, η μέθοδος Monte Carlo και το δένδρο ταξινόμησης και παλινδρόμησης(classification and regression tree,CART).

Ο αλγόριθμος *CART* έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα προβλήματα βιοϊατρικής. Χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη κανόνων κλινικών αποφάσεων και στην ταξινόμηση ασθενών σε κλινικά σημαντικές κατηγορίες. Ο αλγόριθμος έχει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματά του είναι:

- Είναι μη παραμετρικός. Δηλαδή δεν απαιτεί τις προδιαγραφές οποιασδήποτε λειτουργικής μορφής.
- Δεν απαιτεί οι μεταβλητές να έχουν επιλεγεί εκ των προτέρων.
- Μπορεί να χειριστεί αριθμητικά δεδομένα που είναι ιδιαίτερα ασύμμετρα και πολυτροπικά καθώς και κατηγορηματικές προβλέψεις είτε με τακτική είτε με μη τακτική δομή. Αυτό είναι σημαντικό χαρακτηριστικό καθώς εξαλείφει το χρόνο ανάλυσης που διαφορετικά θα είχε δαπανηθεί για να καθορήσει αν οι μεταβλητές κατανέμονται κανονικά και αν όχι θα έπρεπε να κάνει τη μετατροπή.
- Αναγνωρίζει τις διαχωρισμένες μεταβλητές με βάση μια εξαντλητική αναζήτηση όλων των δυνατοτήτων. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται αποδοτικοί αλγόριθμοι, είναι σε θέση να αναζητεί όλες τις πιθανές μεταβλητές, όπως οι διαχωρισμένες, ακόμα και σε προβλήματα με εκατοντάδες πιθανές προβλέψεις.
- Έχει εξελιγμένες μεθόδους για την αντιμετώπιση των ελλειπουσών μεταβλητών. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν χρήσιμα δένδρα *CART* ακόμη και όταν οι σημαντικές μεταβλητές πρόβλεψης δεν είναι γνωστές για όλους τους ασθενείς. Ασθενείς με ελλιπή μεταβλητές πρόβλεψης δεν παραλείπονται από την ανάλυση, αντίθετα χρησιμοποιούνται “υποκατάστατες” μεταβλητές που περιέχουν παρόμοιες πληροφορίες με εκείνες που περιέχονται στον αρχικό διαχωριστή.
- Είναι μια μέθοδος ανάλυσης με σχετικά αυτόματα “μηχανή μάθησης”. Δηλαδή σε σχέση με την πολυπλοκότητα της ανάλυσης, απαιτείται σχετικά μικρή συμβολή από τον αναλυτή.
- Τέλος, είναι σχετικά εύκολο να ερμηνευθεί από μη στατιστικούς.

Τα μειονεκτήματά του είναι:

- Είναι ακόμα νέο και κάπως άγνωστο. Έτσι μπορεί να υπάρχει κάποια άρνηση στην αποδοχή της ανάλυσης του από κάποιους στατιστικούς.
- Υπάρχει κάποιος βιάσιμος σκεπτικισμός όσον αφορά τις μεθόδους των δένδρων γενικά, βασισμένη σε μη ρεαλιστικές απαιτήσεις και την κακή απόδοση προηγούμενων τεχνικών. Έτσι ορισμένοι στατιστικοί έχουν μια γενικευμένη δυσπιστία αυτής της προσέγγισης.
- Τέλος, επειδή δεν είναι μια τυποποιημένη τεχνική ανάλυσης, δεν συμπεριλαμβάνεται σε πολλά σημαντικά στατιστικά πακέτα λογισμικού.

2.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- [1] Gopalakrishnan, V. Lustgarten, J.L. Visweswaran, S. Cooper, G.F. (2010), *Bayesian rule learning for biomedical data mining*.
- [2] Haykin Simom (2010), *Νευρωνικά Δίκτυα και Μηχανική Μάθηση*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- [3] Κωτσιαντής Σωτήριος (2005), *Διδακτορική Διατριβή, Ομάδες ταξινομητών για την ακρίβεια των μεθόδων Μηχανικής Μάθησης και Εξόρυξης Γνώσης*, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Μαθηματικών.
- [4] Platt John (1998), *Sequential Minimal- Optimization: A fast algorithm for training support vector machines*, Technical Report MSR-TR-98-14.
- [5] Shutova Ekaterina (2009), *Biomedical Data Mining using Machine Learning*, VDM Verlag Dr. Muller.
- [6] Καλλά Μαρία Παυλίνα (2012), *Διπλωματική Εργασία, Εξόρυξη Γνώσης από Ιατροβιολογικά Δεδομένα*, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Μαθηματικών.
- [7] I. Kononenko, M. Kukar, *Machine Learning and Data Mining: Introduction to Principles and Algorithms*, Horwood, 2007.
- [8] L. Breiman, *Random forests*, Machine Learning, 2001.
- [9] Roman Timofeev, *Classification and Regression Trees (CART), Theory and Applications*, 2004.
- [10] Kotsiantis SB. (2007), *Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques*.
- [11] Kotsiantis, S.B., Zaharakis, I.D. and Pintelas, P.E. (2006), *Machine learning: a review of classification and combining techniques*.
- [12] J. R. Quinlan, (1986), *Induction of decision trees, Machine Learning, vol. 1*.
- [13] Cheeseman P, Stutz J. Hanson R. (1991), *Bayesian Classification Theory, Artificial Intelligence Research Branch NASA Ames Research Center*.
- [14] Jensen FV. (1996), *Introduction to Bayesian networks*. Springer Verlag, New York.
- [15] Παπανικολάου Δονάτος, (2010), *Μεταπτυχιακή Εργασία, Εφαρμογή Τεχνικών Εξόρυξης Γνώσης στην Εκπαίδευση*, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Μαθηματικών.
- [17] Αθανασίου Μητρουλία, (2013), *Μεταπτυχιακή Εργασία, Ταξινόμηση Κλινικών Περιπτώσεων Κοιλιακών Αλγών με Υλοποίηση Υπολογιστικής Νοημοσύνης*, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Μαθηματικών.
- [18] Roger J. Lewis, M.D. Ph.D, *An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis*, Department of Emergency Medicine Harbor-UCLA Medical Center Torrance, California, (2000).

- [19] N. Friedman, D. Geiger, M. Goldszmidt, *Bayesian Network Classifier, Machine Learning* (1997).
- [20] Ουγιάρογλου Στέφανος, (2006), Διπλωματική Εργασία, *Κατηγοριοποίηση με Βάση Δυναμικό Αριθμό Κοντινότερων Γειτόνων*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης – Τμήμα Πληροφορικής.
- [21] Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος, (2010), Μεταπτυχιακή Διατριβή, *Εξόρυξη Γνώσης από Δεδομένα Και Εφαρμογή της σε Επιχειρησιακές Διαδικασίες*, Πανεπιστήμιο Πειραιά – Τμήμα Πληροφορικής.
- [22] Τζετζούμης Ευάγγελος, (2012), Μεταπτυχιακή Εργασία, *Σύγκριση Μεθόδων Έμπειρων Συστημάτων με Κανόνες για Προβλήματα Κατηγοριοποίησης από Σύνολα Δεδομένων*, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Μαθηματικών.
- [23] http://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_classifier.
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree_learning.
- [25] http://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbor_algorithm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μέρη Για Την Ολοκλήρωση Της Τελικής Εφαρμογής

3.1 Wii Balance Board

Το *Balance Board* είναι μια ανθεκτική πλαστική πλατφόρμα που στηρίζεται σε τέσσερα πόδια, που το καθένα περιλαμβάνει έναν αισθητήρα πίεσης (σχήμα 3.1). Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του κέντρου ισορροπίας του χρήστη με βάση την πίεση. Το balance board συνδέεται σε τηλεόραση ή σε υπολογιστή μέσω Bluetooth. Οι τέσσερις αισθητήρες πίεσης δίνουν στο balance board τέσσερις βαθμούς ελευθερίας. Στην πράξη, ωστόσο, το balance board είναι μια ισομετρική συσκευή εισόδου και κανείς δε μπορεί να ελέγξει με ακρίβεια τους επιμέρους βαθμούς ελευθερίας χωριστά. Κατά την κανονική χρήση, το balance board υποστηρίζει το βάρος του χρήστη και ο χρήστης δε μπορεί να αυξήσει την πίεση σε έναν αισθητήρα χωρίς να μειωθεί η πίεση σε έναν άλλο αισθητήρα. Σε μια συνέντευξη που διεξήχθη σε ιστοσελίδα για gaming, ο δημιουργός του balance board Shigeru Miyamoto, δήλωσε ότι η ικανότητα του balance board για τη μέτρηση του βάρους είναι, πιθανώς, πιο ακριβή από εκείνη μιας τυπικής συσκευής μέτρησης (ζυγαριά).

Οι αισθητήρες του balance board μπορούν να μετρήσουν, με ακρίβεια, βάρος έως και 150 κιλών. Η πραγματική φυσική δομή του, μπορεί να αντέξει πολύ μεγαλύτερη δύναμη που ισοδυναμεί με, περίπου, 300 κιλά. Σημειώνεται, ότι πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε σκληρή επιφάνεια ή σε λεπτό χαλί, διότι διαφορετικά μπορεί να μη λειτουργεί σωστά.

Η ανάπτυξη του balance board ήταν στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη του παιχνιδιού Wii Fit. Η Nintendo επικοινωνήσε αρχικά με κατασκευαστές κανονικών ζυγαριών, αλλά τελικά κατέληξε στο να δημιουργήσει το balance board χωρίς τη συμβολή τους έτσι ώστε να κρατήσει το κόστος χαμηλά. Στα αρχικά μοντέλα, το balance board, ήταν μια απλή κλίμακα με ένα κελί μέτρησης πίεσης (αισθητήρα). Ωστόσο, οι προγραμματιστές συνειδητοποίησαν ότι μια απλή κλίμακα δεν ήταν και τόσο χρήσιμη και αύξησαν τις κλίμακες σε δύο και έπειτα σε τέσσερις. Τέλος, την ιδέα, για τη χρήση τεσσάρων αισθητήρων, εν μέρει την εμπνεύστηκαν από το πώς οι παλαιστές σούμο θα μπορούσαν να ζυγιστούν χρησιμοποιώντας μόνο έναν αισθητήρα. Το αρχικό σχήμα του ήταν τετράγωνο αλλά αποφασίστηκε πως ήταν πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί σε ασκήσεις.



