

BAB 2. FUNDAMENTAL PENDENGARAN

2.1. PENDAHULUAN

Telinga adalah sebuah keajaiban penciptaan baik, atau evolusi, tergantung pada sudut pandang Anda. Apa yang tidak diperdebatkan bagaimanapun, adalah bahwa itu adalah perangkat menakjubkan, yang kinerjanya belum diduplikasi oleh buatan manusia terciptalah. Telinga adalah penguat yang sangat canggih dan analisa frekuensi yang transduces intensitas suara pada rentang 1013 dengan amplitudo (dari hampir tidak kelihatan ke ambang nyeri). Hal ini dapat menolak suara pesta koktail keras dan single keluar suara tunggal. Hal ini dapat beradaptasi dengan suara keras dan melindungi diri dari kerusakan. Hal ini dapat mendengar perbedaan nada halus antara biola Stradivari 300 tahun dan salinan modern. Bahkan lebih menakjubkan adalah bahwa hal itu semua ini dalam volume sekitar satu inci kubik.

Tujuan Pelajaran ini:

Setelah menyelesaikan pelajaran ini, Anda harus memiliki pemahaman dasar tentang proses fisik dan fisiologis terlibat dalam pendengaran. Operasi dasar dari telinga digambarkan, serta gangguan umum yang mengakibatkan gangguan pendengaran, termasuk yang dihasilkan dari paparan kebisingan.

Referensi:

Telinga adalah subjek yang sedang terus dilakukan penelitian dan masih ada banyak hal yang kita tidak tahu tentang fungsinya. Jika Anda ingin tahu lebih dari apa yang dibahas dalam bagian singkat, referensi berikut ini dianjurkan:

An Introduction to the Physiology of Hearing, James O. Pickles, Academic Press, 1982

Fundamentals of Hearing, An Introduction, William Yost, Academic Press, 1993

The Handbook of Hearing and the Effects of Noise, Karl Kryter, Academic Press, 1994

Physiology of the Ear, A.F. Jahn and J. Santos-Sacchi Editors, Raven Press, 1988.

Hearing, Stanley Gelfand, Marcel Dekker, 1981

Experiments in Hearing, G. von Békésy, Wiley, 1960

Noise Control for Engineers, H. Lord, W. Gatley and H. Evensen, Robert Krieger, 1987

Some Interesting Web Sites:

<http://www.boystown.org/cel/cochmech.html> - Boystown National Research Hospital educational pages on cochlear mechanics

<http://www.neurophys.wisc.edu/h&b/textbook/textmain.html> - University of Wisconsin Dept of Neurophysiology on-line course on Hearing and Balance, has some great animations of ear functions

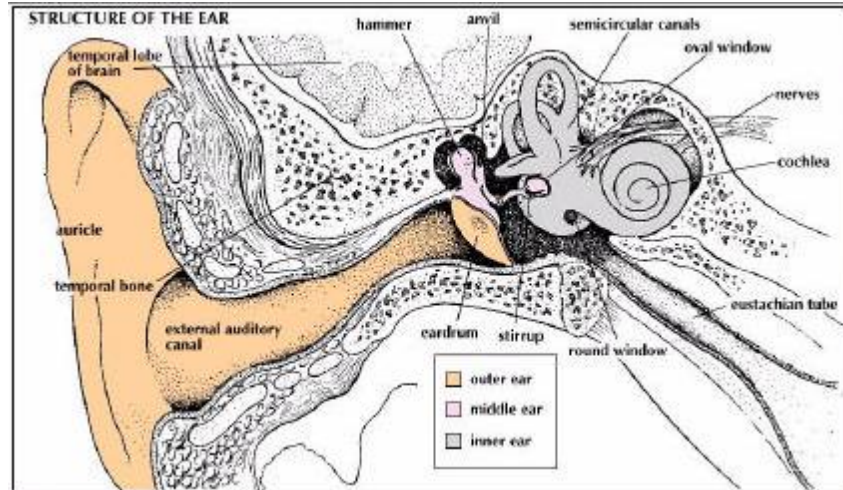
<http://www.music.mcgill.ca/auditory/Auditory.html> - Auditory demonstrations and experiments in pitch and complex tone perceptions

<http://cidmac.wustl.edu/research/cochlear.html> - cochlear research at the Central Institute for the Deaf, St. Louis Mo

<http://www.li.net/~sullivan/ears.htm> - Video otoscopy, a collection of clinical images of various ear disorders

2.2. ANATOMI TELINGA

Struktur Telinga dibagi menjadi tiga bidang fungsional: telinga luar, tengah dan bagian dalam. Gambar 1 memperlihatkan susunan telinga secara makro.



