

# Gubitak sluha u profesionalnih glazbenika

---

**Potroško, Valentino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:982519>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**



*Repository / Repozitorij:*

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**Valentino Potroško**

**Gubitak sluha u profesionalnih glazbenika**

**DIPLOMSKI RAD**



**Zagreb, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**MEDICINSKI FAKULTET**

**Valentino Potroško**

**Gubitak sluha u profesionalnih glazbenika**

**DIPLOMSKI RAD**



**Zagreb, 2019.**

Ovaj diplomski rad izrađen je na Klinici za bolesti uha, nosa i grla i kirurgiju glave i vrata Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2018./2019.

Mentor rada: doc. dr. sc. Krsto Dawidowsky

# SADRŽAJ

1. SAŽETAK.....	I
2. SUMMARY .....	II
3. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA SLUHA.....	1
4. OŠTEĆENJE SLUHA.....	12
4.1. Etiologija .....	12
4.2. Epidemiologija .....	12
4.3. Vrste i stupnjevi oštećenja sluha .....	13
5. ISPITIVANJE SLUHA .....	15
5.1. Akumetrija.....	15
5.2. Tonska audiometrija.....	16
5.3. Govorna audiometrija.....	18
5.4. Timpanometrija i akustički refleksi.....	19
5.5. Otoakustička emisija .....	21
6. OŠTEĆENJE SLUHA UZROKOVANO BUKOM .....	22
7. PATOFIZIOLOGIJA OŠTEĆENJA SLUHA UZROKOVANOG BUKOM .....	24
7.1. Oštećenja slušnih osjetnih i potpornih stanica Cortijeva organa.....	24
7.2. Bukom uzrokovane promjene u kohlearnim jezgrama.....	25
7.3. Bukom uzrokovane promjene u inferiornim kolikulima .....	26
7.4. Bukom uzrokovane promjene u medijalnom koljenastom tijelu (MKT) i slušnom korteksu .....	26
7.5. Bukom uzrokovane vaskularne promjene unutarnjeg uha .....	27
8. GUBITAK SLUHA U POPULACIJI GLAZBENIKA .....	28
8.1. Gubitak sluha u orkestralnih glazbenika .....	29
8.2. Gubitak sluha u <i>rock</i> -glazbenika .....	33
8.3. Gubitak sluha u studenata koji se bave glazbom.....	35
8.4. Gubitak sluha u DJ glazbenika .....	37
8.5. Prevencija oštećenja sluha uzrokovanog bukom nastalom pri muziciranju u populaciji glazbenika.....	39
9. ZAKLJUČAK .....	41
10. ZAHVALE .....	42
11. LITERATURA:.....	43

12. ŽIVOTOPIS .....	50
---------------------	----

**Popis kratica:**

N. - *nervus*

Nucl. - *nucleus*

VEGF - *vascular endothelial growth factor*

MKT - medijalno koljenasto tijelo

PPPS - privremeni pomak praga sluha

TPPS - pomak praga sluha

# 1. SAŽETAK

## Gubitak sluha u profesionalnih glazbenika

**Valentino Potroško**

Slušni organ čovjeka sastoji se od vanjskog, srednjeg i unutrašnjeg uha, slušnog puta i slušne kore mozga. S jedne strane, anatomija i fiziologija vanjskog i srednjeg uha poprilično su jednostavne, a njihova je uloga prihvaćanje mehaničkih vibracija koje stvara zvuk i njihov prijenos na unutrašnje uho kroz ovalni prozorčić. S druge strane, anatomija i fiziologija unutrašnjeg uha su kompleksnije, a njegova je uloga prijenos vibracija preko perilimfe i endolimfe na Cortijev slušni organ. Slušni put započinje slušnim živcem, a završava slušnom korom mozga u kojoj dolazi do percepcije zvuka. Oštećenje sluha ozbiljan je problem od kojeg pati 5 % svjetske populacije. (1) Vrstu i stupanj oštećenja utvrđujemo nekom od metoda ispitivanja sluha, a to su: akumetrija, tonska i govorna audiometrija, timpanometrija i ispitivanje akustičkog refleksa te otoakustička emisija. Zanimanje glazbenika povezano je s brojnim profesionalnim bolestima, a jedna od njih je i gubitak sluha uzrokovan bukom kojoj se svakodnevno izlažu pri izvođenju i uvježbavanju. Gubitak sluha uzrokovan bukom zamjedbeni je (senzorineuralni) tip gubitka sluha s određenim posebnostima koje ga razlikuju od ostalih zamjedbenih oštećenja sluha. Kod gubitka sluha uzrokovanog bukom prvo dolazi do pomaka praga sluha na frekvencijama od 3 do 6 kHz, a najčešće je zahvaćena frekvencija od 4 kHz. (2) Rađena su brojna istraživanja koja se bave gubitkom sluha u populaciji glazbenika. Istraživanja provedena na orkestralnim glazbenicima ukazala su na to da su oni uistinu izloženi rizičnim količinama buke, a najizloženiji su instrumentalisti koji sviraju limena i drvena puhačka glazbala te perkusionisti. (3) *Rock*-glazbenici još češće pate od oštećenja sluha jer su izloženiji većim količinama buke, a najugroženiji su bubnjari. (4) Studenti glazbenih akademija većinom su premladi da bi imali razvijeno bilo kakvo oštećenje sluha. (5) DJ glazbenici vrlo često pate od oštećenja sluha uzrokovanog bukom, a zanimljivo je i da pojačano gube sluh na nižim frekvencijama od 125 do 500 Hz jer se više izlažu niskofrekventnim tonovima visokog intenziteta. (6) Postoje brojne metode zaštite od buke, stoga je potrebno aktivno poticati glazbenike da koriste barem jednu od njih.

