

Στοιχεία Φυσιολογίας του Συστήματος της Ακοής

ΑΝΕΣΤΗΣ ΨΗΦΙΔΗΣ

Η ανθρώπινη επικοινωνία είναι η πιο σημαντική διάσταση της λειτουργικής σχέσης μεταξύ των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Η ικανότητα που έχει ο άνθρωπος να επικοινωνεί με το περιβάλλον διασφαλίζεται με αισθητήριες και κινητικές λειτουργίες και με την εγκεφαλική λειτουργία.

Η ομιλία αποτελεί τη κύρια και βασική λειτουργία της ανθρώπινης επικοινωνίας. Ο προφορικός λόγος είναι το κύριο μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων. Η **γλώσσα** είναι ένας κώδικας, ένα συμβατικό σύστημα αυθαίρετων συμβόλων, για επικοινωνία. Τα πιο σημαντικά είδη γλώσσας είναι η γλώσσα των σημάτων ή νευμάτων ή **νοηματική γλώσσα**, η **προφορική γλώσσα** και η αλφαβητική ή **γραπτή γλώσσα**.

Η ακοή είναι η κύρια και βασική αισθητήρια λειτουργία για την ανάπτυξη της ομιλίας. Η φυσιολογική ανάπτυξη της ομιλίας προϋποθέτει την ύπαρξη φυσιολογικής ακοής και φυσιολογικής εγκεφαλικής λειτουργίας από τα πρώτα χρόνια της ζωής. Ο πρώτος χρόνος της ζωής χαρακτηρίζεται ως **περίοδος ετοιμότητας για ακοή** και ο δεύτερος χρόνος ως **περίοδος ετοιμότητας για ομιλία**. Τα πρώτα τρία χρόνια της ζωής, είναι η κρίσιμη περίοδος για την φυσιολογική ανάπτυξη της ομιλίας, είναι η περίοδος κατά την οποία ο άνθρωπος εγκεφαλος έχει μέγιστη **πλαστικότητα**, την ικανότητα δηλαδή να αναπτύσσει δεσμούς μεταξύ των αισθητήριων και κινητικών λειτουργιών, όπως είναι ο δεσμός μεταξύ της ακοής και της ομιλίας. Στο 3ο έτος της ζωής ολοκληρώνεται το αισθητήριο (ακοή)-νοητικό(εγκεφαλος)- κινητικό κύκλωμα (ομιλία), εγκαθίσταται δηλαδή ο προφορικός λόγος.

Οι διαταραχές της ακοής, δηλαδή η βαρηκοΐα ή κώφωση, στα πρώτα 3 χρόνια της ζωής έχουν σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση ή ατελή ανάπτυξη ή αδυναμία της ομιλίας και επομένως τις διάφορες διαταραχές λεκτικής επικοινωνίας στα παιδιά.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ. ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΑΚΟΗ. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ

Η ακοή είναι η αισθητήρια λειτουργία με την οποία ο άνθρωπος προσλαμβάνει και αναγνωρίζει τους ήχους στο φυσικό ακουστικό του περιβάλλον. Οι ήχοι είναι είτε απλοί ή τόνοι, ή σύνθετοι ήχοι ή φθόγγοι της ομιλίας και της μουσικής. Η ακοή υπάρχει πριν και μετά από τη γέννηση του ανθρώπου και εξελίσσεται σύμφωνα με το ακουστικό περιβάλλον του. Το αισθητήριο σύστημα της ακοής έχει διαφοροποιηθεί, κατά την εξέλιξη του ανθρώπου, έτσι ώστε να προσλαμβάνει, να διακρίνει και να αναγνωρίζει τους σύνθετους ήχους της ανθρώπινης ομιλίας, δεδομένου ότι η ομιλία είναι το κύριο μέσο της ανθρώπινης επικοινωνίας. Από το αρχέγονο αισθητήριο της ισορροπίας, την πλάγια γραμμή (lateral line) της αρχέγονης μορφής ψαριού, του κυπρίνου, διαφοροποιήθηκε η ακουστική κύστη που εξυπηρετούσε την ακοή και ισορροπία μέσα στο υγρό στοιχείο των νεότερων ψαριών και στη συνέχεια στο στατοακουστικό όργανο των ερπετών και των κατώτερων θηλαστικών που εξυπηρετούσε την ακοή και ισορροπία στο υγρό και στο αέρινο περιβάλλον. Η τελειοποίηση του στατοακουστικού οργάνου στον άνθρωπο εξυπηρετεί τις ανάγκες ακουστικής επικοινωνίας με το φυσικό του περιβάλλον και τις ανάγκες ακουστικής και λεκτικής επικοινωνίας με τους άλλους.