Gambar. 1. Struktur Telinga (ref. <http://www.boystown.org/cel/cochmech.html>)

Telinga Luar



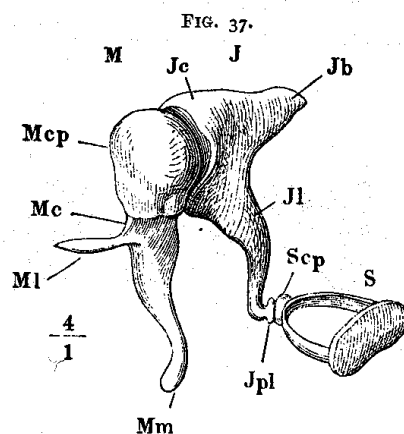
Telinga luar "mengumpulkan" suara dan mengirimkannya ke membran timpanik. Bagian terlihat terluar disebut Pinna tersebut. Hal ini membantu dalam deteksi arah (untuk frekuensi tinggi). Beberapa kelelawar echolocating telah dikembangkan sangat pinnae dengan sensitivitas directional tinggi. Anjing dan kucing bisa mengubah pinna mereka untuk mencari suara. Bagian tengah yang mendalam dari pinna disebut konka (gua).

Auditory canal - ~ diameter 7 mm, 27 mm, bertindak seperti pipa organ untuk memperkuat suara mencapai gendang telinga. Ini memberikan keuntungan sekitar 10-15 dB 2000-6000 Hz. Frekuensi resonansi dari kanal auditori adalah ~ 4000 Hz, sedangkan resonansi dari konka adalah sekitar 5000 Hz.

Membran timpanik (tympanus atau gendang telinga) - memisahkan telinga luar dan dalam, dan bergetar dalam menanggapi suara insiden. Ini adalah berbentuk kerucut, membran hampir transparan, 55-90 mm² di daerah.

Telinga Bagian Tengah

Telinga tengah transfer energi suara (dalam bentuk getaran mekanis) dari membran timpani, pada koklea. Karena tindakan transformator nya, telinga tengah sesuai dengan impedansi rendah dari udara ke impedansi tinggi dari cairan koklea, sehingga menyebabkan transfer jauh lebih efisien energi ke telinga dalam. Rongga telinga tengah adalah sekitar 2 cc dalam volume. Hal ini dihubungkan dengan tabung 35-38mm panjang (eustachian tube) ke rongga hidung. Tabung estachius menyediakan untuk pemerataan tekanan dan mencegah gendang telinga dari meledak karena perbedaan tekanan statis di atasnya.



Gambar. 2. Telinga Tengah ossicles (ref. Di Sensations dari Nada, Helmholtz)

Tulang Telinga Tengah: Bagian-bagian bergerak dari telinga tengah adalah hubungan mekanis yang terdiri dari tiga tulang kecil - rantai tulang pendengaran, palu (maleus) - menghubungkan gendang telinga ke landasan (inkus) sanggurdi (stapes) - Otot melekat pada jendela oval telinga tengah

Otot Telinga Tengah: Dua otot kecil yang melekat pada palu dan sanggurdi. Mereka berkontrak dalam response to: suara keras (> 75 dB di atas ambang batas), suara, atau gerakan tubuh secara umum. Ketika dikontrak, mereka kaku rantai dan menipiskan transmisi frekuensi rendah (< 2 kHz). Tindakan refleks dapat terjadi dalam waktu 10 ms untuk suara intensitas tinggi. Ini terlalu lambat untuk lebih menipiskan suara jenis impulsif.

Tindakan otot-otot ini diperkirakan melayani sejumlah fungsi yang berguna, seperti:

- a. Melindungi telinga bagian dalam dari kerusakan
- b. Memberikan kontrol keuntungan otomatis untuk keras, suara frekuensi rendah
- c. karena mereka kontrak karena suara, atau gerakan tubuh, mereka mengurangi persepsi diri yang dihasilkan suara (seperti suara Anda sendiri, atau suara karena gerakan)
- d. karena suara frekuensi rendah dapat menutupi suara frekuensi tinggi (lebih lanjut tentang ini nanti), redaman selektif frekuensi rendah dapat meningkatkan persepsi kompleks rangsangan, seperti pidato.