Ključne riječi: slušni organ, gubitak sluha uzrokovan bukom, populacija glazbenika, metode zaštite od buke



## **2. SUMMARY**

### **Hearing loss in professional musicians**

**Valentino Potroško**

Human auditory system consists of the outer, middle and inner ear, the auditory pathway and the auditory cortex. On the one hand, the anatomy and physiology of the outer and middle ear are simple and their role is the detection of mechanical sound vibrations, and the transmission of those vibrations to the inner ear through the oval window. On the other hand, the anatomy and physiology of the inner ear is more complex. Its role is the transmission of the sound vibrations to the organ of Corti, through perilymph and endolymph. The auditory pathway starts with the cochlear nerve and ends with the auditory cortex. Hearing loss is a serious issue which affects 5 % of world population. (1) Type and level of hearing loss can be determined by some of the hearing tests: acoumetry, tone and speech audiometry, tympanometry, acoustic reflex and otoacoustic emission testing. Career in music often entails quite a few occupational diseases, and one of them is noise-induced hearing loss they acquire when performing or practicing music. Noise-induced hearing loss is a type of sensorineural hearing loss which manifests certain symptoms which set it apart from other types of sensorineural hearing loss. Noise-induced hearing loss is characterized by threshold shifts that first occur in the frequency range of 3 to 6 kHz, and most commonly around 4 kHz. (2) There have been many studies on hearing loss in musicians. Studies done on orchestral musicians show that they are indeed exposed to high noise levels. The most exposed ones are brass, woodwind and percussion players, and are hence prone to experience the greatest threshold shifts in the frequency range of 3 and 6 kHz. (3) Rock musicians suffer from hearing loss even more often as they are exposed to even greater noise levels, and, among them, drummers are most often at the highest risk. (4) Music academy students are mostly too young to develop any type of hearing loss. (5) DJ musicians often suffer from noise induced hearing loss, and, interestingly, they often have threshold shifts in the frequency range of 125 Hz to 500 Hz because they are more exposed to lower frequencies which have high sound pressure level. (6) There are many noise-reduction methods and musicians ought to be encouraged to implement some of them.

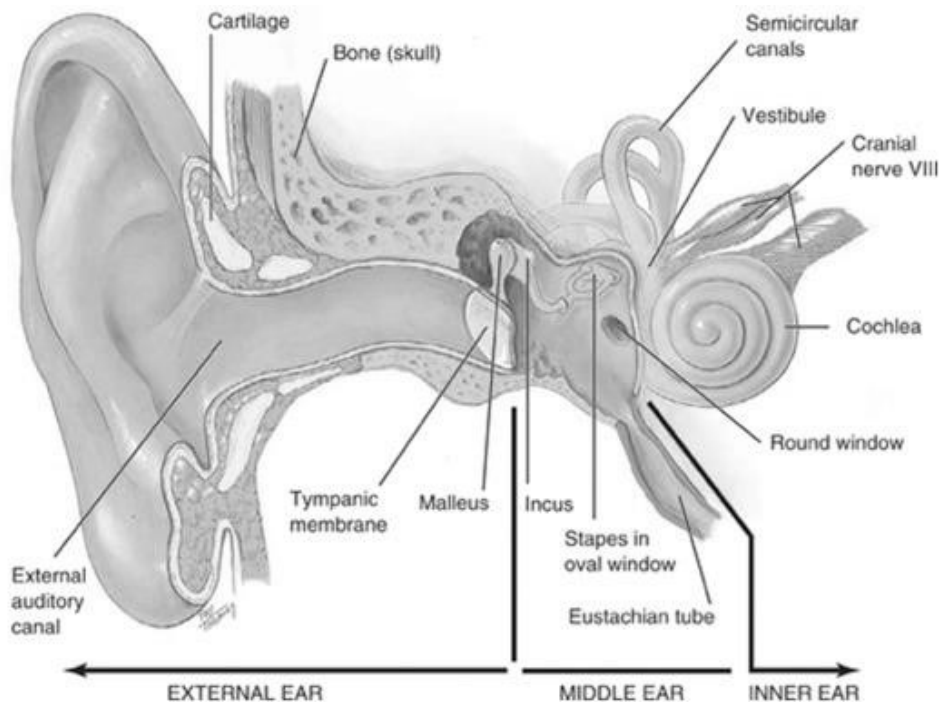
Keywords: human auditory system, noise-induced hearing loss, musicians, protective methods

### 3. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA SLUHA

Zvuk je mehanički val koji je čujan ljudskom uhu u frekvencijskom rasponu od oko 20 Hz do 20000 Hz. Osjet sluha postoji zbog sposobnosti slušnog sustava da otkrije i prihvati mehaničke vibracije te da ih pretvori u živčani signal. Osjetilo sluha obuhvaća periferni slušni organ, slušni put i slušnu koru mozga. (7)

Periferni slušni organ sastoji se od provodnog (konduktivnog) dijela i zamjedbenog (perceptivnog) dijela. Provodni dio čine vanjsko uho, srednje uho i tekućina unutarnjeg uha, a zamjedbeni dio čini Cortijev organ i slušni živac kao početni dio slušnog puta.

