

Tinjauan Pustaka

Diagnosis dan Tatalaksana Terbaru Presbikusis

Meilia Ghinasari¹, Rossy Rosalinda¹

1) Departemen THT-KL Fakultas Kedokteran Universitas Andalas/ RSUP. Dr. M. Djamil Padang.

ABSTRAK

Latar Belakang: Presbikusis didefinisikan sebagai gangguan pendengaran sensorineural progresif yang terkait dengan penuaan. Beberapa studi menunjukkan bahwa kerentanan genetik, stres oksidatif dan peradangan kronik dalam sel rambut dapat memicu respons inflamasi, yang menyebabkan kerusakan pada sel rambut seiring bertambahnya usia. **Tujuan:** untuk lebih memahami diagnosis dan tatalaksana terbaru presbikusis. **Tinjauan Pustaka:** Presbikusis ditandai dengan gangguan pendengaran sensorineural yang progresif, bilateral dan simetris, dengan sebagian besar pasien mulai mengalami kehilangan pendengaran pada frekuensi tinggi. Individu dengan presbikusis sering mengalami “cocktail party effect”, disertai gejala seperti tinnitus, vertigo, ketidak-seimbangan dan jatuh. Diagnosis presbikusis ditegakkan dengan pada penurunan pendengaran di atas frekuensi 2000 Hz pada audiometri nada murni dan didapatkan abnormalitas pada audiometri tutur dan *speech-in-noise test*. Tatalaksana presbikusis mencakup alat bantu dengar, implan koklea, medikamentosa, terapi stem cell dan terapi gen. **Kesimpulan:** Kerentanan genetik, stres oksidatif dan peradangan kronik terlibat dalam perkembangan presbikusis. Diagnosis presbikusis ditegakkan dengan audiometri nada murni, audiometri tutur dan *speech-in-noise test*. Tatalaksana presbikusis meliputi rehabilitasi pendengaran, medikamentosa dan terapi gen.

Kata kunci: Presbikusis, Koklea, *Speech-in-noise test*, Rehabilitasi pendengaran

ABSTRACT

Background: Presbycusis is defined as progressive sensorineural hearing loss associated with aging. Several studies have shown that genetic susceptibility, oxidative stress, and chronic inflammation in hair cells can trigger an inflammatory response, causing damage to hair cells with age. **Objective:** to understand the updated diagnosis and management of presbycusis. **Literature Review:** Presbycusis is characterized by progressive, bilateral, and symmetrical sensorineural hearing loss, with most patients beginning to experience hearing loss at high frequencies. Individuals with presbycusis often experience the “cocktail party effect,” accompanied by symptoms such as tinnitus, vertigo, imbalance, and falls. The diagnosis of presbycusis is confirmed by hearing loss above 2000 Hz on pure tone audiometry and abnormalities on speech audiometry and speech-in-noise tests. The management of presbycusis includes hearing aids, cochlear implants, medication, stem cell therapy and gene therapy. **Conclusion:** Genetic susceptibility, oxidative stress, and chronic inflammation are involved in the development of presbycusis. Presbycusis is diagnosed using pure tone audiometry, speech audiometry and speech-in-noise testing. Management of presbycusis includes hearing rehabilitation, medication and gene therapy.

Keywords: Presbycusis, Cochlea, *Speech-in-noise test*, Hearing rehabilitation

Korespondensi

Meilia Ghinasari, Departemen THT-KL Fakultas Kedokteran Universitas Andalas/ RSUP. Dr. M. Djamil Padang. Email: meiliaghinasari.ghina@gmail.com

Article Information

Received: November 8, 2025

Available online: December 24, 2025

PENDAHULUAN

Presbikusis didefinisikan sebagai kehilangan pendengaran sensorineural progresif yang terkait dengan penuaan.¹ Presbikusis ditandai dengan kehilangan pendengaran bilateral dan simetris pada frekuensi tinggi yang mempengaruhi pendengaran pada frekuensi rendah akibat kehilangan sel rambut koklea yang irreversible dan kerusakan pada saraf pendengaran.²

Presbikusis merupakan penyebab umum kehilangan pendengaran di seluruh dunia yang menyebabkan lebih dari setengah populasi lansia mengalami gangguan pendengaran pada usia 75 tahun.³ Presbikusis adalah salah satu gangguan pendengaran sensorik yang paling umum di dunia, mempengaruhi satu dari lima orang berusia di atas 50 tahun dan prevalensi ini terus meningkat setiap tahun.⁴ Kehilangan pendengaran di kalangan dewasa juga semakin meningkat, yang mewakili beban

potensial bagi masyarakat di masa depan.⁵ Sekitar 900 juta orang lanjut usia diperkirakan akan mengalami gangguan pendengaran yang signifikan akibat presbikusis pada tahun 2050.⁶

Gejala klinis presbikusis secara umum meliputi penurunan kemampuan mendengar, penurunan kemampuan memahami percakapan, telinga terasa sakit jika orang yang berbicara lebih keras, gangguan fisik dan emosional.⁷ Penderita presbikusis mengalami kesulitan besar dalam mendengar dalam lingkungan berisik, meskipun mereka mungkin dapat mendengar dengan baik di lingkungan yang tenang.⁸ Diagnosis presbikusis dikonfirmasi melalui pemeriksaan audiometri nada murni. Hasil pemeriksaan audiometri menunjukkan adanya tipe tuli perseptual (sensorineural) dengan penurunan tajam (*sloping*) setelah frekuensi 2000 Hz.⁷ *Speech in noise test* penting untuk mengevaluasi kemampuan mengenali bicara dalam kebisingan, mendiagnosis gangguan pendengaran dan mengevaluasi kinerja alat bantu dengar dan implan koklea.⁹

Tatalaksana presbikusis adalah optimasi lingkungan dan rehabilitasi pendengaran. Rehabilitasi pendengaran memiliki berbagai bentuk, mulai dari alat bantu pendengaran hingga implan koklea.¹⁰ Terapi medikamentosa menawarkan beberapa keunggulan yang berfungsi dalam peningkatan fungsi pendengaran, pengurangan gejala tinnitus, dan peningkatan kualitas hidup melalui mekanisme seperti meningkatkan mikrosirkulasi telinga, menutrisi saraf, memberikan efek anti inflamasi, dan melawan radikal bebas. Namun intervensi obat hanya dapat memperlambat perkembangan presbikusis, bukan mengobati perubahan degeneratif.¹¹

Terapi *stem cell* menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi kerusakan telinga dalam yang permanen.¹¹ Selain itu terapi gen dan sel punca merupakan strategi menjanjikan untuk mengobati gangguan pendengaran sensorineural karena merupakan satu-satunya opsi untuk meregenerasi sel rambut di koklea.¹² Presbikusis sedang atau berat yang tidak diobati dapat mempengaruhi kemampuan komunikasi dan menyebabkan isolasi sosial, depresi dan kemungkinan

demensia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan proaktif dan efektif untuk mencegah dan mengobati presbikusis.¹¹

TINJAUAN PUSTAKA

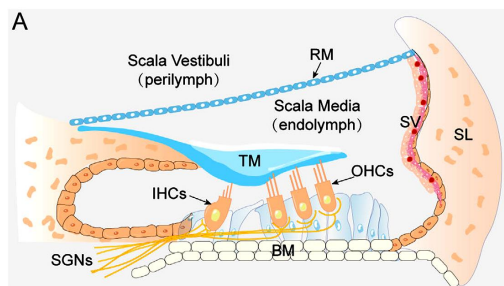
Anatomi

Telinga manusia terdiri dari tiga bagian utama yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Telinga luar terdiri dari aurikula, yang merupakan bagian paling lateral dari telinga luar dan memiliki anatomi yang dirancang secara akustik untuk memperbaiki lokalisasi suara serta memfasilitasi amplifikasi dan pengaliran suara. Struktur ini bermuara ke saluran telinga luar dan membran timpani, berakhir di membran timpani. Ruang telinga tengah yang diisi udara terdiri dari tuba Eustachius, otot-otot telinga tengah, struktur saraf dan tulang-tulang pendengaran. Tuba Eustachius berfungsi menyeimbangkan tekanan di dalam telinga tengah dengan tekanan lingkungan telinga luar melalui saluran penghubungnya di nasofaring, memungkinkan fungsi optimal membran timpani. Tulang-tulang pendengaran terdiri dari tiga tulang yang saling terhubung yang dikenal sebagai *malleus* (terhubung ke membran timpani), *stapes* (terhubung ke *oval window* ke telinga dalam), dan *incus* (menghubungkan *malleus* dan *stapes*). *Stapes* terhubung dengan otot stapedius sedangkan *malleus* terhubung dengan otot tensor timpani, yang diinervasi oleh nervus fasialis dan nervus trigeminal.⁴ Stapedius memberikan rigiditas dan suplai darah ke rantai tulang pendengaran dan mengurangi kebisingan fisiologis dari mengunyah dan berbicara. Refleks stapedial adalah kontraksi otot stapedial yang terjadi secara bilateral terhadap suara yang disampaikan ke satu telinga.¹³

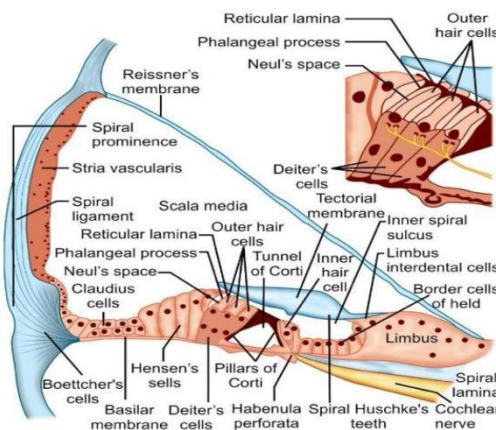
Telinga dalam terdiri dari koklea, alat vestibular dan kanalis semisirkularis.⁴ Telinga dalam juga mengandung sel rambut sensorik yang dapat rusak akibat berbagai faktor stres. Namun koklea tidak dapat meregenerasi sel rambut ini, sehingga menyebabkan kehilangan pendengaran.¹⁴

