

'' ΗΧΗΤΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΚΟΗΣ ''

Ζούμε σε ένα θορυβώδες περιβάλλον. Το πώς έγινε η μουσική συνώνυμη με το θόρυβο τις δύο τελευταίες δεκαετίες δεν έχει να κάνει πάρα πολύ με την πολιτιστική πρόοδο - μπορεί μόνο με την τεχνολογική. Το πώς φτάσαμε να έχουμε στάθμες πάνω από 120dB (A) σε ντισκοτέκ και συναυλίες ροκ, το γιατί οι νέοι αντέχουν και αγαπούν τέτοιο θορυβώδες περιβάλλον, είναι ερωτήματα, στα οποία οι απαγορεύσεις των ψυχρών αριθμών των νομοθεσιών δεν μπορούν να είναι η μόνη απάντηση. Οι νέοι θεωρούν αυτά τα θορυβώδη μέρη σαν διεγερτικά που _πάνε_ με την ενθουσιώδη νεανική τους συμπεριφορά. Αυτό ονομάστηκε κοινωνικό φαινόμενο του θορύβου.

Του [Λίβιου Ζαϊνέα](#)

Η οδηγία 86/188 της ΕΟΚ προς εφαρμογή στην Ελλάδα και το standard I.S.O. 1999/1990 αναφέρονται στον εργασιακό θόρυβο και την ελάττωση της ακοής που προκαλεί. Για όσους εργάζονται σε όλα τα είδη _κέντρων_ ο θόρυβος που προκαλείται από τη μουσική είναι εργασιακός. Βρέθηκε ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ απωλειών ακοής των μουσικών, (πρώτοι τη τάξει ενδιαφερόμενοι) και των υπολοίπων πέρα από τις αναμενόμενες απώλειες του γήρατος και της μη επαγγελματικής έκθεσης.

Η απώλεια ακοής είτε προσωρινή (T.T.S.) είτε μόνιμη (P.T.S.) είναι αποτέλεσμα των φυσιολογικών, βιοχημικών και ανατομικών αλλαγών των τριχωτών κυττάρων ή άλλων τμημάτων του κοχλίου του περιφερειακού ακουστικού συστήματος.

Τα τριχωτά κύτταρα είναι δυνατόν να καταστραφούν εξαιτίας του θορύβου, της ηλικίας, κάποιας ασθένειας ή φαρμάκων. Η θεωρία που κυκλοφόρησε πριν λίγα χρόνια, ότι αυτά τα κύτταρα δεν αντικαθίστανται από άλλα και δεν ναπαράγονται φαίνεται ότι υπάρχει ελπίδα να μην ισχύει.

Οι προσπάθειες εκτίμησης του κανόνα σύμφωνα με τον οποίο βάσει της ενέργειας που φθάνει στο ακουστικό σύστημα προβλέπονται και οι ανάλογες απώλειες ακοής είναι άλλο ένα σημείο που οι έρευνες προσπαθούν συνεχώς να βρουν άκρη. Φαίνεται ότι τουλάχιστον η κόπωση που παράγεται από το θόρυβο στο περιφερικό ακουστικό σύστημα είναι αναπόφευκτη.

Ερευνητές θεωρούν, ότι επειδή οι μεγάλες ηχητικές εντάσεις εμποδίζουν την επικοινωνία σε αποστάσεις λίγων μέτρων, εκείνοι, που ψάχνουν γνωριμίες με το αντίθετο φύλο νιώθουν αυτό το περιβάλλον προστατευτικό. Εκεί δεν χρειάζεται να κάνουν επίδειξη ευφυΐας, πνεύματος ή κοινωνικών ικανοτήτων. Ο θόρυβος αυτός, που δυστυχώς είναι η μουσική, καθορίζει για τον καθένα την καθορισμένη περίμετρό του στον ανοικτό ή κλειστό χώρο της discoθήκης, του μπαρ κ.λπ.

Αυτός ο δυνατός θόρυβος στη διάρκεια του χορού επιτρέπει κινήσεις κοντά στον άλλον, πολύ πιο κοντά από τις νορμάλ συνθήκες. Οι ντισκοτέκ, οι συναυλίες ροκ, οι ταβέρνες, τα μπαρ, αλλά και οι συμφωνικές συναυλίες και, το λιγότερο γνωστό, τα στούντιο ηχογραφήσεων είναι μέρη όπου το ακουστικό σύστημα του ανθρώπου υποφέρει από προσωρινές μετατοπίσεις του κατώφλιου της αμφωπικής ακοής T.T.S. (Temporary Threshold Shift) μέχρι μόνιμες βλάβες - P.T.S. (Permanent Threshold Shift). Να μην ξεχνάμε και τη χρήση των personal stereo (Sony Walkman Type) με στάθμες μέχρι 128 dB (A) που δεν [NEXT](#) μετριούνται ούτε σε ένα, ούτε σε δέκα μέτρα από τον ακροατή

αλλά μόνο σε απόσταση κάποιων χιλιοστών από το τύμπανο [7]. Στην περίπτωση επαγγελματικής χρήσεως των ακουστικών από τους μουσικούς στο στούντιο ηχογραφήσεων οι επιπτώσεις στην ακοή είναι μεγαλύτερες.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΟΡΥΒΩΝ

Η ταξινόμηση κατά κατηγορίες του περιβαλλοντικού θορύβου δεν είναι ούτε απόλυτη, ούτε εύκολη. Αρχίζει με τους σταθερούς θορύβους, ή με αργές αλλαγές σε επίπεδο και φάσμα, όπως παράγεται από διάφορα μηχανήματα (π.χ. εξαερισμό), τις διάφορες στάθμες μέρα-νύχτα μιας κοινότητας και φθάνει σε πιο απότομες αλλαγές, όπως είναι οι ατμοσφαιρικοί θόρυβοι, η ενισχυμένη μουσική κ.λπ., που υπερέχουν των συνεχών θορύβων. Για την περιγραφή των ήχων με μέγιστη στιγμιαία μη σταθμισμένη ηχητική πίεση χρησιμοποιούνται οι όροι ωστικός και κρουστικός θόρυβος. Ωστικός θόρυβος είναι ο μεταβατικός θόρυβος που παράγεται σαν αποτέλεσμα μιας απότομης απελευθέρωσης ενέργειας (ηλεκτρική ή χημική) στην ατμόσφαιρα, όπως εκρηκτικά, όπλα, και φθάνει μέχρι 194 dB peak SPL.

Ο κρουστικός θόρυβος είναι αποτέλεσμα κρούσης δύο αντικειμένων από τη γρήγορη απελευθέρωση της ενέργειας και τον τρόπο μεταβίβασής της στο γύρω πεδίο. Θεωρείται, ότι για στάθμες κάτω από 140 dB peak SPL τα δύο είδη θορύβων συμπεριφέρονται παρόμοια χωρίς να κάνουμε διακρίσεις μεταξύ των δύο μεταβατικών. [30]

Αναφέρουμε τις τρεις βασικές παραμέτρους των παραπάνω:

- 1) Στιγμαίο επίπεδο πίεσης.
- 2) Μέση τιμή επανάληψης. (Θα δούμε ότι δημιουργεί υποτίμηση του κανόνα της ίσης ενέργειας).
- 3) Διάρκεια ή χρόνος απόσβεσης (είναι ο χρόνος για τον οποίο η περιβάλλουσα της πίεσης μειώνεται κατά 8.7 dB από το αρχικό κορυφαίο ύψος). [29]

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η ΕΟΚ προχώρησε με την οδηγία 86/188 ΕΟΚ στον καθορισμό: α) των ορίων της λεγόμενης ημερήσιας ατομικής ηχοέκθεσης ή πιο σωστά ημερήσιας στάθμης ηχοέκθεσης σε ντεσιμπέλ άλφα dB (A) και β) του εβδομαδιαίου μέσου όρου των ημερησίων τιμών ηχοέκθεσης, ή πιο σωστά τη στάθμη ανηγμένης μέσης ημερήσιας ηχοέκθεσης.

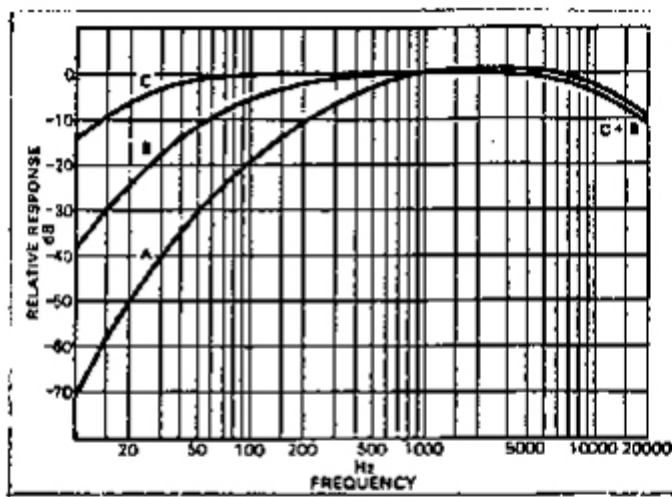
Το τρίτο μέγεθος, που προσδιορίζει η οδηγία είναι η μέγιστη στιγμιαία μη σταθμισμένη ηχητική πίεση που μετριέται σε Pascal (Pa) ή σε dB ως προς 20 μPa ως στάθμη αναφοράς. Η οδηγία ορίζει σαν επικίνδυνη στάθμη την περιοχή 85-90dB (A) ή 200 Pa (140 dB SPL) μέγιστη ηχητική πίεση. Σαν συνέχεια της οδηγίας (που δεν είναι απαραίτητη για την εφαρμογή της) λαμβάνεται υπόψη και ως στάθμη αναφοράς η στάθμη του κατώφλιου ακοής, ωτολογικά φυσιολογικών ατόμων μέσης ηλικίας (18-30 ετών) σε dB, που καθορίζει την ελάττωση της ακοής, που μετριέται με ειδικό όργανο (καθαροτονικό ακοόμετρο).

Αν για το όριο της ηλικίας 18-20 ετών η στάθμη ορίζεται σε 0 dB φυσικά για μεγαλύτερη η στάθμη μεγαλώνει σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

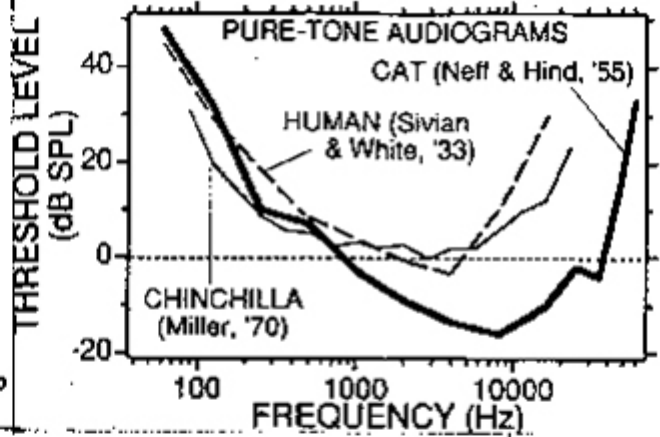
[ΟΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ dB A, B ΚΑΙ C](#)

Το Σχ 1 του Burns [53] δείχνει τα χαρακτηριστικά των καμπυλών A, B, C που αφορούν στις προδιαγραφές των ηχομέτρων. Οι

[NEXT](#)