Vanjsko uho sastoji se od uške i zvukovoda. Uška usmjerava zvučne valove prema zvukovodu i ima ulogu u lokalizaciji zvuka. Zvukovod provodi akustičku energiju do bubnjića. Rezonantna frekvencija zvukovoda je oko 3 500 Hz. Potonje mu omogućuje da kao rezonator pojačava zvučne frekvencije od 3000 do 4000 Hz i time pojačava tlak zvuka na bubnjiću za 5 do 25 dB na navedenim frekvencijama. (8) Bubnjić je tanka ovalna opna na medijalnom kraju zvukovoda koja odjeljuje vanjsko od srednjeg uha, kao što je to prikazano na slici 1.



Slika 1. Slušni organ čovjeka (9)

Srednje uho ili bubnjište uska je šupljina u piramidi sljepoočne kosti. Ispunjena je zrakom, a u njoj se nalaze tri slušne koščice: čekić (lat. *malleus*), nakovanj (lat. *incus*) i stremen (lat. *stapes*).

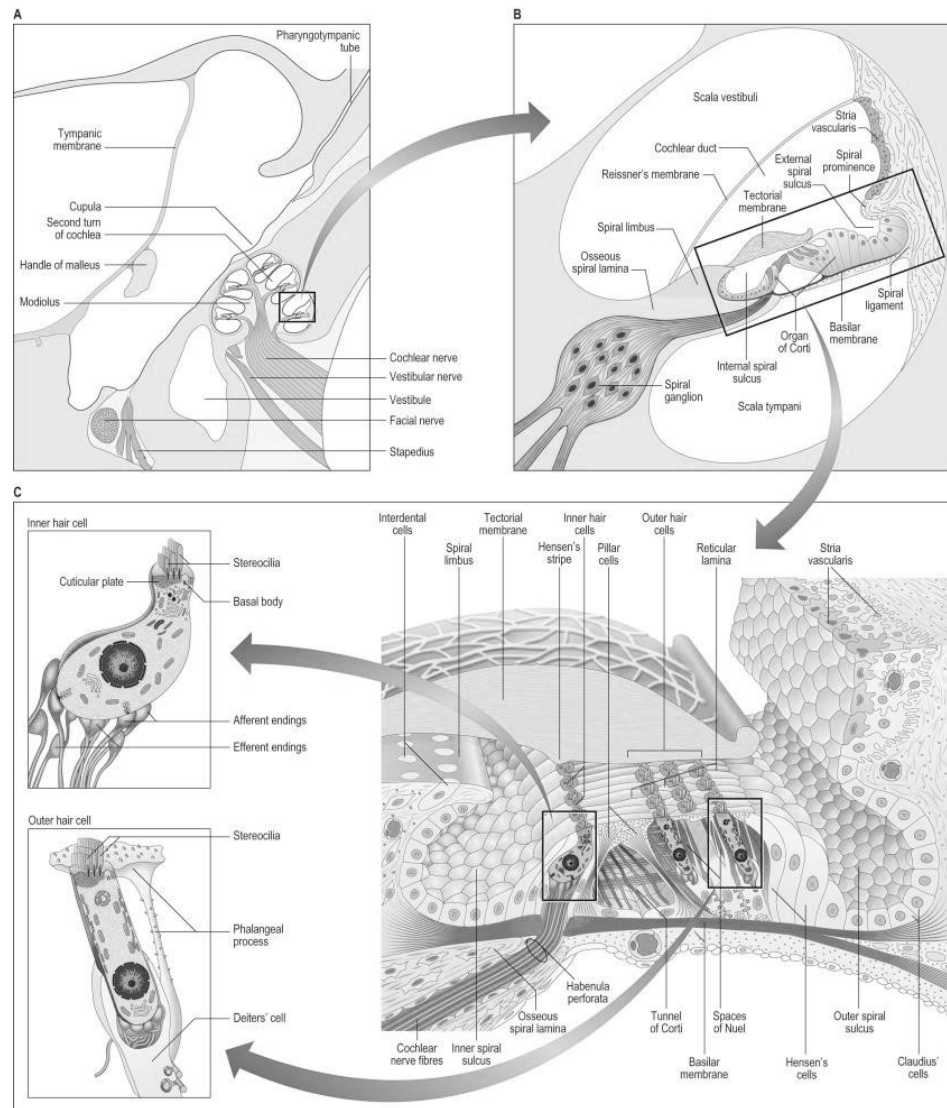
(10) Čekić je svojim drškom (lat. *processus lateralis*) čvrsto fiksiran u bubnjić, a glava čekića (lat. *caput mallei*) uzglobljena je s trupom nakovnja (lat. *corpus incudis*). Nakovanj je svojim glavičastim završetkom (lat. *processus lenticularis*) uzglobljen s glavom stremena. Baza stremena uložena je u vestibularni ili ovalni prozor gdje ju okružuju hrskavica i čvrsto vezivno tkivo koje tvori prstenasta stremenska sveza (lat. *lig. anulare stapediale*). Nakon prolaska kroz zvučnik, zvučni valovi uzrokuju titranje bubnjića koje se s čekića preko nakovnja prenosi na stremen, a preko baze stremena kroz vestibularni prozor, na perilimfu unutrašnjeg uha. Budući da tekućina ima daleko veću inerciju nego zrak, potrebna je veća sila da bi se potaklo titranje tekućine odnosno perilimfe unutrašnjeg uha. U srednjem uhu to se postiže na dva načina. Prvo, sila se prenosi s bubnjića čija je površina  $55 \text{ mm}^2$  na bazu stapesa, čija je površina  $3,2 \text{ mm}^2$ , što je 17 puta manje, odnosno tlak koji djeluje na bubnjić je 17 puta veći. Drugo, slušne koščice djeluju kao sustav poluga čiji je dugi krak čekić, a kratki krak tijelo i dugi nastavak nakovnja, a omjer duljina krakova je  $1,3 : 1$ . Takav sustav poluga povećava silu koja djeluje na bazu stapesa za 1,3 puta u odnosu na silu koja djeluje na bubnjić. To povećanje od 1,3 puta pomnoženo s povećanjem od 17 puta koje nastaje zbog razlika u površinama bubnjića i baze stapesa uzrokuje približno 22 puta veću ukupnu silu koja djeluje na perilimfu od one kojom zvučni valovi djeluju na površinu bubnjića.