Koklea terdiri dari *hair cells* (HCs), *stria vascularis* (SV), dan *spiral ganglion neurons* (SGNs) (Gambar 1). *Inner hair cells* (IHC) tersusun membentuk satu baris

sel rambut dan berbentuk seperti labu, hanya memiliki sinapsis aferen. *Outer hair cells* (OHC) tersusun dalam tiga baris dan berbentuk silinder dan memiliki sinapsis aferen dan eferen.¹⁵ Koklea merupakan organ pendengaran dimana kemudian akan bergabung dengan bagian vestibular untuk membentuk *vestibulocochlear nerve*.¹⁴ Koklea berbentuk spiral dan terbagi menjadi tiga ruang membran paralel berikut yaitu skala media, skala vestibuli dan skala timpani.⁴ Skala media berisi endolimfe dan saluran di atasnya adalah skala vestibuli yang berakhir di tingkap lonjong, di bawahnya skala timpani yang berakhir di tingkap bundar. Skala vestibuli dan timpani berisikan perilimfe (Gambar 2).¹³



Gambar 1. Penampang melintang koklea. *inner hair cells* (IHCs), *stria vascularis* (SV), *spiral ganglion neurons* (SGNs), *tympanic membrane* (TM), *outer hair cells* (OHCs)¹⁵



Gambar 2. Potongan melintang koklea¹³

Mekanisme Pendengaran

Suara menyebar melalui telinga luar dan tengah yang diubah menjadi sinyal listrik di koklea. Fungsi koklea adalah mengubah suara menjadi sinyal listrik berdasarkan frekuensi. Suara mengenai

membran timpani dan getaran diteruskan melalui tiga tulang kecil di telinga tengah, yang memicu perubahan tekanan osilasi di dalam koklea.¹ Getaran diteruskan ke perilimfe, kemudian diubah oleh telinga dalam atau koklea menjadi impuls saraf. Impuls ini kemudian dikirim ke otak, dimana akan diinterpretasikan dan kemudian didengar sebagai suara.¹⁴

Getaran suara yang ditransmisikan ke telinga dalam ditransmisikan melalui perilimfe ke skala vestibuli, skala media dan skala timpani yang menyebabkan *round window* bergetar. Hal ini menyebabkan getaran membran basilar. Getaran ini ditransmisikan sebagai gelombang yang bergerak dari dasar ke puncak koklea. Saat gelombang yang bergerak menyebar dari dasar ke ujung koklea, bagian basal bergetar. Getaran membran basilar meredup lebih cepat pada frekuensi yang lebih tinggi.¹ Suara yang dapat didengar berada dalam rentang sekitar sepuluh oktaf, mulai dari 16 hingga 32 Hz per detik hingga 16.000 hingga 20.000 Hz per detik. Sensitivitasnya lebih rendah di ujung-ujung rentang, meskipun meningkat secara signifikan di atas 128 Hz hingga sekitar 4.000 Hz, setelah itu menurun dengan cepat. Seiring bertambahnya usia, rentang sensitivitas dan kemampuan mendengar secara keseluruhan terus menurun.¹⁴ Membran basilar lebih lebar dan lebih fleksibel di puncak koklea, sehingga menghasilkan suara dengan frekuensi yang lebih rendah. Oleh karena itu, lokasi pada membran basilar di mana amplitudo gelombang yang bergerak mencapai nilai maksimumnya bergantung pada frekuensi suara. Pada frekuensi yang lebih tinggi, lokasinya berada di dasar koklea, dan pada frekuensi yang lebih rendah, lokasinya berada di puncak. Dengan kata lain, frekuensi dimana membran basilar koklea paling mungkin bergetar ditentukan sebagai fungsi jarak dari *oval window*, dan ini merupakan dasar frekuensi dalam pendengaran. Lokalisasi frekuensi karakteristik ini yang disebut tonotopi, konsisten di setiap bagian jalur konduksi pendengaran hingga di korteks pendengaran.¹

Bagian atas membran basilar yaitu organ Corti, terdiri dari sel-sel epitel.¹ Organ Corti merupakan organ sensoris kompleks yang berisi sel rambut luar dan

dalam serta sel pendukung pada membran basilar.¹⁶ Organ Corti mengandung satu baris sel rambut yang berfungsi dalam mendeteksi sebagian besar informasi aferen dan tiga baris sel rambut luar yang menerima proyeksi dari serabut saraf eferen. Getaran membran basilar membuka saluran transduksi mekanik-elektrik sel rambut dalam, memungkinkan ion kalium dan kalsium mengalir ke dalam sel rambut dan menghasilkan arus reseptor.¹

Depolarisasi sel rambut oleh arus reseptor mengaktifkan kanal *calcium* yang diatur oleh tegangan, yang melepaskan neurotransmitter glutamat dari vesikel sinaptik, mengakibatkan transmisi sinyal pendengaran ke serabut saraf aferen. Sebaliknya, sel rambut luar memiliki sifat panjang dinamis sebagai respons terhadap perubahan potensial membran. Diperkirakan bahwa mekanisme peregangan ini memendekkan panjang sel melalui depolarisasi dan memperpanjang panjang sel melalui hiperpolarisasi, meningkatkan sensitivitas dan selektivitas frekuensi penerimaan auditori melalui responsivitasnya yang cepat. Secara umum, sel rambut luar lebih rentan terhadap kerusakan dibandingkan sel rambut dalam. Namun mekanisme dasarnya belum sepenuhnya ter jelaskan. Selain sel rambut, mitokondria terdapat pada sel marginal stria vaskularis untuk mempertahankan konsentrasi kalium yang tinggi dalam endolimfa dan untuk memproduksi potensial endolimfa.¹ Sel-sel rambut merangsang serabut saraf yang berdekatan, yang disusun berdasarkan frekuensi di mana mereka lebih sensitif.¹³

Presbikusis

Presbikusis merupakan gangguan pendengaran sensorineural progresif yang terkait dengan penuaan.⁴ Kondisi ini biasanya muncul pada usia 65 tahun.⁸ Presbikusis biasanya mempengaruhi kedua telinga secara bertahap dan merata, dan sering dilaporkan pada orang lanjut usia, dengan prevalensi berkisar antara 30% pada individu berusia 65–74 tahun hingga lebih dari 40–60% pada orang berusia 75 tahun ke atas.¹⁷

Presbikusis ditandai dengan gangguan pendengaran yang progresif, bilateral dan simetris, dengan sebagian

besar pasien mulai mengalami kehilangan pendengaran pada frekuensi tinggi. Gangguan ini juga ditandai dengan penurunan sensitivitas pendengaran dan kemampuan mengenali ucapan dalam lingkungan berisik, serta menyebabkan gangguan komunikasi yang dapat berkembang menjadi berbagai gangguan mental seperti isolasi sosial, depresi pada lansia, hambatan kognitif dan sebagainya.¹⁸ Demensia dan gangguan pendengaran keduanya merupakan faktor risiko independen untuk delirium, dan efeknya kemungkinan berinteraksi, terutama di lingkungan yang bising seperti rumah sakit.¹⁹

Etiopatogenesis

Penuaan adalah proses progresif yang ditandai pada tingkat molekuler oleh hilangnya dan kerusakan informasi genetik serta pada tingkat seluler oleh penurunan fungsi seluler atau apoptosis dan melemahnya koneksi antar sel. Perubahan-perubahan ini kemudian mempengaruhi struktur dan fungsi organ, yang pada akhirnya menyebabkan proses penuaan keseluruhan organisme.¹⁵ Meskipun patogenesis presbikusis belum sepenuhnya dipahami, telah terbukti bahwa banyak perubahan patologis fungsional dan struktural terjadi dalam proses penuaan sistem pendengaran perifer dan sentral. Perubahan patologis ini secara kumulatif menyebabkan penurunan fungsi pendengaran, seperti penurunan sensitivitas pendengaran dan berbagai kesulitan dalam lokalisasi, pemahaman ucapan dalam kebisingan, serta pemrosesan informasi yang mempengaruhi situasi psikososial individu. Perubahan pada sistem perifer meliputi proses penuaan koklea yang sering disertai dengan degenerasi *stria vascularis*, sel rambut, dan neuron ganglion spiral.¹² Gelombang suara harus dikonversi menjadi sinyal listrik oleh sel rambut sensorik, yang terdapat di dalam koklea. Karena kemampuan regenerasinya yang rendah, sel rambut ini sangat rentan terhadap kerusakan oksidatif.²⁰

Proses penuaan pada koklea terkait erat dengan proses penuaan yang lebih luas. Misalnya, kerentanan genetik atau kebocoran dalam sel rambut dapat memicu respons inflamasi, yang menyebabkan

kerusakan pada sel rambut seiring bertambahnya usia.¹⁵ Penyebab utama patologi terkait usia dalam penuaan sel kemungkinan besar adalah kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh kerusakan oleh radikal bebas.²¹

Hingga saat ini, etiologi presbikuis masih belum jelas. Beberapa studi menunjukkan bahwa stres oksidatif, apoptosis, mutasi mitokondria *Deoxyribonuclei Acid* (DNA), dan autofagi terlibat dalam perkembangan presbikuis.²² Banyak faktor berupa genetik, lingkungan dan medis telah dikaitkan sebagai penyebab presbikuis, meskipun mekanisme pastinya belum diketahui.¹ Presbikuis dapat terjadi lebih awal jika ada kecenderungan genetik, paparan kebisingan kronis atau penyakit pembuluh darah.⁸