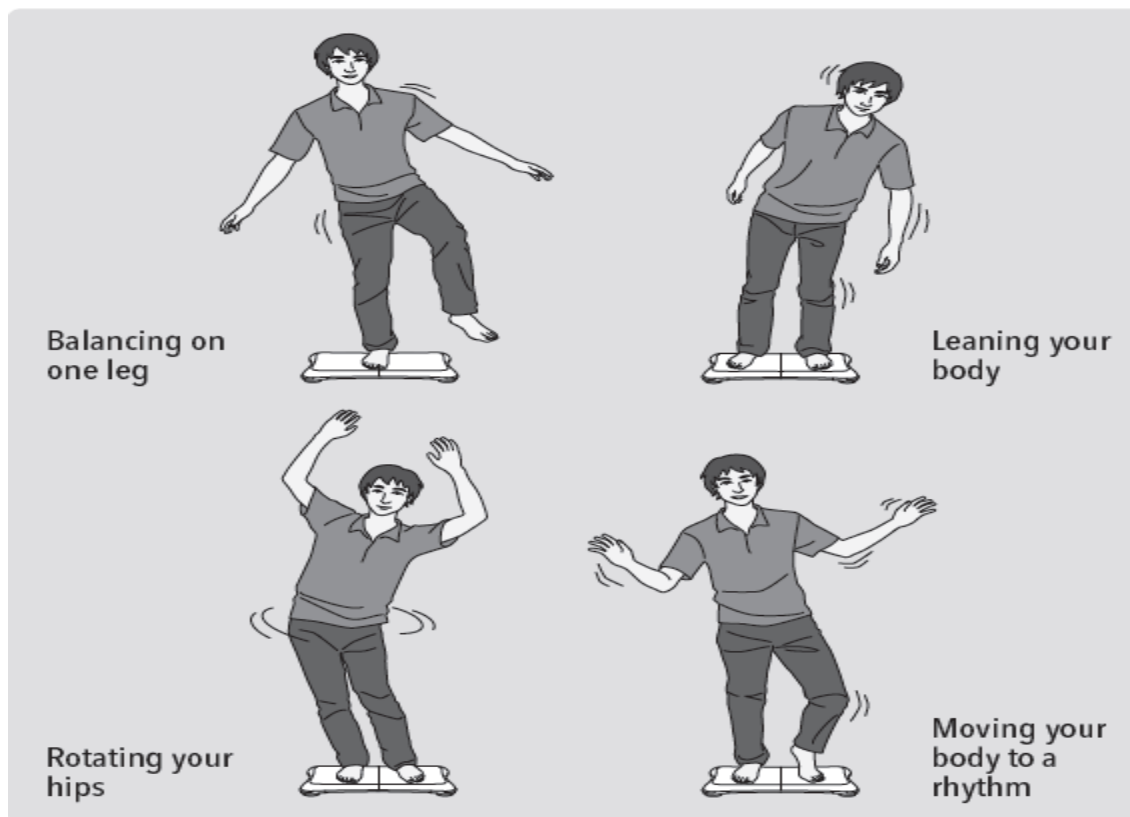
Σχήμα 3.1 Wii Balance Board

3.1.1 Το Balance Board ως Πλατφόρμα Μέτρησης Δύναμης και Ισορροπίας

Αναπόσπαστο μέρος της μελέτης της ισορροπίας και της κίνησης είναι η ικανότητα να μετρηθεί ποσοτικά. Ωστόσο, οι τρέχουσες μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ισορροπίας που χρησιμοποιούνται στις έρευνες απαιτούν ακριβές πλατφόρμες μέτρησης δύναμης και πολύπλοκα όργανα που είναι απροσπέλαστα στο κοινό. Ανέξοδες λύσεις μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση της τρέχουσας εξέλιξης στον τομέα της τεχνολογίας βίντεο - παιχνιδιών, επιτρέποντας ένα ευρύτερο φάσμα ερευνητών να μετρήσουν ποσοτικά την ισορροπία.

Αρκετοί ερευνητές έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν το balance board για περαιτέρω βοήθεια στην αποκατάσταση της ισορροπίας των ασθενών. Επιπλέον, έχουν αναπτύξει προσαρμοσμένες εφαρμογές, που χρησιμοποιούν το balance board, για τη μείωση του φόβου της πτώσης σε ηλικιωμένους ανθρώπους. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές το balance board χρησιμοποιείται ως συσκευή μέτρησης. Έτσι, το balance board, έχει τη δυνατότητα να είναι μια φθηνή και άμεσα προσβάσιμη πλατφόρμα μέτρησης δύναμης.

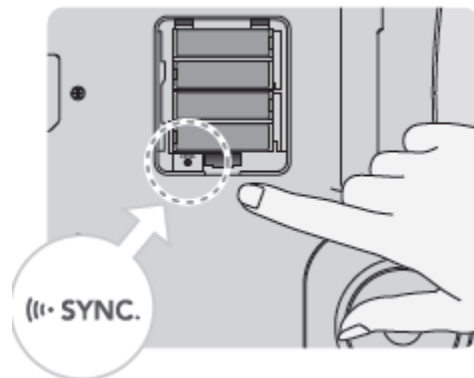
Οι περισσότερες από τις βασικές δραστηριότητες που αφορούν το balance board γίνονται χρησιμοποιώντας τις θέσεις που εμφανίζονται στο σχήμα 3.2. Γενικά, υπάρχουν κι άλλες διαφορετικές θέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 3.2 Βασικές Δραστηριότητες στο Balance Board

3.1.2 Συγχρονισμός του Balance Board με τον Υπολογιστή

Το balance board, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, συνδέεται στον υπολογιστή μέσω Bluetooth κι έτσι οι τιμές πίεσης που μετρώνται εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή. Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός πρέπει να έχουμε ενεργοποιημένο το Bluetooth του υπολογιστή μας και έπειτα να πατήσουμε το κουμπί *synchro* του balance board, όπου αρχίζει να αναβοσβήνει η λυχνία led για 20 δευτερόλεπτα περίπου (σχήμα 3.3). Η λυχνία θα σταματήσει να αναβοσβήνει όταν ολοκληρωθεί ο συγχρονισμός και το φως της θα παραμένει σταθερό.



Σχήμα 3.3 Συγχρονισμός Balance Board

3.2 Το εργαλείο WEKA

3.2.1 Γενικά

Το WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) είναι μια συλλογή από αλγόριθμους μηχανικής μάθησης. Χρηματοδοτήθηκε από την κυβέρνηση της Νέας Ζηλανδίας το 1993, είναι πακέτο ανοιχτού λογισμικού υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού Java και δημιουργήθηκε από ερευνητές στο πανεπιστήμιο Waikato στη Νέα Ζηλανδία. Παρέχει τη δυνατότητα για προεπεξεργασία δεδομένων, δημιουργία «μοντέλων» από τα δεδομένα με κάποια διαδικασία εκπαίδευσης, χρησιμοποίηση στατιστικών μεγεθών για την αξιολόγηση των διαφόρων αλγορίθμων μάθησης, απεικόνιση τόσο των αρχικών δεδομένων όσο και των αποτελεσμάτων μετά τη διαδικασία της εκπαίδευσης και όλα αυτά σε ένα γραφικό περιβάλλον, το οποίο ονομάζεται «explorer».

Το WEKA GUI Chooser window, όπως φαίνεται στην σχήμα 3.4, χρησιμοποιείται για να αρχίσει κάποιος τα WEKA'S graphical environments. Στο παράθυρο υπάρχουν 4 κουμπιά:

- *Explorer*. Παρέχει γραφικό περιβάλλον για τις ρουτίνες του weka και τα συστατικά του μέρη, περισσότερο για το exploring of data.
- *Experimenter*. Επιτρέπει στη δημιουργία πειραμάτων και στατιστικών αναλύσεων των σχημάτων που παρέχονται.
- *KnowledgeFlow*. Δίνει ίδιες δυνατότητες με το experimenter αλλά με ένα περιβάλλον που επιτρέπει drag-and-drop.

- *Simple CLI*. Παρέχει γραμμή εντολών για τις ρουτίνες του weka και είναι περισσότερο για λειτουργικά συστήματα που δεν έχουν γραμμή εντολών.



Σχήμα 3.4 Το Εργαλείο WEKA

Το περιβάλλον εργασίας του explorer έχει διάφορα πάνελ που παρέχουν πρόσβαση στα κύρια συστατικά του πλαισίου εργασίας:

- Το πάνελ *Preprocess* μας επιτρέπει να εισάγουμε στοιχεία από μια βάση δεδομένων, ένα CSV αρχείο και να προεπεξεργαστούμε αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιώντας αλγορίθμους φιλτραρίσματος. Αυτά τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετασχηματίσουν τα δεδομένα (π.χ. να μετατρέψουν αριθμητικές τιμές σε αντίστοιχες διακριτές) και δύναται να διαγράψουν στιγμιότυπα και μεταβλητές σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια.
- Το πάνελ *classify* επιτρέπει στο χρήστη να εφαρμόσει αλγόριθμους ταξινόμησης και παλινδρόμησης (που καλούνται ταξινομητές στο WEKA) σε ένα σύνολο δεδομένων, να υπολογίσει την ακρίβεια του μοντέλου πρόβλεψης που προκύπτει, και να οπτικοποιεί εσφαλμένες προβλέψεις, καμπύλες ROC, ή το ίδιο το μοντέλο (εάν το μοντέλο είναι δυνατόν να οπτικοποιηθεί).
- Το πάνελ *Associate* παρέχει πρόσβαση στην εκμάθηση κανόνων συσχετίσεων που επιχειρούν να προσδιορίσουν όλες τις σημαντικές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών στα δεδομένα.
- Το πάνελ *Cluster* δίνει πρόσβαση στις τεχνικές συσταδοποίησης στο WEKA, όπως π.χ. ο απλός αλγόριθμος k-means.

- Το πάνελ *Select attributes* παρέχει αλγόριθμους για τον προσδιορισμό των μεταβλητών με το μεγαλύτερο βαθμό πρόβλεψης σε ένα σύνολο δεδομένων.
- Το πάνελ *Visualize* δείχνει έναν πίνακα διαγραμμάτων, όπου ξεχωριστά διαγράμματα μπορούν να επιλεγθούν και να διερευνηθούν και να αναλυθούν περαιτέρω χρησιμοποιώντας διάφορες εφαρμογές χειρισμού.

Επιπλέον το περιβάλλον εργασίας του explorer έχει διάφορες καρτέλες που παρέχουν πληροφορίες ενός αρχείου δεδομένων:

- *Status box*. Το Status box βρίσκεται στο κάτω μέρος του παραθύρου και δείχνει κάποια μηνύματα για το τι γίνεται κάθε στιγμή. Π.χ. όταν ο explorer είναι απασχολημένος στην φόρτωση ενός αρχείου δεδομένων, τότε το status box κάνοντας δεξί κλικ δίνει ένα μενού με 2 επιλογές: 1) πληροφορίες για τη μνήμη (ποσοστό διάθεσης μνήμης για το weka) και 2) τρέχει ο garbage collector και ψάχνει μνήμη που δεν χρησιμοποιείται και την απελευθερώνει έτσι ώστε να υπάρχει διαθέσιμη μνήμη για νέες εργασίες.
- *Log button*. Πατώντας το log button ανοίγει ένα παράθυρο που περιέχει πληροφορίες που σε κάθε σειρά δηλώνει την ημερομηνία και το γεγονός που έχει συμβεί κάθε φορά. Καθώς το weka κάνει διάφορες ενέργειες το log κρατάει πληροφορίες για τις ενέργειες αυτές.
- *Current relation*. Φαίνονται τα δεδομένα που μόλις έχουν εισαχθεί. Έχει 3 πεδία: 1) relation, το όνομα του relation όπως δίνεται στο αρχείο, 2) instances, ο αριθμός των instances (data,points,records) των δεδομένων και 3) attributes, ο αριθμός των χαρακτηριστικών των δεδομένων.
- *Attributes*:
No. Δηλώνει τον αριθμό του χαρακτηριστικού με τη σειρά που βρίσκεται μέσα στο αρχείο δεδομένων.
Selection tick boxes. Μπορεί να γίνει επιλογή ορισμένων χαρακτηριστικών που έχουν σχέση με την ανάλυση.
Name. Το όνομα του κάθε χαρακτηριστικού όπως είναι δηλωμένο στο αρχείο δεδομένων.
- *Selected attribute*:
Name. Το όνομα του χαρακτηριστικού που έχει επιλεγθεί.
Type. Ο τύπος του επιλεγμένου χαρακτηριστικού, Nominal ή Numeric.
Missing. Το ποσοστό των instances στα δεδομένα που λείπουν.
Distinct. Ο αριθμός των διαφορετικών τιμών που περιέχουν τα δεδομένα για το επιλεγμένο χαρακτηριστικό.
Unique. Το ποσοστό των instances στα δεδομένα που έχουν τιμή που για άλλο χαρακτηριστικό δεν έχουν τα άλλα instances.
- *Filters*: Γίνεται μετατροπή των δεδομένων με διάφορους τρόπους, επιλέγεται από τη λίστα το filter και μόλις γίνεται η επιλογή παρουσιάζεται το όνομα του εκεί που

επιλέχθηκε. Πατώντας στο filter ανοίγει παράθυρο με τις ρυθμίσεις του τρέχοντος filter.