(11) Kada govorimo o srednjem uhu, nužno je reći da je ono zapravo dio provodnog sustava uha koji smanjuje razliku akustičkih impedancija između zraka (srednje uho i lanac koščica srednjeg uha) i vode (perilimfe) dvama prije navedenim mehanizmima. Akustička impedancija ili otpor jednaka je umnošku gustoće sredstva i brzine kojom zvuk putuje kroz sredstvo. Kad zvuk putuje iz jednog u drugo sredstvo, događa se refleksija i transmisija njegovih valova. Omjer refleksije i transmisije ovisi o razlici impedancija između dvaju sredstava. Kad je ta razlika manja, transmisija je veća, odnosno manje se zvučnih valova reflektira.

(12) Srednje uho možemo shvatiti kao dio uha kojim se usklađuju impedancije zraka i perilimfe kako bi se postigla što manja refleksija zvučnog vala, što se u anglosaksonskoj literaturi naziva *impedance matching*.

(8) Teorijska refleksija mehaničke energije zvuka na kontaktnoj plohi zraka (srednjeg uha) i perilimfe bila bi 98 %, ali prilagodbom impedancija refleksija se reducira na samo 40 %.

Posljednji dio provodnog sustava čine tekućine unutarnjeg uha: perilimfa i endolimfa. Unutarnje uho u cijelosti je smješteno u šupljini unutar petroznog dijela temporalne kosti. U unutarnjem uhu nalazimo organ sluha i organ ravnoteže, a dijeli se na dva temeljna anatomska dijela, koštani labirint (lat. *labyrinthus osseus*) i membranski labirint (lat. *labyrinthus membranaceus*). Koštani labirint čine tri dijela: pužnica (lat. *cochlea*), predvorje (lat. *vestibulum*) i polukružni kanali (lat. *canales semicirculares*). (10) Slušni organ nalazi se unutar pužnice. Pužnica je anteriorni dio koštanog labirinta koji leži ispred vestibuluma. Pužnica je zavijena dva i pol puta, a zavoje nazivamo od bazalnog prema apikalnom: bazalni, srednji i kupularni. Vrh (lat. *cupula*) pužnice usmjeren je prema anterosuperiornom dijelu medijalnog zida bubnjišta. Baza pužnice nalazi se ispod dna unutarnjeg zvučnog hodnika kroz čije perforacije prolaze ogranci slušnog živca. Unutar pužnice nalazi se čunjasta koštana jezgra, lat. *modiolus*, koja sadrži spiralni ganglij. Oko modiolusa nalazi se spiralni zavoj pužnice. (13) S lateralnog dijela modiolusa polazi koštani greben (lat. *lamina spiralis ossea*) koji parcijalno dijeli šupljinu pužnice na dva dijela. Na taj koštani greben vežu se dvije elastične membrane, bazilarna i Reissnerova membrana. Navedene membrane dijele pužnicu na tri odsječka, odnosno tri zavojita stubišta: uzlazno stubište ili predvorni kat (lat. *scala vestibuli*), pužnična cijev (lat. *scala media* ili *ductus cochlearis*) i silazno stubište ili bubnjišni kat (lat. *scala tympani*). Vestibularni dio pužnice početni je dio pužničkog kanala, spojen s predvorjem (lat. *vestibulum*) koštanog labirinta. Odatle polazi vestibularna skala i uspinje se prema vršku pužnice pa kroz mali otvor (lat. *helicotrema*) prelazi u skalnu timpani kojom silazi prema okruglom prozorčiću (lat. *foramen rotundum*) prekrivenom sekundarnim bubnjićem (lat. *membrana tympani secundaria*). Između ova dva odsječka nalazi se skala medija. Ona je membranski dio pužničkog labirinta koja ima trokutast presjek, vrh trokuta počiva na rubu spiralne koštane pločice, a bazu trokuta čini lateralna stijenka pužničkog kanala. Donju stijenku (lat. *paries tympanicus ductus cochlearis*) čini bazilarna membrana (lat. *membrane basilaris*), lateralnu stijenku oblikuje spiralni ligament pužnice, koji prekriva vaskularna strija (lat. *stria vascularis*), a krov, tj. nakošenu gornju stijenku oblikuje Reissnerova membrana (lat. *membrana vestibularis Reissneri*), kao što se to vidi na slici 2. B.