Peran tertentu gen atau protein dalam patogenesis presbikuis telah dikonfirmasi melalui regulasi stres oksidatif yang mereka lakukan. Penghambatan kompleks mTOR 1 (mTORC1), komponen dari kinase serin/treonin, menunda penuaan koklea yang disebabkan oleh kerusakan oksidatif. Sebaliknya, deplesi Tsc1 (regulator negatif mTORC1) menyebabkan kematian dini sel rambut dan mempercepat kehilangan pendengaran. Glukosa-6-fosfat dehidrogenase menghambat penuaan koklea dengan meningkatkan ekspresi enzim antioksidan dan memodulasi jalur apoptosis.¹¹ Sinyal apoptosis pada presbikuis terjadi melalui jalur endogen dan eksogen yang bergantung pada mitokondria, yang diinduksi oleh ligan pada reseptor permukaan sel.¹ Mutasi pada gen *thyroid hormone receptor alpha* (THRA) dikaitkan dengan peningkatan stres oksidatif dan autofagi di koklea, yang menyebabkan kelainan pada sel rambut luar dan gangguan pendengaran pada tikus. Aktivasi autofagi dapat menghambat penuaan, tetapi aktivasi berlebihan juga dapat mempercepat penuaan.¹¹

Disregulasi gen dan protein terkait mitokondria, bersama dengan mutasi mtDNA, berkontribusi signifikan terhadap penuaan sel koklea. Tikus yang kekurangan P43, reseptor triiodothyronine mitokondria, menunjukkan hilangnya sel rambut dan sel ganglion spiral yang dipercepat, sehingga mengakibatkan gangguan pendengaran yang lebih parah. Pada eksplan koklea yang

mengalami penuaan akibat induksi H₂O₂, ekspresi gen protein terkait dinamika 1 (DRP-1) menurun. Namun, ekspresi berlebihan DRP-1 dalam sel koklea yang menua HEI-OC1 mengaktifkan mitofagi dan mengurangi disfungsi mitokondria yang disebabkan oleh akumulasi kerusakan oksidatif. Menghilangkan gen Fus1, yang mengkode protein mitokondria, menyebabkan peningkatan stres oksidatif, gangguan fungsi mitokondria, dan penghambatan autofagi. Akibatnya, hal ini menyebabkan degenerasi parah pada vesikel sinaptik mitokondria koklea, yang mengakibatkan gangguan pendengaran onset dini dan berkembang pesat pada tikus.¹¹ Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa mutasi pada beberapa gen dapat meningkatkan kerentanan terhadap presbikuis dan menunjukkan efek predisposisi genetik terhadap presbikuis. Berbagai teknik telah dilakukan untuk mengidentifikasi gen yang terkait dengan presbikuis dan menemukan kemungkinan keterkaitan banyak gen dengan perkembangan presbikuis seperti DFNA5, MYO6, GRM7, GRHL2, KCNQ4, SLC26A4 (39), dan CDH23 (40). Secara kolektif, beberapa gen kandidat potensial terkait dengan presbikuis dapat ditemukan dalam gen yang berhubungan dengan struktur telinga dalam dan/atau sel telinga dalam (gen KCNQ4 yang mengkode saluran K⁺ yang diatur tegangan, SLC26A4 yang mengkode transporter anion transmembran), sebagian dalam gen yang berhubungan dengan stres oksidatif telinga dalam (misalnya, mtDNA4977).¹²

Stres oksidatif terjadi ketika keseimbangan antara antioksidan dan *reactive oxygen species* (ROS) terganggu. Produksi ROS yang lebih tinggi dapat mengubah struktur DNA, menyebabkan kematian sel, termasuk apoptosis, nekrosis dan nekroptosis atau terjadinya penuaan pada tingkat seluler.²³ Tingkat radikal bebas yang berlebihan dan kerusakan oksidatif diamati pada koklea, *stria vascularis*, neuron ganglion spiral, nukleus koklea, kolikulus inferior, dan korteks auditorius.⁶

Secara normal, dalam kondisi fisiologis, ROS yang diproduksi di mitokondria sel rambut dieliminasi oleh efek antioksidan intrinsik sel rambut. Namun, dalam kondisi tingkat ROS yang

berlebihan akibat faktor eksternal, seperti kebisingan atau obat-obatan ototoksik, pertahanan antioksidan sel rambut terganggu, menyebabkan degenerasi koklea permanen. Mitokondria *Deoxyribonuclei Acid* (mtDNA) terus-menerus terpapar agen yang merusak DNA. Mutasi pada mtDNA menumpuk dan meluas selama pembelahan sel, menyebabkan penyakit terkait usia. Kerusakan oksidatif pada mtDNA sel rambut menyebabkan disregulasi mitokondria dan memicu apoptosis. Selain apoptosis, pembentukan ROS menyebabkan peradangan dan produksi sitokin pro-inflamasi interleukin-6 dan faktor nekrosis tumor alfa. Iskemia yang disebabkan oleh kebisingan dan reperfusi selanjutnya memperkuat pembentukan ROS.²⁴ ROS juga dapat menurunkan potensial membran mitokondria dan menyebabkan kelebihan kalsium, yang lebih lanjut merusak mitokondria dan berkontribusi pada apoptosis atau nekrosis sel rambut.²⁵

Peradangan kronis mempercepat degenerasi sel koklea yang terkait dengan presbikusis. Ambang pendengaran yang meningkat pada individu lanjut usia erat kaitannya dengan peningkatan kadar sitokin inflamasi (interleukin-6 dan protein C-reaktif) serta peningkatan jumlah sel inflamasi (leukosit dan neutrofil). *Pyroptosis*, bentuk kematian sel terprogram yang proinflamasi, bergantung pada caspase inflamasi (*caspase*-1, 3, 4, 5, dan 11).¹¹

Klasifikasi

Berbagai jenis presbikusis didefinisikan berdasarkan bentuk patologi yang berbeda.¹¹ Subtipe klinis presbikusis saat ini dibagi menjadi enam kategori yaitu:²⁶

1. Presbikusis sensoris, ditandai dengan kematian sel rambut di luar koklea.
2. Presbikusis neural, ditandai dengan kerusakan saraf pendengaran/ ganglion spiral.
3. Presbikusis metabolik/vaskular, ditandai dengan kerusakan pada lapisan vaskular dinding lateral koklea.
4. Presbikusis konduktif/ mekanik, ditandai dengan penebalan membran basilar dan hilangnya elastisitas ligamen spiral.
5. Presbikusis sentral, ditandai dengan lesi neurodegeneratif sentral.
6. Presbikusis campuran dengan dua atau lebih lesi yang terjadi secara bersamaan.

Kehilangan pendengaran frekuensi tinggi mendadak menunjukkan presbikusis sensorik, pola ambang batas yang datar menunjukkan presbikusis stria dan kehilangan kemampuan membedakan ucapan merupakan ciri khas presbikusis neural. Pada presbikusis konduktif koklea, terdapat model audiogram tipe datar yang secara bertahap menurun pada skala audiometri tanpa korelasi patologis.²⁷ Presbikusis dikategorikan sebagai presbikusis yang tidak dapat ditentukan ketika tidak terdapat korelasi yang teramati antara pola audiometri dan perubahan patologis di dalam koklea. Selain itu, pada kasus di mana perubahan terkait usia muncul pada segmen pendengaran sistem saraf pusat, yang menyebabkan penurunan kemampuan persepsi suara atau komunikasi, hal ini disebut sebagai presbikusis sentral.¹¹

Perubahan histopatologis yang terlibat dalam berbagai jenis presbikusis bervariasi sehingga pasien harus memilih strategi rehabilitasi yang sesuai.²⁶ Sebagian besar pasien dengan presbikusis memiliki patologi campuran, dan telah ditemukan bahwa jalur pendengaran sentral yang berkontribusi pada onset dan progresivitas presbikusis mungkin terpengaruh, selain patologi perifer.²⁴

Faktor Resiko Presbikusis

Faktor risiko untuk presbikusis dapat dikategorikan ke dalam empat kelompok yaitu penuaan pada koklea, faktor lingkungan (seperti paparan kebisingan pekerjaan, paparan obat ototoksik, pengaruh hormon, konsumsi alkohol, dan tembakau), faktor genetik (termasuk ras, riwayat keluarga, jenis kelamin biologis, dan gen spesifik), serta penyakit seperti obesitas, hipertensi dan diabetes.¹¹ Salah satu faktor utama yang berkontribusi adalah penyakit otologi. Secara teori, setiap kondisi otologi yang menyebabkan kehilangan pendengaran sepanjang hidup akan berkontribusi pada perkembangan kehilangan pendengaran terkait usia. Studi dalam literatur telah

menyoroti kontribusi etiologis dari otosklerosis, Meniere, dan trauma tulang temporal atau trauma kepala terhadap manifestasi kehilangan pendengaran terkait usia. Selain penyakit otologi, ototoksin juga telah dijelaskan sebagai faktor penyebab dalam etiologi penurunan pendengaran terkait usia, yaitu Aminoglikosida (misalnya Gentamisin dan Streptomisin), agen kemoterapi berbasis platina (misalnya Cisplatin dan Carboplatin), diuretik loop dosis tinggi, dan inhibitor Salisilat dan Fosfodiesterase tipe 5 (misalnya Sildenafil, Vardenafil, dan Tadalafil). Selain itu, paparan toksik terhadap logam berat (misalnya timbal dan merkuri) dan pelarut (misalnya toluena, stirena, dan xilena) telah dikaitkan sebagai faktor penyebab potensial untuk kehilangan pendengaran terkait usia.¹⁰