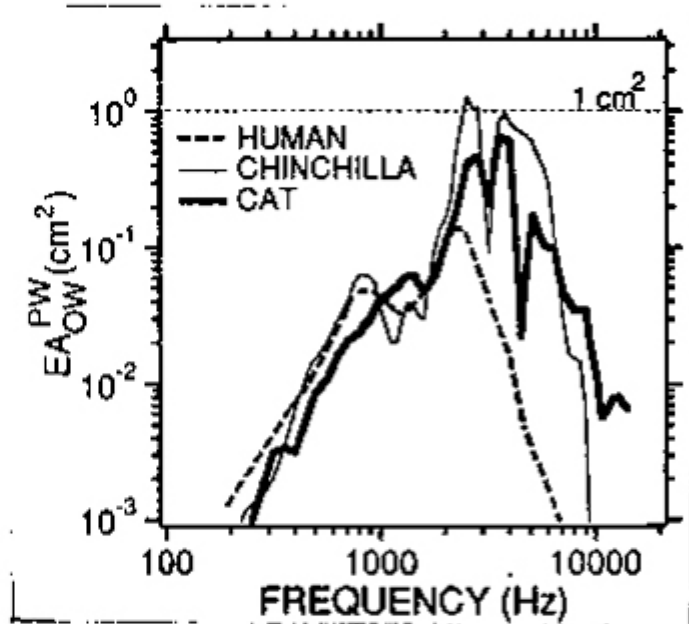
Σχῆμα 1



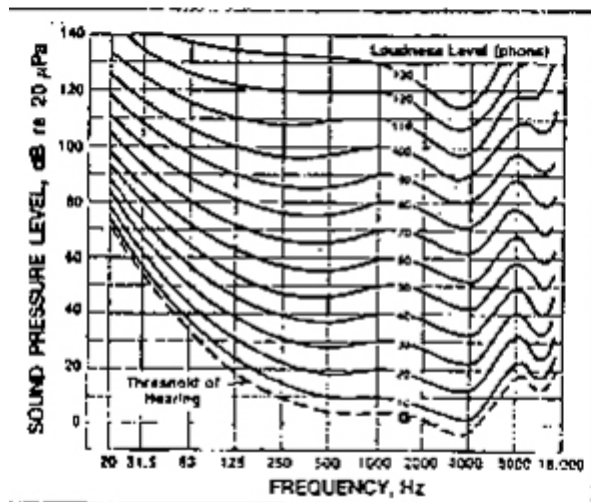
Σχῆμα 2

Πίνακας 1

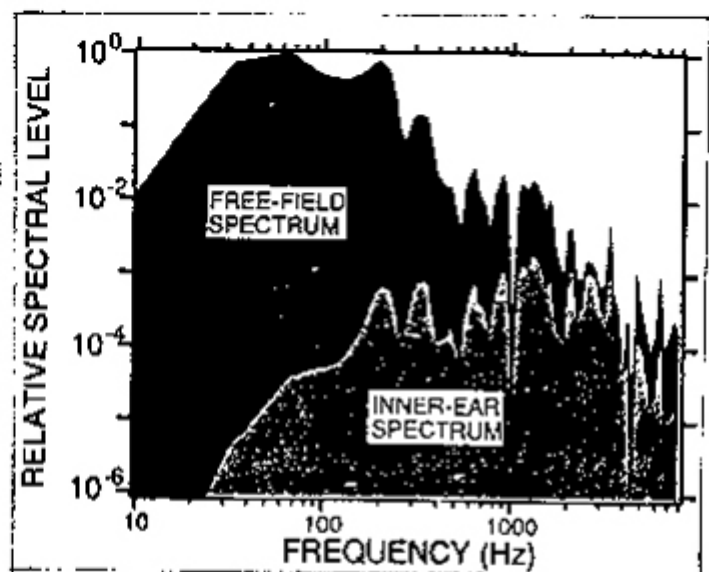
| Frequency Hz | Curve A dB | Curve B dB | Curve C dB |
|--------------|------------|------------|------------|
| 10 | -70.4 | -38.2 | -14.3 |
| 12.5 | -63.4 | -33.2 | -11.2 |
| 15 | -56.7 | -28.5 | -8.5 |
| 20 | -50.5 | -24.2 | -6.2 |
| 25 | -44.7 | -20.4 | -4.4 |
| 31.5 | -39.4 | -17.1 | -3.8 |
| 40 | -34.6 | -14.2 | -2.9 |
| 50 | -30.2 | -11.6 | -1.3 |
| 63 | -26.2 | -9.3 | -0.8 |
| 80 | -22.5 | -7.4 | -0.5 |
| 100 | -19.1 | -5.6 | -0.3 |
| 125 | -16.1 | -4.2 | -0.2 |
| 160 | -13.4 | -3.4 | -0.1 |
| 200 | -10.9 | -2.6 | 0 |
| 250 | -8.6 | -1.3 | 0 |
| 315 | -6.6 | -0.8 | 0 |
| 400 | -4.8 | -0.5 | 0 |
| 500 | -3.2 | -0.3 | 0 |
| 600 | -1.9 | -0.1 | 0 |
| 800 | -0.4 | 0 | 0 |
| 1000 | 0 | 0 | 0 |
| 1250 | 0.6 | 0 | 0 |
| 1600 | 1.0 | 0 | -0.1 |
| 2000 | 1.2 | -0.1 | -0.2 |
| 2500 | 1.5 | -0.2 | -0.3 |
| 3150 | 1.2 | -0.4 | -0.5 |
| 4000 | 1.0 | -0.7 | -0.8 |
| 5000 | 0.5 | -1.2 | -1.3 |
| 6300 | -0.1 | -1.5 | -2.0 |
| 8000 | -1.1 | -2.9 | -3.0 |
| 10000 | -2.0 | -4.3 | -4.4 |
| 12500 | -4.3 | -6.1 | -6.2 |
| 16000 | -6.6 | -8.4 | -8.5 |
| 20000 | -9.3 | -11.1 | -11.2 |



Σχῆμα 4



Σχῆμα 3



Σχῆμα 5

ακριβείς αξίες της κάθε στάθμης αναλογούν με την συχνότητα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Στην καμπύλη A, που δίνει και την ονομασία dBA, φαίνεται, ότι για την ίδια ηχητική στάθμη ένας τόνος των 50 Hz αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο που είναι 30 dB χαμηλότερο από τη στάθμη των 1000 Hz. Οποιαδήποτε στάθμη της ηχητικής πίεσης (SPL) σε dB χωρίς άλλη ένδειξη αντιστοιχεί σε μια στάθμη αναφοράς $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² ή 20 μPa, που σημαίνει, ότι η μέτρηση έγινε με ένα όργανο γραμμικής φασματικής απόκρισης.

Η καμπύλη C προσεγγίζει αυτήν την κατάσταση (50-5000Hz+1dB). Ειδικά στις ντισκοτέκ το άθροισμα των επιφανειών των μεγαφώνων χαμηλών συχνοτήτων για μεγάλες εντάσεις και ρυθμούς προσεγγίζει ένα ωσικό κύμα, που παράγει δευτερογενή θόρυβο, που ακινοβολείται και από άλλες επιφάνειες που δονούνται. Όλο αυτό το πεδίο των _εσωτερικών_ χαμηλών συχνοτήτων γίνεται ανιληπτό από τους ακροατές. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 των καμπυλών της ακουστότητας, στην περιοχή 250-4000 Hz οι παράλληλες καμπύλες διαφέρουν κατά 10 phons. Στην περιοχή 30-40 Hz για SPL 85-120 dB η διαφορά είναι λιγότερη των 5 phons. Στις δυσκοθήκες και αίθουσες συναυλιών, όπου ανάλογα με το είδος της μουσικής η ενέργεια συγκεντρώνεται για _αρκετό χρόνο στις χαμηλές συχνότητες (με πηγές από τα ντραμς ή από ηλεκτρικό μπάσο), η ύπαρξη μεμβρανών με μεγάλη επιφάνεια, είτε με μορφή θύρας ή παραθύρου, είτε ενσωματωμένων ατσάλινων μεμβρανών στις μονώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα μείωση της ηχητικής ενόχλησης κατά 15-17 dB. [7]

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή του έξω και μέσου ωτός καθορίζει μεγάλο μέρος της μορφής των ακοογραμμάτων. Τα τμήματα του περιφερικού ακουστικού συστήματος είναι:

α) Το έξω ους, που αποτελείται από το πτερύγιο, τον πόρο και την κόγχη και σε αυτά αφομοιώνονται και τα περιθλαστικά φαινόμενα της κεφαλής και του σώματος.

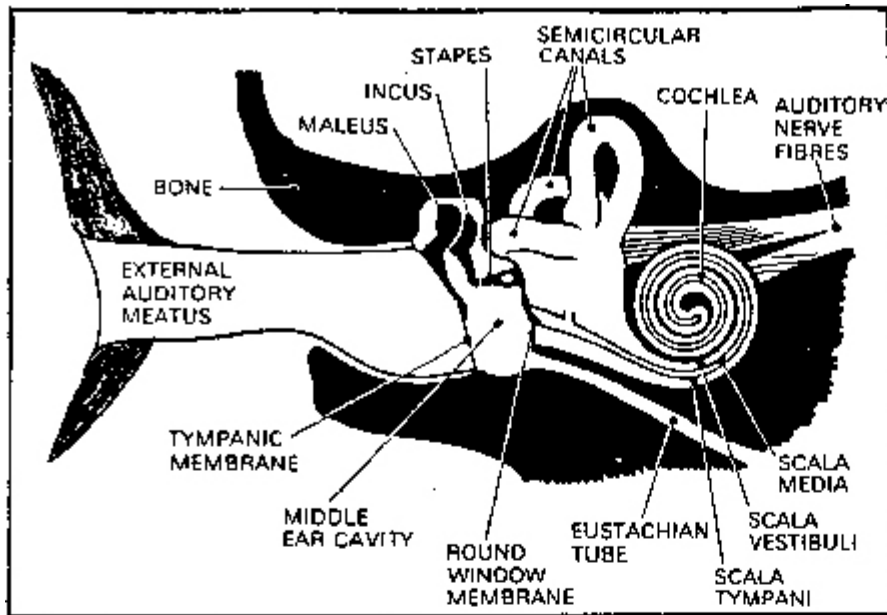
β) Το μέσον ους, που περιέχει το τύμπανο, τα οστάρια, ένα χώρο με αέρα και την ευσταχιανή σάλπιγγα.

γ) Το έσω ους, πλήρες ιξώδους υγρού, που περιέχει τη βασική μεμβράνη, το όργανο του Corti περιβαλλόμενα από οστούν και επίσης τις δύο θυρίδες στρογγυλή και ωοειδή, (όπου η ωοειδής καθορίζει την επιφάνεια του αναβολέα προς την είσοδο του κοχλίου).

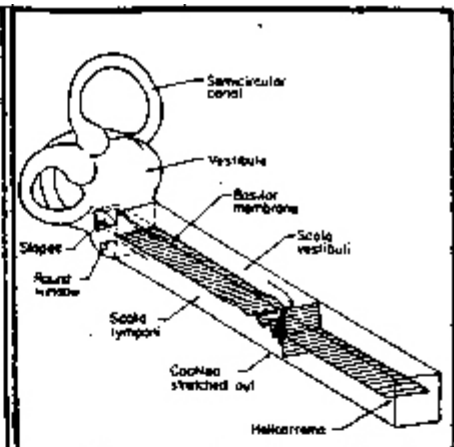
Το κατώφλιο ακοής ή το ακοόγραμμα παριστάνει το εξωτερικό ολοκλήρωμα ολοκλήρου του ακουστικού συστήματος. Το σχήμα 2 [2] δείχνει τρία αθοροστικά ακοογράμματα περιγράφοντας μόλις αισθητά επίπεδα της ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Παρατηρούμε συγκριτικά τα διαγράμματα που αντιπροσωπεύουν την ευαισθησία του ανθρώπου, της γάτας και του τσιντσιλά. Γιατί αυτή η σύγκριση; Επειδή στην έρευνα, από ηθική και νομοθετική πλευρά στις μεγάλες εντάσεις υπάρχουν κάποια όρια για τον άνθρωπο. Το τσιντσιλά διαθέτει ελάχιστα μεγαλύτερη ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες και η γάτα στις υψηλές. (Η περισσότερη έρευνα βασίζεται σε πειράματα που γίνονται εις βάρος αυτών των συμπαθητικών ζώων, στα οποία πρέπει να είμαστε ευγνώμονες).

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε κάθε τμήμα του αυτιού ανάλογα με τις επιπτώσεις στην ακοή. Το σχήμα 6 του Burns [33] και του Zweig/1991 δείχνουν τα ακουστικά του περιφερικού συστήματος και αντίστοιχα ένα απλό μοντέλο του έσω ωτός, όπου ο κοχλίας εμφανίζεται εκτυλιγμένος. Το σχήμα 8,

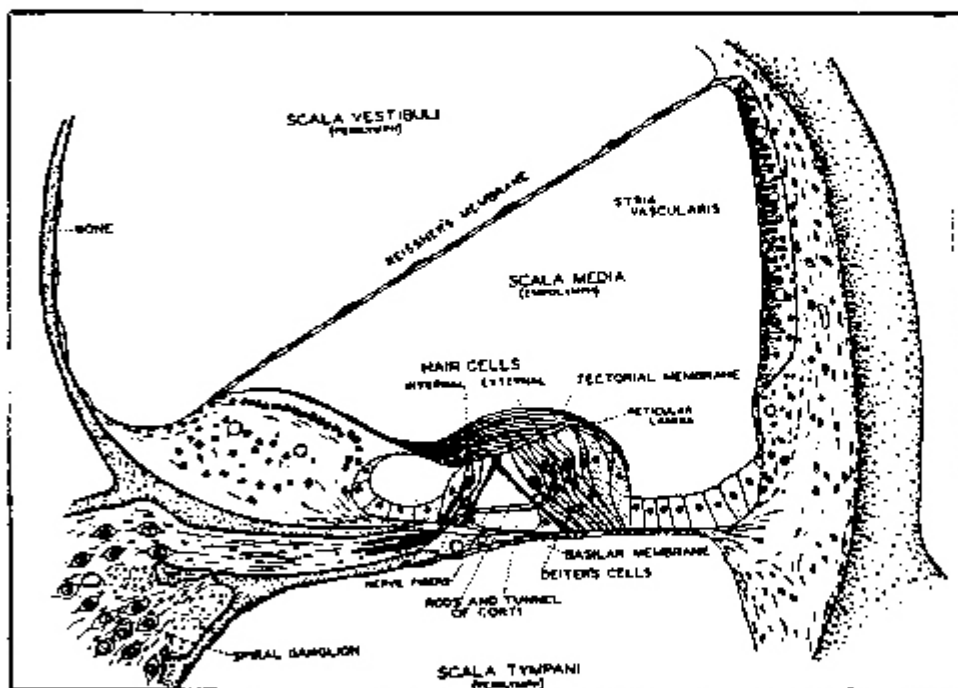
[NEXT](#)



