

STUDI LITERATUR

Tinjauan Komprehensif Trauma Akustik

**Favian Arriella Shabri Ikmal Fauzi¹, Ghina Nisrina Wibowo¹, Yohannes Adhie Wijaya¹,
Sabna Ayu Sagita Berliana¹, Fiqih Habib Marwa¹, Safari Wahyu Jatmiko²**

¹Mahasiswa Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Komplek Kampus 4 UMS Gonilan Kartasura, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura, Surakarta 57169

²Departemen Ilmu Biomedik, Fakultas Kedokteran, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Komplek Kampus 4 UMS Gonilan Kartasura, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura, Surakarta 57169

Email korespondensi: safari.wahyu@ums.ac.id

Abstrak: Trauma akustik adalah suatu kondisi patologis pada sistem auditori yang diakibatkan oleh paparan akustik intensitas tinggi dalam jangka waktu tertentu. Tinjauan komprehensif ini menganalisis aspek etiologi, patofisiologi, diagnosis, dan tata laksana trauma akustik berdasarkan literatur terkini. Sumber kebisingan modern, seperti transportasi, aktivitas rekreasi, dan perangkat audio personal, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan insidensi gangguan pendengaran. Status sosio-ekonomi dan usia teridentifikasi sebagai faktor yang mempengaruhi tingkat keparahan dampak trauma akustik. Manifestasi klinis trauma akustik mencakup spektrum gejala luas, dari kehilangan pendengaran hingga tinitus dan vertigo. Temuan terbaru dalam neurofisiologi auditori mengungkap peran penting sinaps pita sel rambut *cochlea* dan proses pematangan molekulernya. Kerusakan pada stereosilia sel rambut luar akibat paparan suara impulsif dapat menyebabkan "*hidden hearing loss*". Trauma akustik tetap menjadi tantangan kesehatan global yang memerlukan pendekatan multidisipliner. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengembangkan strategi pencegahan dan pengobatan yang lebih efektif, serta kebijakan komprehensif guna meminimalkan dampaknya terhadap kualitas hidup.

Kata Kunci: gangguan pendengaran, kebisingan, pendengaran, trauma

PENDAHULUAN

Trauma akustik adalah suatu kondisi patologis pada sistem auditori yang diakibatkan oleh paparan akustik intensitas

tinggi dalam jangka waktu tertentu. Kondisi ini umumnya muncul akibat eksposur berlebih terhadap kebisingan di lingkungan kerja, hiburan seperti konser musik, atau

penggunaan perangkat audio pribadi dengan volume yang tidak aman.⁹

Studi *Global Burden of Disease* (GBD) mengategorikan gangguan pendengaran sebagai penurunan ambang dengar melebihi 20 desibel (dB) pada telinga dengan fungsi terbaik, yang diukur menggunakan rerata frekuensi 500, 1000, 2000, dan 4000 Hz. Gangguan ringan (20-34 dB) hingga ketulian total. Stratifikasi ini mencakup gangguan pendengaran sedang (35-49 dB), sedang-berat (50-64 dB), berat (65-79 dB), dan sangat berat (≥ 80 dB).⁴

Secara epidemiologi, trauma akustik menunjukkan prevalensi yang tinggi di berbagai populasi dengan faktor risiko yang beragam. Lingkungan kerja dengan tingkat kebisingan melebihi 85 desibel menjadi penyebab utama, di mana 22 juta pekerja di Amerika Serikat terpapar kebisingan berbahaya setiap tahun.³ Populasi umum juga terdampak signifikan dengan 26% pria dan 20% wanita di atas 45 tahun mengalami gangguan pendengaran, sementara 15% orang dewasa di AS mengalami gangguan pendengaran terkait kebisingan. Kelompok militer menunjukkan tingkat risiko yang lebih tinggi, dengan tingkat disabilitas tahunan mencapai 13-18% pada veteran, dan total 2,35 juta kasus disabilitas sistem auditori tercatat pada tahun 2013. Di lingkungan militer aktif, 2% angkatan bersenjata mengalami cedera permanen setiap tahun, dengan prevalensi 4-12% pada veteran konflik Irak dan Afghanistan.⁸

Trauma akustik memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap kualitas hidup seseorang. Kerusakan pen-dengaran yang diakibatkan oleh trauma akustik sering kali bersifat permanen dan sulit untuk diatasi. Kondisi ini tidak hanya mempengaruhi kemampuan seseorang dalam berkomunikasi, tetapi juga dapat berdampak pada kehidupan sosial, pekerjaan, dan bahkan kesehatan mental. Masalah pendengaran akibat paparan kebisingan tidak hanya terbatas pada kelompok usia tertentu, tetapi juga terjadi pada remaja yang semakin sering terpapar kebisingan dari perangkat elektronik.⁴

Artikel ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai etiologi, patofisiologi, diagnosis, dan tata laksana trauma akustik.