3.2.2 Προεπεξεργασία στο WEKA

Τα βασικά αρχεία τα οποία δέχεται σαν είσοδο το WEKA έχουν την κατάληξη ARFF (Attribute-Relation File Format) και πρόκειται για ένα αρχείο κειμένου χαρακτήρων ASCII (ASCII text file) το οποίο περιγράφει/περιέχει μια σειρά από παραδείγματα (instances) τα οποία «περιγράφονται» από χαρακτηριστικά (attributes).

Τα ARFF αρχεία έχουν δύο ξεχωριστά τμήματα. Το πρώτο είναι το Header, το οποίο ακολουθείται από το τμήμα Data. Το Header του αρχείου ARFF περιέχει το όνομα της σχέσης, μια λίστα των μεταβλητών και τους τύπους τους. Το όνομα της σχέσης ορίζεται ως η πρώτη γραμμή στο αρχείο arff. Η μορφή είναι:

@relation <relation-name>

όπου το <relation-name> είναι ένα string και αποτελεί το όνομα του dataset.

Με τις δηλώσεις @attribute προσθέτουμε τις πληροφορίες των μεταβλητών. Η μορφή τους είναι:

@attribute<attribute-name><data-type>

όπου το <attribute-name> πρέπει να ξεκινά με έναν αλφαβητικό χαρακτήρα και το <data-type> μπορεί να είναι:

- *Numeric*. Οι numeric μεταβλητές μπορεί να είναι πραγματικοί ή ακέραιοι αριθμοί.
- *Nominal*. Οι nominal τιμές ορίζονται παρέχοντας ένα <nominal-specification> που απαριθμεί τις δυνατές τιμές.
- *String*
- *Date<date-format>*.

Η δήλωση @data είναι μια απλή γραμμή που δηλώνει την έναρξη του τμήματος των δεδομένων στο αρχείο. Η μορφή είναι:

@data

Κάθε στιγμιότυπο αναπαρίσταται με μια απλή γραμμή. Το σύμβολο % εισάγει σχόλια, τα οποία συνεχίζονται στο τέλος της γραμμής. Οι τιμές των μεταβλητών για κάθε στιγμιότυπο χωρίζονται με κόμματα. Πρέπει να εμφανίζονται με τη σειρά που δηλώθηκαν στο τμήμα header (δηλαδή τα δεδομένα που αντιστοιχούν στη ν-οστή δήλωση @attribute είναι πάντα ν-οστό πεδίο της μεταβλητής).

3.2.3 Το Φίλτρο MultiInstanceToPropositional

Το MultiInstanceToPropositional είναι ένα φίλτρο που παίρνει το «άθροισμα της εξόδου» κατά προσέγγιση, μετατρέποντας τα MultiInstance δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου ενός ενιαίου χαρακτηριστικού, σε SingleInstance μορφή εκχωρώντας στο κάθε δεδομένο την αξία της “τιμής” του. Υπάρχουν διάφορες επιλογές για τον καθορισμό του “ βάρους” των νέων δεδομένων προκειμένου να προσαρμοστούν στα “bags” διαφόρων μεγεθών. Το relaggs υλοποιεί το «άθροισμα της εισόδου» προσεγγίζοντάς το υπολογίζοντας τα συνοπτικά στατιστικά στοιχεία (π.χ. μέσο όρο, ελάχιστο και μέγιστο) για τις τιμές των χαρακτηριστικών σε κάθε “bag”. Έχει μια επιλογή για την αποφυγή υπολογιστικών στατιστικών για ονομαστικά χαρακτηριστικά με περισσότερο από έναν προκαθορισμένο μέγιστο αριθμό τιμών, αφαιρώντας των αποτελεσματικά από τα δεδομένα.

3.2.4 Ταξινόμηση στο WEKA

Η κατηγοριοποίηση δεδομένων (data classification) αποτελεί μια από τις βασικές μορφές εξόρυξης δεδομένων. Βασίζεται στην εξέταση των χαρακτηριστικών ενός νέου αντικειμένου (μη κατηγοριοποιημένο), το οποίο με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά αντιστοιχίζεται σε ένα προκαθορισμένο σύνολο κλάσεων. Η εργασία της κατηγοριοποίησης χαρακτηρίζεται από έναν καλά καθορισμένο ορισμό των κατηγοριών και το σύνολο που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του μοντέλου αποτελείται από προκατηγοριοποιημένα παραδείγματα. Η βασική εργασία είναι να δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί για να κατηγοριοποιήσει δεδομένα που δεν έχουν ακόμα κατηγοριοποιηθεί.

Πατώντας στο πάνελ classify περνάμε στο παράθυρο της κατηγοριοποίησης. Έπειτα πατώντας το choose δίνεται το generic object editor dialog box και επιλέγουμε τον classifier που επιθυμούμε. Οι classifiers στο weka είναι μοντέλα για την πρόβλεψη nominal ή numeric quantities.

Το παράθυρο έχει διάφορες επιλογές:

- *Use training set.* Ο classifier αποτιμάτε στο πόσο καλά μπορεί να προβλέψει την class των instances που εκπαιδεύτηκε.
- *Supplied test set.* Ο classifier αποτιμάτε στο πόσο καλά προβλέπει την class από το set των instances που φορτώθηκαν από το αρχείο.
- *Cross-validation.* Ο classifier αποτιμάτε από cross-validation, χρησιμοποιώντας τον αριθμό των folds που εισάγονται στο ανάλογο πεδίο.
- *Percentage split.* Ο classifier αποτιμάτε στο πόσο καλά προβλέπει ένα certain percentage των δεδομένων που προσφέρονται για testing. Τα δεδομένα αυτά εξαρτώνται από την τιμή που εισάγεται στο πεδίο.

Επίσης το παράθυρο εμφανίζει και κάποια αποτελέσματα:

- *Run information.* Πληροφορίες σχετικά με τις επιλογές του learning scheme, relation name, instances, attributes και το test mode που σχετίζονται με τη διαδικασία.

- *Classifier model (full training set)*. Μια textual αναπαράσταση του classification μοντέλου που δημιουργήθηκε σε όλα τα training data.
- *Summary*. Λίστα στατιστικών για το πώς έγινε η πρόβλεψη στην true class των instances κάτω από το επιλεγμένο test mode.
- *Detailed accuracy by class*. Μια πιο λεπτομερής αναφορά ανά class για την ακρίβεια πρόβλεψης του classifier.
- *Confusion matrix*. Δείχνει πόσα instances αντιστοιχίζονται σε κάθε class. Τα elements δείχνουν τον αριθμό των test examples των οποίων η ακριβής class είναι η γραμμή και των οποίων η προβλεπόμενη class είναι η στήλη.

3.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- [1] Remco R. Bouckaert, Eibe Frank, Mark Hall, Richard Kirkby, Peter Reutemann, Alex Seewald, David Scuse, *WEKA Manual Version 3-6-0*, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- [2] Data Mining, *Practical Machine Learning, Tools and Techniques*, Third Edition.
- [3] Wii Balance Board Operations Manual, Nintedo.
- [4] [http://wiibrew.org/wiki/Wii Balance Board](http://wiibrew.org/wiki/Wii_Balance_Board).
- [5] <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.
- [6] <https://list.scms.waikato.ac.nz/mailman/listinfo/wekalist>.
- [7] Winter, D.A., Patla, A.E., Frank, J.S. (1990). Assessment of balance control in humans. *Medical progress through Technology*.
- [8] Harrison Bartlett, Jeff Bingham and Lena H. Ting, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, Emory University, Atlanta, GA, USA. Validation and calibration of the wii balance board as an inexpensive force plate.
- [9] Simon Zhang, M. O. (2009, Summer). DARTS Lab. Retrieved 2009, from <http://snoopy.cse.nd.edu:8080/Plone/reu-projects/summer-2009>.
- [10] Szweda J. B. (2008, Summer). DARTS LAB. Retrieved 2008, from <http://snoopy.cse.nd.edu:8080/Plone/reu-projects/summer-2008/wiimote-interactions-for-reshmen-engineering-education>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η Εφαρμογή Μέτρησης του Κέντρου Πίεσης και Ισορροπίας

4.1 Η βιβλιοθήκη της εφαρμογής (WiiLab)

Η βιβλιοθήκη της εφαρμογής αναπτύχθηκε το 2008 από δύο φοιτητές (Jordan Brindza and Jessica Szweda) του πανεπιστημίου του Notre Dame. Η βιβλιοθήκη αρχικά περιείχε προγράμματα για τη δημιουργία παιχνιδιών στο Matlab, χρησιμοποιώντας το Wii Controller. Στη συνέχεια, η βιβλιοθήκη αναβαθμίστηκε και με άλλου είδους προγράμματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τη προβολή και καταγραφή του κέντρου πίεσης, μέσω σύνδεσης του Matlab με το Wii-Balance Board.

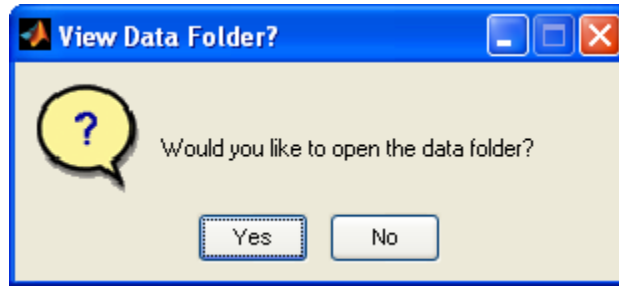
4.2 Η αρχική ανάπτυξη της εφαρμογής

Η αρχική εφαρμογή αναπτύχθηκε από μια ομάδα διδακτορικών και προπτυχιακών φοιτητών (Andrew Kary, Helen J.Huang and Sergio Perez) του εργαστηρίου νευρομηχανικής του τμήματος φυσιολογίας, στο πανεπιστήμιο του Κολοράντο (Neuromechanics Laboratory, Department of Integrative Physiology, University of Colorado). Είναι ένα πρόγραμμα, γραμμένο σε Matlab, που δημιουργήθηκε για την προβολή του κέντρου πίεσης (Center of Pressure, CoP) σε πραγματικό χρόνο, για την καταγραφή του συνόλου των δεδομένων του κέντρου πίεσης και τη σύγκριση των πολλαπλών αυτών δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται από το balance board και τη σύνδεσή του στο Matlab. Χρησιμοποιεί την έκδοση της βιβλιοθήκης (WiiLab) που περιλαμβάνει την υποστήριξη του balance board.