Kondisi kesehatan yang berdampak buruk pada sistem peredaran darah, seperti diabetes melitus dan hiperkolesterolemia, dapat mempengaruhi koklea dengan mengurangi transportasi nutrisi akibat perubahan pada pembuluh darah dan secara tidak langsung mengurangi aliran darah, yang mengakibatkan degenerasi sekunder saraf pendengaran.²⁸ Mekanisme potensial penyebab gangguan pendengaran pada diabetes melitus meliputi kerusakan koklea akibat gangguan sirkulasi darah di telinga dalam, gangguan pendengaran retrokoklea akibat neuritis saraf pendengaran, neuropati diabetes, dan mutasi DNA mitokondria. Hipertensi merangsang keterbatasan pendengaran melalui tekanan darah tinggi dalam sistem pembuluh darah yang menyebabkan pendarahan pada telinga dalam, khususnya pada arteri Cerebellar anterior inferior yang diteruskan ke arteri telinga dalam (arteri koklea dan arteri vestibular anterior), yang dapat menyebabkan keterbatasan pendengaran progresif atau mendadak.⁷

Status gizi telah diidentifikasi sebagai faktor risiko yang terkait dengan gangguan pendengaran. Kemunculan dan perkembangannya dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan, termasuk kebiasaan makan. Gangguan pendengaran telah dianalisis dari tiga perspektif berbeda yaitu konsekuensi dari kekurangan gizi yang berkepanjangan, pengaruh positif berbagai komponen diet dalam mencegah

gangguan pendengaran, dan efek suplementasi dengan komponen antioksidan.²⁹ Sedangkan merokok meningkatkan kadar karboksihemoglobin dalam darah, yang mengurangi oksigen yang dapat digunakan oleh sel-sel dalam tubuh. Kondisi ini akan mengurangi energi yang tersedia untuk koklea dan meningkatkan kerusakan pada sel-sel sensorik. Nikotin juga berkontribusi pada kehilangan pendengaran dengan keterkaitannya terhadap terjadinya aterosklerosis.²⁸

Studi lain melaporkan adanya efek *Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drug* (NSAID) terhadap presbikusis. Penelitian yang dilakukan pada hampir 27.000 pria (usia 40–74 tahun) selama periode 20 tahun yang dimulai pada 1986 menunjukkan bahwa penggunaan rutin obat antiinflamasi seperti NSAID dapat meningkatkan risiko kehilangan pendengaran dan tinnitus, terutama pada pria paruh baya di bawah usia 60 tahun. Hal ini disebabkan karena NSAID dapat mengurangi aliran darah ke koklea dan obat ini juga dapat bersifat ototoksik pada dosis tinggi.¹²

Diagnosis Presbikusis

Presbikusis didiagnosis ketika seseorang mengalami peningkatan ambang dengar yang simetris, tidak ditemukan cedera, riwayat pemakaian obat ototoksik, riwayat penyakit telinga, gangguan pendengaran konduktif minimum dan riwayat operasi telinga sebelumnya.³⁰ Gangguan audio-vestibular, seperti gangguan pendengaran, tinnitus, dan vertigo, merupakan keluhan umum pada lansia dan berkaitan dengan beban sosial dan kesehatan masyarakat.¹⁷ Individu dengan presbikusis sering mengalami “*cocktail party effect*”, disertai gejala seperti tinnitus, vertigo, ketidakseimbangan dan jatuh.¹¹

Pasien dengan presbikusis mengalami kesulitan besar dalam mendengar dalam lingkungan berisik, meskipun mereka mungkin dapat mendengar dengan baik di lingkungan yang tenang. Mereka mungkin mengeluh bahwa suara dapat didengar tetapi tidak dimengerti. Fenomena rekrutmen positif, dan semua suara tiba-tiba menjadi tidak tahan ketika volume dinaikkan. Tinnitus adalah masalah

lain yang mengganggu, dan pada beberapa kasus, ini adalah keluhan utama.⁸ Presbikusis juga meningkatkan kemungkinan terjadinya gejala psikotik dalam segala bentuknya, dan halusinasi pada pasien dengan demensia lebih sering terjadi pada orang dengan gangguan sensorik, baik visual maupun auditorik. Pada dasarnya orang dengan gangguan pendengaran, sistem adaptasi kompensasi secara signifikan mengurangi kemampuan otak untuk memproses suara, yang pada gilirannya mempengaruhi kemampuan seseorang untuk memahami ucapan. Bahkan dengan gangguan pendengaran ringan, area otak yang bertanggung jawab atas pendengaran menjadi lebih lemah. Secara berurutan, area otak yang diperlukan untuk pikiran tingkat tinggi mengkompensasi area yang melemah sehingga mengambil alih fungsi pendengaran dan membuatnya sulit untuk melakukan tugasnya. Proses ini dapat menjelaskan mengapa orang dengan gangguan pendengaran menunjukkan kinerja kognitif yang berkurang, terutama terkait fungsi eksekutif daripada fungsi linguistik, selama penilaian neuropsikologis.¹⁹

Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening

Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening (HHIE-S) adalah kuisioner yang paling sering digunakan di antara berbagai metode skrining pendengaran yang tersedia untuk orang lanjut usia. Sebuah studi menunjukkan bahwa HHIE-S memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dalam menilai gangguan pendengaran. Selain itu, hasil HHIE-S telah digunakan untuk mewakili status pendengaran aktual populasi lansia dalam beberapa studi.¹³ Pada tahun 2021, *World Health Organization* (WHO) merekomendasikan penggunaan HHIE-S sebagai langkah pertama dalam skrining pendengaran untuk memahami status pendengaran dan menilai apakah orang lanjut usia mengalami kesulitan pendengaran sehari-hari.³¹ *Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening* digunakan untuk penilaian awal subjektif kemampuan pendengaran seseorang. Kuesioner ini berisi 10

pertanyaan tentang kemampuan pendengaran, bertujuan untuk mengidentifikasi masalah pendengaran dalam kehidupan sehari-hari (Gambar 3).³² Semakin tinggi skor HHIE-S, semakin parah gangguan sosial dan emosional yang dialami. Jika nilai HHIE-S rendah, hal ini menunjukkan gangguan pendengaran yang dialami lansia tidak terlalu membatasi aktivitas sehari-hari mereka dan tidak terlalu mengganggu kualitas hidup.³³

Instructions:
Please check "Yes", "Sometimes", or "No" to each of the following items. Do not skip a question if you avoid a situation because of a hearing problem.

Questions	Yes	Sometimes	No
E-1. Does a hearing problem cause you to feel embarrassed when meeting new people?	☐	☐	☐
E-2. Does a hearing problem cause you to feel frustrated when talking to members of your family?	☐	☐	☐
S-3. Do you have difficulty hearing when someone speaks in a whisper?	☐	☐	☐
E-4. Do you feel handicapped by a hearing problem?	☐	☐	☐
S-5. Does a hearing problem cause you difficulty when visiting friends, or relatives or neighbors?	☐	☐	☐
S-6. Does a hearing problem cause you to attend religious services less often than you would like?	☐	☐	☐
S-6. Does a hearing problem cause you to have arguments with family members?	☐	☐	☐
S-8. Does a hearing problem cause you difficulty when listening to TV or radio?	☐	☐	☐
E-9. Do you feel that any difficulty with your hearing limits or hampers your personal or social life?	☐	☐	☐
S-10. Does a hearing problem cause you difficulty when in a restaurant with relatives or friends?	☐	☐	☐

Total Score: _____

HHIE-S scoring and interpretation
Scoring and interpretation:
"Always" = 4 points; "Sometimes" = 2 points; "No" = 0 points. Add up the points for a total score.

Total Score	Handicap Category	Total Score	Auditory Wellness Category
0-8	No or limited handicap	0-2	Excellent
10-24	Moderate handicap	4-6	Good
26-40	Severe handicap	8-14	Fair
		16-22	Poor
		24-40	Very poor

HHIE-S Categorization (Wanzenböck, 1990)
Auditory Wellness Category (Haines, 2017)

Gambar 3. Kuisioner *Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening*³²

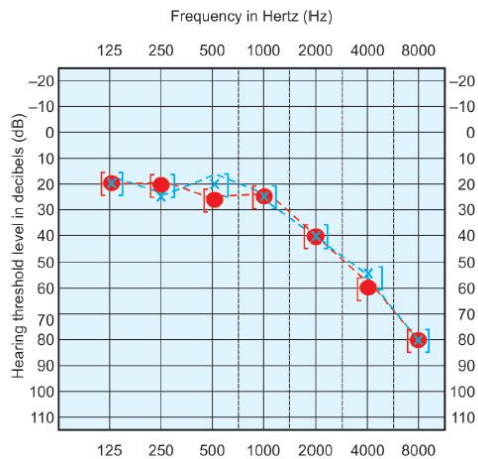
Pemeriksaan Audiologi pada Presbikusis

Presbikusis didiagnosa melalui pemeriksaan audiometri murni, audiometri tutur dan *speech in noise test*. Metode pemeriksaan ini dapat menentukan sensitivitas pendengaran berdasarkan kualitas informasi pendengaran perifer terhadap frekuensi dan indeks pengenalan suara. Pemeriksaan tersebut juga, dapat menentukan jenis dan derajat gangguan pendengaran pada presbikusis.^{9,30,34}

1. Audiometri Nada Murni

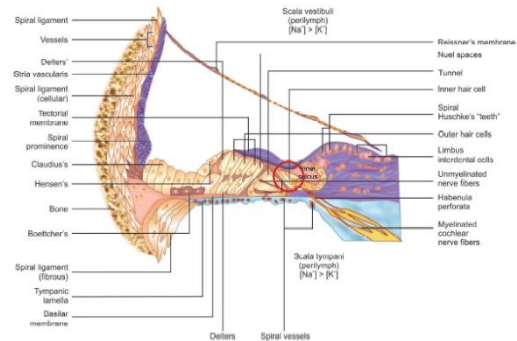
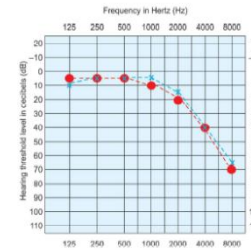
Pemeriksaan audiometri nada murni merupakan standar baku emas dalam evaluasi gangguan pendengaran. Namun, pemeriksaan audiometri nada murni dinilai cukup kompleks untuk dilakukan sehingga memiliki keterbatasan untuk ditetapkan sebagai metode skrining gangguan pendengaran pada lansia.³⁰ Pemeriksaan audiometri menguji kemampuan mendengar suara pada berbagai intensitas dan frekuensi.³⁵

Hasil pemeriksaan audiometri menunjukkan adanya tipe tuli sensorineural dengan penurunan tajam (*sloping*) setelah frekuensi 2000 Hertz (Hz).⁷ Individu dengan presbikusis cenderung mengalami penurunan pendengaran dalam rentang frekuensi 2000 hingga 4000 Hz lebih awal dalam prosesnya (Gambar 4).