Η ομιλία είναι η έμφυτη ικανότητα του ανθρώπου που τον διακρίνει μέσα στο ζωικό βασίλειο. Δεν υπάρχει με τη γέννηση, αλλά αναπτύσσεται σταδιακά με την εγκατάσταση του αισθητήριου-νοητικού-κινητικού κυκλώματος. Υπάρχει στενός δεσμός μεταξύ ακοής και ομιλίας, αφού προϋπόθεση για την φυσιολογική ανάπτυξη της ομιλίας είναι η ύπαρξη φυσιολογικής ακοής.

Οι ψυχοβιολογικές παράμετροι της ακοής είναι η ακουστότητα, το ύψος του τόνου και η χροιά του ήχου.

Η **ακουστότητα** είναι η αίσθηση της έντασης του ήχου. Με βάση

αυτή την αντίληψη καταλαβαίνουμε τους ήχους ως δυνατούς ή σιγα-
νούς. Το **ύψος του τόνου** είναι η αντίληψη της συχνότητας του ήχου,
που τον καταλαβαίνουμε ως υψηλής, μεσαίας ή χαμηλής συχνότητας. Η
χροιά του ήχου είναι η αντίληψη της βασικής συχνότητας ως και των
αρμονικών συχνοτήτων που παράγονται από μια ηχητική πηγή. Έτσι
καταλαβαίνουμε εάν μια νότα προέρχεται από βιολί ή από κιθάρα ή εάν
η φωνή που ακούμε είναι φωνή μικρού παιδιού ή μεγάλου ανθρώπου,
γυναίκας ή άνδρα, γνωστού ή αγνώστου.

Η σχέση ακουστότητας και φυσικής έντασης του ήχου είναι λογα-
ριθμική. Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας είναι το dB. Το 0 dB εί-
ναι η ελάχιστη ένταση του ήχου που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος και
ισοδυναμεί με 10^{-5} dyn/cm². (Το θρόισμα των φύλλων έχει ένταση που
αντιστοιχεί σε ακουστότητα 10 dB). Η μέγιστη ακουστότητα είναι 120
dB που αντιστοιχεί σε $10.000.000$ dyn/cm² (απογείωση αεριοθωμένου).
Η ανθρώπινη ομιλία έχει ένταση που, σε απόσταση ενός μέτρου από το
αντί μας, αντιστοιχεί με ακουστότητα 60 dB.

Το φάσμα των ακουστών συχνοτήτων στον άνθρωπο εκτείνεται α-
πό 20-20.000 Hz. Οι μη ακουστοί ήχοι αποκαλούνται υπόηχοι (< 20 Hz)
και υπέρηχοι (> 20.000 Hz).

Το σύστημα της ακοής του ανθρώπου έχει τη καλύτερη ευαισθησία
στο φάσμα των συχνοτήτων της ομιλίας που εκτείνεται από 250-8.000
Hz και τη καλύτερη διακριτική ικανότητα στις μεσαίες συχνότητες
1000-2000 Hz.

Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ

Οι ιδιότητες του ακουστικού συστήματος οφείλονται στην ιδιαίτερη α-
νατομική κατασκευή του, στις μηχανικές ακουστικές ιδιότητες του έξω
ακουστικού πόρου, του μέσου αυτιού και του κοχλία, στις μηχανοηλε-
κτρικές ιδιότητες του κοχλία, στις νευροηλεκτρικές ιδιότητες του ακου-
στικού νεύρου και της κεντρικής ακουστικής οδού.