Telinga tengah sebagai transformator, atau perangkat pencocokan impedansi: Jika jendela oval secara langsung terkena suara udara (tidak ada telinga luar atau tengah), suara sangat sedikit energi akan ditransmisikan ke telinga bagian dalam. Bila suara bertemu dengan batas antara dua bahan yang berbeda, beberapa akan memasuki materi kedua, beberapa akan tercermin. Jumlah yang ditularkan ditentukan oleh impedansi akustik dari dua media (lihat Bab 5 lebih lanjut tentang impedansi):

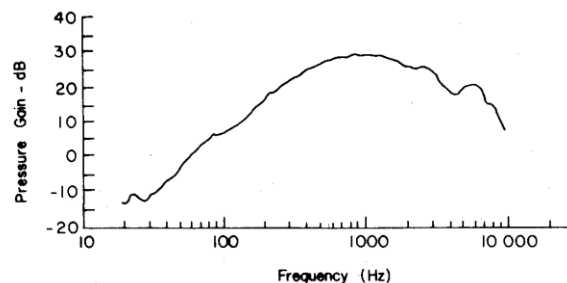
$$E_2/E_1 = 4 Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2$$

dimana E_2 dan Z_2 adalah energi ditransmisikan ke dalam medium kedua, dan impedansi dari medium kedua masing-masing. Jika kedua bahan adalah sama, 100% dari energi yang ditransmisikan. Dalam kasus telinga, impedansi dari udara adalah $\sim 400 \text{ N sec/m}^3$, sedangkan impedansi yang diukur pada jendela oval koklea adalah $\sim 2 \times 10^5 \text{ N sec/m}^3$ (untuk kucing, pada 1kHz oleh Khanna dan Tonndorf, 1971, JASA vol 50, pp 1475-1483), ketidaksesuaian yang besar. Untuk kasus ini, hanya 0,8% dari energi suara akan memasuki telinga bagian dalam jika tidak ada telinga luar atau tengah.

Tujuan untuk telinga tengah kemudian adalah mencoba untuk memperbaiki ketidaksesuaian impedansi. Tulang-tulang tulang pendengaran memberikan keuntungan mekanis kecil $\sim 1.15:1$ dan mengubah perpindahan timpanus menjadi perpindahan yang lebih kecil (dan kekuatan yang lebih tinggi) pada jendela oval. Rasio area timpanus (55 mm^2) dengan yang ada pada jendela oval ($3,2 \text{ mm}^2$) adalah sekitar 17. Hal ini meningkatkan tekanan pada jendela oval. Bersamaan, kedua efek hasil dalam pencocokan impedansi (gaya rendah / gerakan besar @ gendang telinga ditransfer berlaku tinggi / gerakan kecil jendela @ oval).

Keuntungan mekanis keseluruhan dari gendang telinga ke jendela oval (termasuk efek dari ukuran relatif dari masing-masing) adalah $\sim 1,15 \times 17 = 20$. (Peningkatan dB 26). Dalam hal impedansi, hal ini diterjemahkan menjadi perubahan impedansi dari 202 atau 400. Ini adalah di kisaran apa yang dibutuhkan untuk benar cocok dengan impedansi dari koklea dengan yang ada pada saluran telinga luar.

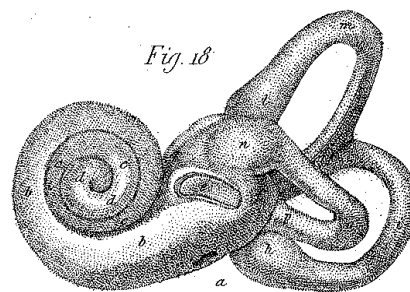
Respon frekuensi. Keuntungan tekanan dari rantai tulang pendengaran menunjukkan karakteristik bandpass seperti yang ditunjukkan pada gambar terlampir. Ini sebenarnya data untuk kucing, yang mirip dengan manusia. Tekanan diukur tepat di belakang jendela oval di dalam koklea untuk tekanan suara konstan pada membran timpani (Nedzelnitsky, 1980 JASA vol 68,. Pp 1676-1689). Ketidakteraturan sekitar 4 KHz ini disebabkan oleh resonansi dari rongga telinga tengah.



Gambar 3. Tekanan sebagai fungsi Frekuensi pada telinga tengah (ref.Pickles)

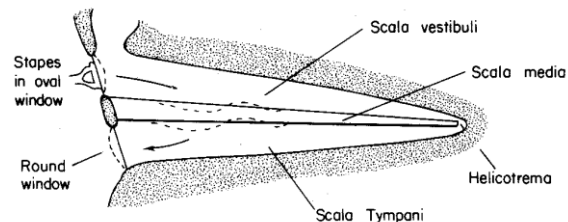
Telinga Bagian Dalam

Telinga bagian dalam adalah tempat "sidang" sebenarnya terjadi. Di sini, getaran mekanis ditransmisikan melalui tulang telinga tengah ke jendela oval diubah menjadi fluktuasi tekanan pada cairan koklea, yang pada gilirannya dikonversi oleh sel-sel rambut dari membran basilar menjadi impuls saraf dikirimkan ke otak. Sebuah perjalanan suara alternatif transmisi langsung melalui tulang tengkorak ke telinga bagian dalam. Ini adalah mekanisme dengan mana kita mendengar suara kita sendiri, dan merupakan faktor pembatas untuk mendengar efektivitas pelindung.