METODE

Penelusuran literatur secara sistematis melalui: *Google Scholar*, *PubMed*, dan *ScienceDirect*. Strategi pencarian melibatkan penggunaan kata kunci yang spesifik, meliputi "*hearing*", "*hearing loss*", "*noise*", dan "*trauma*". Proses seleksi artikel menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Kriteria inklusi mencakup terbitan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir yang membahas dampak kesehatan akibat kebisingan, mekanisme gangguan pendengaran, serta kebijakan dan strategi mitigasi. Artikel yang tidak relevan dengan topik, tidak menyajikan data empiris yang memadai, atau memiliki kualitas metodologi

yang kurang memadai tidak diambil sebagai sumber rujukan. Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan sintesis naratif, melibatkan perangkuman informasi dari artikel terpilih dan identifikasi pola serta tema utama. Aspek-aspek yang ditelaah mencakup gangguan pendengaran akut dan kronis, faktor risiko, serta dampak kesehatan sistemis lainnya. Melalui metodologi yang terstruktur ini, penelitian bertujuan menyajikan tinjauan komprehensif mengenai dampak kebisingan terhadap kesehatan pendengaran dan aspek kesehatan lainnya, memberikan landasan ilmiah yang kuat untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan kebijakan terkait.

HASIL

Trauma akustik merupakan kondisi yang diakibatkan oleh paparan suara keras, yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur telinga, terutama di bagian telinga dalam seperti *cochlea*.¹

Trauma akustik didefinisikan sebagai cedera yang disebabkan oleh kebisingan berbahaya, termasuk suara di atas 140 dB, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada mekanisme pendengaran di telinga bagian dalam.²

Anatomi dan Fisiologi Telinga

Telinga terdiri dari tiga bagian utama, yaitu *auris externa* (telinga luar), *auris media* (telinga tengah), dan *auris interna* (telinga dalam). *Auris externa* terdiri dari *auricula* (pinna) dan *meatus acusticus*

externus (saluran telinga), yang berfungsi untuk mengumpulkan gelombang suara dan mengarahkannya ke *auris media*. *Auris media* terdiri dari *membrana tympani* (gendang telinga) dan tiga *ossicula* (tulang kecil): *malleus*, *incus*, dan *stapes*, yang berperan dalam mengubah gelombang suara menjadi getaran mekanis. Kerusakan pada *membrana tympani* dan *ossicula* akibat trauma akustik dapat mengganggu transmisi suara ke *auris interna*.¹

Auris interna mengandung *cochlea*, struktur berbentuk spiral yang mengubah getaran suara menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh otak. *Cochlea* memiliki tiga saluran: *scala vestibuli*, *scala media*, dan *scala tympani*. Paparan suara keras dapat merusak sel-sel rambut di *cochlea*, yang berfungsi sebagai reseptor pendengaran. Sel-sel rambut ini terbagi menjadi dua jenis: *sel rambut dalam* (inner hair cells/IHC) dan *sel rambut luar* (outer hair cells/OHC), yang sangat sensitif terhadap perubahan tekanan suara. Trauma akustik dapat menyebabkan kematian sel-sel rambut ini, sehingga mengganggu transmisi sinyal suara ke *nervus auditorius*, yang sering kali berujung pada kehilangan pendengaran permanen.²

Faktor Risiko

Trauma akustik dipicu oleh paparan kebisingan tinggi di lingkungan kerja (melebihi 85 dB), aktivitas hiburan dengan suara keras, dan durasi paparan suara yang berlangsung lama. Beberapa faktor yang

mempengaruhi risiko trauma akustik meliputi usia, kesehatan mental, tingkat pendidikan, kondisi kesehatan kronis, gaya hidup seperti merokok dan konsumsi alkohol, serta faktor genetik dan lingkungan.³