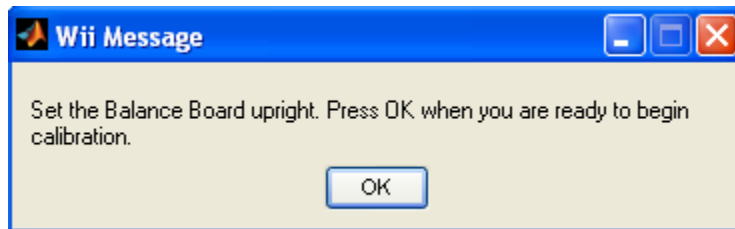
4.3 Η λειτουργία της εφαρμογής

Στο Matlab με το "τρέξιμο" του κώδικα εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στο σχήμα 4.1, όπου μας ζητάει να ανοίξουμε τον φάκελο που περιέχει τα αρχεία της εφαρμογής και επιλέγουμε το "NO". Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 4.2, όπου μας ζητάει να κάνουμε *Calibration* και επιλέγουμε "OK". Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται είναι αυτό του σχήματος 4.3, όπου εισάγουμε το βάρος του χρήστη και πατάμε "OK". Το τελευταίο παράθυρο που εμφανίζεται πριν εισέλθουμε στο κυρίως *Figure* είναι αυτό του σχήματος 4.4, όπου μας ζητάει να κατέβουμε από το balance board για να γίνει σωστά το *Calibration*.

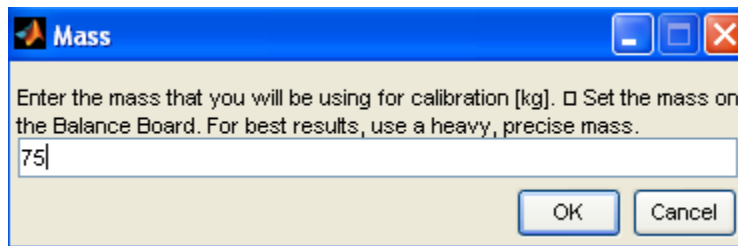
Τέλος, όπως αναφέραμε παραπάνω, για να λειτουργεί σωστά η εφαρμογή πρέπει να βαθμονομηθεί (calibrated). Υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζουμε το βάρος κάθε φορά που γίνεται επανεκκίνηση της εφαρμογής αλλά απαιτείται να γίνεται βαθμονόμηση (calibration) κάθε φορά που γίνεται επανεκκίνηση του Matlab.



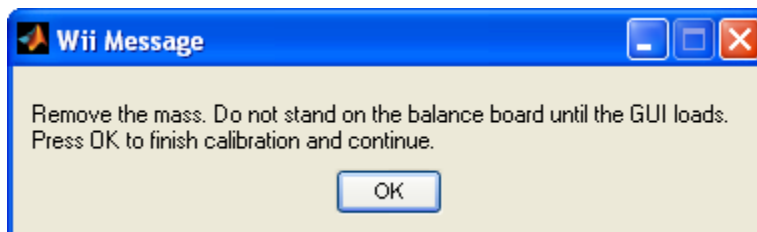
Σχήμα 4.1 Εμφάνιση Δεδομένων



Σχήμα 4.2 Βαθμονόμηση



Σχήμα 4.3 Εισαγωγή Βάρους

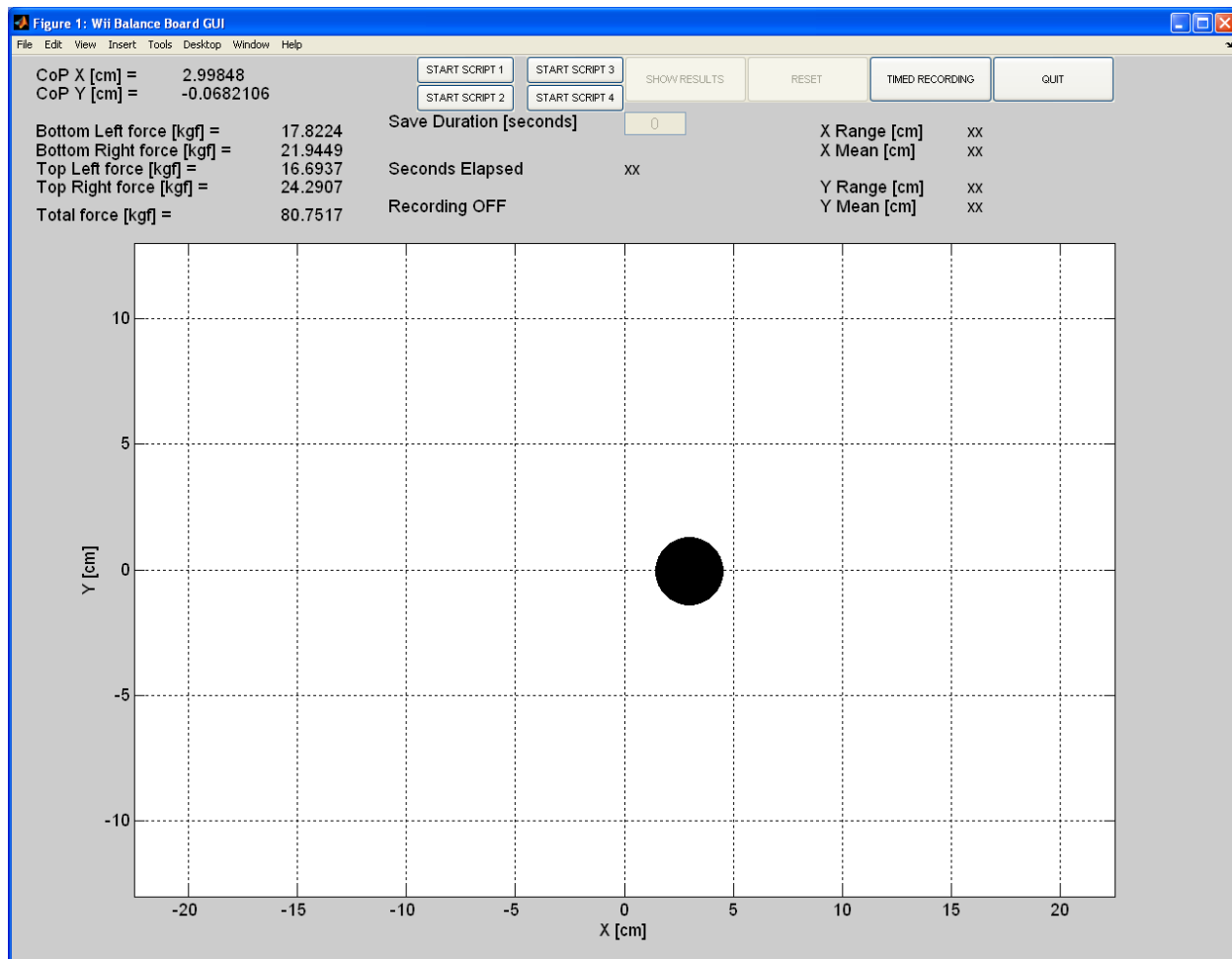


Σχήμα 4.4 Τελική Βαθμονόμηση

Όταν πατήσουμε "OK" στο παράθυρο του σχήματος 4.4, εμφανίζεται το παράθυρο με το κυρίως *Figure* όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5, όπου ο δρομέας εξαρτάται από την κλίμακα της δύναμης, εάν η δύναμη είναι πολύ μικρή ο δρομέας δε θα εμφανίζεται. Οι δυνάμεις που εμφανίζονται πάνω αριστερά στο παράθυρο κλιμακώνονται γραμμικά για να ταιριάζουν στο

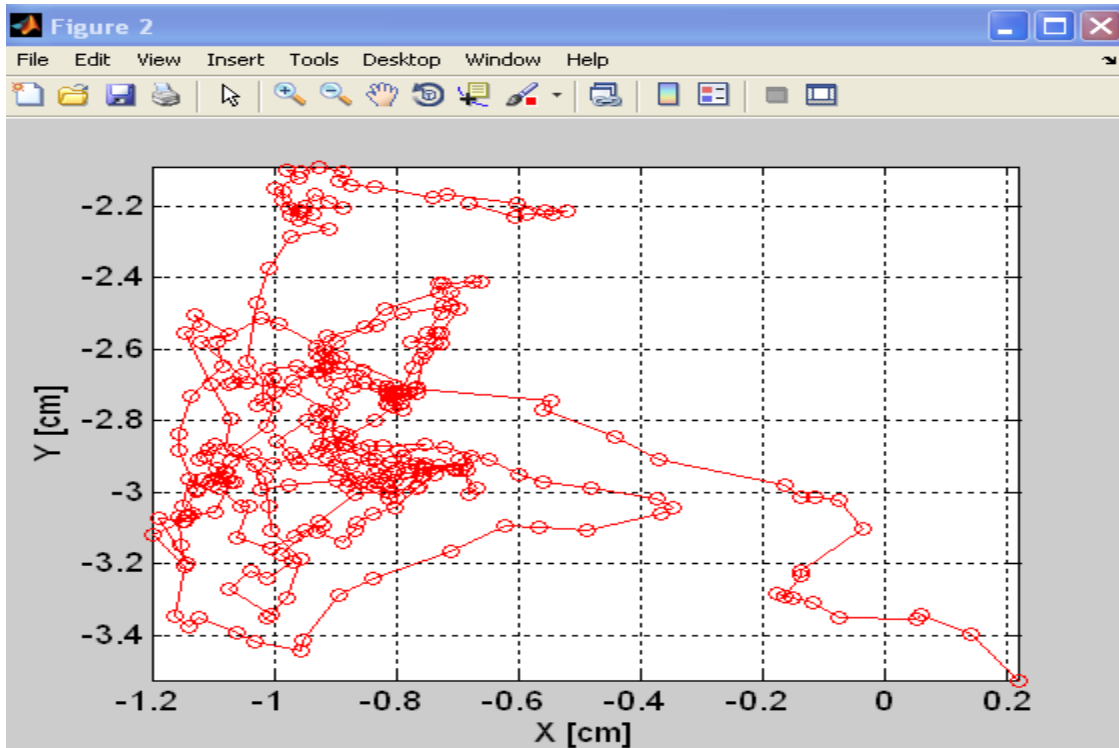
calibration που κάναμε. Επίσης, στο πάνω μέρος του παραθύρου υπάρχουν διάφορες επιλογές:

- *Start Script*. Τέσσερις επιλογές για το κάθε script ξεχωριστά.
- *Show Results*. Εμφανίζει τα αποτελέσματα για όλα τα Script που κάναμε.
- *Reset*. Αναίρει όποια Script κάναμε.
- *Time Recording*. Θέτουμε το χρόνο που επιθυμούμε για κάθε Script.
- *Quit*. Έξοδος από το Figure.