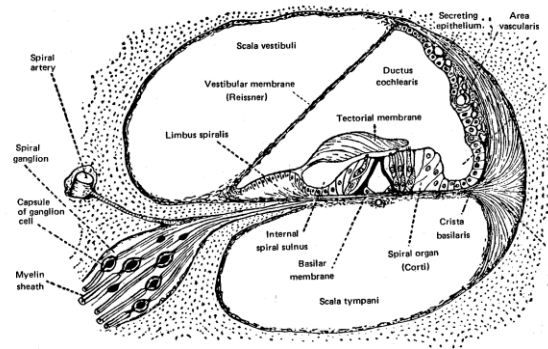
Gambar 4. Telinga Bagian Dalam

Banyak hal yang kita tahu mekanika koklea berasal dari karya G. von Bekesy, yang meneliti gerakan partisi koklea di mayat manusia dan hewan. Dia cepat akan membedah telinga segera setelah kematian, masukkan karet jendela untuk jendela bulat dan oval dan melampirkan vibrator mekanik ke jendela oval. Teknik mikroskopis dan stroboskopik kemudian digunakan untuk mengukur perpindahan dari membran Reissner (yang diasumsikan ia bergetar sama ke membran basilar).



Gambar 5. Koklea membuka gulungan (Pickles ref.)

Struktur: struktural, koklea terdiri dari organ, digulung diisi cairan dibagi memanjang oleh membran basilar. Ketika membuka gulungan itu adalah sekitar 34 mm dari dasar ke helicotrema. Para kemiringan membran basilar dari dasar ke puncak dan lebih lebar di helicotrema daripada pada akhir basal. Jendela oval langsung terhubung ke stapes. Majelis rendah berakhir pada jendela bulat yang bertindak sebagai mekanisme pelepasan tekanan (mungkin mencegah gema kembali koklea).

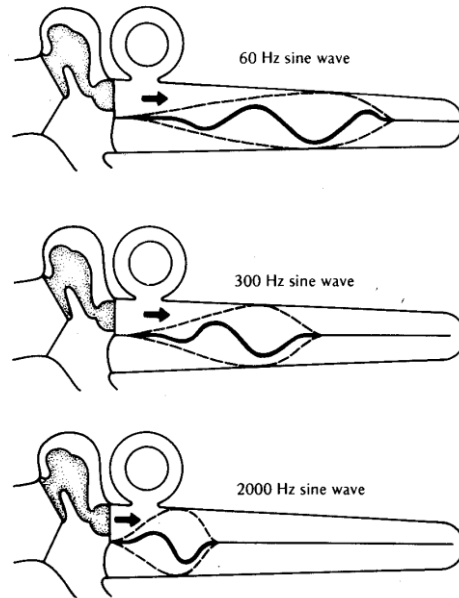


Gambar 6. Bagian menyilang dari organ Corti

Aksi membran basilar: Gerakan dari jendela oval menimbulkan gangguan pada cairan koklea dan gelombang berjalan dalam membran basilar. Jarak perjalanan gangguan ini tergantung pada frekuensi suara. Seperti ditunjukkan pada Gambar 7, suara frekuensi rendah akan merambat di sepanjang ruang atas seluruh, sedangkan frekuensi tinggi (2kHz misalnya) akan menghasilkan gerak pada kuartal pertama dari koklea yang terdekat dengan jendela oval.

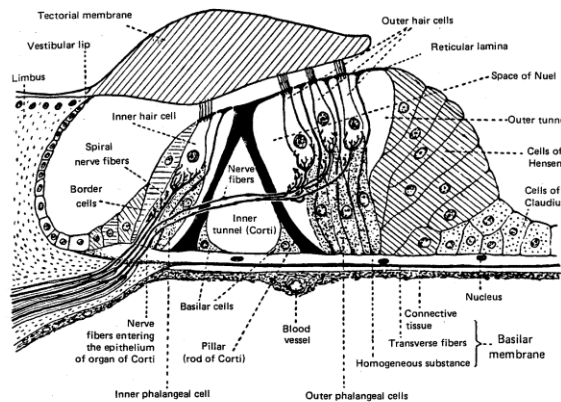
Semua gerakan menuju ujung basal, sementara hanya frekuensi rendah sampai ke puncaknya. Hal ini dapat menjelaskan mengapa dengan paparan dari waktu ke waktu terhadap kebisingan yang berlebihan, sensitivitas frekuensi tinggi yang hilang lebih cepat daripada yang rendah. Pangkalan melihat penggunaan yang lebih besar dan sel-sel rambut mengalami siklus lebih dari osilasi dan lebih rentan terhadap keausan. Hal ini diyakini bahwa otak ekstrak informasi frekuensi suara dari posisi eksitasi maksimum pada membran basilar.