Lingkungan kerja spesifik, seperti operasi militer di zona bising, serta frekuensi atau paparan berulang meningkatkan risiko trauma akustik. Selain itu, kondisi kesehatan individu, termasuk usia dan riwayat kesehatan telinga, pula mempengaruhi kerentanan terhadap trauma akustik.⁷

Etiologi

Trauma akustik adalah cedera telinga yang disebabkan oleh paparan suara keras, baik secara mendadak maupun berkepanjangan. Kerusakan dapat terjadi pada struktur telinga seperti gendang telinga dan sel-sel rambut di *cochlea*, berpotensi menyebabkan kehilangan pendengaran permanen (1). Frekuensi suara memainkan peran krusial dalam risiko trauma akustik. Suara berfrekuensi tinggi (>4000 Hz) cenderung lebih merusak sel rambut di bagian basal *cochlea*, sementara paparan berulang terhadap suara berfrekuensi rendah dapat mengakibatkan kerusakan jangka panjang dan penurunan kemampuan pendengaran bertahap.²

Gangguan pendengaran sensorineural (*sensorineural hearing loss*, SNHL) memiliki etiologi beragam, mencakup trauma langsung, gangguan vaskular, efek ototoksik obat-obatan, faktor genetik (berkontribusi pada sekitar 50% kasus), serta paparan agen infeksius selama periode prenatal (menyumbang sekitar 20% kasus

pada anak-anak). Trauma fisik dapat merusak struktur penting sistem pendengaran, sedangkan gangguan aliran darah dapat menyebabkan hipoksia pada sel-sel pendengaran.³

Mekanisme molekuler yang mendasari *Noise-Induced Hearing Loss* (NIHL) melibatkan kompleksitas proses patologis. Stres oksidatif terjadi akibat peningkatan radikal bebas yang merusak sel, sementara respons inflamasi dapat memperparah kerusakan. Sel-sel rambut di telinga bagian dalam sangat rentan terhadap kerusakan mekanis, yang dapat mengganggu koneksi sinaptik dan menyebabkan kematian sel. Aktivasi mekanisme inflamasi NLRP3 di *cochlea* juga berperan signifikan dalam perkembangan NIHL, menunjukkan kompleksitas patofisiologi gangguan ini.¹⁶

Klasifikasi

Klasifikasi trauma akustik dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan durasi paparan suara. Trauma akustik akut terjadi akibat paparan suara keras dalam waktu singkat, seperti ledakan atau tembakan, dan biasanya menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Sebaliknya, trauma akustik kronis disebabkan oleh paparan suara keras yang berlangsung lama, seperti kebisingan di tempat kerja.⁵

Trauma akustik juga dapat dikategorikan berdasarkan tingkat keparahan kerusakan. Trauma akustik ringan biasanya bersifat sementara dan disebabkan oleh paparan singkat terhadap suara keras.

Trauma sedang mungkin memerlukan waktu pemulihan lebih lama dan bisa menyebabkan *tinnitus*. Sementara itu, trauma berat mengakibatkan kerusakan permanen pada struktur pendengaran, berpotensi menyebabkan kehilangan pendengaran signifikan atau total.³

Kehilangan pendengaran di klasifikasikan menjadi tiga kategori utama: konduktif, sensorineural, dan campuran. Kehilangan pendengaran konduktif disebabkan oleh gangguan transmisi suara melalui telinga luar atau tengah. Kehilangan pendengaran sensorineural terjadi akibat kerusakan sel-sel rambut *cochlea* atau saraf pendengaran. Kehilangan pendengaran campuran merupakan kombinasi dari kedua jenis tersebut, melibatkan masalah pada telinga luar atau tengah serta *cochlea* atau saraf pendengaran.⁴