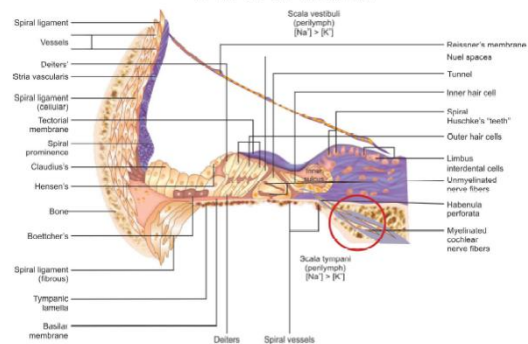
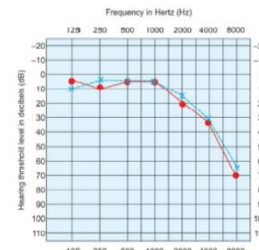


Gambar 4. Audiogram nada murni yang khas pada presbikusis. Kehilangan pendengaran sensorineural biasanya dimulai pada rentang frekuensi 2000 Hz dan di atasnya¹⁰

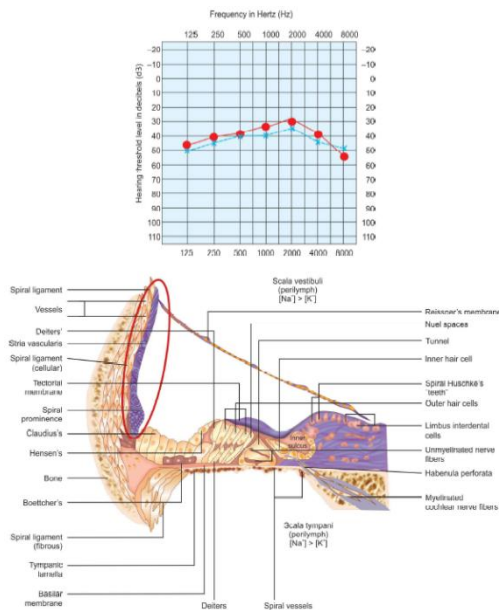
Oleh karena itu, individu cenderung mengalami kesulitan dalam memahami konsonan tak bersuara dalam ucapan. Misalnya, pasien dengan presbikusis mungkin mengalami kesulitan membedakan kata-kata “bash”, “bath”, “bat”, “back”, “batch”, dan “bass”. Karena hal ini, pasien sering mengalami kesulitan dalam memahami ucapan, terutama dalam kondisi lingkungan yang bising.¹⁰ Penurunan yang tajam (*sloping*) pada tahap awal setelah frekuensi 2000 Hz khas pada presbikusis sensorik dan neural. Kedua jenis presbikusis ini sering ditemukan. Garis ambang dengar pada audiogram jenis metabolik dan mekanik lebih mendatar, kemudian pada tahap berikutnya berangsur-angsur terjadi penurunan. Semua jenis presbikusis tahap lanjut juga terjadi penurunan pada frekuensi yang lebih rendah.³⁶ Audiometri nada murni yang khas untuk berbagai kelas presbikusis dijelaskan oleh Schuknecht disertai ilustrasi wilayah keterlibatan koklea yang diusulkan (Gambar 5-8).¹⁰



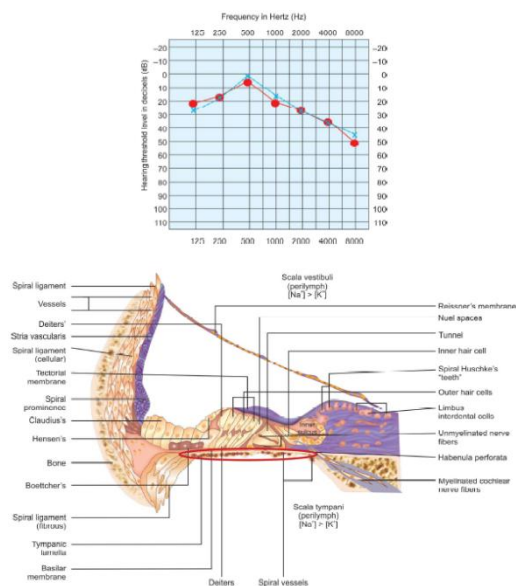
Gambar 5. Presbikusis sensorik. Audiogram menunjukkan bentuk khas kehilangan pendengaran yang disebabkan oleh kehilangan sel rambut.¹⁰



Gambar 6. Presbikusis neural. Audiogram menunjukkan pola kehilangan pendengaran frekuensi tinggi yang disebabkan oleh kehilangan sel ganglion spiral.¹⁰



Gambar 7. Presbikuisis metabolik. Audiogram menunjukkan gangguan pendengaran datar khas yang diduga akibat sekunder dari atrofi di dalam stria vaskularis.¹⁰



Gambar 8. Presbikuisis mekanik. Audiogram menunjukkan bentuk penurunan pendengaran yang khas disebabkan oleh pengerasan dari membran basilar.¹⁰

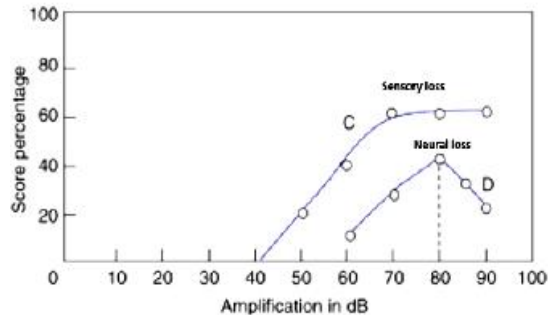
2. Audiometri Tutar

Pemeriksaan audiometri tutur menunjukkan adanya gangguan diskriminasi wicara (*speech discrimination*) dan biasanya keadaan ini jelas terlihat pada presbikuisis jenis neural dan koklear.³⁶

Audiometri tutur menilai kemampuan seseorang untuk mendengar dan memahami sinyal tutur kata. Audiometri tutur rutin digunakan untuk menilai kemampuan sensitivitas ambang dengar dalam desibel (dB) untuk suara atau untuk memperkirakan kemampuan mengenali kata-kata. Terdapat tiga komponen penilaian pada audiometri tutur yaitu *speech detection threshold* (SDT), *speech reception threshold* (SRT) dan *speech discrimination score* (SDS). *Speech detection threshold* merupakan level intensitas dimana pasien dapat mendengar sinyal kata-kata yang diberikan secara benar $\pm 50\%$. *Speech recognition threshold* (SRT) merupakan level intensitas terendah dimana pasien dapat mengulang kata-kata secara benar $\pm 50\%$. Hasil SRT pada keadaan normal adalah ± 10 dB dari nilai rata-rata ambang dengar audiometri nada murni pada frekuensi pemeriksaan 500, 1000 dan 2.000 Hz.¹⁶

Pemeriksaan SDS yang disebut juga *word recognition test* lebih kompleks dibanding SDT atau SRT. Pemeriksaan ini memberikan informasi mengenai kemampuan untuk mendengar dan memahami kata-kata. Penilaian 25-50 kata-kata dengan satu suku kata diberikan kepada pasien melalui *earphone* pada satu atau level intensitas dan pemeriksa menghitung persentase kata yang diulangi pasien secara benar. Telinga diperiksa satu persatu. Pada daftar kata-kata tersebut, suara spesifik atau fenom muncul sesering kalimat tersebut muncul pada percakapan sehari-hari, yang disebut dengan *phonetically balanced* (PB). Pemeriksaan ini dilakukan dengan memberikan kata-kata 30-40 dB atau *suprathreshold* dari nilai SRT. Penggunaan level *suprathreshold* ini penting karena pemahaman satu suku kata membutuhkan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dua suku kata. Pemeriksaa ini juga penting dalam keputusan terkait prosedur operasi, kebutuhan rehabilitasi dan fungsi auditori sentral. Kemampuan SDS seseorang biasanya dapat diprediksi berdasarkan audiogram. apabila terjadi peningkatan intensitas diatas level tertentu, pada gangguan pendengaran neural atau retrokoklea, skor PB akan cenderung turun. Berbeda dengan gangguan pendengaran sensori atau koklea dimana kurva

cenderung mendatar (Gambar 9). Telinga normal dan dengan gangguan pendengaran konduksi, dapat diperoleh nilai 90-100% namun tidak pada rentang *threshold* (dB) normal (Tabel 1).¹⁶



Gambar 9. Gangguan pendengaran sensoris dan neural¹⁶

Tabel 1. Interpretasi kemampuan memahami percakapan dan hubungannya dengan nilai *speech discrimination score* (SDS)¹⁶

Nilai SD	Kemampuan Memahami Percakapan
90-100%	Normal
76-88%	Kesulitan ringan
60-74%	Kesulitan sedang
40-58%	Buruk
<40%	Sangat buruk

Pemeriksaan audiometri tutur pasien dengan gangguan pendengaran sensorineural mengeluhkan mereka dapat mendengar, namun tidak jelas atau sulit untuk dipahami terutama ketika terdapat suara bising disekitarnya.¹⁶ Saat pemeriksaan audiometri tutur pasien diminta untuk mengulang kata yang didengar melalui kaset *tape recorder*. Pada tuli perseptual koklea pasien sulit untuk membedakan bunyi huruf R, S, C, H, CH, N, sedangkan pada tuli retrokoklea lebih sulit lagi untuk membedakan kata tersebut. Guna pemeriksaan ini adalah untuk menilai kemampuan pasien dalam pembicaraan sehari-hari, dan untuk menilai pemberian alat bantu dengar.³⁶

3. *Speech-in-Noise Test*

Sifat penting dari *speech in noise test* (SIN) adalah ketepatan tes tersebut dan untuk digunakan sebagai tes skrining, khususnya spesifisitas dan sensitivitasnya.