(lihat <http://www.boystown.org/cel/waves.htm> atau <http://www.neurophys.wisc.edu/animations/> untuk animasi yang sangat keren dari gelombang bepergian dalam membran basilar.)

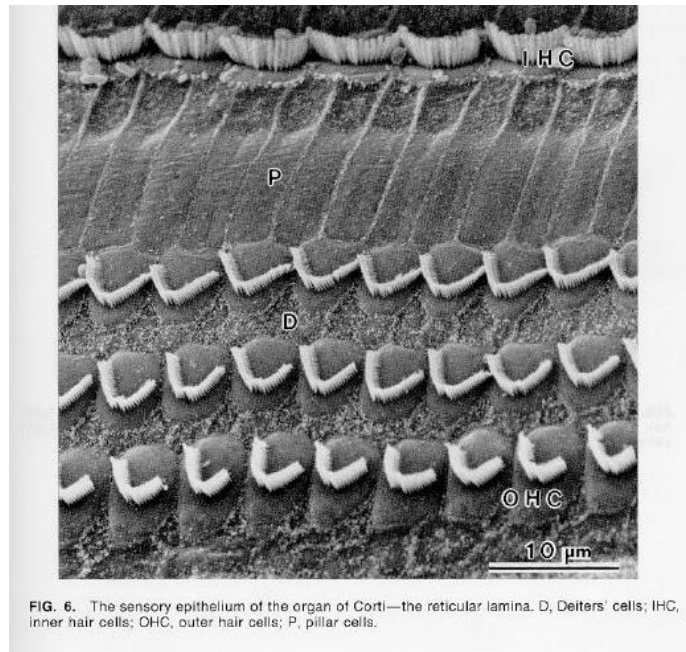


Gambar 7. Traveling gelombang pada membran basilar (ref. Yost ara 7.13)

Organ Corti dari: The organ Corti berisi sejumlah sel-sel rambut (luar dan dalam) seperti terlihat pada penampang bawah ini. Ada sel-sel rambut 20,000-30,000 di telinga manusia rata-rata. Masing-masing sel-sel rambut memiliki sekitar 40 stereocilia (silia atau rambut kecil) yang melekat padanya. Sebuah mikrograf elektron dari permukaan atas organ Corti dengan membran tectorial dihapus, menunjukkan stereocilia, ditampilkan di bawah. Gerakan geser penyebab membran basilar antara stereocilia dan dan membran tectorial. Setiap sel rambut terhubung ke sejumlah serat saraf. Tindakan geser dari silia menyebabkan sel-sel saraf untuk api, mengirimkan sinyal ke otak.



Gambar 8. Diperbesar lintas bagian dari organ Corti merinci membran basilar

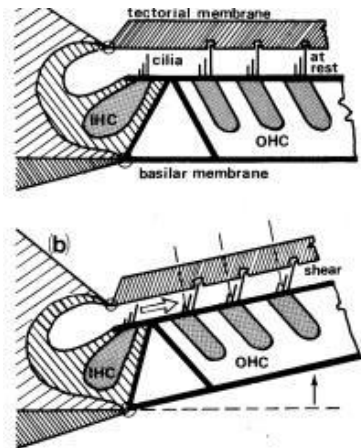


Gambar 9. Outer dan Inner rambut Sel (dari Jahn dan Santos-Sacchi, pg 165)

Perbedaan antara sel-sel rambut dalam dan luar: Sel-sel rambut batin tidak secara langsung menghubungi membran tectorial tetapi digerakkan oleh kekuatan cairan kental. The ofthe keluaran sel-sel rambut batin adalah sebanding dengan kecepatan dari membran basilar. Sebaliknya, sel-sel rambut luar yang terhubung ke membran tectorial. Mereka baik ditekuk, atau diregangkan oleh gerakan relatif (kita tidak tahu yang pasti), menghasilkan output yang sebanding dengan perpindahan. Ada beberapa pemikiran bahwa sel-sel rambut luar benar-benar tidak dapat bekerja sebagai sensor, tetapi sebagai aktuator kecil, menyebabkan gerakan dari membran tectorial dalam menanggapi impuls saraf. Hal ini dapat memungkinkan telinga untuk selektif mengubah gain (mengubah volume atas atau bawah) dari daerah yang dipilih dari membran basilar.