Patofisiologi

Mekanisme kerusakan akibat trauma akustik meliputi serangkaian proses kompleks yang terjadi akibat paparan suara intensitas tinggi, umumnya di atas 85 dB. Mekanisme kerusakan utama meliputi tiga aspek: kerusakan struktural, stres oksidatif, dan eksitotoksisitas.⁷ Pada tingkat struktural, gelombang tekanan dari suara keras merusak struktur halus di telinga dalam, termasuk *membran basilar* dan *organ corti*. Kerusakan terutama terjadi pada sel-sel rambut di *organ corti*, khususnya *sel rambut dalam* (inner hair cells/IHC) dan *sel rambut luar* (outer hair cells/OHC), yang memiliki

peran krusial dalam mekanotransduksi suara.⁸

Paparan suara berlebihan memicu respons inflamasi dan stres oksidatif. Peningkatan produksi radikal bebas menyebabkan kerusakan pada lipid, protein, dan DNA sel-sel pendengaran. Aktivasi sel-sel imun seperti makrofag dan sel T melepaskan sitokin pro-inflamasi, memperparah kerusakan jaringan. Stres oksidatif ini tidak hanya mempengaruhi sel-sel rambut, tetapi juga *sel ganglion spiral* (SGN) dan struktur pendukung lainnya di *cochlea*.⁹ Pada tingkat molekuler, Nrf2 berperan dalam aktivasi gen antioksidan untuk melawan *Reactive Oxygen Species* (ROS).³

Eksitotoksisitas terjadi ketika neurotransmitter seperti glutamat dilepaskan secara berlebihan, menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada sel-sel rambut dan neuron di *cochlea*. Perubahan aliran darah *cochlea* juga berkontribusi signifikan, menyebabkan iskemia pada jaringan *cochlea*. Kerusakan pada *ribbon sinaps*, struktur penting untuk transmisi sinyal, dapat mengakibatkan *hidden hearing loss*.¹⁰

Kematian sel, baik melalui apoptosis maupun nekrosis, berperan dalam penurunan jumlah sel fungsional. Perubahan ekspresi miRNA mengaktifkan jalur pro-apoptotik seperti MAPK dan JNK. Respons transkripsi seluler di telinga bagian dalam melibatkan pengaturan sitoskeleton dan pengikatan aktin, yang penting dalam mekanisme transduksi mekanik sel rambut sensorik.³

Kerusakan akibat trauma akustik dapat bersifat sementara (*Temporary Threshold Shift - TTS*) atau permanen (*Permanent Threshold Shift - PTS*), tergantung pada intensitas dan durasi paparan.⁸ Meskipun sistem pendengaran memiliki mekanisme adaptasi dan plastisitas, seperti neuroplastisitas dan sensitisasi neuron aferen, adaptasi ini seringkali tidak cukup untuk mengkompensasi kerusakan yang terjadi, terutama pada kasus trauma akustik yang parah atau berulang.¹⁰

Manifestasi Klinis

Trauma akustik dapat menimbulkan berbagai manifestasi klinis yang signifikan pada sistem pendengaran dan keseimbangan. Gejala utama yang sering dialami oleh penderita adalah hilangnya pendengaran, yang dapat bersifat sementara atau permanen, bergantung pada tingkat keparahan trauma yang dialami. Selain itu, pasien sering melaporkan adanya *tinnitus*, yang ditandai dengan sensasi mendengar suara berdenging atau berdesing di telinga tanpa adanya sumber suara eksternal. Rasa nyeri atau ketidaknyamanan di area telinga juga merupakan keluhan yang umum, seringkali disertai dengan sensasi penuh atau tertekan di dalam telinga. Dalam kasus yang lebih serius, trauma akustik dapat mempengaruhi sistem vestibular, menyebabkan gangguan keseimbangan yang dapat mengakibatkan kesulitan dalam menjaga postur tubuh dan melakukan aktivitas sehari-hari (9).

Diagnosis

Diagnosis trauma akustik melibatkan pendekatan komprehensif yang mencakup anamnesis, pemeriksaan fisik, dan tes diagnostik. Anamnesis meliputi pengumpulan informasi rinci tentang riwayat paparan suara, gejala yang dialami seperti *tinnitus* dan penurunan pendengaran. Pemeriksaan fisik menggunakan otoskop untuk menilai saluran telinga dan gendang telinga.¹⁴

Trauma akustik merupakan cedera pada mekanisme pendengaran di telinga bagian dalam akibat paparan suara keras. Gejala umum meliputi kehilangan pendengaran yang dapat bersifat sementara atau permanen, terutama pada frekuensi tinggi. Pasien juga sering mengalami *tinnitus*, hiperakusis, dan sensasi penuh di telinga.¹⁰

Pemeriksaan fisik merupakan langkah penting dalam diagnosis. Pemeriksaan telinga menggunakan otoskop untuk memeriksa telinga luar dan gendang telinga yang bertujuan mencari tanda-tanda peradangan atau kerusakan. Tes pendengaran, seperti audiometri, dilakukan untuk menilai tingkat kehilangan pendengaran pada berbagai frekuensi. Pemeriksaan timpanogram juga dilakukan untuk mengevaluasi fungsi gendang telinga dan tekanan di telinga tengah.