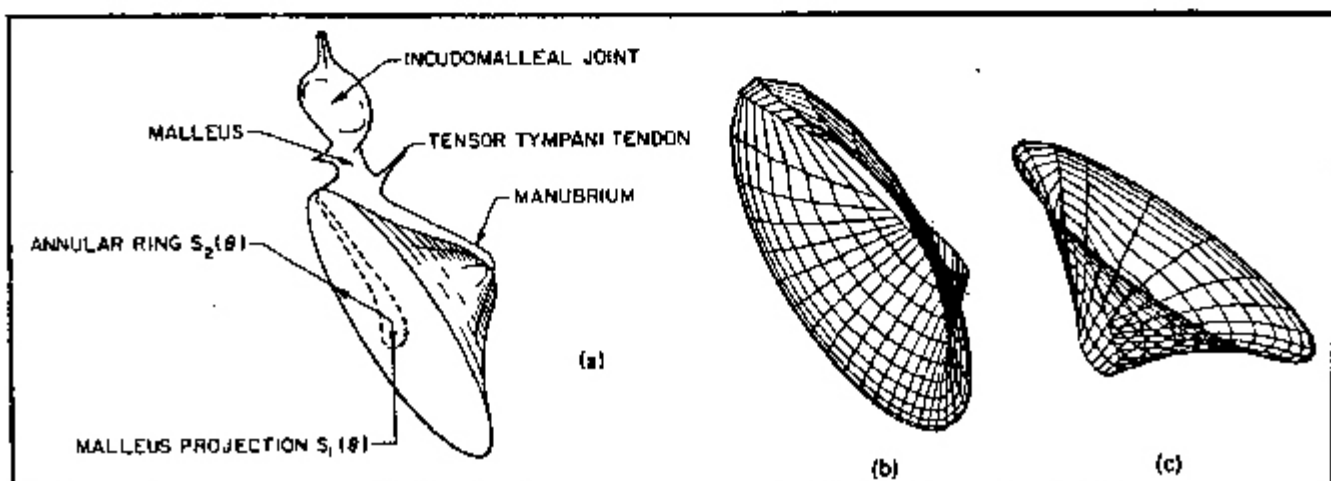
Σχῆμα 6



Σχῆμα 7



Σχῆμα 8



Σχῆμα 9

[33] δείχνει την εμφάνιση του κοκλίου στο μικροσκόπιο με τομή στο δεύτερο ελίγμα.

A) Επίδραση του πόρου του εξωτερικού αυτιού. Ο πόρος έχει γενικά 26 mm μήκος και 7 mm διάμετρο. Η σύνθετη κατανομή της πίεσης στα δύο άκρα παρουσιάζει ένα λείο οριζόντιο επίπεδο κυμάτων στο κέντρο. Και οι δύο μορφές κυμάτων προσπίψεως και ανακλάσεως από το τύμπανο, που μεταφέρουν ενέργεια, παράγουν στάσιμα κύματα. Σε ένα δεσμό των στασίμων κυμάτων η πίεση στον πόρο κυριαρχείται από non planar modes. Στα peak των στασίμων κυμάτων η πίεση είναι αποτέλεσμα όλων των ειδών κυμάτων. Η κατανομή του εύρους των non planar modes προκαλεί απόσβεση για τις υψηλές συχνότητες (15 KHz) γύρω στα 12-13% στα 4 mm από την είσοδο του πόρου. Ο πόρος παρουσιάζει μία ανακοπή των συχνοτήτων γύρω στα 23 KHz και αυτό επηρεάζει το μήκος κύματος και το εύρος των στασίμων κυμάτων. Τα χαρακτηριστικά και η κατανομή των non planar modes εξαρτώνται από το μηχανικό πεδίο και από τη γεωμετρία του έξω ωτός και η τιμή της απόσβεσης καθορίζεται μόνο από τη γεωμετρία της εισόδου του καναλιού. Πέρα από την απόσβεση, που εμφανίζεται στο κανάλι ο συνδυασμός των στασίμων κυμάτων και η ποικιλία της ακουστικής αντίστασης (από την είσοδο μέχρι την ωοειδή θυρίδα) παράγουν το λεγόμενο συντονισμό του καναλιού με ένα κέρδος περίπου 10-17 dB στην περιοχή 3-5 KHz. Τα τριχωτά κύτταρα τα υπεύθυνα για την ανίχνευση αυτών των περιοχών συχνοτήτων βρίσκονται στο πρώτο από τα τρία και 1/4 ελίγματα του κοκλίου. Εξαιτίας αυτής της τοποθέτησης αυτά τα κύτταρα υφίστανται μεγαλύτερη φόρτιση.

B) Μεμβράνη του τυμπάνου. Είναι μία ινώδης σύνθεση με πολλές σιβάδες, όπου παρατηρούμε την κανονικότητα των ακτινωτών και περιφερειακών ινών, από τις οποίες μερικές είναι παραβολικές. Όλα είναι σιβαδοποιημένα μεταξύ ενός βλεννογόνου προς το μέσον ουσ. Γεωμετρικά είναι ένας κώνος κυρτός παραμορφωμένος (βλέπε σχήμα 9a, b, c) [10]. Η δυναμική της τυμπανικής μεμβράνης (T.M.) καθορίζεται από τη σχέση με τα οστάρια και τα τοιχώματα του πόρου. Στα φυσιολογικά αυτιά υπάρχει μία προφόρτιση, που αντιστοιχεί σε μία αρχική περιστροφή της σφύρας κατά 10-5 rad αρκετή για τη διατήρηση μιας τάσης εφελκυσμού στις ακτινωτές ίνες, μειώνοντας έτσι την καμπυλότητα της T.M. Στη διάρκεια αυτής της ελαστικής παραμόρφωσης εξαιτίας ενός ήχου, όλες οι σιβάδες, που αποτελούν την T.M. τροποποιούν το σχήμα τους αλλά διατηρούν τον ίδιο όγκο. Η αναγκαία δύναμη για την παραμόρφωση είναι ανάλογη με τις μετατοπίσεις στα στρώματα, που περιέχουν περισσότερο υγρό. Οι τριβές, που παράγονται μεταξύ των σιβάδων των ινών αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους αποσβεστικούς μηχανισμούς μαζί με τις απώλειες της μεταβίβασης της ενέργειας από τις ανακλάσεις των προσπιπώντων κυμάτων. Μόνο στις χαμηλές συχνότητες η T.M. και η σφύρα είναι σε φάση. Με την αύξηση της συχνότητας εισάγονται και μετατοπίσεις της φάσης, που αντισταθμίζονται από τις μετατοπίσεις φάσης της ίδιας της T.M. Σε υψηλές συχνότητες η πίεση πάνω στην T.M. δεν είναι ομοιόμορφη εξαιτίας της κλίσης της. Έτσι όμως η ακουστική πίεση παράγει 10% περισσότερη ροπή στη σφύρα αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της T.M. στις υψηλές συχνότητες. Στην περίπτωση μακρών εκθέσεων σε συνεχή ή ωστικό θόρυβο από 100-120 dB (A) παρατηρήθηκε (βλέπε και το Κ7), ότι μετά από 20-30 min τα T.T.S. φθάνουν σε ένα μέγιστο όριο (πρόσφατες έρευνες εξαιρούν αυτό το στάδιο) και έπειτα παίρνουν μια συμπτωτική μορφή.

Διαπιστώθηκε, ότι αυτή η δράση προέρχεται από τη δράση του μυός του μέσου ωτός (M.E.M.), που ονομάζεται ακουστικό

[NEXT](#)

αντανακλαστικό και που είναι προστατευτικός μηχανισμός. Σε επαναλήψεις των ωστικών κυμάτων $1/\text{sec}$, στα πρώτα 50-100 msec η ενέργεια του θορύβου μεταφέρεται στα οστάρια πριν να δράσει το Μ.Ε.Μ. Πέρα απ' αυτό, θεωρείται, ότι μία πιο γρήγορη προσαρμογή προέρχεται από τον τρόπο δόνησης της σφύρας. Ο Von Bekesy [28] παρατήρησε, ότι σε μικρές εντάσεις του θορύβου η βάση της σφύρας στρέφεται προς έναν κάθετο άξονα, που αλλάζει κατά 90° προς οριζόντιο στις υψηλές εντάσεις. Έτσι αντλείται λιγότερη ποσότητα υγρού για κάθε ταλάντωση. Αυτός ο τρόπος λοιπόν της λειτουργίας της σφύρας είναι προστατευτικός. Αν δεν υπήρχε, σε μεγάλες ακουστικές πιέσεις που ξεπερνούν τις κριτικές τιμές, η σφύρα θα έπρεπε να κινείται γύρω στα 2000 μm , αλλά με την αναφερόμενη λειτουργία κινείται πραγματικά μόνο 20 μm .

Άλλη εξήγηση είναι η δράση των δακτυλιοειδών συνδέσμων, που περιορίζουν τις κινήσεις της σφύρας [46]. Σε κάθε ξεπέραςμα της κριτικής τιμής εμφανίζεται ένα είδος peak clipping, που μετατοπίζεται σε peak limiting χάρη στον παραπάνω μηχανισμό.

Σε κάθε peak το περιφερικό ακουστικό σύστημα διακόπεται για μικρά διαστήματα από το ακουστικό πεδίο και έτσι εμφανίζεται ένα επίπεδο απωλειών. Αν η έκθεση συνεχίζεται (ή το άτομο παραμένει στην αίθουσα), ο μηχανισμός του περιορισμού επιτρέπει ασυμπτωτικές αυξήσεις των προσωρινών απωλειών ακοής μέχρι που εμφανίζονται καταστροφές της κατασκευής. Έχουμε τώρα αρκετά στοιχεία για να μιλήσουμε για την αποτελεσματικότητα της μεταφοράς ενέργειας από το εξωτερικό ακουστικό πεδίο στην ωσειδή θυρίδα.