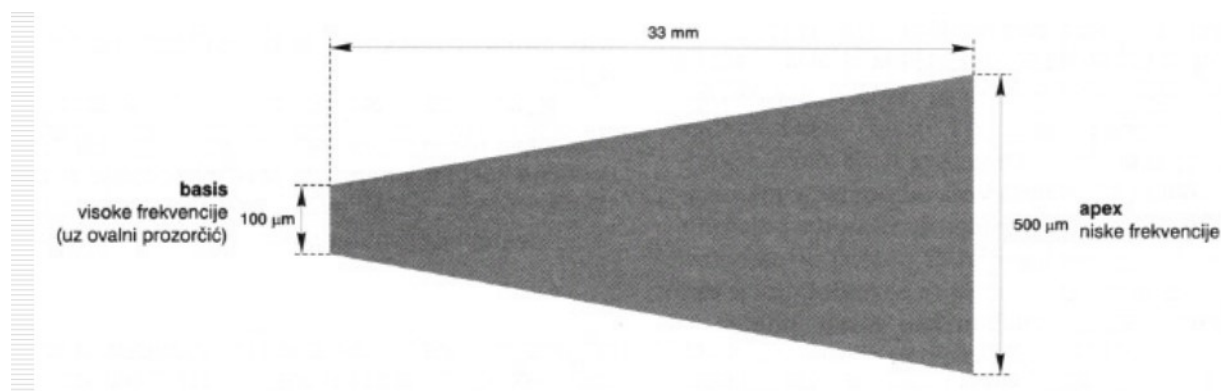
**Slika 2. Presjek pužnice:**

**A Horizontalni presjek kroz temporalnu kost koji pokazuje položaj pužnice u odnosu na bubnjište**

**B Presjek kroz drugi zavoju pužnice, modiulus, nalazi se slijeva**

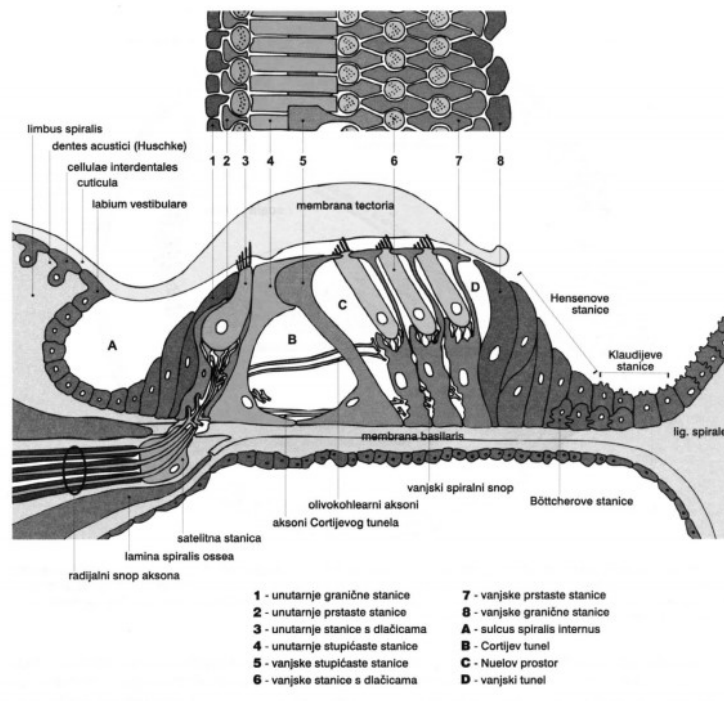
**C Građa Cortijeva slušnog organa i vaskularna strija, prikaz odnosa slušnih stanica i njihove inervacije. (13)**