Kemampuan memahami ucapan dalam lingkungan berisik merupakan tantangan paling umum bagi individu dengan gangguan pendengaran yang mempengaruhi komunikasi sehari-hari dan kualitas hidup. *Speech in noise test* penting untuk mengevaluasi kemampuan mengenali bicara dalam kebisingan, mendiagnosis gangguan pendengaran dan mengevaluasi kinerja alat bantu dengar dan implan koklea.⁹ Sehingga menyertakan tes SIN dalam tes audiologi dianggap krusial, dan studi menyarankan bahwa hasil tes pasien harus dievaluasi dengan mempertimbangkan hasil tes SIN mereka.³⁷

Tatalaksana Presbikosis

1. Alat bantu dengar

Alat bantu dengar umumnya direkomendasikan untuk penguatan suara pada individu dengan ambang pendengaran dalam rentang frekuensi bicara sebesar 40 dB atau lebih. Dalam kasus tertentu di mana tuntutan pekerjaan atau pendidikan sangat berat, kehilangan pendengaran lebih dari 40 dB dapat memperoleh manfaat dari penguatan suara.¹⁰ Studi empiris menunjukkan bahwa penggunaan alat bantu dengar dapat meningkatkan pengalaman pendengaran, memperkuat kemampuan kognitif, dan memperbaiki memori kerja dengan memperkuat neuroplastisitas kortikal pada individu yang menderita presbikosis serta dapat meningkatkan kualitas hidup terkait kesehatan, yang dapat dikaitkan dengan peningkatan kemampuan komunikasi.¹¹

Alat bantu dengar adalah perangkat yang berfungsi untuk memperkuat suara yang mencapai telinga. Secara umum, alat ini terdiri dari tiga bagian yaitu mikrofon yang menangkap suara dan mengubahnya menjadi impuls listrik, *amplifier* yang memperkuat impuls listrik dan *receiver*, yang mengubah impuls listrik kembali menjadi suara. Suara yang telah diperkuat ini kemudian diteruskan melalui *earmould* ke membran timpani.³⁸ Pemilihan jenis alat bantu dengar harus didasarkan pada faktor-faktor seperti kebutuhan, fitur fisik saluran telinga (ukuran, kontur, dan lain-lain), kemudahan pemasangan dan pengoperasian, kebutuhan fitur khusus (mikrofon arah, telecoil, dll), kenyamanan fisik dan pertimbangan penyumbatan, serta

pertimbangan estetika. Saat ini, alat bantu dengar yang paling umum adalah *behind the ear* (BTE), *in the ear* (ITE) dan *over the ear* (OTE).

Jenis BTE, mikrofon, *amplifier*, *receiver*, dan baterai semuanya berada dalam satu unit yang dipakai di belakang telinga. Unit ini terhubung ke saluran telinga melalui selang dan cetakan telinga. Jenis ini berguna untuk kasus keparahan ringan hingga sedang, terutama yang berkaitan dengan frekuensi tinggi.³⁸ Alat bantu dengar BTE sering dipilih saat bekerja dengan anak-anak kecil karena, seiring pertumbuhan anak, hanya cetakan telinga yang perlu diganti secara berkala untuk menyesuaikan perubahan dimensi fisik telinga yang sedang tumbuh. Ini merupakan keuntungan biaya yang signifikan dibandingkan mengganti seluruh alat bantu dengar kustom setiap beberapa bulan. Selain itu, ukuran fisik BTE memungkinkan penggunaan komponen yang lebih besar, sehingga dapat menampung berbagai gaya alat bantu dengar. Jenis BTE sering menjadi pilihan terbaik untuk pasien dengan gangguan pendengaran berat atau sangat berat, meskipun mereka juga cocok untuk semua tingkat gangguan pendengaran.³⁹

Alat bantu dengar ITE merupakan alat yang pas langsung masuk ke telinga luar. Sirkuitnya terdapat di dalam konka pada alat bantu dengar berukuran seperti cangkang penuh atau setengah cangkang.³⁹ Alat ini berguna untuk gangguan pendengaran ringan hingga sedang dengan konfigurasi datar. Alat ini sangat populer karena daya tarik kosmetiknya.³⁸

Alat bantu dengar OTE adalah alat yang relatif baru di pasaran, mulai populer dalam 10 tahun terakhir. Alat ini juga dikenal sebagai alat bantu dengar “*open-fit*”, karena tidak menutupi saluran telinga luar. Alat bantu dengar OTE adalah mini-BTE, dengan bentuk yang lebih kecil ditempatkan lebih dekat ke bagian atas. Jenis ini memiliki beberapa keunggulan. Pertama, karena saluran telinga biasanya tetap terbuka, lebih banyak frekuensi rendah yang keluar dari saluran telinga, termasuk suara pasien sendiri dan pasien mengalami efek penyumbatan yang lebih sedikit. Kedua, elemen kabel *receiver* biasanya modular dan dapat diganti di klinik

daripada dikirim ke pabrik untuk diperbaiki. Ketiga, perangkat ini lebih kecil dan ringan dibandingkan gaya lain, serta biasanya paling tidak mencolok. Namun, perangkat ini tidak cocok untuk pasien dengan gangguan pendengaran parah atau sangat parah karena daya yang relatif terbatas.³⁹ Tersedia juga dua jenis lainnya yaitu *in the canal* (ITC) dan jenis lain yang lebih kecil dan tidak terlihat yaitu *completely in the canal* (CIC).³⁸

Terdapat juga beberapa ABD yang memiliki beberapa bentuk terapi suara tinnitus sebagai opsi yang dapat diprogram. Namun nilai penambahan suara ke amplifikasi tidak pasti. Suara yang dihasilkan oleh ABD ini biasanya berupa *boardband noise*, tetapi saat ini, nada dan suara gelombang sintesis juga sudah tersedia. Pemasangan ABD dapat mengurangi tinitus melalui manfaat penyamaran suara.⁴⁰ Strategi lain untuk menyesuaikan alat bantu dengar guna meredakan tinitus adalah terapi *notch*, di mana amplifikasi alat bantu dengar dihilangkan pada nada tinitus (khususnya, menggunakan filter 1-2 oktaf dengan nada tinitus yang sesuai sebagai frekuensi pusat. Selain untuk menutupi tinitus pasien, strategi ini bertujuan untuk menghambat peningkatan aktivitas spontan di korteks pendengaran yang terkait dengan persepsi tinitus menggunakan fenomena yang dikenal sebagai inhibisi lateral.⁴¹

Meskipun merupakan pengobatan yang paling umum untuk presbikusis, penggunaan alat bantu dengar terbatas karena biayanya yang tinggi dan pengalaman pengguna yang kurang optimal. Pasien harus menjalani periode adaptasi yang panjang untuk terbiasa dengan sinyal suara baru, dan beberapa individu memilih untuk menghentikan penggunaan alat bantu dengar karena kualitas suara yang dirasa kurang optimal.¹¹

2. Implan koklea

Selain alat bantu dengar, implan koklea merupakan satu-satunya metode yang efektif untuk rehabilitasi pendengaran pada lansia berusia 70 tahun ke atas dengan gangguan pendengaran berat hingga sangat berat.¹¹ Implan koklea dapat menjadi pilihan pada pasien yang tidak terbiasa dengan alat bantu dengar.³⁰

Implan koklea terdiri dari dua komponen utama yaitu perangkat eksternal yang terdiri dari mikrofon, *sound processor*, pemancar, dan implan (yang terdiri dari *receiver* dan sistem elektroda). Mikrofon akan menangkap suara kemudian *sound processor* mengubahnya menjadi sinyal listrik, pemancar mengirimkan sinyal ke penerima, dan sistem elektroda secara langsung merangsang saraf pendengaran, sehingga memulihkan atau merekonstruksi fungsi pendengaran pada orang yang tuli parah.¹¹ Implan koklea sangat direkomendasikan karena bermanfaat dalam meningkatkan perkembangan neuron aferen.³⁴

3. Medikamentosa

Terapi obat menawarkan beberapa keunggulan dalam pengobatan presbikusis, termasuk peningkatan fungsi pendengaran, pengurangan gejala *tinnitus*, dan peningkatan kualitas hidup melalui mekanisme seperti meningkatkan mikrosirkulasi telinga, nutrisi saraf, memberikan efek antiinflamasi, dan melawan radikal bebas. Namun intervensi obat hanya dapat memperlambat perkembangan presbikusis, bukan mengobati perubahan degeneratif yang terjadi.¹¹

Pemberian antioksidan, seperti *D-methionine*, *Glutathione*, dan *N-acetylcysteine*, menyebabkan penurunan kerusakan ototoksik dan akibat kebisingan. Suplementasi diet dengan vitamin C, vitamin E, dan karotenoid akan memperlambat proses degenerasi koklea dan kehilangan pendengaran.³⁴ Pemberian suplementasi pada penderita presbikusis dengan antioksidan terbukti dapat mengurangi perkembangan penyakit tersebut.⁴² Meskipun umumnya dianggap aman, dosis besar beberapa antioksidan dapat menyebabkan efek negatif.²⁰