Pemeriksaan penunjang yang bermanfaat untuk trauma akustik antara lain audiometri dan *Auditory Brainstem*

Response. Audiometri nada murni dipakai untuk menunjukkan perubahan ambang pendengaran terutama pada frekuensi tinggi. *Auditory Brainstem Response* (ABR) digunakan untuk mengevaluasi fungsi saraf pendengaran dan jalur saraf menuju otak. Pencitraan seperti *CT scan* atau *MRI* dapat dilakukan untuk menilai kerusakan pada struktur telinga dalam atau saraf pendengaran.¹⁰

Diagnosis trauma akustik juga mempertimbangkan durasi gejala. Jika gejala bertahan lebih dari 72 jam, pasien harus menjalani tes pendengaran atau audiogram yang terdokumentasi. Untuk pasien dengan gejala vertigo, *Tes Dix-Hallpike* dapat dilakukan, dan jika hasilnya positif, *Manuver Epley* atau reposisi canalith dapat di-pertimbangkan.⁸

Penatalaksanaan

Penanganan trauma akustik meliputi penghindaran paparan lebih lanjut terhadap suara keras dan penggunaan alat bantu dengar jika diperlukan. Pencegahan sangat penting untuk mengurangi risiko kehilangan pendengaran permanen akibat trauma akustik.¹

Tata laksana trauma akustik melibatkan pendekatan farmakologi dan non-farmakologi yang bertujuan untuk mengurangi dampak dari paparan suara yang berlebihan serta memperbaiki kondisi pendengaran pasien. Dalam pendekatan farmakologi, penggunaan steroid oral, seperti *prednisone* 60 mg per hari selama 10

hari, diikuti dengan *tapering* selama dua minggu, dapat membantu mengurangi peradangan dan memperbaiki hasil pendengaran bagi pasien dengan kehilangan pendengaran yang signifikan. Selain itu, *dexamethasone* 24 mg/ml dapat diberikan secara *transtympanic*, dengan pengulangan setiap 1-2 minggu hingga tiga injeksi jika diperlukan. Respons pendengaran terhadap pengobatan ini harus dimonitor melalui audiometri, dan injeksi tambahan dapat diberikan berdasarkan respons terhadap steroid.¹⁰

Tatalaksana non-farmakologi mencakup program rehabilitasi auditori yang melibatkan terapi pendengaran dan penggunaan alat bantu dengar untuk membantu pasien beradaptasi dengan kehilangan pendengaran. Terapi suara juga dapat digunakan untuk mengurangi persepsi *tinnitus* yang mungkin dialami setelah trauma akustik.¹¹ Pendidikan dan konseling kepada pasien tentang cara melindungi pendengaran mereka di masa depan serta mengelola gejala. Menghindari paparan lebih lanjut terhadap suara keras, termasuk penggunaan pelindung telinga di lingkungan bising, serta menerapkan teknik relaksasi seperti meditasi dan yoga dapat membantu mengurangi stres yang dialami pasien. Pendidikan mengenai risiko kehilangan pendengaran akibat penggunaan *headphone* dan pentingnya praktik mendengarkan yang aman juga sangat diperlukan. Melakukan pemeriksaan pendengaran secara rutin, seperti audiometri nada murni, untuk

mendeteksi tanda-tanda awal kehilangan pendengaran juga menjadi langkah penting. Jika ada indikasi kehilangan pendengaran, intervensi medis seperti terapi atau penggunaan alat bantu dengar dapat dipertimbangkan. Dengan demikian, penting untuk melaksanakan langkah-langkah pencegahan dan intervensi yang tepat guna mengurangi risiko serta dampak dari trauma akustik.¹⁹