Στο περιφερικό τμήμα του συστήματος της ακοής (περιφερικό α-
κουστικό όργανο αυτί) επιτελούνται τα μηχανικά φαινόμενα της ακοής,
που είναι η **υποδοχή**, η **ενίσχυση** του ήχου, ο **μετασχηματισμός** της η-
χητικής ενέργειας σε άλλη μορφή μηχανικής ενέργειας, όπως θερμική
και υδραυλική, η **μεταφορά** της ηχητικής ενέργειας από το σύστημα α-

γωγής του ήχου (εξωτερικό και μέσο αυτί), στο αισθητήριο σύστημα (εσωτερικό αυτί, κοχλίας), όπου γίνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική στα έξω τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti (**μηχανοηλεκτρική μετατροπή**).

Για να γίνει δυνατή η μεταφορά των ηχητικών κυμάτων και της ηχητικής πίεσης πρέπει αυτή να ενισχυθεί από την είσοδο του έξω ακουστικού πόρου μέχρι την ωοειδή θυρίδα κατά 22 φορές. Η ενίσχυση αυτή επιτυγχάνεται με την **ενέργεια μογλού** και την **υδραυλική ενέργεια** (βλ. Ωτορινολαρυγγολογία, καθηγήτῆ Ι. Δανιηλίδη).

Έτσι γίνεται δυνατή η μετακίνηση της λέμφου μέσα στο κοχλία (ταξιδεύον κύμα του Von Bekesy), η μηχανική ταλάντωση του οργάνου του Corti που προκαλεί τη μηχανική διέγερση (κάμψη) των ακουστικών τριχών των τριχωτών κυττάρων. Η διέγερση είναι **τονοτοπική**, δηλαδή διεγείρονται οι ακουστικές τρίχες των τριχωτών κυττάρων που αντιστοιχούν στη διεγείρουσα συχνότητα. Η διέγερση των τριχών μεταβάλλει το δυναμικό ηρεμίας των τριχωτών κυττάρων (**ενδοκοχλιακό δυναμικό**), δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα, που μεταβιβάζεται, με χημικό μεσολαβητή, στη σύναψη κυττάρου-νευρικής ίνας. Στο κοχλία, όπου ο ήχος από μηχανικό φαινόμενο μετατρέπεται σε ηλεκτρικό, επιτελούνται, χάρι στις μηχανικές του ιδιότητες, οι διεργασίες της ενίσχυσης και της ανάλυσης του ήχου (**τονοτοπική ανάλυση**). Τα νέα δεδομένα γύρω από τις γραμμικές και μη γραμμικές μηχανικές ιδιότητες του βασικού υμένα του κοχλία και των έξω τριχωτών κυττάρων, οδήγησαν από τη **θεωρία του ταξιδεύοντος κύματος (traveling wave theory to Von Bekesy, βραβείο Nobel 1961)** για την ερμηνεία του μηχανισμού της ακοής, στη νέα γνώση για την ερμηνεία της **κοχλιακής ενίσχυσης και της κοχλιακής αντήχησης (ωτοακουστικές εκπομπές του Kemp, 1978)**.

Το ηλεκτρικό ρεύμα διεγείρει τις 10.000 νευρικές ίνες του ακουστικού νεύρου (**νευρική ώση - δυναμικό νευρικής ενέργειας**). Η διέγερση είναι τονοτοπική. Έτσι οι φυσικοί χαρακτήρες του ήχου, ένταση και συχνότητα, κωδικοποιούνται με τη νευρική διέγερση και μεταβιβάζονται στους κοχλιακούς πυρήνες στο εγκεφαλικό στέλεχος. Η διέγερση των 100.000 νευρώνων των κοχλιακών πυρήνων, που είναι ο πρώτος σταθμός της κεντρικής ακουστικής οδού, είναι τονοτοπική (**τονοτοπική**

ανάλυση).

Η κεντρική μεταβίβαση του ηχητικού σώματος είναι πολύπλοκη και ανεξερεύνητη. Στο κεντρικό ακουστικό σύστημα γίνεται **χωροχρονική ανάλυση** της συχνότητας και της έντασης του ήχου (temporal spatial pattern), που μεταβιβάζονται κωδικοποιημένες στα προτεύοντα ακουστικά κέντρα του κροταφικού λοβού του εγκεφάλου.