Između koštanog i membranskog labirinta pužnice nalazi se perilimfa, izvanstanična tekućina koja je sastavom slična drugim tjelesnim odjeljcima, a bogata je proteinima koji odgovaraju sastavu cerebrospinalnog likvora. Perilimfa je povezana sa subarahnoidalnim dijelom endokranija preko perineurija vestibulokohlearnog živca (lat. *nervus vestibulocochlearis*) i perilimfnog duktusa (lat. *ductus perilymphaticus*). Unutar membranskog labirinta nalazi se endolimfa čiji je ionski sastav nalik sastavu unutarstanične tekućine, a stvara ju vaskularna strija (lat. *stria vascularis*). Perilimfa ispunjava skalu vestibuli i skalu timpani, a endolimfa ispunjava kohlearni duktus.(14) Vibracije zvučnih valova, koje se prenose preko bubnjića, slušnih košćica i vestibularnog prozora na perilimfu uzrokuju periodičnu promjenu hidrauličkog tlaka nekompresibilne tekućine, odnosno uzrokuju stvaranje hidrauličkih valova. Potonji se preko helikotrema prenose na skalu timpani, a potom i na membranu okruglog prozorčića. Razlika hidrauličkih tlakova perilimfe između skale timpani i skale vestibuli pretvara se u oscilacije bazilarne membrane na kojoj leži Cortijev slušni organ. Nadalje, dolazimo do pojma frekvencijske analize ulaznog mehaničkog podražaja na bazilarnoj membrani. Naime, bazilarna membrana ima različitu dužinu od baze do apeksa pužnice i postoji razlika u zategnutosti. “Odmotana” bazilarna membrana dugačka je 33 mm i na apeksu je pet puta šira nego na bazi, kao što se to vidi na slici 3. Kraći, bazalni dijelovi bazilarne membrane napetiji su, dok su oni duži dijelovi labaviji. Ovisno o frekvenciji osciliranja stapesa ekvivalentnoj frekvenciji zvuka, maksimum amplitude hidrauličkog vala na bazilarnoj membrani nalazit će se na različitim mjestima duž bazilarne membrane. Visoke će frekvencije najjače stimulirati bazalne dijelove bazalne membrane, a niske apikalne dijelove membrane. Bazilarna membrana analogna je žicama gitare. Tanja žica stvara ton više frekvencije, a deblja žica stvara ton niže frekvencije.



**Slika 3. Bazilarna membrane pužnice (15)**

Zamjedbeni (perceptivni) dio perifernog slušnog organa čini Cortijev slušni organ i slušni živac kao početni dio slušnog puta. Cortijev se organ nalazi unutar duktusa kohlearisa a građen je od epitelnih stanica okupljenih na dijelu bazilarne membrane koji se naziva *zona arcuata*. Epitel bazilarne membrane sadržava potporne stanice, kao i osjetne slušne stanice sa stereocilijama. Epitelne stanice svojim vrhom uranjaju u želatinoznu pokrovnu membranu (lat. *membrana tectoria*). Ona se nastavlja na spiralni limbus (lat. *limbus spiralis*), od endosta nastao tkivni sloj pokriven viskoznom epitelom koji se nalazi medijalno od Cortijeva organa. Postoje dvije vrste osjetnih slušnih stanica sa stereoecilijama, unutarnje i vanjske te 6 vrsta potpornih stanica.



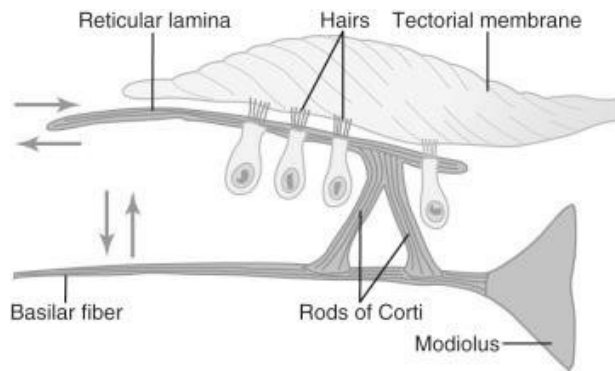
**Slika 4. Poprečni presjek Cortijeva organa (15)**

Osjetne i potporne stanice poredane su u nizove, a između njih nalazi se sustav tunela, što je detaljno prikazano na poprečnom presjeku Cortijeva organa (sl. 4). Iza epitela unutarnjeg spiralnog žlijeba (lat. *sulcus spiralis internus*) slijede unutarnje granične stanice te unutarnje prstaste (falangealne) stanice. Potom slijedi jedan niz unutarnjih osjetnih stanica s dlačicama. Zatim slijede dva niza stupićastih stanica (unutarnje i vanjske stupićaste stanice) što su jedne prema drugima nagnute poput rogova krovišta, a između njih je unutarnji, Cortijev tunel (lat. *cuniculum internum*). Nakon vanjskih stupićastih stanica nalazimo 3 do 5 nizova vanjskih

falangealnih (Deitersovih) stanica, nalik stolicama u kojima sjede vanjske osjetne stanice s dlačicama. Između vanjskih stupićastih stanica i Deitersovih stanica je srednji tunel, tj. Nuelov prostor (lat. *cuniculum medium*). Potom slijede vanjske granične stanice, iza njih Hensenove i Klaudijeve potporne stanice, a između Deitersovih stanica i vanjskih graničnih stanica je vanjski tunel (lat. *cuniculum externum*). Uske pukotine između tijela vanjskih stupićastih stanica spajaju unutarnji (Cortijev) tunel sa srednjim tunelom (Nuelovim prostorom). Pukotine između gornjih trećina tijela vanjskih stanica s dlačicama spajaju Nuelov prostor s vanjskim tunelom. Sustav tunela ispunjen je posebnom, Cortijevom limfom ili kortilimfom. To je zapravo perilimfa koja je iz skale timpani, kroz male kanaliće, prošla u sustav tunela. Jedino apikalni krajevi osjetnih stanica s dlačicama su u dodiru s endolimfom, dok njihova tijela oplahuje Cortijeva limfa. (15)