Komplikasi

Trauma akustik dapat menimbulkan berbagai gejala yang berdampak signifikan terhadap kualitas hidup dan kinerja individu, terutama dalam lingkungan bising. Gejala utama meliputi kehilangan pendengaran, yang dapat bersifat sementara (*Temporary Threshold Shift/TTS*) atau permanen (*Permanent Threshold Shift/PTS*), sering terjadi pada frekuensi tinggi (1). *Tinnitus*, berupa sensasi suara berdenging tanpa sumber eksternal, juga umum terjadi. Gejala lain mencakup vertigo, perasaan penuh di telinga, dan gangguan kemampuan mendengar di tengah kebisingan, yang mempengaruhi komunikasi dan pemahaman ucapan (3). *Recruitment*, kondisi rasa sakit di telinga saat terpapar suara keras, serta komplikasi seperti pusing, mual, dan gangguan konsentrasi juga dapat timbul (4). Trauma akustik dapat mempengaruhi sistem vestibular, menyebabkan gejala non-auditori yang berdampak negatif terhadap kinerja individu. Oleh karena itu, pencegahan dan penanganan trauma akustik memerlukan perhatian serius, mengingat dampaknya

yang luas terhadap pendengaran, keseimbangan, dan fungsi kognitif.

KESIMPULAN

Trauma akustik adalah kerusakan pada mekanisme pendengaran akibat paparan suara keras, terutama pada telinga dalam seperti *cochlea*. Paparan suara di atas 85 dB, baik dalam bentuk suara mendadak maupun berkelanjutan, dapat merusak sel-sel rambut di *cochlea*, mengakibatkan kehilangan pendengaran yang bersifat sementara atau permanen, serta gejala lain seperti tinnitus dan vertigo.

Gejala dapat bervariasi dari ringan hingga berat, tergantung pada durasi dan intensitas suara. Diagnosis melibatkan pemeriksaan fisik dan tes pendengaran untuk menilai tingkat kerusakan. Penanganan trauma akustik mencakup pendekatan farmakologis, seperti penggunaan steroid untuk mengurangi peradangan, dan non-farmakologis, termasuk rehabilitasi auditori dan penggunaan alat bantu dengar. Pencegahan sangat penting, terutama di lingkungan bising, untuk mengurangi risiko kehilangan pendengaran. Trauma akustik merupakan masalah kesehatan global yang signifikan, dengan dampak yang luas pada kualitas hidup individu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dr. Rochmadina Suci Bestari, M. Sc atas bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gratiyas P, Nasr J, Affortit C, Ceccato JC, François F, Casas F, et al. Impulse noise induced hidden hearing loss, hair cell ciliary changes and oxidative stress in mice. *Antioxidants*. 2021 Dec 1;10(12).
2. Wood MB, Nowak N, Mull K, Goldring A, Lehar M, Fuchs PA. Acoustic Trauma Increases Ribbon Number and Size in Outer Hair Cells of the Mouse Cochlea. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10162-020->
3. Carlos, Esquivel. Aural Blast/Injury Acoustic Trauma and Hearing Loss, 27 Jul 2018.
4. Haile LM, Kamenov K, Briant PS, Orji AU, Steinmetz JD, Abdoli A, et al. Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990-2019: Findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2021 Mar 13;397(10278):996–1009.
5. Oktaviani Rinika, W Lolik Lesmana, KS Pradnyana Putri. Hearing screening in video game players with headphones use. *GSC Advanced Research and Reviews*. 2024 Apr 30;19(1):069–73.
6. Wood MB, Nowak N, Mull K, Goldring A, Lehar M, Fuchs PA. Acoustic Trauma Increases Ribbon Number and Size in Outer Hair Cells of the Mouse Cochlea. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10162-020->
7. Scholes S, Biddulph J, Davis A, Mindell JS. Socioeconomic differences in hearing among middle-Aged and older adults: Cross-sectional analyses using the Health Survey for England. Vol. 8, *BMJ Open*. BMJ Publishing Group; 2018.
8. Chadha S, Kamenov K, Cieza A. The world report on hearing, 2021. *Bull World Health Organ*. 2021;99(4):242-242A.
9. Esquivel CR, Parker M, Curtis K, Merkley A, Littlefield P, Conley G, et al. Aural blast injury/acoustic trauma and hearing loss. *Mil Med*. 2018;183:78–82.
10. Niwa K, Mizutari K, Matsui T, Kurioka T, Matsunobu T, Kawauchi S, et al. Pathophysiology of the inner ear after blast injury caused by laser-induced shock wave. *Sci Rep*. 2016 Aug 17;6.
11. Michanski S, Smaluch K, Maria Steyer A, Chakrabarti R, Setz C, Oestreicher D, et al. Mapping developmental maturation of inner hair cell ribbon synapses in the apical mouse cochlea. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019;116(13):6415–24.
12. Chen K, Yang B, Yue X, Mi H, Leng J, Li L, et al. Global, Regional, and National Burdens of Hearing Loss for Children and Adolescents from 1990 to 2019: A Trend Analysis. *Trends Hear*. 2024 Jan 1;28.
13. Ye X, Zhu D, Wang Y, Chen S, Gao J, Du Y, et al. Impacts of the hearing aid intervention on healthcare utilization and costs among middle-aged and older adults: results from a randomized controlled trial in rural China. *Lancet Reg Health West Pac* [Internet]. 2023;31:100594. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.>