N-asetilsistein (NAC) yang merupakan prekursor sistein adalah molekul antioksidan yang dapat meningkatkan produksi *glutathione*. Pada manusia, pemberian oral NAC setelah paparan kebisingan secara signifikan mengurangi insiden pergeseran ambang batas sementara, dan jika dibandingkan dengan *glutathione*, NAC memiliki keunggulan dalam penyerapan usus yang

lebih baik.⁴³ Dosis, waktu, dan durasi pengobatan yang optimal bervariasi untuk setiap individu karena beberapa faktor ekstrinsik dan intrinsik terlibat dalam patofisiologi presbikusis.⁴⁴

4. Terapi stem cell

Sel-sel saraf pendengaran memiliki kapasitas regeneratif yang terbatas, yang mengakibatkan gangguan pendengaran permanen. Namun, terapi stem *cell* menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi kerusakan telinga dalam yang permanen.¹¹ Banyak penelitian telah mengevaluasi pengobatan penyakit telinga dalam menggunakan stem *cell* dari metode yang kurang umum seperti sel punca embrio dan sel punca *pluripotent* yang diinduksi hingga metode yang lebih baru dan efisien seperti sel punca mesenkimal.¹²

Salah satu metode regenerasi sel rambut adalah menggunakan stem *cell* ini.¹² Beberapa penelitian berhasil mengisolasi sel induk yang berasal dari vestibulum telinga dalam dengan kemampuan diferensiasi *pluripotent* dari tikus dewasa dan kemudian menanamkannya ke dalam embrio ayam secara *in vitro*, di mana sel-sel tersebut berhasil berdiferensiasi menjadi sel-sel rambut di dalam kapsul telinga dalam yang sedang berkembang. Studi ini mengungkap sumber potensial regenerasi untuk sel-sel rambut telinga dalam, menunjukkan potensi transplantasi sel untuk rekonstruksi pendengaran pada individu dengan gangguan pendengaran. Studi lain menunjukkan bahwa transplantasi sel progenitor saraf ke koklea gerbil yang denervasi mengakibatkan kelangsungan hidup sel-sel tersebut dan regenerasi saraf selanjutnya di epitel sensorik organ Corti. Selain itu transplantasi sel induk saraf secara signifikan mengurangi apoptosis neuron, menurunkan ambang respons batang otak pendengaran dan meningkatkan pendengaran pada tikus tua yang tuli.¹¹

Stem *cell* adalah dasar dari semua organ dan jaringan dalam tubuh. Berbagai jenis sel punca dibagi berdasarkan tempat mereka diekstraksi dan perubahan yang bisa terjadi.¹² Uji klinis fase 1 di Amerika Serikat menggunakan infus intravena darah tali pusat autologus untuk mengobati anak-anak dengan gangguan pendengaran

sensorineural yang didapat. Terutama, 45% pasien menunjukkan peningkatan signifikan dalam *Audiometry Brainstem Response* (ABR) setelah infus dan tidak ada kejadian buruk yang dilaporkan. Dalam uji klinis fase I lainnya di Jerman, vesikel ekstraseluler yang berasal dari sel stromal mesenkim manusia ditransplantasikan ke telinga dalam pasien dengan penyakit Meniere, sehingga meredakan respons inflamasi transplantasi koklea, aman, dan berpotensi meningkatkan kesehatan koklea serta persepsi bicara. Uji klinis fase I ini awalnya telah membuktikan keamanan dan manfaat terapi sel punca dalam mengobati tuli. Meskipun penelitian ini tidak secara khusus menargetkan presbikusis, mekanisme regenerasi sel rambut mirip, dan dapat menawarkan referensi berharga untuk terapi sel rambut untuk presbikusis. Selanjutnya, uji klinis fase 2/3 skala lebih besar diperlukan untuk memberikan dukungan lebih lanjut bagi terapi sel punca dalam mengobati tuli.¹¹

5. Terapi gen

Terapi gen dilakukan untuk berbagai tujuan dalam penyakit telinga, seperti menyediakan agen pelindung untuk kelangsungan hidup sel rambut dan sel saraf ganglion setelah cedera, memperbaiki mutasi genetik, dan regenerasi sel rambut.¹² Selain itu, meskipun sel rambut telinga dalam berhasil diregenerasi melalui terapi stem *cell*, kehilangan sel rambut akibat mutasi kongenital tetap tidak dapat dihindarkan. Sehingga terapi gen menjadi pendekatan fundamental untuk mengatasi kehilangan pendengaran hereditas. Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat mendefinisikan terapi gen sebagai teknik yang memodifikasi gen individu (dengan mengganti, menekan, atau mengedit gen yang cacat) untuk mengobati atau menyembuhkan penyakit. Keberadaan *blood-labyrinth barrier* di telinga dalam secara efektif meredakan respon imun sistemik dan menjadikannya target ideal untuk terapi gen. Selain itu, keberadaan cairan endolimfe dan perilimfe di dalam telinga dalam memudahkan transfeksi gen yang dibawa vektor ke sel koklea.¹¹ Beberapa peneliti telah mencoba untuk mengobati presbikusis melalui perlindungan dan regenerasi sel rambut.

Berbagai jalur terapi gen yang mungkin telah diidentifikasi berkat penelitian ekstensif tentang regenerasi sel rambut.¹² Terapi gen untuk memulihkan pendengaran pada individu dengan presbikusis telah diteliti menggunakan model tikus. Aktivitas mTORC1 di koklea secara bertahap meningkat seiring bertambahnya usia, dan penghambatan aktivitas mTORC1 dengan menonaktifkan komponen kunci mTORC1, Raptor, dapat meningkatkan kelangsungan hidup sel rambut dan neuron ganglion spiral di telinga dalam yang menua, sehingga memulihkan pendengaran pada tikus dengan presbikusis. Selain itu penelitian lain menunjukkan bahwa penghapusan Sirt1 melindungi sel rambut koklea dan neuron ganglion spiral, sehingga menunda timbulnya presbikusis melalui penggunaan model tikus Sirt1 *knockout*. Selain itu, tikus Bak *knockout* menunjukkan kerusakan yang berkurang pada sel rambut dan neuron ganglion spiral, yang menyebabkan penundaan terjadinya presbikusis. Temuan ini menghadirkan potensi baru untuk pencegahan dan pengobatan presbikusis sensorik serta presbikusis saraf. Selain itu, penghapusan gen Foxg1 yang ditargetkan pada sel rambut di tikus menghasilkan proses apoptosis sel rambut yang dipercepat dan perkembangan presbikusis, sehingga menunjukkan bahwa intervensi terapeutik yang bertujuan untuk menghapus gen Foxg1 berpotensi menjadi pendekatan preventif dan kuratif untuk presbikusis sensorik. Berdasarkan model hewan presbikusis, gen-gen tertentu telah diidentifikasi sebagai kontributor potensial terhadap patogenesis kondisi ini. Gen-gen kandidat ini dapat mempengaruhi pendengaran dengan memodulasi sel koklea dan saraf pendengaran. Namun, perlu dicatat bahwa gen-gen yang bermutasi ini tidak selalu secara langsung memicu timbulnya presbikusis; sebaliknya, mereka mungkin hanya meningkatkan kerentanan terhadap kondisi ini.¹¹

Terapi gen dan sel punca merupakan beberapa pendekatan masa depan yang menjanjikan. Mereka berpotensi menjadi solusi ideal untuk pencegahan dan pengobatan penyakit yang berkaitan dengan gen. Namun tidak boleh diabaikan bahwa terapi gen terkait dengan banyak tantangan dan risiko yang dapat

berdampak negatif pada proses pengobatan. Salah satu tantangan adalah pertimbangan keamanan terkait efek samping potensial. Vektor digunakan dalam proses terapi gen untuk memfasilitasi transfer gen. Vektor ini pada gilirannya, dapat menyebabkan berbagai efek pada sel non-target. Oleh karena itu, semua metode terapi gen dan sel harus dikendalikan secara memadai untuk menghindari pertumbuhan sel yang dapat merusak. Masalah lain adalah biaya tinggi untuk terapi ini, yang merupakan tantangan fundamental dalam terapi gen yaitu masyarakat umum sulit membayar harga yang tinggi. Akhirnya, efektivitas metode ini masih dipertanyakan. Meskipun demikian, terapi gen dan sel punca merupakan strategi menjanjikan untuk mengobati gangguan pendengaran sensorineural karena satu-satunya opsi untuk meregenerasi sel rambut di koklea.¹²

Prognosis

Prognosis presbikuisis adalah kurang baik, dimana penderita presbikuisis akan mengalami penurunan pendengaran secara progresif yang rata-rata terjadi penurunan pendengaran sekitar 0,7–1,2 dB per tahun tergantung pada usia penderita.³⁶ Alat bantu dengar yang diberikan kepada pasien dapat berkontribusi sebagai rehabilitasi bagi pasien presbikuisis. Selain itu, pasien dengan presbikuisis dapat melakukan pemasangan implan koklea. Implan koklea menjadi pilihan pasien yang tidak terbiasa dengan alat bantu dengar.³⁰

Presbikuisis merupakan penyakit yang tidak dapat disembuhkan.³⁰ Namun terapi *stem cell* menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi kerusakan telinga dalam yang permanen.¹¹ Selain itu terapi gen dan sel punca merupakan strategi yang menjanjikan untuk mengobati gangguan pendengaran sensorineural karena mereka merupakan satu-satunya opsi untuk meregenerasi sel rambut di koklea.¹² Presbikuisis derajat sedang atau berat yang tidak diobati dapat sangat mempengaruhi kemampuan komunikasi dan dapat menyebabkan isolasi sosial, depresi dan kemungkinan demensia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan proaktif dan efektif untuk mencegah dan mengobati presbikuisis.¹¹