Perbedaan antara sel-sel rambut dalam dan luar: Sel-sel rambut batin tidak secara langsung menghubungi membr tectorial (lihat <http://www.boystown.org/cel/cochamp.html> atau

<http://www.neurophys.wisc.edu/animations/> / untuk animasi yang sangat keren dari tindakan dari organ Corti)



Gambar 10. Outer dan Inner rambut Sel (dari Jahn dan Santos-Sacchi, pg 165)

Sel-sel saraf: Dua jenis sel saraf ditemukan di telinga - aferen dan eferen. Serat aferen adalah saraf-saraf yang membawa informasi dari telinga ke otak. Serat eferen biasanya membawa informasi dari otak ke telinga. Sel-sel rambut batin yang terhubung terutama oleh serat aferen, sehingga mereka tampaknya terutama bertanggung jawab untuk mengirimkan informasi ke otak. Sel-sel rambut luar memiliki sel aferen sangat sedikit dan sel eferen banyak. Sel-sel rambut luar tampaknya berfungsi dalam beberapa cara untuk mengontrol biomekanik dari telinga. Hal ini diyakini bahwa otak mengirimkan sinyal kembali ke sel-sel rambut luar dalam bentuk umpan balik aktif. Hal ini diduga untuk membantu menyaring suara yang tidak penting, dan mengendalikan penafsiran terarah. Hal ini dapat menjelaskan mengapa Anda dapat berkonsentrasi ("fokus") di salah satu percakapan di ruangan yang ramai berisik.

2.3. GANGGUAN PENDENGARAN

Jenis-jenis gangguan pendengaran meliputi:

Ketulian konduktif - gangguan pendengaran karena kelainan yang mencegah suara dari mencapai telinga dalam.

Ketulian saraf (sensorineural hearing loss) - gangguan pendengaran karena kerusakan pada saraf koklea atau auditori.

Tuli konduktif

Tuli konduktif disebabkan oleh kerusakan luar koklea, seperti di telinga luar atau tengah. Orang dengan tuli konduktif cenderung berbicara sangat pelan. Mereka umumnya dapat mendengar suara mereka sendiri cukup baik (melalui konduksi tulang) tetapi tidak dapat mendengar suara-suara lain juga. Mereka secara naluriah mencoba untuk berbicara sehingga mereka merasakan suara mereka sendiri di tingkat yang sama seperti suara-suara lain atau suara. Tuli konduktif dapat dibantu dengan alat bantu dengar.

Penyebab tuli konduktif meliputi:

Telinga Luar

- Penyumbatan saluran telinga dengan penumpukan cairan kental (wax), infeksi, telinga kemasukan air, kotoran (dirt).
- Gendang telinga yang rusak atau bocor, kerusakan kecil akan sembuh.

Telinga Tengah

- Infeksi (otitis media)
- Otosklerosis - sanggurdi menjadi tetap ke jendela oval, dapat diganti dengan prostesis
- Aerotitis media - penyumbatan tabung estachius

Tuli Saraf

Tuli saraf disebabkan oleh beberapa cacat pada saraf koklea atau pendengaran. Orang dengan tuli saraf cenderung berbicara sangat keras, dalam upaya untuk mendengar diri mereka lebih baik. Alat bantu dengar efektivitas terbatas dalam kasus ini. Percobaan terus di prostesis koklea, di mana saraf pendengaran secara langsung dirangsang dengan cara listrik. Tuli saraf dapat terjadi tiba-tiba, atau secara bertahap selama jangka waktu yang panjang.

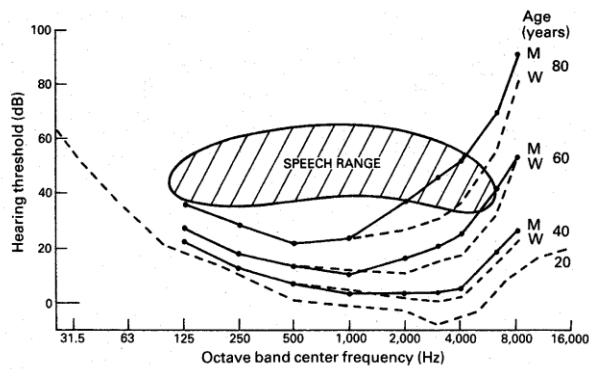
Penyebab Tuli Saraf Mendadak :