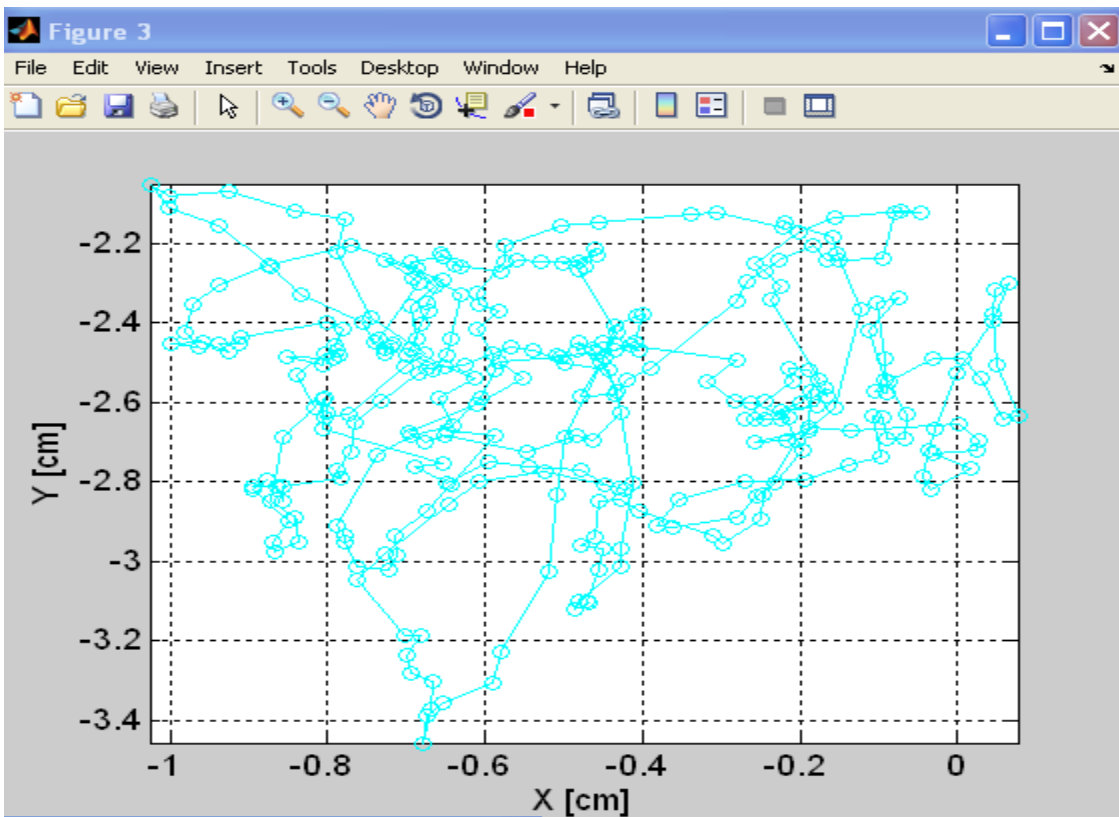


Σχήμα 4.5 Κυρίως Figure

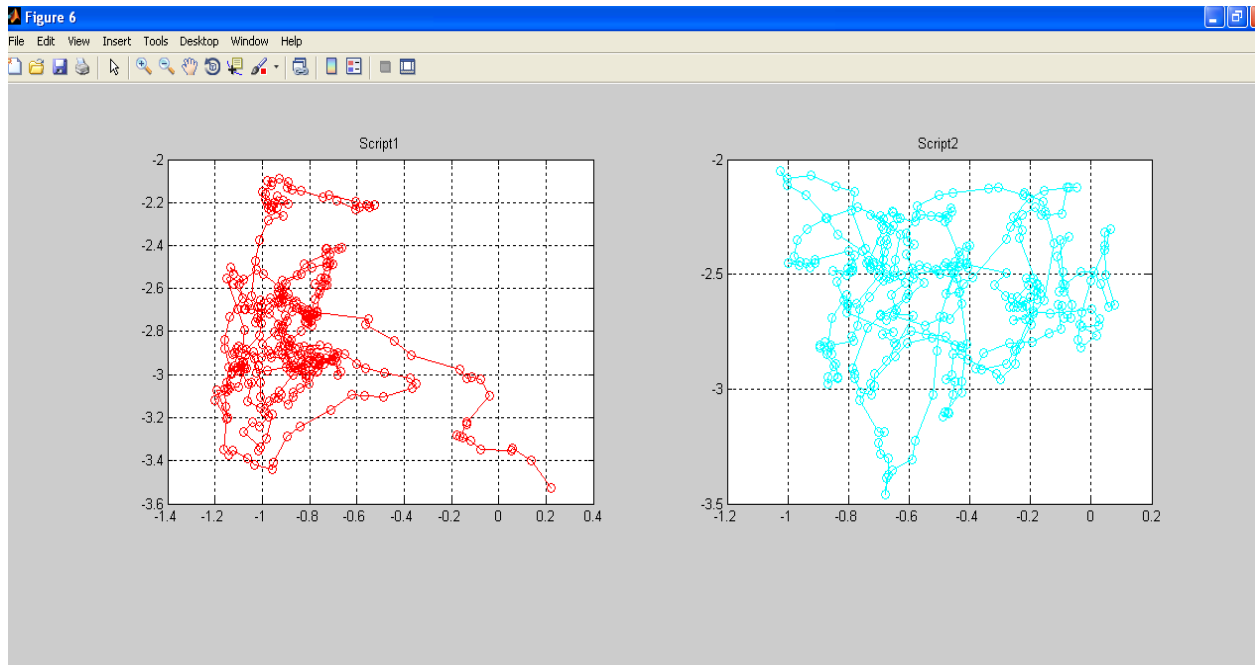
Αρχικά κάνουμε δύο μετρήσεις των δέκα δευτερολέπτων σε σταθερή βάση στήριξης, σε όρθια στάση με ανοικτούς και κλειστούς οφθαλμούς αντίστοιχα. Πατώντας την επιλογή *Show Results*, εμφανίζονται τα παράθυρα των σχημάτων 4.6 και 4.7. Στο σχήμα 4.8 φαίνονται συγκεντρωτικά οι δύο μετρήσεις.