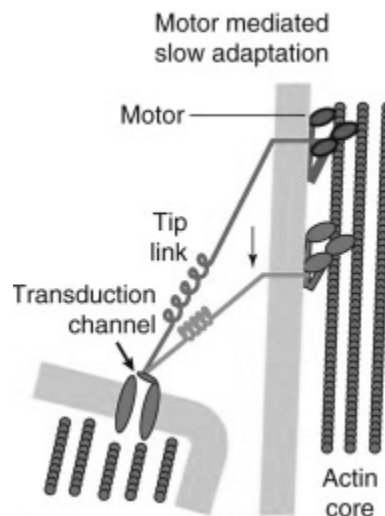
Nadalje, bitno je objasniti građu i funkciju osjetnih slušnih stanica. Cortijev organ sadrži otprilike 35 000 unutarnjih slušnih stanica poredanih u jedan niz na strani modiulusa i oko 12 000 vanjskih slušnih stanica poredanih u tri niza na strani vaskularne strije. Unutarnje stanice primaju 95 % aferentnih vlakana slušnog živca i smatra se da su pretežno one zadužene za primanje slušnih podražaja. Na apeksu tih stanica nalaze se stereocilije (dlačice) čiji pokreti uzrokuju depolarizaciju stanica, a na bazi osjetne slušne stanice sinaptički su povezane s aferentnim i eferentnim živčanim vlaknima slušnog živca. Stereocilije su krute tvorbe građene od čvrste bjelančevinske osnove, a svaka stanica ima oko 100 stereocilija na apikalnom kraju koje strše u endolimfu skale medije, dok je ostatak stanice uronjen u Cortijevu limfu. Stereocilije leže na krutoj tvorbi koja se sastoji od ravne ploče nazvane retikularna lamina, a podupiru je stupićaste stanice. Bazilarna membrana, stupićaste stanice i retikularna lamina pomiču se kao čvrsta cjelina. Kada vibracije iz srednjeg uha uzrokuju promjenu hidrauličkog tlaka perilimfe, dolazi do titranja bazilarne membrane. Kao što se vidi na slici 5, pomicanjem bazilarne membrane prema gore pomiče se i retikularna lamina prema gore i unutra, prema modiolusu. Obrnuto, kad se bazilarna membrana spušta, retikularna lamina pomiče se prema dolje i van. Pomicanje retikularne lamine uzrokuje i pomicanje stereocilija prema unutra ili prema van.





**Slika 5. Podraživanje stereocilija pomicanjem bazilarne membrane (11)**

Stereocilije postaju sve dulje na strani stanice suprotnoj od modiolusa. Na vrhu stereocilija nalaze se mehanosenzitivni kationski kanali. Kraće i duže stereocilije povezane su proteinskim mostom koji je s jedne strane vezan za kationske kanale na kraćim cilijama, a s druge strane je preko transmembranskih proteina vezan za citoskelet duljih cilija. Pomicanjem stereocilija u smjeru duljih cilija dolazi do otvaranja 200 do 300 mehanosenzitivnih kationskih kanala jer proteinski most mehanički otvara vrata tih kanala kao što je prikazano na slici 6. Na engleskom se taj mehanizam naziva *tip link mechanism*.



**Slika 6. Mehanizam otvaranja kationskih kanala na stereocilijama (engl. *tip link mechanism*) (16)**

Otvaranje mehanosenzitivnih kationskih kanala omogućuje brzo kretanje kalijevih iona iz endolimfe u stereocilije, odnosno osjetne slušne stanice. Tim mehanizmom dolazi do depolarizacije membrane stanice s dlačicama, odnosno nastanka živčanog impulsa koji se dalje prenosi na aferentna vlakna vezana za bazu osjetnih stanica. Kada su depolarizirane, stanice s dlačicama otpuštaju glutamat i ekscitiraju aferentna vlakna slušnog živca. S druge strane, pomak u smjeru kraćih stereocilija uzrokuje hiperpolarizaciju osjetnih slušnih stanica. (11)