- Penyakit - meningitis, infeksi, beberapa schlerosis, gondok

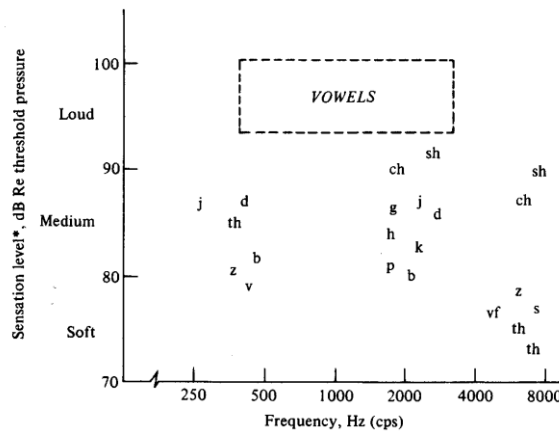
- Cedera kepala
- Akustik trauma (yakni ledakan)
- Obat yang mempengaruhi sistem saraf pusat

Penyebab Tuli Saraf Bertahap :

- Neuritis-penyakit saraf
- Tumor - efek saraf
- Kebisingan yang disebabkan gangguan pendengaran
- Presbikuisis - efek normal dari penuaan (lihat gambar 11 di bawah)



Gambar 11 Ambang pergeseran karena presbikuisis: M = pria, W = wanita, suara Pidato: laki-laki, suara normal pada 1m. Karena Beranek data (dari Bies dan Hansen).



Gambar 12. Frekuensi dan karakteristik kenyaringan suara pembicaraan (Gambar 2,8 LG & E)

Kebisingan yang Menimbulkan Hilangnya Pendengaran (*noise induce hearing loss.*)

Paparan tingkat kebisingan tinggi dapat menyebabkan gangguan pendengaran yang dibuktikan dengan pergeseran ke atas ambang pendengaran - disebut kebisingan yang disebabkan gangguan pendengaran. Jika kembali sidang penuh dalam waktu singkat, ini disebut pergeseran ambang batas sementara (TTS). Hal ini juga dikenal sebagai kelelahan akustik. Paparan Lanjutan untuk kebisingan stabil, atau paparan terhadap suara impulsif dapat menyebabkan kerugian permanen atau pergeseran ambang batas permanen (PTS).

Kerusakan pada sel-sel rambut biasanya bertanggung jawab atas kehilangan pendengaran suara diinduksi. Terlalu lama mendengarkan tingkat tinggi menyebabkan rambut melebihi batas elastis mereka, analog dengan kelelahan mekanis. Jika sel rambut rusak, mereka tidak akan diperbarui atau pulih. Gambar 13 menunjukkan pemindaian mikroskop elektron dari sel-sel rambut normal dan yang rusak di chinchilla a. Kerusakan dapat terlokalisasi pada area kecil dari membran basilar jika paparan kebisingan terjadi terus menerus pada satu frekuensi (sering terjadi pada pekerja pabrik yang telah bekerja di samping mesin yang sama selama bertahun-tahun).

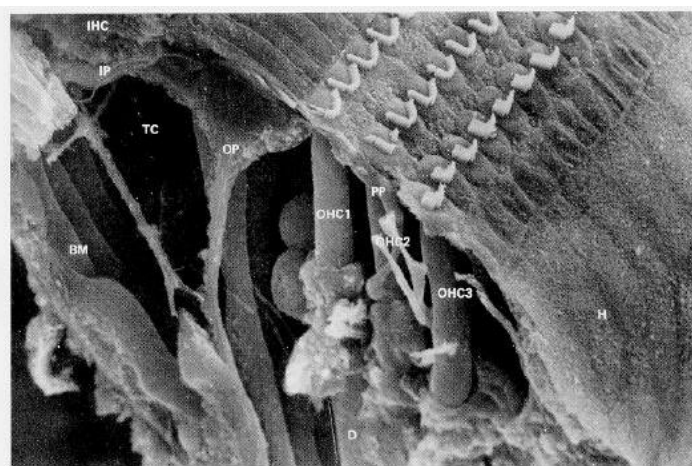


FIGURE 14.2 14.2a Scanning electron micrograph of normal organ of Corti showing normal ultrastructure. 14.2b Scanning electron micrograph of organ of Corti that has been damaged by acoustic overstimulation. The effects of sound damage on the outer hair cells are clearly shown, as the cells are now missing (except for some remnants of OHC2). Chinchilla photographs courtesy of Dr. Ivan Hunter-Duvar, Hospital for Sick Children, Toronto.