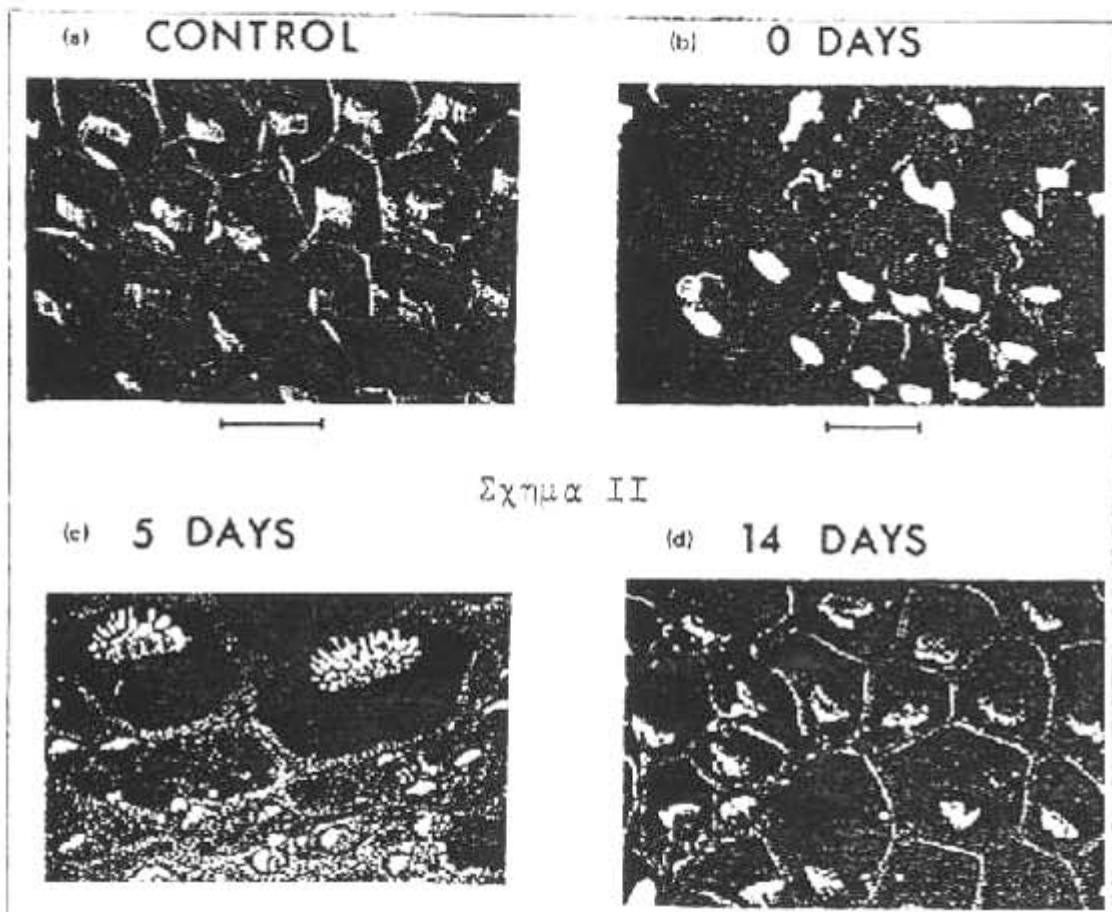
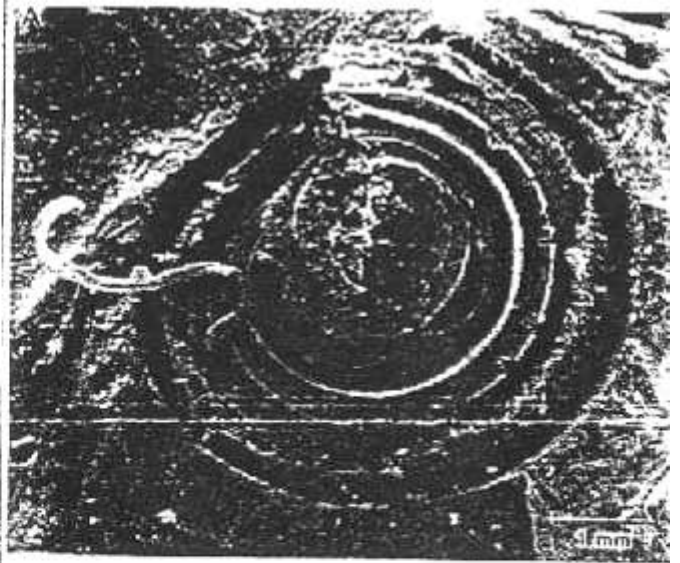
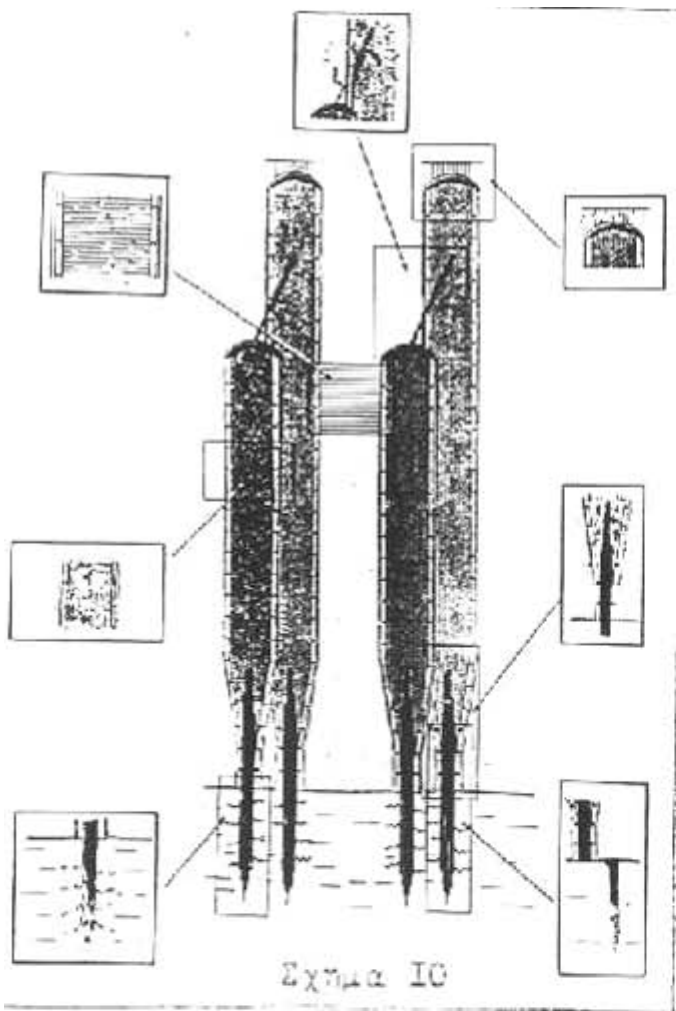
Η σχέση της δύναμης, που φθάνει στο έσω ους προς την ένταση των διαχυτικών και προσπιπτόντων κυμάτων, καθορίζει την αποτελεσματικότητα του έσω ωτός και εξαρτάται με τη σειρά της από την ωφέλιμη περιοχή της Τ.Μ. και καθορίζει λογικά την ωφέλιμη περιοχή της ωσειδούς θυρίδας. Στο σχήμα 4, [2], φαίνεται η ωφέλιμη επιφάνεια, όπου για κάθε βιολογικό είδος το μέγιστο εμφανίζεται στα 2-4 KHz με απότομες πτώσεις σε χαμηλές και υψηλές συχνότητες. Αυτή η ωφέλιμη επιφάνεια της ο.ω. (0.5-1 cm²) είναι μόλις $1/10$ από την επιφάνεια του ανοίγματος του έξω ωτός. Αυτή η διαφορά συνεπάγεται τη μείωση προς το εσωτερικό του αρχικού ηχητικού πεδίου.

Το σχήμα 5, [2] δείχνει ακριβώς αυτό, συγκρίνοντας το σχετικό φάσμα του επιπέδου της δύναμης του ωστικού κύματος από ένα κανάλι και το αντίστοιχο φάσμα, που φτάνει στην είσοδο του κοχλία. Παρατηρούμε, ότι η κορυφή του φάσματος των χαμηλών συχνοτήτων φιλτράρεται πάνω από το μισό της αρχικής έκτασης και ότι οι συχνότητες των περιοχών 3-4 kHz δεν ελαττώνονται. Και πάλι επισημαίνουμε, ότι οι περιοχές του κοχλία, που συντονίζονται σε αυτήν την περιοχή, είναι οι πιο εκτεταμένες, επειδή η ωσική ενέργεια φτάνει ολόκληρη.

Γ) Ο ρόλος της λειτουργίας του κοχλία, εξηγείται από την κατανόηση λειτουργίας των τριχωτών κυττάρων, δηλαδή από τον τρόπο που μετατρέπουν την ενέργεια των δονήσεων σε ενδοκυτταρικό ηλεκτροχημικό συμβάν και την τελική απελευθέρωση νευρομεταβιβαστών.

Η ανάλυση των τριχωτών κυττάρων έδειξε, ότι αποτελούνται από ένα έως τέσσερα κληνικά κανάλια. Το κανάλι ενεργοποιείται και ελέγχεται μηχανικά από ένα μηχανισμό πύλης που σχετίζεται με τις κινήσεις των τριχωτών δεσμών. Ο μηχανισμός πύλης (σχήμα 10) ελέγχει τις κορυφαίες γέφυρες των τριχωτών και έχει δύο θέσεις: κλειστή και ανοιχτή. Στη διάρκεια της διέγερσης η κάμψη των τριχωτών δεσμών (από την πίεση από την ωσειδή θυρίδα, που μεταφέρεται στο ιξώδες υγρό, που περιβάλλει τα τριχωτά), οι

[NEXT](#)



τέμνουσες δυνάμεις που δρουν μεταξύ των γειτονικών τριχωτών τεντώνει τις γέφυρες. Αυτό μεγαλώνει την πιθανότητα ότι το κανάλι μπαίνει σε λειτουργία. Αντίστροφα η κάμψη των τριχωτών δεσμών προς την ανάποδη κατεύθυνση χαλαρώνει τις γέφυρες (tip link) και έτσι τα κανάλια διακόπτονται. (Φαντασθείτε ένα κωράφι με σιτάρι, όπου φυσάει αέρας). Με το άνοιγμα του καναλιού επιτρέπεται η είσοδος των φορτισμένων ιόντων K^+ στα κύτταρα και το ρεύμα, που προκύπτει εκφορτίζει κυτταροπλασματική μεμβράνη. Αυτή η εκφόρτιση απλώνεται προς τη βάση των κυττάρων και ελέγχει την απελευθέρωση των νευρομεταβιβαστών. Η βασική μεμβράνη είναι το μέρος, όπου γίνεται ο συντονισμός με το εξωτερικό ερέθισμα. Για χαμηλές συχνότητες ή μετατοπίσεις, που παρατηρούνται στο επίπεδο της βασικής μεμβράνης είναι γραμμικές με την αύξηση της ηχητικής έντασης (στην περιοχή των γεφυρών). Στις υψηλές συχνότητες παρατηρείται ένα είδος μη γραμμικής συμπίεσης. Αυτή η μη γραμμικότητα ευθύνεται για τις απώλειες στην ακοή (περιλαμβάνεται και η μετατόπιση της μισής οκτάβας). Η αστάθεια της βασικής μεμβράνης (η έλλειψη μιας ακριβούς ειδίκευσης μεταξύ των περιοχών που υφίστανται βλάβες στην κατασκευή τους και του φασματικού περιεχομένου του θορύβου), έχει σαν συνέπεια μία αλλαγή από μη γραμμική προς γραμμική λειτουργία (σε έντονο θόρυβο). Τη στιγμή της υπερφόρτωσης ο συνδυασμός της γραμμικότητας της βασικής μεμβράνης και της λειτουργίας των εξωτερικών τριχωτών κυττάρων καθορίζουν την ενεργητικότητα του κοχλίου. Οι απώλειες στο συντονισμό σχετίζονται με απώλειες των εξωτερικών τριχωτών κυττάρων. Σε έντονο θόρυβο παρατηρήθηκε, ότι μορφολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά της κορτιανής μεμβράνης αλλάζουν: Φάνηκαν κυματισμοί και καμπυλοειδείς μορφές, που συνδυάζονται με τις μεγαλύτερες στάθμες προσωρινής απώλειας.

Το σχήμα 10 [1] συνοψίζει όλες τις πιθανές βλάβες των τριχωτών δεσμών από πάνω προς τα δεξιά ξεχωρίζουμε: α) θραύση των γεφυρών, β) θραύση των συνδέσμων με την κορτιανή μεμβράνη, γ, δ, ε) τραύματα και θραύση των δερμοειδών ριζιδίων, στ) αποπολυμερισμός των πρωτεϊνών των τριχωτών, ζ) θραύση των δεσμών μεταξύ τριχωτών κυττάρων.

Διάφορα είδη θορύβου σχετίζονται με συγκεκριμένες βλάβες, πρώτα όμως υποφέρουν τα εξωτερικά τριχωτά.

Το σχήμα 12, [34] (από ηλεκτρονικό scanner) δείχνει τα εξωτερικά τριχωτά κύτταρα και τα σπηρικτικά στοιχεία τους, που αποσπίασθηκαν από τη βασική μεμβράνη στην περιοχή της πρώτης περιέλιξης του κοχλίου ενός τσιτσιλά μετά από έκθεση σε 160 dB ωσικό κύμα. Αυτή είναι μία από τις σοβαρότερες μηχανικές βλάβες στο όργανο του Corti.

Παρ' όλα αυτά, πρόσφατα εντοπίσθηκαν στο αυτί πτηνού ότι καινούργια τριχωτά κύτταρα εμφανίζονται στη θηλή αντικαθιστώντας τα κατεστραμμένα.

Ακριβέστερα, από δύο κοντινά κύτταρα το ένα γίνεται τριχωτό και το άλλο το υποστήριγμά του. Συγκεκριμένα μετά από μία έντονη έκθεση σε θόρυβο μετρήθηκαν 50 dB T.T.S. Η πλήρης αποκατάσταση της ακοής έγινε σε τρεις μέρες. Το φαινόμενο των νεογέννητων κυττάρων δεν συνεπάγεται και την άμεση επανασύνδεσή τους προς το νευρικό σύστημα. Το σχήμα 11, [1] δείχνει την ανανέωση των κυττάρων στον κοχλία του πτηνού. Η μεταβολή στο περιφερικό σύστημα εξαιτίας των βλαβών συνεπάγεται και επανασυνδέσεις προς και στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις διαπιστώθηκε μία υπερευαισθησία του κεντρικού συστήματος. Η ηλεκτρική δράση των ακουστικών πυρήνων βρέθηκε ανεξάρτητη από το δυναμικό του κοχλίου που έχει υποστεί βλάβες. Επίσης διαπιστώθηκε, ότι η μείωση της ροής του αίματος τον κοχλία στη διάρκεια και μετά τις έντονες εκθέσεις στο θόρυβο

[NEXT](#)

εμφανίστηκε ως μείωση της αιμοσφαιρίνης. Η έλλειψη οξυγόνου στις συντοσιμένες σε θόρυβο περιοχές του κοχλία δεν σχετίζεται άμεσα με τις απώλειες των τριχωτών κυττάρων, αλλά πιθανόν με τη μείωση της δραστηριότητας του κοχλία.

ΑΠΟ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ T.T.S. ΚΑΙ P.T.S.

Το αυτί λειτουργεί με χαρακτηριστικά ενός κατά προσέγγιση επικοινωνιακού καναλιού (Cotliss - Jasa 41/1967 σελ. 676), όπου δύο παράμετροι είναι βασικές: α) Το κατώφλιο ακοής και β) η παράμετρος Q (figure of merit) που καθορίζει την επιλεκτικότητά του (αναλογία της συσσωρευμένης ενέργειας προς την τιμή της διάκωσής της). Φυσικά η μέγιστη επιλεκτικότητα του ακουστικού συστήματος αποδίδεται στην κατανόηση της ομιλίας ή όπως εκφράστηκε από τον Von Békésy (1967): Τα όργανα των αισθήσεων είναι συστήματα ενδείξεων κορυφών (peaks), ενώ συγχρόνως αναστέλλουν όλες τις παρακείμενες αντιδράσεις. Αναφέρουμε, ότι στην ταυτόχρονη ανάλυση της σχέσης των συχνοτήτων και τόνων ο Gabor (βλέπε 21I,II) διατύπωσε τον κανόνα της αβεβαιότητας ($\Delta f \cdot \Delta t = 1$), που είναι γνωστό εμπαιόν, όπου Δt είναι πραγματική διάρκεια και Δf είναι η ανάλυση της πραγματικής συχνότητας. Αν για την κατανόηση της ομιλίας το $\Delta f \cdot \Delta t$ μπορεί να προσεγγίζει το μηδέν, σημαίνει, ότι το αυτί σαν κανάλι επικοινωνίας έχει δύο ακραίες λειτουργίες: όλα ή τίποτα. Αν προσθέσουμε σε μία βάση $\Delta f \cdot \Delta t$ και την τρίτη διάσταση ακουσιότητα (σε phons), έχουμε μία επέκταση του πληροφορικού διαγράμματος του Gabor, το οποίο μαζί με την αναλογία σήμα/θόρυβος (εσωτερικός θόρυβος του ακουστικού συστήματος προκλητός ή παθολογικός σαν βόμβος) παράγει μία ικανοποιητική εικόνα της ανάλυσης, που πρέπει να εκτελεί το ακουστικό σύστημα. Τη λογική σκέψη, ότι οι απώλειες της ακοής μπορούν να εκτιμώνται από τον αριθμό των εμπαιόν $\Delta f \cdot \Delta t$, που ένα άτομο μπορεί να διακρίνει, θα δούμε και στη συνέχεια με άλλες μορφές.