KESIMPULAN

Presbikuisis merupakan gangguan pendengaran sensorineural progresif yang terkait dengan proses penuaan yang diduga berhubungan dengan kerentanan genetik, stres oksidatif dan peradangan kronik. Diagnosis presbikuisis didasarkan pada penurunan pendengaran di atas frekuensi 2000 Hz pada audiometri nada murni, abnormalitas pada audiometri tutur dan *speech-in-noise test*. Tatalaksana presbikuisis mencakup alat bantu dengar, implan koklea, medikamentosa dengan obat antioksidan, terapi *stem cell* dan terapi gen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kishimoto-Urata M, Urata S, Fujimoto C, Yamasoba T. Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Acquired Inner Ear Disorders. *Antioxidants*. 2022;11:1-23.
2. Tang D, Tran Y, Dawes P, Gopinath B. A Narrative Review of Lifestyle Risk Factors and the Role of Oxidative Stress in Age-Related Hearing Loss. *Antioxidants*. 2023;12(4):1-17.
3. Choi JE, Ahn J, Moon IJ. Associations between Age-Related Hearing Loss and Dietary Assessment Using Data from Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *MDPI*. Published online 2021:1-11.
4. Chester J, Johnston E, Walker D, et al. A review on recent advancement on age-related hearing loss: The applications of nanotechnology, drug pharmacology, and biotechnology. *Pharmaceutics*. 2021;13(7).
5. Pak JH, Kim Y, Yi J, Chung JW. Antioxidant therapy against oxidative damage of the inner ear: Protection and preconditioning. *Antioxidants*. 2020;9(11):1-21.
6. Lv H, Gao Z, Wang Y, et al. Global characteristics and trends of presbycusis research from 2002 to 2021: a bibliometric study. *Am J Transl Res*. 2023;15(4):2407-2425.
7. Labambe N, Sanna AT, Maulani D, Sulaiman AB, Hamriani I. Characteristics Of Presbicusis: A Literature Review. *J Eduhealth*. 2024;15(03):154-162.

8. Dhingra P, Dhingra S. Hearing Loss. In: Diseases of Ear, Nose and Throat & Head and Neck Surgery. Seventh. Elsevier; 2016:31-42.
9. Polspoel S, Moore DR, Swanepoel DW, Kramer SE, Smits C. Automatic development of speech-in-noise hearing tests using machine learning. *Sci Rep*. 2025;15(1):1-20.
10. Ackah SEH, Juhn SK. Presbycusis.pdf. In: Sataloff's Comprehensive Textbook of Otolaryngology Head & Neck Surgery. ; 2016:288-303.
11. Lin X, Xu Y, Fan C, Zhang G. Novel insights into mechanisms and therapeutics for presbycusis. *Heliyon*. 2025;11(1):1-16.
12. Tavanai E, Rahimi V, Khalili ME, Falahzadeh S, Zarandy MM, Mohammadkhani G. Age-related hearing loss: An updated and comprehensive review of the interventions. *Iran J Basic Med Sci*. 2024;27(3):256-269.
13. Maria PL santa, Oghalai JS. Anatomy and Physiology of the Auditory System. In: Sataloff's Comprehensive Textbook of Otolaryngology Head & Neck Surgery. ; 2016:1-18.
14. Kulkarni S, Totey M, Agarwal S, Gaurkar S. A Systematic Review of Auditory Loss and Its Management. *J Pharm Res Int*. 2021;33:743-749.
15. Zhao X, Shen T, Cao S, et al. Presbycusis: Pathology, Signal Pathways, and Therapeutic Strategy. *Adv Sci*. 2025;2410413:1-15.
16. Amany EN, Rosalinda R, Munilson J, Edward Y. Peran Audiometri Tutur pada Otitis Media Supuratif Kronis. *J Otorinolaringol Kepala dan Leher Indones*. 2023;1(1):67-82.
17. Chen HL, Tan CT, Wu CC, Liu TC. Effects of Diet and Lifestyle on Audio-Vestibular Dysfunction in the Elderly: A Literature Review. *Nutrients*. 2022;14(22):1-23.
18. Hu S, Sun Q, Xu F, Jiang N, Gao J. Age-related hearing loss and its potential drug candidates: a systematic review. *Chinese Med (United Kingdom)*. 2023;18(1):1-26.
19. Bisogno A, Scarpa A, Di Girolamo S, et al. Hearing loss and cognitive impairment: Epidemiology, common pathophysiological findings, and treatment considerations. *Life*. 2021;11:1-14.
20. Maniaci A, La Via L, Lechien JR, et al. Hearing Loss and Oxidative Stress: A Comprehensive Review. *Antioxidants*. 2024;13(7):1-18.
21. Muderris T, Sağlam A, Unsal D, Mülazimoğlu S, Sevil E, Kayhan H. Efficiency of resveratrol in the prevention and treatment of age-related hearing loss. *Exp Ther Med*. 2021;23(1):1-7.
22. Yan L, Huo Y, Shi J, Dong Y, Tan H. Traditional Chinese medicine for the prevention and treatment of presbycusis. *Heliyon*. 2023;9(12):1-15.
23. Hayashi K, Suzuki Y, Fujimoto C, Kanzaki S. Molecular mechanisms and biological functions of autophagy for genetics of hearing impairment. *Genes (Basel)*. 2020;11(11):1-17.
24. Teraoka M, Hato N, Inufusa H, You F. Role of Oxidative Stress in Sensorineural Hearing Loss. *Int J Mol Sci*. 2024;25(8):1-17.
25. Zhang L, Du Z, He L, Liang W, Liu K, Gong S. ROS-Induced Oxidative Damage and Mitochondrial Dysfunction Mediated by Inhibition of SIRT3 in Cultured Cochlear Cells. *Neural Plast*. Published online 2022:1-12.
26. Zheng Q, Xu Z, Li N, Wang Y, Zhang T, Jing J. Age-related hearing loss in older adults: etiology and rehabilitation strategies. *Front Neurosci*. 2024;18(October):1-12.
27. Erturk YG, Sunar F. Effect of zinc on hearing. *Turkish J Audiol Hear Res*. 2023;(October):71-75.
28. Hasansulama W, Madiadipoera TS, Sunarjati, Garna H. Glutathione Peroxide and Glutathione to Disulfide Glutathione Ratio in Presbycusis: a Case-control Study. *Med Arch*. 2022;76(3):209-214.
29. Rodrigo L, Campos-Asensio C, Rodríguez MÁ, Crespo I, Olmedillas H. Role of nutrition in the development and prevention of age-related hearing loss: A scoping review. *J Formos Med Assoc*. 2021;120(1P1):107-120.

30. Putri EA, Ristyaning P, Sangging2 A, Himayani3 R. Pengaruh Presbikusis Terhadap Kualitas Hidup Lansia. *MEDULA Med Prof J Univ Lampung*. 2023;13(April):15-20.
31. Zhou X, Fu X, Zhang Y, Zhou J, Cui Y, Liu B. Optimization of utilizing the HHIE-S for hearing screening in older people: a cross-sectional study of associated factors. *Sci Rep*. 2025;15(1):1-9.
32. Hagen R, Scheibl V, Cebulla M. Hearing Screening in Adults Over the Age of 60: Validation of an Appropriate Stimulus Level for Successful Hearing Screening. *J ENT Healthc*. 2025;4(1):1-8.
33. Saraswati IA, Utomo BSR, Trixie JA. Correlation of hearing aid use and quality of life in elderlies: A systematic review. *Oto Rhino Laryngol Indones*. 2024;54(2):156-164.
34. Qadir MI, Gillani M. Age-Related Hearing Loss : A Review of a Hot Topic in Audiology. *Prem J Genet*. Published online 2025:1-8.
35. Latupono A, Savitri E, Kadir A. Audiogram dan Audiometri Tutar pada Lansia dengan Presbikusis. *J Ilm Kesehat*. 2021;3(3):177-183.
36. Rara Enggola Handayani, Baluqia Baluqia. PRESBIKUSIS : Masalah Telinga pada Usia Tua. *J Anestesi*. 2024;2(2):122-132.
37. Öztürk Karaburun S, Çiprut AA, Akdeniz E. Development of a quick speech in noise test in Turkish, based on Quick-SIN. *Egypt J Otolaryngol*. 2025;41(1):1-11.
38. Dhingra P, Dhingra S. Rehabilitation of the Hearing Impaired. In: Diseases of Ear, Nose and Throat & Head and Neck Surgery. Seventh. ; 2016:135-141.
39. Spitzer JB, Mancuso DM, Montano JJ. Aural Rehabilitation and Hearing Aids. In: Sataloff's Comprehensive Textbook of Otolaryngology Head & Neck Surgery. ; 2019:529-544.
40. Sanders PJ, Nielsen RM, Jensen JJ, Searchfield GD. Hearing aids with tinnitus sound support reduce tinnitus severity for new and experienced hearing aid users. Published online 2021:1-13.
41. Waechter S, Timmer BHB, Olovsson M, et al. Conventional hearing aid amplification , notch therapy , or increased gain at tinnitus pitch : a randomised controlled multicentre study. *Int J Audiol*. 2025;0(0):1-24.
42. Arrigali EM, Serban MA. Development and Characterization of a Topically Deliverable Prophylactic Against Oxidative Damage in Cochlear Cells. *Front Pharmacol*. 2022;13:1-14.
43. Alvarado JC, Fuentes-Santamaría V, Juiz JM. Antioxidants and Vasodilators for the Treatment of Noise-Induced Hearing Loss: Are They Really Effective? *Front Cell Neurosci*. 2020;14:1-7.
44. Mohammadkhani G, Tavanai E. The effect of the duration of treatment with antioxidants on age-related hearing loss. *Hear Balanc Commun*. 2021;19(3):190-196