FIGURE 14.2 Continued

Gambar 13 Scanning elektron mikrograf dari Organ normal dan yang rusak Corti (ref Yost pg 198)

Aural Refleks: Telinga memiliki mekanisme perlindungan beberapa disebut refleks aural, untuk menjaga terhadap tingkat kebisingan yang tinggi mantap. Dua hal pelindung terjadi:

- Tulang-tulang telinga tengah berperilaku non-linear dengan amplitudo. seperti sebelumnya
disebutkan, otot-otot yang menghubungkan rantai tulang pendengaran tegang ketika suara adalah sekitar 80 dB di atas ambang batas, dan mengurangi transmisi ke telinga bagian dalam.
- Tabung telinga meningkat kelengkungan (dan dengan demikian kekakuan nya) bila terkena tingkat tinggi. Ini mengambil ~ 10 ms untuk terjadi.

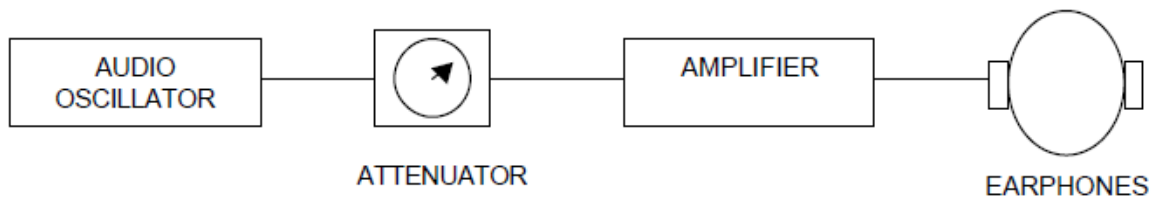
Efek ini banyak membantu untuk suara impulsif keras, karena pada saat refleks terjadi, kerusakan telah terjadi. Refleks aural dapat diaktifkan dengan impuls kebisingan atau klik. Refleks ini dapat berlangsung selama 2-3 detik sebelum relaksasi lengkap. Pihak militer menggunakan efek ini untuk mencoba melindungi penembak dari kebisingan intens dari tembakan meriam (misalnya di dalam tangki atau angkatan laut pistol menara). Serangkaian klik semakin keras (tetapi tidak sekeras senapan itu sendiri!) Disajikan sesaat sebelum ledakan besar, memberikan telinga kesempatan untuk memperketat dan "bersiap-siap untuk yang besar". Aktivasi lanjutan dari refleks aural dapat menyebabkan kelelahan akustik dan TTS.

Tinnitus:

Tinnitus, kadang-kadang disebut "dengung di telinga", merupakan indikasi bahwa gangguan pendengaran permanen telah terjadi. Ini adalah kelainan di mana seseorang menderita dering atau suara lain di telinga yang tidak ada sumber fisik yang jelas. Hal ini tidak terkontrol oleh obat atau operasi dan pengobatan yang nyata hanya untuk menutupi dengan suara eksternal. Ada perdebatan mengenai penyebab fisiologis yang tepat dari tinnitus, tetapi biasanya menyertai tuli saraf.

EVALUASI PENDENGARAN (*HEARING EVALUATION*)

Ketajaman pendengaran diukur dengan audiometer sebuah. Jenis yang paling umum terdiri dari osilator audio yang menghasilkan nada murni tunggal, attenuator dikalibrasi dalam desibel, dan earphone.



Gambar 14. Audiometer dasar

Nada-nada tes biasa diberi jarak dengan oktaf 125-8000 Hz. Tingkat referensi untuk masing-masing frekuensi adalah ambang batas normal pendengaran. Dalam operasi, subjek disajikan dengan nada menurun tingkat dalam 5 langkah dB. Subjek diminta untuk mengidentifikasi ketika nada yang tidak lagi terdengar dan tingkat itu dicatat sebagai ambang diukur dalam hal mendengarkan. Perbedaan tingkat antara tingkat referensi dan tingkat ambang diukur orang tersebut adalah gangguan pendengaran dalam desibel. Gangguan pendengaran tingkat -10 hingga +25 dB dianggap dalam batas normal untuk orang dewasa. Tingkat suara referensi yang digunakan sebagai referensi nol untuk Audiometer perwakilan (Western Electric Model 705-A) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat tekanan suara yang digunakan sebagai acuan nol untuk model Western Electric 705-A Audiometer

Frequency (Hz)	Reference sound pressure level (dB ref 20 μ Pa)
125	45.5
250	24.5
500	11
1000	6.5

1500	6.5
2000	8.5
3000	7.5
4000	9
6000	8
8000	9.5