Ονομάζουμε προσωρινές μετατοπίσεις του κατώφλιου ακοής T.T.S. την απώλεια της ευαισθησίας του αυτιού. Στη διάρκεια μιας έκθεσης σε συνεχή θόρυβο το αυτί φτάνει σε μία κατάσταση ισορροπίας, και η διαδικασία συνεχίζεται ασυμπτωτικά (μέχρι περίπου 50 dB, όπου εμφανίζονται μόνιμες (καταστροφικές) απώλειες ακοής P.T.S. [1]).

Προβλέψεις για την απώλεια της ευαισθησίας γίνονται ή από την ολική ποσότητα ενέργειας ή με την ισότιμη ισχύ. Κατά την έκθεση σε διακεκομμένο θόρυβο (που είναι η μουσική) για τιμές των 53 dB T.T.S. και μέχρι 35 dB P.T.S. στην περίοδο της ανάρρωσης το περιφερικό ακουστικό σύστημα μπορεί να επανεέλθει (ενδιάμεσα σε δύο θορύβους) προς ευαισθησία μέχρι 30 dB, που μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι περισσότερος θόρυβος παράγει λιγότερες προσωρινές απώλειες. Πριν να προχωρήσουμε αναφέρουμε τον κανόνα της πραγματικής ή ασφαλούς ψυχίας: Το μεγαλύτερο SPL, που δεν θα προκαλεί ούτε P.T.S. ούτε αργή ανάρρωση από τα T.T.S. ως αποτέλεσμα μιας προηγούμενης έκθεσης σε θόρυβο [2]. Θεωρούνται ασφαλείς οι τιμές μέχρι 76-78 dB (A).

Ο ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΗΣ ΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στις πραγματικές συνθήκες η έκθεση στο θόρυβο μπορεί να είναι διακεκομμένη ή με χρόνο-διακυμάνσεις, οπότε το επίπεδο του θορύβου ποικίλλει αλλά παραμένει συνεχώς πάνω από κάποιο όριο. Η σχέση, που ισχύει μεταξύ αντοχής, μορφής του θορύβου, διάρκειας των ωσικών θορύβων και των διακοπών, ηχητικής πίεσης, και των κορυφών (μέγιστη πίεση) οδήγησε στην προσπάθεια εκτίμησης του ισοδυνάμου αποτελέσματος, που

[NEXT](#)

παράγεται από όλες αυτές τις μικροπαραλλαγές. Προτάθηκαν τρεις τρόποι για την εκτίμηση:

α) Κανόνας της ίσης ενέργειας, όπου σχέση ένταση/χρόνος είναι απλή: Μείωση στο μισό του χρόνου έκθεσης και αύξηση της πίεσης κατά 3 dB θα κρατήσει σταθερό τον κίνδυνο της καθημερινής έκθεσης στο θόρυβο.

β) Εκθέσεις, που παράγουν ίδιες T.T.S. Είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί επειδή η σχέση ένταση/χρόνος για σταθερό T.T.S. δεν είναι γραμμική, ακόμα και για συνεχή θόρυβο.

γ) Το γεγονός, ότι οι διακεκομμένες εκθέσεις παράγουν λιγότερο T.T.S. από εκείνες του συνεχούς θορύβου, οδήγησε στην υποθέτηση της μέσης χρονοστάθμισης, όπου η σχέση ένταση/χρόνος είναι 5 dB για υποδιπλασιασμό του χρόνου.

Για συνεχή έκθεση ο κανόνας ίσης ενέργειας εκφράζεται: Σε ίσα επίπεδα ενέργειας (Joule/μύ) παράγονται ίσες βλάβες. Η φυσιολογική βλάβη εκτιμάται με τον αριθμό των επηρεασμένων τριχωτών κυττάρων. Η μηδενική απώλεια - 0 dB P.T.S. αντιστοιχεί σε μία έκθεση των 25-30 J/μύ ή 8 ώρες σε 90 dB SPL ή μία ώρα στα 100 dB.

Οι εκθέσεις σε διακεκομμένο θόρυβο, δεν παράγαν την αναμενόμενη ανάρρωση. Αυτό, που μέτρησε ήταν μόνο η διάρκεια του ωστικού ή κρουστικού θορύβου και αυτό κάνει τον κανόνα της ίσης ενέργειας λιγότερο έγκυρο, εξαιτίας των παρακάτω φαινομένων:

α) Ανάρρωση από την κατάσταση κόπωσης του κοχλία, που εμφανίζεται στις περιόδους ησυχίας.

β) Αποκατάσταση της συσταλτικής ικανότητας των μυών του μέσου ωτός, που παράγει μείωση T.T.S. στο τέλος της έκθεσης και φυσικά και μείωση των P.T.S. Επίσης το P.T.S. είναι συνάρτηση του ολοκληρώματος του T.T.S. σε όλη τη διάρκεια του θορύβου [9].

Σα να μην αρκούσαν όλα αυτά, για την εκτίμηση των διαφόρων βλαβών του ακουστικού συστήματος αναφέρουμε και τα φαινόμενα της επικάλυψης δηλαδή την επίδραση των χαμηλών συχνοτήτων στην ακουσιότητα των μέσων και υψηλών συχνοτήτων.

Για στενές περιοχές θορύβου, που καλύπτουν ερεθίσματα από ωστικούς τόνους, το _normal_ αυτί διακρίνει τη μακρινή ενέργεια του τόνου, που μόλις πέρασε, όταν η κεντρική ενέργειά του είναι ακόμα καλυμμένη από τον προηγούμενο [21]. Ερευνώντας την προσαρμογή των αντιδράσεων των ακουστικών νευρικών ινών σε ωσικά κύματα, βρέθηκε μία αρχικά ευρεία τιμή εκφόρτισης στο on set (αρχή ήχου), που ακολουθείται από μία σχεδόν συνεχή καπούσα, όλα σε περίπου 100 msec. Εντοπίσθηκε μία περίοδος προσαρμογής προ του ερεθίσματος, καθώς και μετά το ερέθισμα, που φυσικά καθορίζει την ισχύ της χρονικής ανάλυσης του ακουστικού συστήματος.

Η ανάλυση του φαινομένου της επικάλυψης δεν έχει να κάνει μόνο με τα εργαστήρια και με πειράματα με καθαρούς τόνους. Σε μεγάλες αίθουσες με εγκαταστάσεις audio που ξεπερνούν πολύ συχνά τα 1.000W, η τοποθέτηση και ποιότητα των ηχείων, ή η χρήση των φθηνών εκουαλάιζερ παράγουν ψυχοακουστικά φαινόμενα, που απέχουν πολύ από τις ιδανικές συνθήκες.

Το φαινόμενο της επικάλυψης και ο κανόνας των κριτικών περιοχών (Barks) [57] και το γεγονός, ότι για τον άνθρωπο οι περισσότερες ενοχλήσεις προέρχονται από στενές περιοχές θορύβου (ή αυτές καθ' αυτές ή σαν αίσθηση οξύτητας, τραχύτητας, διακλίμανσης ηχητικής δύναμης, που προέρχονται είτε από συντονισμό του χώρου, είτε του ακουστικού καναλιού) και ακόμα το γεγονός ότι η στάθμη ντεσιμπέλ άλφα SPL είναι μέτρο

[NEXT](#)

του ολικού επιπέδου της στάθμης, οδήγησαν στην εκτίμηση του αποτελέσματος του θορύβου βάσει της ακουστότητας. Αναφέρουμε, ότι ο κανόνας των κριτικών περιοχών αναπτύχθηκε, από το γεγονός, ότι τα τριχωτά κύτταρα βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος της βασικής μεμβράνης κάνοντας ανάλυση σε μικρές περιοχές συκνοτήτων ανάλογες με τις κριτικές περιοχές (Barks). Οι ενδείξεις που φαίνονται σε ένα όργανο μέτρησης κορυφών και οι ενδείξεις της ακουστότητας σε αντίστοιχο μηχανήμα είναι διαφορετικές. Η αίσθηση, που παράγεται από τη φωνή αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου αντίληψης του ωματίου. Η κατανόηση της φωνής σε αίθουσες μεγαλώνει με την αύξηση της ακουστότητας μέχρι το σημείο που η αντίληψη αρχίζει να παράγει χρονική επικάλυψη, που μειώνει την ευκρίνεια των αδύνατων συμφώνων, τα οποία εμφανίζονται στη σειρά με δυνατά φωνήεντα. Η ενταπική αύξηση του ηχητικού επιπέδου παράγει έτσι και μία μείωση της πληροφορίας που σε συνδυασμό με την ηλικία επαυξάνει το αποτέλεσμα [37].

Διάφοροι ακροατές αναφέρουν μία φοβερή, αυξανόμενη αίσθηση της πίεσης για εκθέσεις στην περιοχή 60-63 Hz, αίσθηση που μοιάζει με αλλαγές του φομέτρου, που δεν αλλάζει ούτε με τη διάνοιξη των ευσταχιανών σαλπίνγων. Μία μεγαλύτερη περιοχή του κοχλία επηρεάζεται περισσότερο από τα 60 Hz παρά από τα 4.000 Hz - οι κριτικές περιοχές είναι διαφορετικές και λογικά ένας μεγαλύτερος αριθμός αισθητηρίων κυττάρων είναι εκτεθειμένα στο δυναμικό κίνδυνο. Ο κίνδυνος αυξάνεται κατά την έννοια της εξάπλωσης των καμπυλών T.T.S. και του χρόνου της έκθεσης.

Θεωρείται, ότι για θόρυβο, που περιέχει παραπάνω περιοχές από οκτάβες επικεντρωμένες στα 63, 125 ή 250 Hz, το T.T.S. δεν ήταν μέγιστο σε 1/2 ή μία οκτάβα πάνω από αυτές τις περιοχές, (κατάσταση που ισχύει για μέσες και μέσες υψηλές περιοχές), αλλά δύο-τρεις οκτάβες πιο ψηλά, (250-750 Hz), περιοχές, όπου το αυτί αρχίζει να έχει μεγαλύτερη ευαισθησία. Για παράδειγμα, έρευνα [30] έδειξε μία βύθιση 5 dB στα ακουογράμματα στα 2.000 Hz, μετά από έκθεση στα 63 Hz. Στο φαινόμενο της οπισθοδρομικής επικάλυψης, που είναι περισσότερο φασματικό φαινόμενο προστίθεται και το φαινόμενο του overshoot. Αυτό αναφέρεται στη μικρότερη ανίχνευση των γρήγορων σημάτων, που παρουσιάζονται αμέσως μετά από την αρχή ενός τόνου, που παράγει επικάλυψη σε σύγκριση με τα σήματα που παρουσιάζονται με μεγαλύτερη καθυστέρηση (delay) [16, 22]. Το φαινόμενο δεν εμφανίζεται σε delay μεγαλύτερο από 100-200 msec, (όπου τα 100 msec θεωρούνται ο χρόνος ολοκλήρωσης του ακουστικού συστήματος, δηλαδή ο χρόνος κατά τον οποίο το μυαλό σχηματίζει μια ακριβή και συνολική άποψη για το ηχητικό ερέθισμα, που μόλις άκουσε). Βρέθηκε, ότι το T.T.S., που θα έπρεπε να μεγαλώνει από κάθε συνεχόμενο δυνατό κρουστικό κύμα για περιοχές 3-4.000 Hz μένει σταθερό. Η ανάρρωση από κάθε έκθεση σε θόρυβο έχει άλλη διάρκεια για τα T.T.S. και άλλη για την _ανάρρωση_ από overshoot όταν ακολουθεί το πρώτο ερέθισμα της σειράς. Για παράδειγμα: Μετά από έκθεση σε θόρυβο, για 190 msec delay μεταξύ των συνεχόμενων θορύβων το επικαλυμμένο κατώφλιο παραμένει σε τιμές προ της έκθεσης. Αντίθετα αυτές οι τιμές για 2 msec delay μειώθηκαν αμέσως από την πρώτη ηχητική έκθεση και μετά γύρισαν σε τιμές προ της έκθεσης. Και για τα δύο παραδείγματα των delays το κατώφλιο της επικάλυψης είχε διακυμάνσεις, όμως οι εκθέσεις στο θόρυβο μείωσαν το overshoot. Θεωρείται, ότι και εδώ εμφανίζεται μια εξαίρεση από την μη γραμμικότητα του περιφερειακού ακουστικού συστήματος, (η οποία είναι δεδομένη πάνω από 40 dB SPL, οπότε εμφανίζεται ο κορεσμός των τριχωτών κυττάρων). Φαίνεται, ότι για μεγάλες εντάσεις ακρόασης της ηχογραφημένης μουσικής, που περιέχει μεγάλες _δόσεις_ delay,