Σχήμα 4.6 Όρθια Στάση - Ανοικτοί Οφθαλμοί

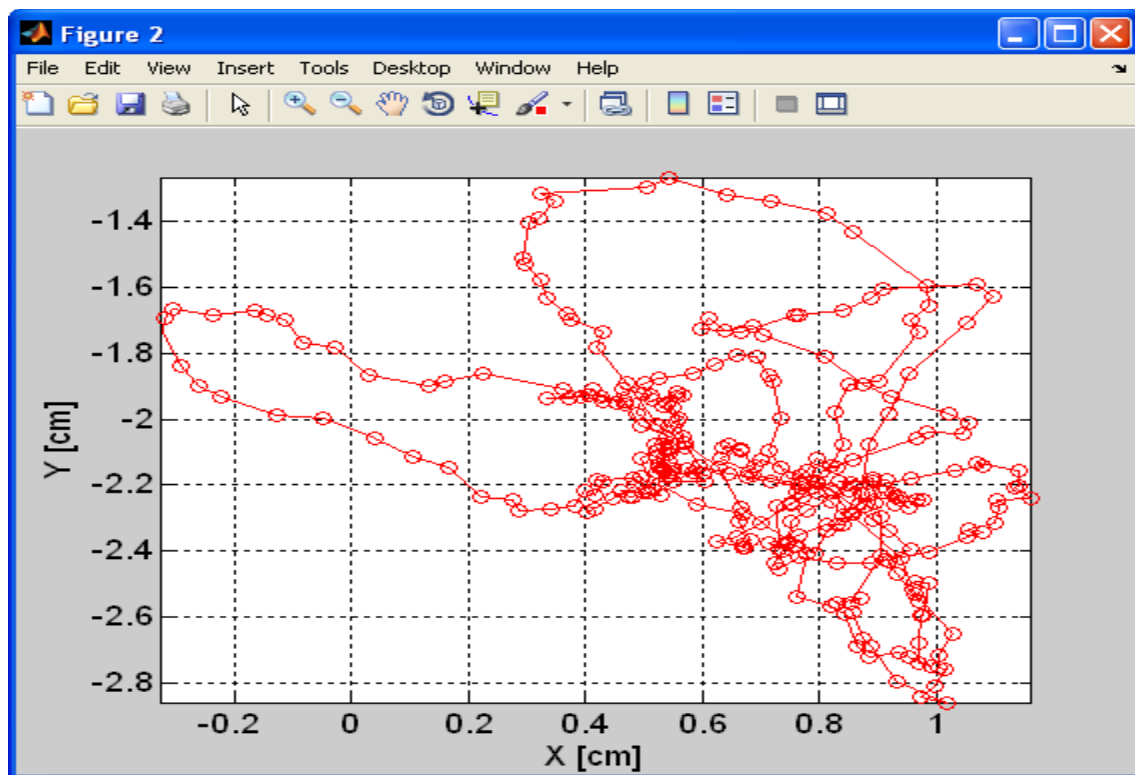


Σχήμα 4.7 Όρθια Στάση - Κλειστοί Οφθαλμοί

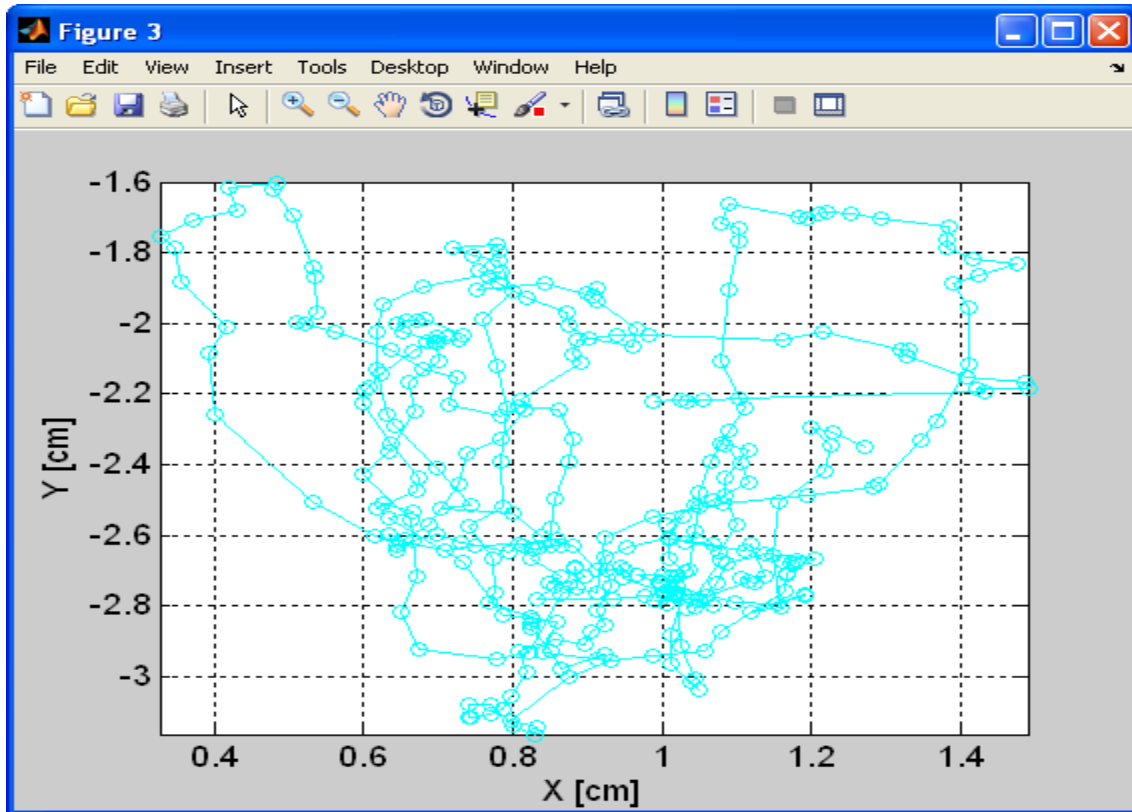


Σχήμα 4.8 Συγκεντρωτικά και οι Δύο Μετρήσεις

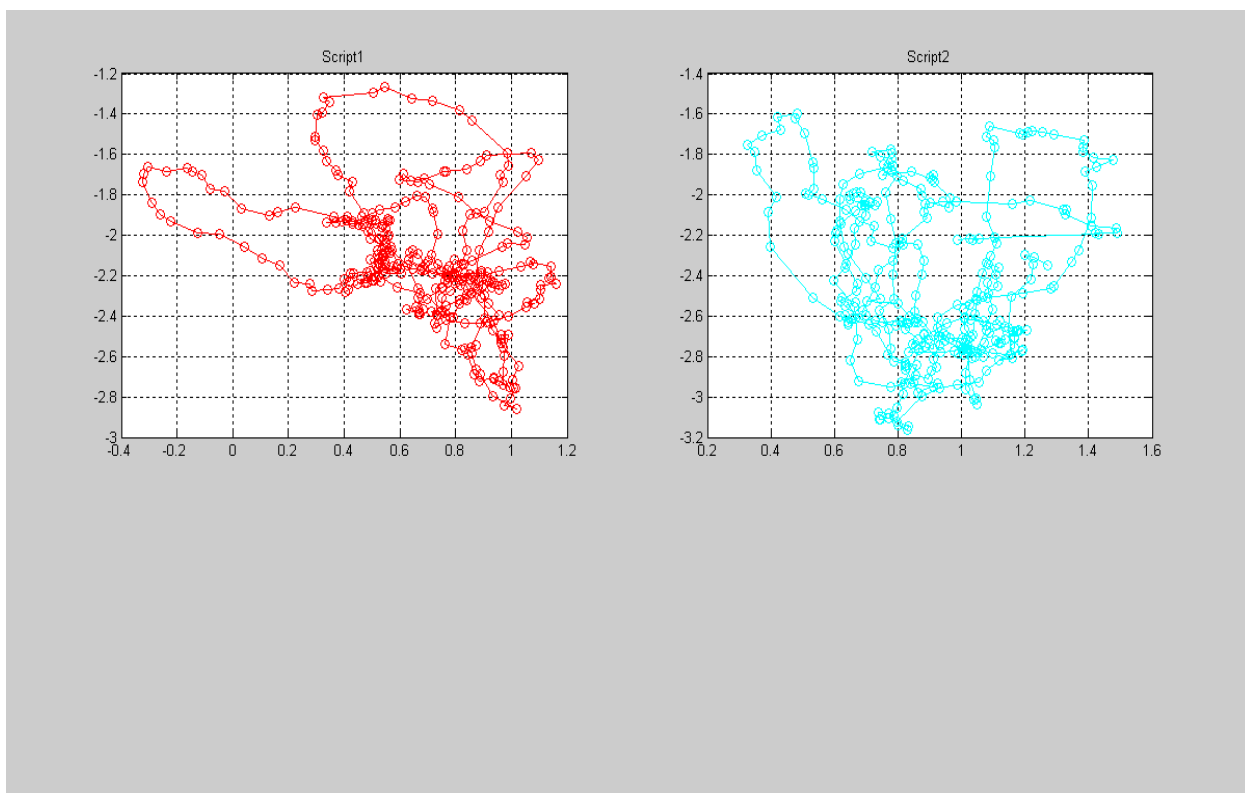
Στη συνέχεια κάνουμε δύο μετρήσεις των δέκα δευτερολέπτων σε ασταθή βάση στήριξης σε όρθια στάση με ανοικτούς και κλειστούς οφθαλμούς αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.9 Όρθια Στάση - Ανοικτοί Οφθαλμοί

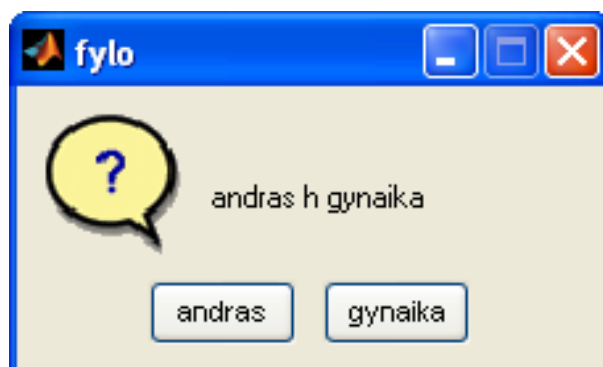


Σχήμα 4.10 Όρθια Στάση - Κλειστοί Οφθαλμοί

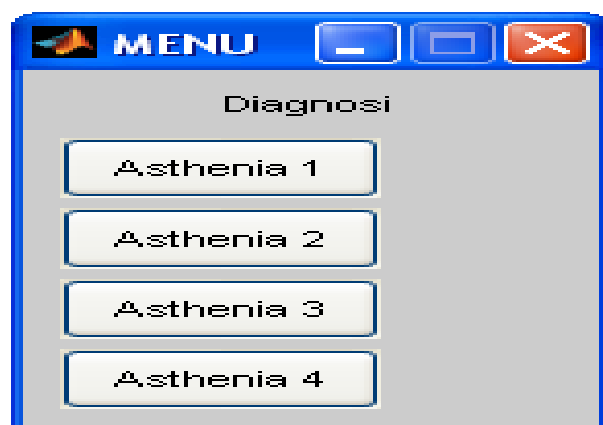


Σχήμα 4.11 Συγκεντρικά οι Δύο Μετρήσεις

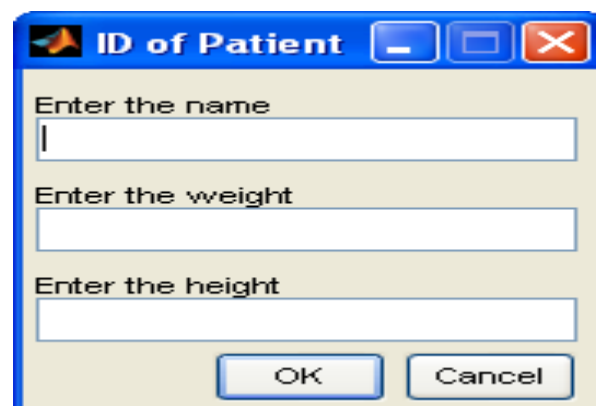
Εκτός των παραπάνω παραθύρων εμφανίζονται επίσης και παράθυρα που ζητάνε τα στοιχεία του χρήστη και την τελική διάγνωση αυτού. Παρακάτω δίνονται αυτά τα παράθυρα.



Σχήμα 4.12 Φύλο του Χρήστη



Σχήμα 4.13 Διάγνωση του Χρήστη



Σχήμα 4.14 Στοιχεία του Χρήστη

4.4 Επεξεργασία Δεδομένων

Η μορφή των δεδομένων όπως προκύπτουν από τη βιβλιοθήκη του Wii φαίνεται στο σχήμα 4.15.

1	Cycle	Time [s]	CoP X [cm]	CoP Y [cm]	Back Left Force [kgf]	Back Right Force [kgf]	Front Left Force [kgf]	Front Right Force [k	
2	1516	5.053099e+001	1.215631e+000	-2.166810e+000	2.078432e+001	2.348585e+001	1.495442e+001	1.674937e+001	1
3	1517	5.058925e+001	1.270714e+000	-2.350899e+000	2.101454e+001	2.393065e+001	1.468882e+001	1.647988e+001	1
4	1518	5.062018e+001	1.227551e+000	-2.306630e+000	2.099535e+001	2.376977e+001	1.475768e+001	1.652800e+001	1
5	1519	5.064871e+001	1.199506e+000	-2.294522e+000	2.102413e+001	2.376030e+001	1.482654e+001	1.653762e+001	1
6	1520	5.068176e+001	1.225780e+000	-2.345130e+000	2.106250e+001	2.380762e+001	1.467898e+001	1.647025e+001	1
7	1521	5.071014e+001	1.219032e+000	-2.416743e+000	2.119679e+001	2.388333e+001	1.454126e+001	1.636438e+001	1
8	1522	5.073880e+001	1.157653e+000	-2.506257e+000	2.135985e+001	2.395904e+001	1.445273e+001	1.613338e+001	1
9	1523	5.076710e+001	1.148204e+000	-2.656768e+000	2.163803e+001	2.415778e+001	1.418713e+001	1.591201e+001	1
10	1524	5.080141e+001	1.160246e+000	-2.804694e+000	2.189702e+001	2.443223e+001	1.395104e+001	1.570989e+001	1
11	1525	5.082938e+001	1.118818e+000	-2.817430e+000	2.196416e+001	2.439437e+001	1.395104e+001	1.566176e+001	1
12	1526	5.087532e+001	1.192057e+000	-2.764624e+000	2.174354e+001	2.442276e+001	1.401990e+001	1.574839e+001	1
13	1527	5.090782e+001	1.190340e+000	-2.772999e+000	2.178191e+001	2.447008e+001	1.402974e+001	1.574839e+001	1
14	1528	5.093600e+001	1.153394e+000	-2.792640e+000	2.188743e+001	2.445115e+001	1.401007e+001	1.570989e+001	1
15	1529	5.096431e+001	1.097457e+000	-2.787216e+000	2.191620e+001	2.434705e+001	1.403958e+001	1.567139e+001	1
16	1530	5.101361e+001	9.962628e-001	-2.733262e+000	2.186824e+001	2.407261e+001	1.415762e+001	1.563289e+001	1
17	1531	5.104161e+001	9.648550e-001	-2.710043e+000	2.194498e+001	2.403475e+001	1.422648e+001	1.570989e+001	1
18	1532	5.107034e+001	1.001934e+000	-2.711410e+000	2.187783e+001	2.408207e+001	1.420681e+001	1.570989e+001	1
19	1533	5.109838e+001	9.971046e-001	-2.733429e+000	2.201212e+001	2.412939e+001	1.416746e+001	1.574839e+001	1
20	1534	5.114582e+001	1.016860e+000	-2.770621e+000	2.205049e+001	2.416724e+001	1.405925e+001	1.570989e+001	1
21	1535	5.117429e+001	9.476955e-001	-2.721454e+000	2.200253e+001	2.407261e+001	1.424615e+001	1.569064e+001	1
22	1536	5.120242e+001	9.454796e-001	-2.688597e+000	2.192579e+001	2.401582e+001	1.430518e+001	1.571951e+001	1
23	1537	5.123618e+001	9.503887e-001	-2.699867e+000	2.193539e+001	2.405368e+001	1.429534e+001	1.570006e+001	1
24	1538	5.126433e+001	9.113645e-001	-2.698157e+000	2.201212e+001	2.397797e+001	1.429534e+001	1.570989e+001	1
25	1539	5.129473e+001	8.789703e-001	-2.628141e+000	2.190661e+001	2.387387e+001	1.447241e+001	1.576764e+001	1
26	1540	5.134412e+001	8.371384e-001	-2.602105e+000	2.194498e+001	2.366567e+001	1.444289e+001	1.582539e+001	1
27	1541	5.137212e+001	8.008430e-001	-2.538356e+000	2.191620e+001	2.358049e+001	1.461012e+001	1.592163e+001	1
28	1542	5.140071e+001	7.032050e-001	-2.525405e+000	2.202172e+001	2.347639e+001	1.471833e+001	1.588313e+001	1
29	1543	5.142997e+001	7.443549e-001	-2.514640e+000	2.184906e+001	2.338175e+001	1.462980e+001	1.585426e+001	1
30	1544	5.147686e+001	6.972986e-001	-2.409224e+000	2.172436e+001	2.324926e+001	1.490523e+001	1.596976e+001	1
31	1545	5.150519e+001	6.420160e-001	-2.291656e+000	2.162844e+001	2.308838e+001	1.520034e+001	1.613338e+001	1
32	1546	5.153329e+001	6.298446e-001	-2.255369e+000	2.139822e+001	2.292749e+001	1.540692e+001	1.621038e+001	1
33	1547	5.156601e+001	6.177586e-001	-2.130194e+000	2.129271e+001	2.286125e+001	1.554464e+001	1.627775e+001	1
34	1548	5.161200e+001	6.186062e-001	-2.023243e+000	2.105291e+001	2.267198e+001	1.571187e+001	1.639325e+001	1
35	1549	5.164145e+001	6.252816e-001	-1.946669e+000	2.087065e+001	2.251109e+001	1.580040e+001	1.647988e+001	1
36	1550	5.167442e+001	6.784946e-001	-1.893903e+000	2.070759e+001	2.256787e+001	1.591844e+001	1.657612e+001	1
37	1551	5.170261e+001	7.838498e-001	-1.855515e+000	2.054452e+001	2.269090e+001	1.595779e+001	1.672050e+001	1
38	1552	5.173102e+001	7.512529e-001	-1.902243e+000	2.075555e+001	2.282339e+001	1.596763e+001	1.670125e+001	1
39	1553	5.178127e+001	8.422351e-001	-1.885935e+000	2.059248e+001	2.292749e+001	1.595779e+001	1.675900e+001	1
40	1554	5.181038e+001	9.072577e-001	-1.923784e+000	2.048697e+001	2.304106e+001	1.584958e+001	1.666275e+001	1
41	1555	5.183814e+001	9.114073e-001	-1.901141e+000	2.042941e+001	2.296535e+001	1.584958e+001	1.669162e+001	1
42	1556	5.186709e+001	9.002172e-001	-1.915761e+000	2.038145e+001	2.296535e+001	1.583975e+001	1.658575e+001	1
43	1557	5.190006e+001	9.133667e-001	-1.938123e+000	2.041023e+001	2.301267e+001	1.579056e+001	1.656650e+001	1
44	1558	5.192838e+001	9.651811e-001	-2.013965e+000	2.053493e+001	2.318301e+001	1.561350e+001	1.653762e+001	1
45	1559	5.197378e+001	9.598063e-001	-2.063683e+000	2.067881e+001	2.323033e+001	1.550529e+001	1.650875e+001	1
46	1560	5.200798e+001	9.008578e-001	-2.040359e+000	2.071718e+001	2.316409e+001	1.561350e+001	1.650875e+001	1
47	1561	5.203761e+001	8.749383e-001	-2.005320e+000	2.066922e+001	2.307892e+001	1.569219e+001	1.652800e+001	1
48	1562	5.206577e+001	8.712228e-001	-1.969079e+000	2.062126e+001	2.295589e+001	1.570203e+001	1.659537e+001	1