14. Chen CH, Huang CY, Cheng HL, Lin HYH, Chu YC, Chang CY, et al. Comparison of personal sound amplification products and conventional hearing aids for patients with hearing loss: A systematic review with meta-analysis. 2022; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.>
15. Safabakhsh S, Wijesinghe P, Nunez M, Nunez DA. The role of hypoxia-associated miRNAs in acquired sensorineural hearing loss. Vol. 16, *Frontiers in Cellular Neuroscience*. Frontiers Media S.A.; 2022.
16. Gill NB, Dowker-Key PD, Hedrick M, Bettaieb A. Unveiling the Role of Oxidative Stress in Cochlear Hair Cell Death: Prospective Phytochemical Therapeutics against Sensorineural Hearing Loss. Vol. 25, *International Journal of Molecular Sciences*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
17. Huang AR, Lin FR. Hearing loss and dementia in older adults: A narrative review. Vol. 87, *Journal of the Chinese Medical Association*. Wolters Kluwer Health; 2024. p. 252–8.
18. 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. Vol. 12, *Antioxidants*. MDPI; 2023.
19. Morata TC, Gong W, Tikka C, Samelli AG, Verbeek JH. Hearing protection field attenuation estimation systems and associated training for reducing workers' exposure to noise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2024 May 17;2024(5).
20. Trpchevska N, Freidin MB, Broer L, Oosterloo BC, Yao S, Zhou Y, et al. Genome-wide association meta-analysis identifies 48 risk variants and highlights the role of the stria vascularis in hearing loss. *Am J Hum Genet*. 2022 Jun 2;109(6):1077–91.
21. Peart L, Tekin M. Genetic Landscape of Hearing Loss in the Caribbean: A Narrative Review. Vol. 41, *Balkan Medical Journal*. Galenos Publishing House; 2024. p. 161–6.
22. Kolasa S, Magnussen LH, Nilsen RM, Wilhelmsen KT, Goplen FK, Nordahl SHG, et al. Walking and balance in older adults with age-related hearing loss: A cross-sectional study of cases and matched controls. Vol. 113, *Gait and Posture*. Elsevier B.V.; 2024. p. 398–406.
23. Podury A, Jiam NT, Kim M, Donnenfield JI, Dhand A. Hearing and sociality: the implications of hearing loss on social life. Vol. 17, *Frontiers in Neuroscience*. Frontiers Media SA; 2023.
24. Prasad K, Borre ED, Dillard LK, Ayer A, Der C, Bainbridge KE, et al. Priorities for hearing loss prevention and estimates of global cause-specific burdens of hearing loss: a systematic rapid review. *Lancet Glob Health*. 2024 Feb 1;12(2): e217–25.
25. Samara P, Athanasopoulos M, Markatos N, Athanasopoulos I. From sound waves

to molecular and cellular mechanisms: Understanding noise induced hearing loss and pioneering preventive approaches (Review). *Medicine International*. 2024 Jul 30;4(6).

26. Padelou MP, Byelyayeva L, Malmström S, Pucheu S, Peytavy M, Laullier H, et al. Ototoxicity: a high risk to auditory function that needs to be monitored in drug development. Vol. 17, *Frontiers in Molecular Neuroscience*. Frontiers Media SA; 2024.