Στα ακουστικά κέντρα γίνεται η αποκωδικοποίηση του ακουστικού σήματος και η ολοκλήρωση της ακουστικής πληροφορίας που μεταβιβάζεται στο **αισθητηριακό κέντρο του λόγου (Wernicke)** και στο **κινητικό κέντρο του λόγου (Broca)**.

Στο συνειρμικό ακουστικό φλοιό γίνεται η μνημονική εγχάραξη του λόγου (αποθήκευση της ακουστικής πληροφορίας - **ακουστική μνήμη**).

Από το κινητικό κέντρο του λόγου, μεταβιβάζονται εντολές στα κινητικά νεύρα που νευρώνουν το σύστημα άρθρωσης της ομιλίας (προφορικός λόγος).

Ο λόγος είναι φλοιϊκή λειτουργία και περιλαμβάνει ιδεακό, αισθητηριακό και κινητικό μέρος (έκφραση και κατανόηση του προφορικού και του γραπτού λόγου).

Περιφερικές ακουστικές βλάβες που καταργούν πλήρως το σύστημα αγωγής του ήχου προκαλούν μέγιστη βαρηκοΐα αγωγιμότητας 65 dB. Βαρηκοΐα μεγαλύτερη από 65 dB είναι νευροαισθητηριακή και μπορεί να φθάσει μέχρι τη πλήρη κώφωση. Η βλάβη μπορεί να αφορά μόνο το κοχλία ή και το ακουστικό νεύρο.

Η αμφοτερόπλευρη μεγάλου βαθμού νευροαισθητηρία βαρηκοΐα στη πρώιμη παιδική ηλικία προκαλεί αναστολή ή καθυστέρηση στην ανάπτυξη της ομιλίας και διαταραχές ακουστικής και λεκτικής επικοινωνίας.

Κεντρικές ακουστικές διαταραχές στα παιδιά που οφείλονται σε νευροανατομικές ή νευροφυσιολογικές βλάβες του ΚΝΣ (αναπτυξιακές, εκφυλιστικές, απομυελινωτικές, νεοπλασματικές, κλπ.) ή σε ψυχολογικές ή ψυχικές, λειτουργικές ή οργανικές παθήσεις προκαλούν αναστολή ή καθυστέρηση στην ανάπτυξη του λόγου, ενώ η περιφερική ακοή είναι συνήθως φυσιολογική.

Βλάβη του αισθητηριακού κέντρου του λόγου προκαλεί **αισθητηριακή αφασία** δηλ. αδυναμία κατανόησης των λέξεων που ακούμε (**ακου-**

στική αφασία ή λεκτική κώφωση) ή που βλέπουμε γραμμένες (**αλεξία ή οπτική αφασία**).

Η δυσκολία στην ανάγνωση και στη γραφή χαρακτηρίζεται ως **δυσλεξία**.

Βλάβη στο κινητικό κέντρο του λόγου προκαλεί **κινητική αφασία** (δυσαρθρία).

Αμφοτερόπλευρη κροταφική βλάβη προκαλεί **ακουστική αγνωσία** δηλ. αδυναμία αναγνώρισης αντικειμένων από τον ήχο τους.

Αμφοτερόπλευρη βλάβη στο συνειρμικό ακουστικό φλοιό προκαλεί **αμουσία** δηλ. αδυναμία αναγνώρισης ρυθμού και μουσικής.

Η διάγνωση της βαρηκοΐας γίνεται με υποκειμενικές ή ψυχοφυσικές μετρήσεις που βασίζονται στα ψυχοφυσικά φαινόμενα της ακοής (ανιχνευτική, τονική και ομιλητική ακουομετρία) καθώς και με αντικειμενικές ή ηλεκτροφυσιολογικές μεθόδους που βασίζονται στις μηχανικές ιδιότητες (τυμπανομετρία, ακουστικά αντανακλαστικά, ωτοακουστικές εκπομπές) και στις νευροφυσιολογικές ιδιότητες του ακουστικού συστήματος (ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους και φλοιού).