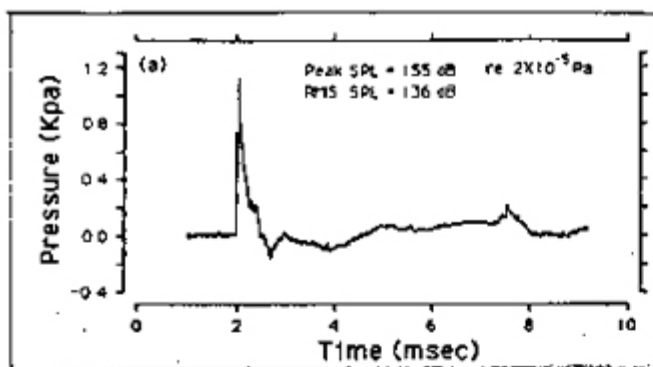
[NEXT](#)

που ενισχύονται από μεγάλες τιμές R.T. και στάσιμα κύματα, το ακουσικό σύστημα έχει το κλειδί της μεγέθυνσης της διευκρίνισης του κάθε σήματος. Ας δούμε αυτά τα φαινόμενα και από την πλευρά της ακουσιμότητας και της περιεχόμενης ενέργειας σαν συνδυασμό της ακουσιμότητας τουλάχιστον δύο τόνων, (όπως και εμφανίζεται η μουσική), στην ίδια κριτική περιοχή. Όταν το ηχητικό φάσμα περιέχεται σε μία κριτική περιοχή, το ακουσικό σύστημα εκτελεί μια ολοκλήρωση της σύνθετης ενέργειας και η αίσθηση καθορίζεται από την ολική ενέργεια. Αν το ηχητικό σήμα επεκτείνεται σε περισσότερες από μία κριτικές περιοχές, τότε η ακουσιμότητα προστίθεται και φυσικά διπλασιάζεται για την αμφιωτική ακοή, αν η ακουσιμότητα στο κάθε αυτί είναι ίδια [38]. Σε άτομα με τραυματισμένο κοχλία εμφανίζεται μία ταχύτερη αύξηση της ευαισθησίας από την ανώμαλη αύξηση της ακουσιμότητας. Το επίπεδο του κατωφλίου της ακουσιμότητας αφαιρείται από την ολική ακουσιμότητα και επαναφέρεται στο ολικό επίπεδο. Μιλώντας για ολική ακουσιμότητα και ενέργεια ας δούμε, πώς εμφανίζεται η κατανομή της ενέργειας σε καμπύλη dB (A) σε σύγκριση με τη γραμμική. Το [σχήμα 14](#), [30] δείχνει τη διαφορά, που εμφανίζεται σε ακοομετρικές περιοχές μεταξύ στάθμης A και γραμμικής ανάλυσης της πυκνότητας φασματικής ροής της σχετικής ενέργειας για το ωσικό κύμα, που εμφανίζεται στο σχήμα 13. Η διαφορά κάτω από 1.000 Hz είναι φανερή. Υπάρχουν ηχητικές πιέσεις της τάξης των 140-150 dB SPL σε ντισκοτέκ, συναυλίες ροκ ή ακόμα και στούντιο; Ναι υπάρχουν. Αν πηγαίνει κανείς κοντά στα γκρουπ ηχείων, που μπορούν να εκπέμπουν κάθε ένα 125-135 dB/m/ρ 3-4 dB στις χαμηλές περιοχές. Συνήθως αυτή είναι η εγγύηση, ότι σε άλλες συχνότητες οι στάθμες μπορούν να υπερβούν την παραπάνω στάθμη. Το σχήμα 19α και β, [37] δείχνει τη σχέση μεταξύ T.T.S. και P.T.S. και το γ το ανάλογο ποσοστό των εσωτερικών και εξωτερικών τριχωτών κυττάρων με βλάβη για τρεις συχνότητες, όπου η ενέργεια του φάσματος είναι σταθερή, ενώ μεταβάλλεται μόνο η τιμή επανάλυσης και το επίπεδο του θορύβου. Εδώ η ποσότητα της απώλειας ακοής και επίσης και των κυττάρων εξαρτώνται από το επίπεδο της έκθεσης και όχι από την ολική ενέργεια. Για χαμηλό επίπεδο έκθεσης (107-125 dB σε επανάλυσης από 4 μέχρι 1/16 ανά δευτερόλεπτο) εμφανίζονται παρόμοιες αυξήσεις των T.T.S. και P.T.S. και κατεστραμμένων κυττάρων. Μετά από τα 131 dB και πάνω εμφανίζεται ουσιαστική αύξηση των τριών μετρήσεων. Αν για εκθέσεις σε μεγάλες ακουσικές πιέσεις (γύρω στην κριτική τιμή 110-125 dB) δεν υφίσταται μεγάλος κίνδυνος εμφάνισης P.T.S., για τη μέση συχνότητα των 4.000 Hz βρέθηκε, ότι πάνω από 130 dB τα T.T.S. ανεβαίνουν κατά 7 dB για κάθε dB SPL. Περίπου μισές από τις τιμές T.T.S. γίνονται αμέσως απώλειες P.T.S. [39] και όλα αυτά από μία ολική ενέργεια μικρότερη της 0.6 J/m²/4 KHz που στη συγκεκριμένη περίπτωση προκάλεσαν 45 dB P.T.S. Μεγάλο μέρος της ενέργειας αυτής βρίσκεται την περιοχή κάτω των 500 Hz, που, αν και είχαν προκαλέσει αίσθηση μιας μεγάλης εσωτερικής πίεσης, δεν προκάλεσαν απώλειες P.T.S. Επειδή στον κανόνα ίσης ενέργειας επεμβαίνουν διάφοροι παράγοντες: α) Ο ίδιος αριθμός διεγέρσεων μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

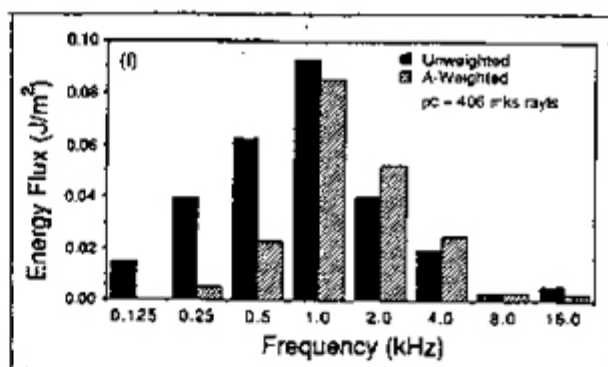
β) Η σχέση που ισχύει μεταξύ του αριθμού των ώσεων και της έντασής τους είναι 3 dB μείωση της έντασης για κάθε διπλασιασμό των αριθμών τους.

γ) Μη λαμβάνοντας υπόψη τα χρονικά διαστήματα σαν παράγοντα των απωλειών οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το γενικό SPL και όχι, τόσο το dB (A) (SPL η στάθμη A της ενέργειας) αποτελεί την ένδειξη και την πρόβλεψη των προσωρινών ή μόνιμων βλαβών [24, 31, 46]. Όταν ακούμε ένα αρμονικό σύνθετο τόνο, τον παρατηρούμε σαν σύνολο με ένα

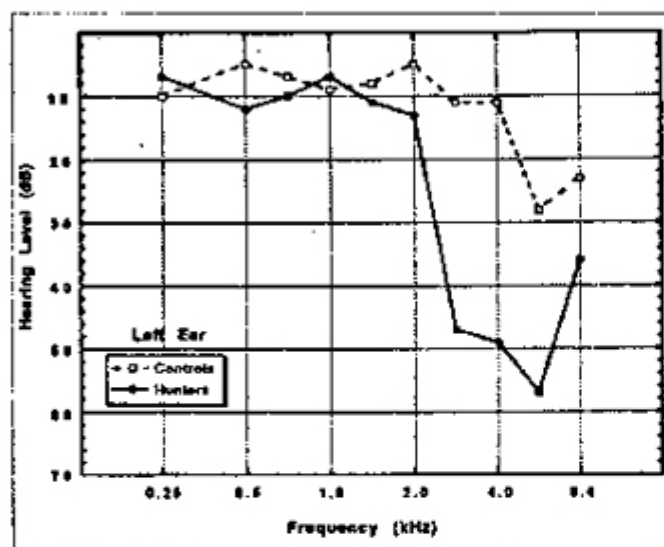
NEXT



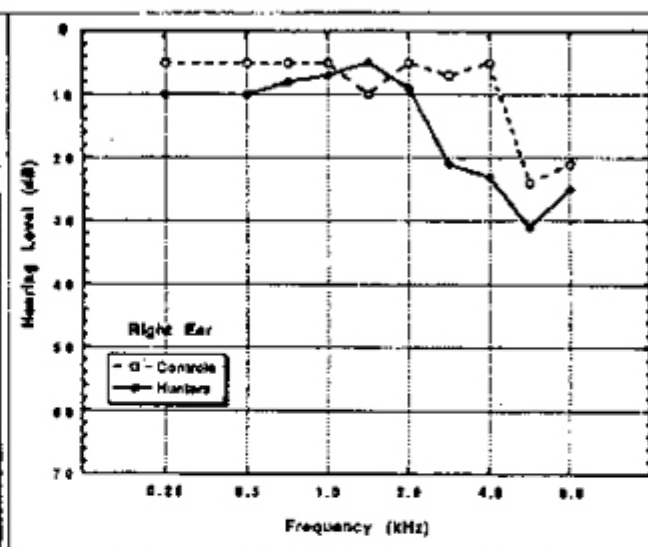
Σχημα Ι3



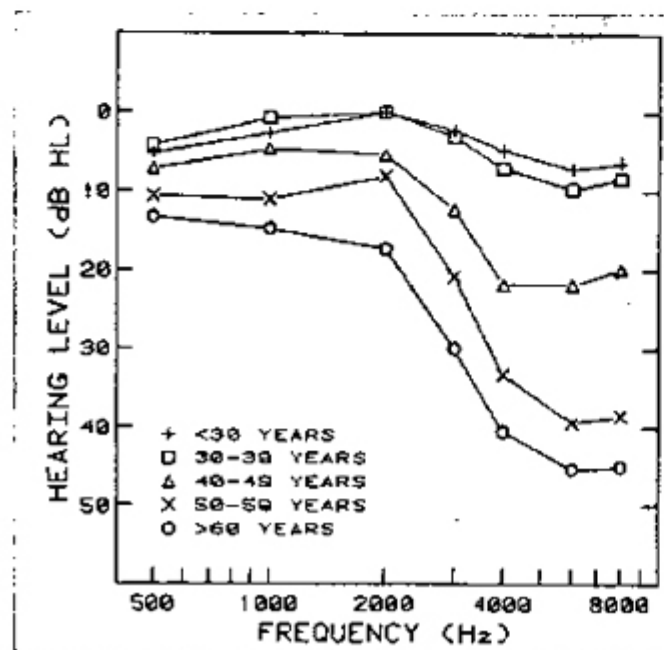
Σχημα Ι4



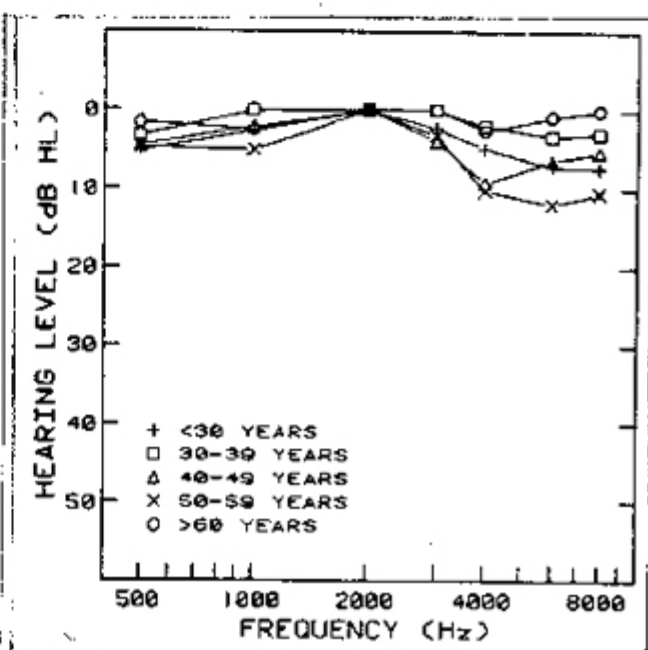
Σχημα Ι5



Σχημα Ι6



Σχημα Ι7



Σχημα Ι8

συγκεκριμένο pitch και χροιά. Για τους απαιτητικούς της υψηλής πιστότητας σε μεγάλες εντάσεις αναφέρουμε, ότι κοντά στην κρίσιμη πυκνότητα των επανειλημμένων ώσεων (η μουσική ροκ, χαρντ ροκ, κ.λπ. είναι γεμάτη από τέτοιους ρυθμούς) παρατηρείται μία αλλαγή στη χροιά από ω ση σε ω ση [18].