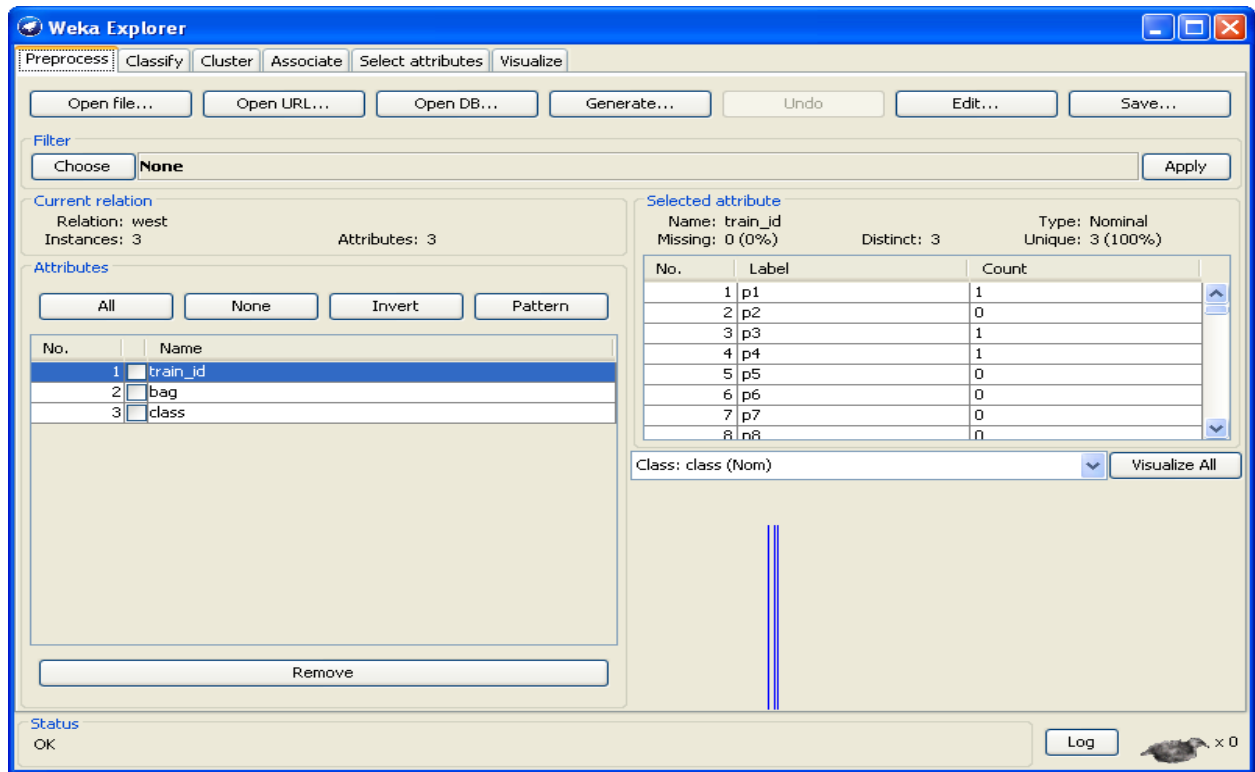
Σχήμα 4.15 Μορφή Δεδομένων από τη Βιβλιοθήκη του Wii

Στη συνέχεια μέσω της βιβλιοθήκης Weka του Matlab μετατρέπονται τα δεδομένα αυτόματα σε μορφή arff για να είναι συμβατά με το Weka και η μορφή τους φαίνεται στο σχήμα 4.16.

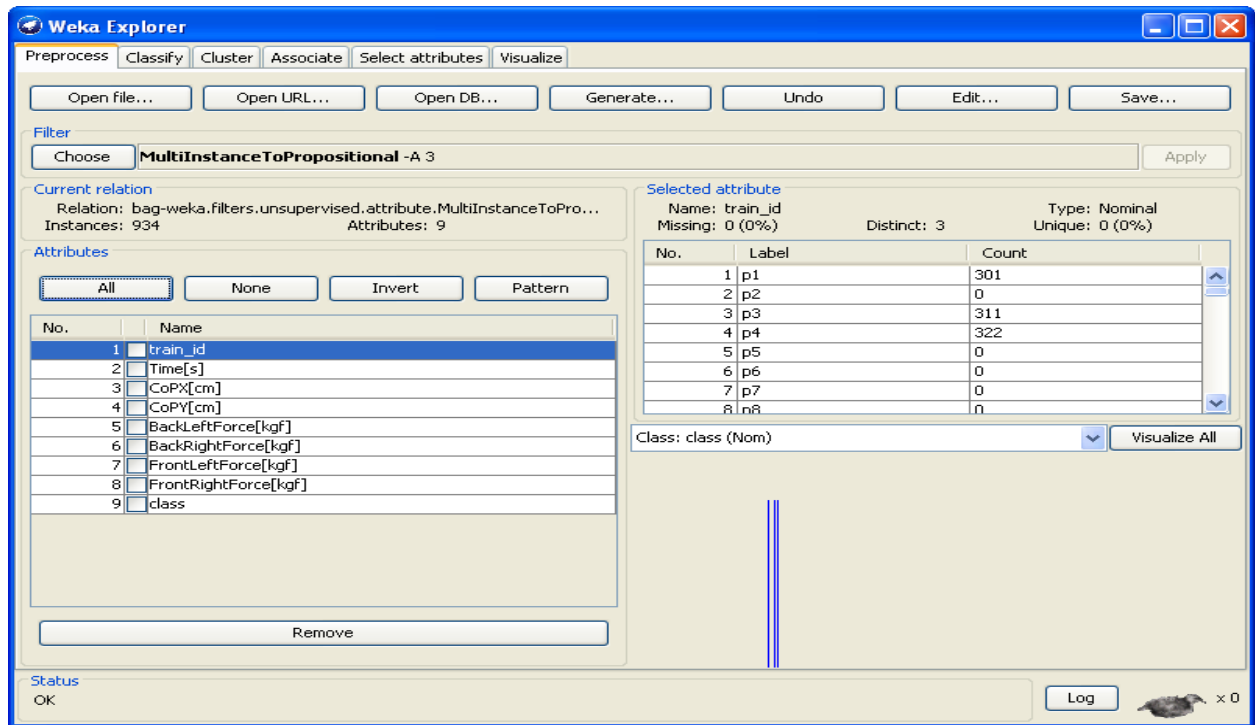
```
1 @relation vest
2
3 @attribute train_id {p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10,p11,p12,p13,p14,p15,p16,p17,p18,p19,p20,p21,p22,p23,p24,p25,p26,p27,p28,p29,p30,p31,p32,p33,p34,p35,p
4 @attribute bag relational
5 @attribute Time[s] numeric
6 @attribute CoPX[cm] numeric
7 @attribute CoPY[cm] numeric
8 @attribute BackLeftForce[kgf] numeric
9 @attribute BackRightForce[kgf] numeric
10 @attribute FrontLeftForce[kgf] numeric
11 @attribute FrontRightForce[kgf] numeric
12 @end bag
13
14 @attribute class {1,2,3,4}
15
16 @data
17
18 p1,"2778.00000,92.59869,-0.48354,-3.36682,27.96540,22.98914,13.27252\n2779.00000,92.65577,-0.35334,-3.35891,27.79433,23.11821,13.17964\n2780.00000,92.684
19 p3,"1013.00000,33.76536,0.86108,-2.36998,21.60925,23.33444,14.79703\n1014.00000,33.81989,0.76006,-2.38480,21.69558,23.13570,14.76751\n1015.00000,33.85290
20 p4,"1516.00000,50.53099,1.21563,-2.16681,20.78432,23.48585,14.95442\n1517.00000,50.58925,1.27071,-2.35090,21.01454,23.93065,14.68882\n1518.00000,50.62018
```

Σχήμα 4.16 Arff Μορφή Δεδομένων

Το αρχικό παράθυρο του Weka με τα δεδομένα φαίνεται στο σχήμα 4.17. Για να μπορέσει το σύστημα να κάνει ταξινόμηση εφαρμόζουμε το φίλτρο MultilInstanceToPropositional (σχήμα 4.18). Αυτό συμβαίνει επειδή οι μεταβλητές που συμβάλλουν στην ταξινόμηση δεν παίρνουν μία τιμή αλλά πολλαπλές. Για να είναι αυτό εφικτό ομαδοποιούμε τα δεδομένα μας (με τα attribute bag, end bag) και μέσα σε αυτό εισάγουμε τα υπόλοιπα δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε το να έχει το Weka τη δυνατότητα για κάθε μεταβλητή, όπως το bag left force, πολλαπλές τιμές, οι οποίες χωρίζονται με “\n”.