Η ΜΟΥΣΙΚΗ, ΟΙ ΜΟΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ Ο ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Δεν υπάρχει μεγάλη φασματική διαφορά μεταξύ κλασικής μουσικής και ροκ. Η διαφορά τους διαπιστώνεται όμως στη δυναμική πλευρά. Για παράδειγμα διαπιστώθηκε ότι για ίδιες εντάσεις - 95 dB SPL οι σχετικές μέσες εντάσεις στις συνηθισμένες ακοομετρικές συχνότητες (125, 250, 500, 1.000, 2K, 4K, 8 KHz) ήταν 11 dB για την κλασική μουσική και 6 dB για το ροκ. Στην περιοχή των 1 και 2 KHz η κλασική μουσική υπερβαίνει κατά 12 και 27 dB αντί για 8 dB του ροκ. Όσοι ρωτήθηκαν, απάντησαν, ότι η συμφωνική μουσική ήταν ενοχλητικά δυνατή στα 95 dB SPL. Το ροκ δεν βρέθηκε ιδιαίτερα ενοχλητικό ακόμα και για τους μη λάτρεις του είδους. Η δυσφορία πιθανώς προέρχεται από το τί αναμένεται να ακουστεί και από το επίπεδο της μόρφωσης. [8] Ποιές κατηγορίες ανθρώπων υποφέρουν από το θόρυβο της μουσικής στα κέντρα συναυλίες, μπαρ, στούντιο και ποιά είναι τα κριτήρια;

Οι ακροατές και οι μουσικοί, οι τεχνικοί και όλο το προσωπικό, που βρίσκεται συνεχώς ή περιστασιακά μέσα στην αίθουσα.

Το Σχήμα 17 [6] δείχνει τις ακοομετρικές μετρήσεις των μελών του AES, που συμμετείχαν σε ένα συνέδριο το 1986 στο Λος Άντζελες.

Το Σχήμα 18 [6] περιέχει τις ίδιες πληροφορίες, αυτήν τη φορά λαμβάνοντας υπόψη το συνδυασμό της επίπτωσης της ηλικίας και άλλων παραγόντων στην ακοή. (Η διόρθωση έγινε βάσει μιας φόρμουλας του Sproor-1967). Με στάθμη αναφοράς τα 0 dB παρατηρούμε τώρα, ότι για όλες τις κατηγορίες ηλικιών το κατώφλιο ακοής μέχρι 2.000-2.500 Hz πλησιάζει τα 0 dB (των απόμων που δεν έχουν επαγγελματική σχέση με το θόρυβο από τη μουσική). Περιέργως η κατηγορία των +60 χρόνων παρουσιάζει τις μικρότερες PTS, πράγμα που είναι ενθαρρυντικό. Η περιοχή 4-6 kHz περιέχει τις μεγαλύτερες απώλειες ακοής, που εμφανίζονται όμως από πολλά χρόνια. Γι' αρκετά χρόνια οι απώλειες δεν γίνονται αντιληπτές (βλέπε Σχήμα 17) μέχρι να γίνουν υποκειμενικά αισθητές. Μετά από τις διορθώσεις Sproor (1967) σήμερα διεθνώς ισχύει το standard ISO 1999/1990 (το οποίο θα χρησιμοποιηθεί και στο ΕΛΟΤ 413), που βασίζεται στα εξής: α) Το επίπεδο της ηχητικής έκθεσης μετριέται ως ολοκλήρωμα της ηχητικής πίεσης υψωμένο σε χρόνο.

β) Η μετατόπιση (Shift) του κατώφλιου ακοής μετριέται ξεχωριστά σαν αποτέλεσμα της ηλικίας και ξεχωριστά σαν αποτέλεσμα της ηχητικής έντασης και τελικά συνδυάζοντάς τις έτσι ώστε το αποτέλεσμα είναι λιγότερο από το αριθμητικό τους άθροισμα. [8, 58]

Στο ISO 1999 υπάρχουν ήδη δύο παρατηρήσεις:

1) Η μέτρηση να γίνεται βάσει του ολοκληρώματος του SPL με χρόνο και όχι υψωμένο σε χρόνο (Bies, Hansen 1990). 2) Η σταθερά K (120 στο ISO 1999) που εκφράζει την ολική απώλεια της ακοής να γίνει 240 (Macrae/1991) ή να διαφοροποιείται σε συνάρτηση με τη συχνότητα ή το ποσοστό κατηγοριών πληθυσμού (για διάφορες εντάσεις).

β) Αναφέρεται [8] ότι, από τους μουσικούς, τη μεγαλύτερη απώλεια ακοής παρουσιάζουν αυτοί που παίζουν φαγκότο, κόρνο, τρομπέτα, τρομπόνι και ντραμς με κάποια βύθιση στα 6.000 Hz εάν έχουν εκτεθεί σε στρατιωτικό θόρυβο (βλέπετε τα Σχήματα 15 και 16 για τη στάθμη

[NEXT](#)

ακοής του αριστερού και δεξιού αυτιού. [7]).

Οι μουσικοί εκτίθενται σε ηχητικές εντάσεις στη μελέτη, πρόβα με ορχήστρα και συναυλίες. Για παράδειγμα δίπλα σε έναν κορνίστα σε εκτέλεση μιας όπερας του Wagner μετρήθηκαν 96 dBA.

Αν σκεφτούμε, ότι για το συγχρονισμό των μουσικών στα δύσκολα και θορυβώδη σημεία χρειάζονται περισσότερες πρόβες, τέτοιου είδους στάθμες συσσωρεύονται.

Χρησιμοποιώντας το ISO 1999 για την εκτίμηση των μόνιμων απωλειών ακοής σε 8ωρη καθημερινή βία και ισότιμη συνεχή ηχητική ένταση $L_{eq} = 86-92$ dB (A) βρέθηκαν οι παρακάτω τιμές PTS που αναμένονται μετά από 30 χρόνια επαγγελματική έκθεση σε θόρυβο:

α) 6-10 dB στα 3-4 KHz για $L_{eq} = 86$ dB (A).

β) 18-26 dB για $L_{eq} = 92$ dB (A).

Οι μεγαλύτερες τιμές αντιστοιχούν στα άτομα με πιο ευαίσθητα αυτιά.

Οι βιολογίστες και οι βιολίστες είναι μία ξεχωριστή κατηγορία, επειδή ειδικά δοσίμετρα έδειξαν: α) τιμές L_{eq} της τάξης των 90-97 dB (A). (Δηλαδή όσο μια ολόκληρη ορχήστρα) και β) παρουσιάζεται 6-8 dB (A) παραπάνω έκθεση στο αριστερό αυτί στα 4 KHz.

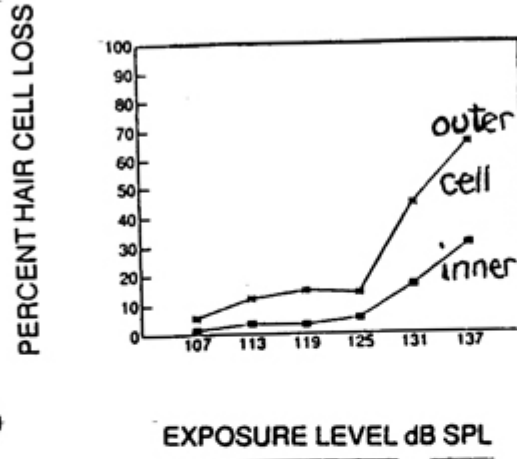
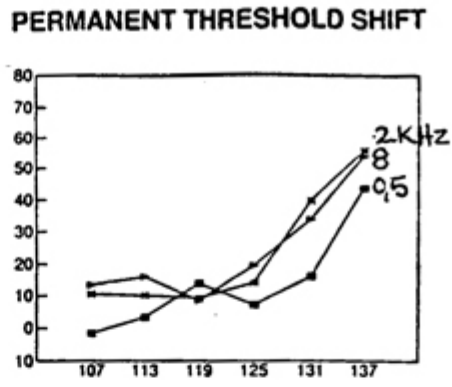
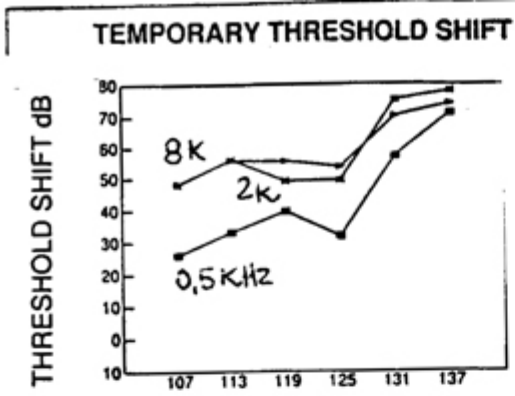
Δουλεύοντας στα στούντιο ηχογραφήσεων παρατήρησα, ότι οι περισσότεροι μουσικοί προτιμούν πολύ μεγάλες στάθμες στα ακουστικά στη διάρκεια των ηχογραφήσεων ή playback, τόσο μεγάλες που τα ακουστικά ακούγονται καθαρά στα 2 ή 3 μέτρα. Είναι τα πρώτα συμπτώματα της μείωσης της φασματικής ανάλυσης, που συνεχίζεται με τη χρονική ανάλυση και τις δυσκολίες στη μουσική αντίληψη. Η τυχερή περίπτωση (που μπορούσε να είναι η χειρότερη) εμφανίζεται στους drummers που, (στα στούντιο) φορούν κλειστού τύπου καλής ποιότητας ακουστικά, που τους προστατεύουν από πραγματικά φοβερές εντάσεις μέσω και υψηλών συχνοτήτων.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Αν μπορούσαμε να λαμβάνουμε υπόψη μόνο τις επιπτώσεις του θορύβου, (σαν να είχαμε να κάνουμε με ένα ελεγχόμενο πείραμα σε εργαστήριο), η επίδραση του υπολειπόμενου T.T.S. μόνο, που βρίσκεται περίπου 20 dB κάτω από τη δράση ενός από τους διαδοχικούς θορύβους έχει σαν αποτέλεσμα 8-10 dB υποεκτίμηση των παρατηρημένων δεδομένων. Η επίδραση πρώτα των άλλων παραγόντων: κοπώσεως, δονήσεων ολοκλήρου του σώματος, ή των ωτοτραυματικών φαρμάκων, είτε μεμονωμένα, είτε σε συνεργασία εκθέτουν την ακοή του ανθρώπου σε μεγαλύτερο κίνδυνο, επειδή οι ημικύκλιοι σωλήνες του μεμβρανώδους λαβυρίνθου περιέχουν τους αρχικούς υποδοχείς για τη μετατόπιση και την επιτάχυνση και επειδή το σύστημα των ημικυκλίων σωλήνων είναι διακριτικά συνδεδεμένο με τον κοχλία, οι δονήσεις μπορούν να επηρεάζουν την ακοή.

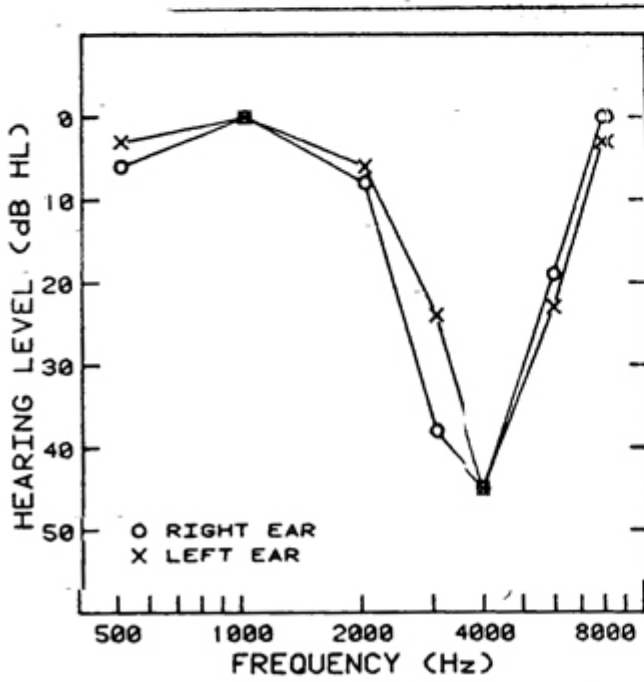
Στο [σχήμα 21](#), [23] φαίνονται οι τιμές των T.T.S. στα 1 και 4 KHz από την ολική επίδραση των δονήσεων στο σώμα. Και πάλι οι μέγιστες επιπτώσεις φαίνονται στα 4 KHz, αλλά το άθροισμα των αποτελεσμάτων του θορύβου και των δονήσεων ξεχωριστά είναι μικρότερο από τα συστατικά του. Το ποσοστό των κατεστραμμένων τριχωτών κυττάρων δεν επηρεάζεται από τη δόνηση, αλλά η αίσθηση των δονήσεων σε χαμηλές συχνότητες δεν ξεχνιέται. Μία από τις εμφανέστερες κλινικές διαταραχές είναι ο βόμβος - ήχοι που γεννιούνται μέσα στο κεφάλι. Ο βόμβος μπορεί να είναι πραγματικός, αν ο ήχος ακούγεται και από άλλα άτομα. Η πιθανή προέλευσή του: από τον

[NEXT](#)

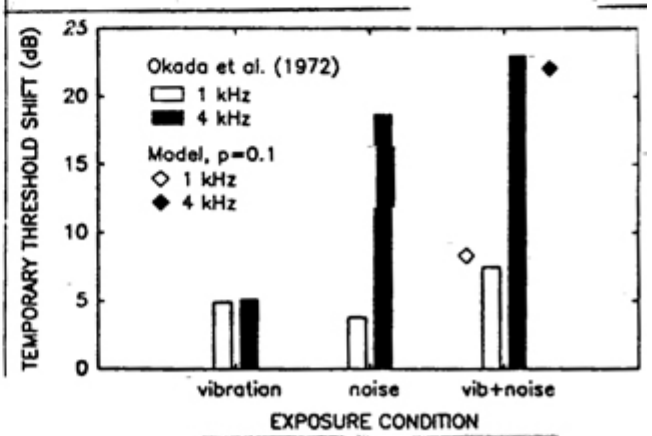


Σχμα Ι9

EXPOSURE LEVEL dB SPL



Σχμα20



Σχμα 2I

ανταγωνισμό και των συνδέσμων που ελέγχουν τη σφύρα, από τον παλμό μιας αρτηρίας ή φλέβας ή από αυθόρμητες αυτοακουστικές εκπομπές, σαν ένδειξη, ότι ο κοχλίας είναι ενεργητικός μεταφορέας.

Υπάρχει και ο υποκειμενικός βόμβος, που μπορεί να παρατηρείται μόνο από τα άτομα που πάσχουν. Θεωρείται, ότι η υπερνευρική δράση στο ακουστικό δίκτυο ερμηνεύεται λάθος ως ήχος από τα ανώτερα ακουστικά κέντρα. Η πιο πιθανή εξήγηση είναι η απόσπαση των τριχωτών κυττάρων από την κορυανή μεμβράνη, που παράγει θερμικό θόρυβο, του οποίου το επίπεδο και η μορφή (στενή ή ευρεία περιοχή συχνοτήτων βόμβου) εξαρτάται από την επηρεασμένη επιφάνεια της μεμβράνης. Η χρήση του sodium salicylate (ασπιρίνη) ομαλοποιεί την ανώμαλη δραστηριότητα των ηλεκτρικών εκφορτίσεων (το ιστόγραμμα) προς τον εγκέφαλο βάσει της αγγειακής αποκατάστασης.

Στο σχήμα 20, [6] φαίνεται το κατώφλιο ακοής ενός ατόμου σε νεανική ηλικία (30 χρονών), που ασχολείται επαγγελματικά με τον ήχο. Το κατώφλιο ακοής παρουσιάζει μία απώλεια της ευαισθησίας κατά 45 dB στα 4 KHz, που είναι αποτέλεσμα μιας συσσωρευμένης ακουστικής κόπωσης, παθολογικών δεδομένων (επανελημμένες ωτίτιδες ή μινγγίτις), ή έντονη έκθεση σε θόρυβο όπλων. Αυτό το είδος απώλειας της ακοής αποτελεί μία πρόωρη κοινωνική αναπηρία και είναι ένδειξη, ότι οι επόμενες εκθέσεις σε δυνατό θόρυβο μπορούν να παράγουν περισσότερες βλάβες. Αναφέρουμε, ότι το συνδυασμένο αποτέλεσμα των θορύβων, δονήσεων, ασθενειών ή ωτοτραυματικών χημικών ουσιών δεν είναι γραμμικό (ο μόνος γραμμικός παράγων είναι η ηλικία). Η δράση των παραγόντων δεν είναι πάντα η ίδια αν αλλάζει η σειρά τους. Αναφέρονται επιπτώσεις του θορύβου και στη νοημοσύνη. Για άτομα με I.Q.140 διαπιστώθηκε μείωση κατά 14% των επιδόσεων σε πνευματικές εργασίες επηρεασμένες από το θόρυβο.

Αντίθετα, άτομα με I.Q. 100-110 αποδίδουν καλύτερα (+14%) και έκαναν λιγότερα λάθη και περισσότερη εργασία σε διάφορα test νοημοσύνης [44, 51]. Άτομα με υψηλό I.Q. δούλεψαν με μεγαλύτερο βαθμό διέγερσης και έτσι ο θόρυβος υπερβαίνει τις ικανότητές τους για πνευματική εργασία. Η χρήση των ωτοασπίδων, παρέχει κάποια προστασία, προκαλεί όμως μείωση της εντόπισης της πληροφορίας στο οριζόντιο επίπεδο. Την τάση να φορούν πιο συχνά ωτοασπίδες την έχουν εκείνοι που αρχίζουν να νιώθουν κάποιες δυσλειτουργίες του αυτιού. Επίσης η χρήση αυτών των μέσων σχετίζεται με το κατώφλιο ακοής στα 500 και 1.000 Hz δείχνοντας έτσι, ότι η ανάγκη για προστασία καθορίζεται από απώλειες στην περιοχή της εμβέλειας της ομιλίας [56]. Η κατάσταση η σχετική με απώλεια ακοής είτε από γήρας, διάφορες ασθένειες, επαγγελματική έκθεση ή διασκέδαση είναι πολύ σύνθετη. Οι πρώτες υποκειμενικές ενδείξεις της ενόχλησης, με την έγκαιρη ιατρική περίθαλψη και τα τακτικά ωτομετρικά test είναι δύο σίγουρα σημεία για την εντόπιση του προβλήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. SAUNDERS - et al -Sensory transduction and noise- J.ACOUST.Soc. Am, Vol. 90/1/1991 - JASA - p. 137-145.
2. J. ROSOWSKI -External and middle ear filtering- JASA, Vol. 90/1/1991, p. 125-135.
3. B. BOHNE et al -Normal and traumatized Cochleas- JASA, Vol.80/6/1986, p. 1729-35.
4. P. JSTREBOFF - C. SASAKI - Salicylates - JASA, Vol. 80/5/1986, p.1385-91.
5. J. BARRY - I. THOMAS -Music and noise as sources of acoustic truma-Journal of the Audio engineering society- JAES, Vol.20/1972, p.271-4.
6. C. MARTINEZ - S. GILMAN -Results of the 1986 AES audiometric [NEXT](#)

- survey- JAES - Vol. 36/9/1988, p. 686-90.
7. W. CLARK -Leisure activities and noise- JASA - Vol. 90/1/1991,p. 176-81.
8. J. ROYSTER et al -Sound exposures and hearing thresholds- JASA,Vol. 89/6/1991, p. 2793-2803.
9. W.D. WARD -The role of intermitence in P.T.S.- JASA, Vol.90/1/1991 p. 164-9.
10. R. RABBITT - M. HOLMES -Tympanic membrane model- JASA,Vol. 80/6/1986, p. 1716-28.
11. W. CLARC -Animal its T.T.S. and noise- JASA, Vol.90/1/1991, p.155-63.
12. W. MELNICK -Human T.T.S. and noise- JASA, Vol. 90/1/1991,p.147-54.
13. M. GORGA - P. ABBAS -Adaptation of nerve action potential (ap.)-JASA, Vol. 70/5/1981, p. 1310-21.
14. M. GORGA - P. ABBAS -Forward masking A.P. tuning curves- JASA,Vol. 70/5/1981, p. 1322-29.
15. H. McROBERT - W.D. WARD -Damage risk criteria- JASA, Vol. 53/5/1973, p. 1297-1300.
16. C. CHAMPLIN - McFADDEN -Overshoot and T.T.S.- JASA, Vol. 85/5/1989, p. 2005-11.
17. J. SNYDER -Thereshold adaptation in normal listeners- JASA, Vol.53/2/1973, p. 435-39.
18. J. PEIRCE -Periodicity and pitch adaptation- JASA, Vol.90/4/1991, p. 1889-93.
19. E.H. BERGER -Low frequency threshold of hearing- JASA, Vol.70/6/1981, p. 1635-45.
20. M.J. GRIFFIN -Human response to vibration- Abstracts J. of Sound and Vibration- Vol. 80/4/1982, p. 605-8.
21. L. ZAINEA Ήxoc & Ηι-Ήy/1991- Τεύχος 216 (I), 217 (II),218 (III),219 (IV), 220 (V).
22. M. HICKS - S. BACON -Forward masking and overshoot- JASA, Vol.90/1/1991, p. 228-30.
23. L. HUMES - W. JESTEADT -Effects of threshold on loudness- JASA,Vol. 90/4/91, p. 1933-43.
24. D. DUNN et al -Hearing loss from impact and continuous noise-JASA, Vol. 90/4/1991, p. 1979-85.
25. P. SCHOMER -Human response to house vibrations- JASA, Vol. 64/1/1978, p. 328-330.
26. P. SCHOMER et al -Blast attenuating windows- JASA, Vol.89/4/1991, p. 1708-13.
27. D. JOHNSON - E. FARINA -Measurement of an individual continuous sound exposure- JASA, Vol. 62/6/1977, p. 1430-5.
28. W.D. WARD -Comments on the growts and recovery from T.T.S. in human exposed to impact noise- JASA, Vol. 86/5/1989, p.2020-1.
29. C. TREMOLIERE - R. HETU -Impact noise induced T.T.S.- JASA - Vol.68/6/1980, p. 1652-9.
30. R. HAMERNIK - K. HSUEH -Impulse noise-Some definitions- JASA,Vol. 90/1/1991, p. 189-96.
31. R. HAMERNIK, et al - The energy spectrum of an impulse-its relation to hearing loss- JASA, Vol. 90/1/1991, p. 197-204.
32. J. PATTERSON Jr. -Effects of peak-Pressure and energy of impulses- JASA, Vol. 90/1/1991, p. 205-8.
33. R. HAMERNIK et al -Noise and Vibration interactions- JASA Vol.86/6/1989, p. 2129-37.
34. D. HENDERSON - R. HAMERNIK -Impulse noise-Critical review- JASA, Vol. 80/2/1986, p. 569-77.
35. R. DENIELSON et al -Temporal pattern in traumatic impulse [NEXT](#)

- noise exposures- JASA, Vol. 90/1/1991, p. 209-18.
36. M. ROBERTO et al -Impact noise and the equal energy hypothesis- JASA, Vol. 77/4/1985, p. 1514-20.
37. D. HENDERSON et al -Impact noise-Level, durations and repetition rate- JASA, Vol. 89/3/1991, p. 1350-7.
38. L. HUMES - JESTEADT -Modeling and noise- JASA, Vol. 90/1/1991,p. 182-8.
39. R. PRICE - S. WANSACK -Hazard from an intense midrange- JASA,Vol. 86/6/1989, p. 2185-91.
40. S. BUUS -Level discrimination of frozen and random noise- JASA,Vol. 87/6/1990, p. 2643-54.
41. D. SINEK et al -Noise exposure, rest and neural sensitivity- JASA,Vol. 82/4/1987, p. 1265-73.
42. R. PLOMP - J. DUQUESNOY -Room acoustics for the aged- JASA, Vol.68/6/1980, p. 1616-21.
43. G. RUSSELL -Earmuff listening conditions- JASA, Vol. 61/1/1977,p. 219-21.
44. L. OATMAN - R. PRICE -Role of tonal relevance in auditory fatigue-JASA, Vol. 43/1/1968, p. 166-7.
45. G. STEVIN -Integrating sound level meter for analysis of impulse noise and continuous-Acustica- Vol. 51/1982, p. 55-57.
46. R. PRICE - J. KALB -Math model of the ear and intense impulse noise- JASA, Vol. 90/1/1991, p. 219-27.
47. J. ERDREICH -Distribution based definition of impulse noise- JASA,Vol. 79/4/1986, p. 990-98.
48. J. VOS -On the level dependent penalty for impulse sound- JASA,Vol. 88/2/1989, p. 883-93.
49. R. BENTLER - C. PAVLOVIC -Discomfort levels- JASA, Vol 86/1/1989, p. 126-131.
50. J. MILLS et al -T.T.S. produced by exposure to low frequency noises- JASA, Vol. 73/3/1983, p. 918-23.
51. M. BRYAN - I. COLYER -Noise intellectual task and intelligence acustica- Vol. 29/1973, p. 228-233.
52. K.D. KRYTER -Presbycusis, sociocusis and nosocusis- JASA, Vol.73/6/1983, p. 1897-1917.
53. W. BURNS -Noise and man-1968 printed by W. Clowes & sons Ltd. - London, p. 307.
54. K. KRYTER -Hearing loss from gun and railroad noise relations with iso standard 1999- JASA, Vol. 90/6/1991, p. 3180-95.
55. K. KRYTER -Effects on noise on hearing- JASA, Vol. 90/6/1991, p. 3036-98.
56. P. BAUER et al -Risk factors for hearing loss- JASA, Vol. 90/6/1991, p. 3086/98.
57. E. ZWICKER - U.T. ZWICKER -Audio engineering and psychoacoustics - matching signals to the final receiver-The human auditory system. J. Audio eng. soc. vol. 39/3/1991, p. 115-25.
58. J.H. MACRAE -Presbycusis threshold shift- JASA, Vol. 90/5/1991,p. 2813-16.

[GO TO SITE'S FIRST PAGE](#)

[ARTICLE'S FIRST PAGE](#)