Σχήμα 4.17 Περιβάλλον Weka πριν την Εφαρμογή του Φίλτρου



Σχήμα 4.18 Περιβάλλον Weka μετά την Εφαρμογή του Φίλτρου

Η διασύνδεση του Matlab με το Weka πραγματοποιήθηκε, στο εργαστήριο, με επιτυχία. Λόγω έλλειψης περιστατικών και ασθενών δεν πραγματοποιήθηκαν πολλές μετρήσεις και δεν έγινε η επιθυμητή ταξινόμηση των δεδομένων.

4.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- [1] WiiLAB (v1.1) University of Notre Dame by Jordan Brindza and Jessica Szweda (2008).
- [2] Wii Balance Board Operations Manual, Nintendo.
- [3] <http://www.brianpeek.com>.
- [4] <http://www.codeplex.com/WiimoteLib>.
- [5] <http://www.wiimotelib.org>.
- [6] <http://blogs.msdn.com/coding4fun/archive/2007/03/14/1879033.aspx>.
- [7] <http://netscale.cse.nd.edu/twiki/bin/view/Edu/WiiMote>.
- [8] <http://klab.wikidot.com/wii-proj>.
- [9] [http://wiibrew.org/wiki/Wii Balance Board](http://wiibrew.org/wiki/Wii_Balance_Board).
- [10] <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.
- [11] <https://list.scms.waikato.ac.nz/mailman/listinfo/wekalist>.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Με βάση των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, η διαταραχή ή η απώλεια της αιθουσαίας λειτουργίας καθιστά πρακτικά αδύναμο το άτομο να ανταποκριθεί στις καθημερινές του δραστηριότητες. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του λίγγου που εμφανίζεται στον ασθενή και των συμπτωμάτων από το αυτόνομο νευρικό του σύστημα. Η διάγνωση της ασθένειας δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη διότι στηρίζεται στο συνδυασμό του ιστορικού και της πλήρους νευροτολογικής εξέτασης του ασθενή. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την αποτελεσματική διάγνωση της πάθησης, όπως η ηλεκτρονυσταγμογραφία, η βιντεονυσταγμογραφία, η μέτρηση των μυογενών δυναμικών και η ισορροπομετρία.

Όσον αφορά τη μέθοδο της ισορροπομετρίας, ιδιαίτερη βοήθεια προσφέρει η πλατφόρμα του Wii. Η πλατφόρμα αυτή παρουσιάζει ευρεία χρήση σε ασθενείς με αιθουσαίες διαταραχές, όπου συμβάλει στην αιθουσαία αντιρρόπηση εξαλείφοντας τον νυσταγμό μέσα σε λίγες μέρες. Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη της εφαρμογής για την αξιολόγηση της αιθουσαίας ανεπάρκειας μέσω της φορητής και οικονομικής πλατφόρμας Wii.

Η περαιτέρω, μελλοντική, ανάπτυξη της εφαρμογής μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική και οικονομική μέθοδο για τη διάγνωση της νόσου. Τα βήματα που απαιτούνται είναι η καλύτερη διασύνδεση του Matlab με το Weka, και ο μεγάλος αριθμός περιστατικών και ασθενών, έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν πολλές μετρήσεις, για να γίνει η επιθυμητή ταξινόμηση των δεδομένων.

Παράρτημα 1

Το Εργαλείο MATLAB

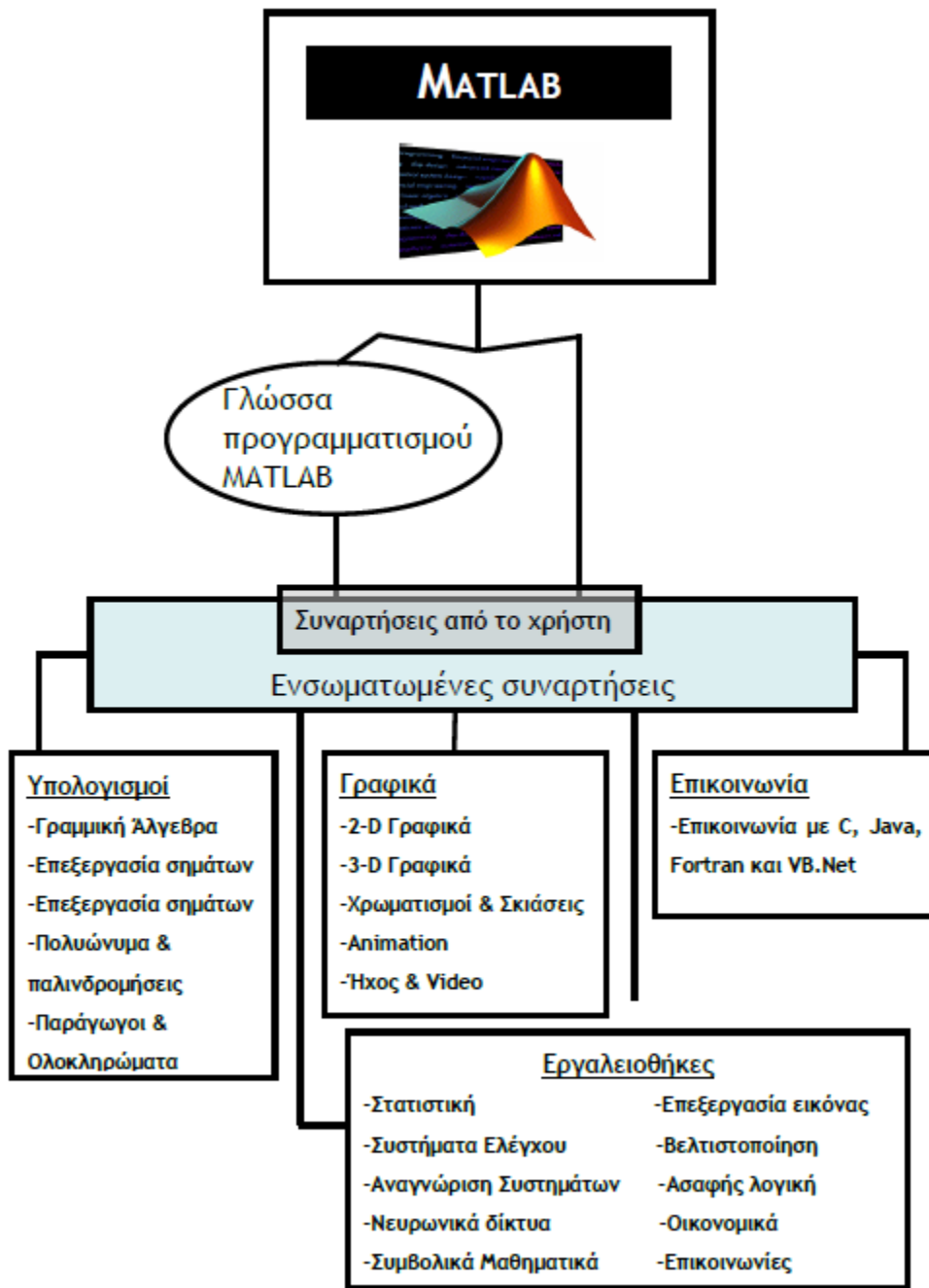
Το Matlab είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιείται για τεχνικούς υπολογισμούς. Προκύπτει από τα αρχικά των λέξεων **MATrix** **LAB**oratory και η λειτουργία του βασίζεται κυρίως στη χρήση πινάκων τα στοιχεία των οποίων μπορεί να είναι πραγματικοί ή μιγαδικοί αριθμοί. Σχεδιάστηκε εξ αρχής για μαθηματικούς σκοπούς, για να κάνει δυνατή την υπολογιστική επίλυση απλών και σύνθετων μαθηματικών προβλημάτων. Παρέχει στο χρήστη ένα διαδραστικό περιβάλλον με χιλιάδες ενσωματωμένες συναρτήσεις, κατάλληλες για την υλοποίηση απαιτητικών υπολογιστικών αναλύσεων, γραφημάτων καθώς επίσης και για την παραγωγή διαφόρων *animations*. Προγράμματα γραμμένα σε MATLAB είναι γενικά σαφή και εύκολα αντιληπτά. Η γλώσσα είναι αυστηρά δομημένη, όσον αφορά τη σύνταξη των εντολών της, και έτσι πολλά από τα συντακτικά λάθη προγραμματισμού μπορούν να ανακαλυφθούν κατά την εκτέλεση του προγράμματος παρέχοντας σημαντική ασφάλεια στον προγραμματιστή. Η δυνατότητά του να κάνει συμβολικές πράξεις αλλά και ο μεγάλος αριθμός έτοιμων βιβλιοθηκών το κατατάσσει στα καλύτερα στην κατηγορία του.

Δημιουργήθηκε από τον Cleve Moler στη δεκαετία του 1970, αρχικά σαν εργαλείο διαχείρισης των βιβλιοθηκών της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN: Linpack (γραμμική άλγεβρα) και Eispack (ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα). Είναι ένα διαδραστικό σύγχρονο εργαλείο του οποίου βασικό στοιχείο είναι η διάταξη (array). Αυτό μας επιτρέπει τη λύση πολλών υπολογιστικών προβλημάτων, ιδιαίτερα όσων περιλαμβάνουν σχηματισμούς πινάκων και διανυσμάτων σε χρόνο μικρότερο απ' ό τι απαιτούν οι γλώσσες προγραμματισμού Fortran και C.

Το Matlab αποτελεί ένα εξελιγμένο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της επιστήμης αλλά βέβαια και της πράξης, όπως για παράδειγμα τη μηχανική, την ιατρική, τις θετικές επιστήμες, την οικονομία καθώς και γενικά τη βιομηχανική παραγωγή. Μάλιστα, το φάσμα των εφαρμογών του συγκεκριμένου πακέτου λογισμικού διευρύνεται συνεχώς και περισσότερο, αναδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο τις πολλαπλές δυνατότητες του, όπως:

- Υψηλή απόδοση και ταχύτητα υπολογιστικών αναλύσεων.
- Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών συστημάτων.
- Δυνατότητα υλοποίησης αλγορίθμων.
- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με πληθώρα άλλων προγραμμάτων και εφαρμογών.
- Υψηλής ποιότητας γραφικές απεικονίσεις και *animations*.
- Δυνατότητα σύνδεσης με διάφορες συσκευές καταγραφής.
- Φιλικότητα προς το χρήστη και διαδραστικός χαρακτήρας.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κύρια χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του Matlab.



Σχήμα 1 Βασικά Χαρακτηριστικά του MATLAB