Vanjske osjetne stanice primaju samo 5 % aferentnih vlakana i većinu eferentnih vlakana slušnog živca, a i građa im je različita od unutarnjih osjetnih stanica: sadrže kontraktilne citoskeletne elemente poput *aktina* i *prestina*. Uloga vanjskih slušnih stanica je kohlearna amplifikacija. Dokazano je da pomicanje stereocilija vanjskih osjetnih stanica uzrokuje njihovo skraćivanje i produživanje. Predloženi mehanizam za tu pojavu temelji se na transmembranskom proteinu nazvanom *prestin*. Smatra se da pomicanje stereocilija uzrokuje otvaranje ionskih kanala i promjenu potencijala na membrane stanice. Na depolarizaciju odnosno hiperpolarizaciju reagira *prestin* mijenjanjem svoje konformacije, a to utječe i na ostale citoskeletne elemente pa se stanica skрати ili izduži. Tako dolazi do gibanja vanjske osjetne stanice koje se naziva elektromotilitet. To gibanje uzrokuje mijenjanje napetosti bazilarne membrane i stvaranje radijarnog toka kortilimfe, čime se pojačava podražaj unutarnjih slušnih stanica, što se naziva kohlearna amplifikacija. (17) Vanjske osjetne slušne stanice stoga su pojačalo unutrašnjeg uha.

Sljedeći dio osjetila sluha je slušni put koji ima aferentnu i eferentnu komponentu. Aferentna komponenta započinje sa spiralnim ganglijem (lat. *ganglion spirale*) koji se sastoji od niza živčanih stanica koje leže u modiolu na mjestu gdje počinje *lamina spiralis ossea*. Neuron spiralnog ganglija pravi su bipolarni neuroni koji čine prvi neuron slušnog puta. Njihovi su periferni nastavci aferentna vlakna koja sežu do osjetnih stanica Cortijeva organa, a središnji nastavci tvore *tractus spiralis foraminosus* usmjeren prema osi modiola, gdje se udružuju u slušni živac (lat. *nervus cochlearis*) koji se ubraja u zamjedbeni dio perifernog slušnog organa. Slušni živac udružuje se s vestibularnim živcem (lat. *nervus vestibularis*) u *fundus meatus acustici interni* te u obliku vestibulokohlearnog živca (lat. *nervus vestibulocochlearis*), na pontocerebelarnom kutu, zajedno ulaze u moždano deblo. U moždanom deblu dolazi do razdvajanja *n. cochlearis* tako da jednim dijelom aksoni završavaju u *nucleus cochlearis posterior*, a drugim dijelom u *nucleus cochlearis anterior*. U tim se jezgrama vlakna prvog

neurona prekapčaju, a neuroni drugog reda uglavnom prelaze na suprotnu stranu moždanog debla. Od *nucleus cochlearis posterior* aksoni odlaze kao *stria acoustica dorsalis*. Veći dio križa stranu, pri čemu se manji dio vlakana prekapča u *nuclei corporis trapezoidei anterior et posterior* i u *nuclei olivaris superior*, a većim dijelom vlakna odlaze izravno dalje kao *lemniscus lateralis*. U sastavu *lemniscus lateralis* sva vlakna odlaze do *colliculus inferior* u mezencefalonu uz mogućnost da je došlo do još jednog prekapčanja u *nuclei lemnisci laterals*. U konačnici 3. neuron (ili 4.) odlazi do medijalne genikulatne jezgre (lat. *corpus geniculate medialis*) gdje se opet prekapčaju. Nakon prekapčanja aksoni 4. (ili 5.) neurona odlaze kao slušna radijacija (lat. *radiation acustica*) do primarnog slušnog korteksa u temporalnom režnju, Brodmanove areje 41 i 42. Neuroni iz *nucleus cochlearis anterior* protežu se kao *corpus trapezoideum* do kontralateralnog trapezoidnog tijela ili gornje olive. Zatim imaju isti tijek unutar *lemniscus lateralis* kao i dorzalni dio slušnog puta. Djelomično križanje vlakana bitno je za određivanje smjera zvuka i stvaranje dojma prostornog slušanja. (18)

Eferentnu komponentu slušnog puta čini *tractus olivocohlearis*. To su eferentna vlakna koja polaze iz *nucleus olivaris superior* i preko *n. cochlearis* dolaze na pretežno vanjske osjetne stanice ili se presinaptički vežu na aferentna vlakna na unutarnjim osjetnim stanicama. Impulsi iz *nucl. cochlearis* prenose se na *nucl. olivaris superior* i tu podražuju vlakna olivokohlernog trakta. “Eksperimentalno je dokazano da podraživanje olivokohlearnih aksona slabi provođenje podražaja kroz slušni živac pa se može zaključiti da eferentna komponenta slušnog puta služi filtraciji i adaptaciji slušnih osjetnih podražaja, primjerice, razdvajanju određenih karakterističnih signala od pozadinskih šumova.”. (18)

Posljednji dio osjetila sluha je slušna kora. Slušnu koru ili slušni korteks možemo podijeliti na primarni, sekundarni i tercijarni slušni korteks. Primarni slušni korteks obuhvaća vijuge temporalnog režnja, *gyri temporalis transversi* ili Heschleove vijuge, odnosno Brodmanovu areju 41. U njemu postoji tonotopski (kohleotopski) raspored neurona, što znači da svaka frekvencija zvuka ima pripadajuće kortikalno područje u kojem se registrira: anterolateralno se nalaze niske, a posteromedijalno visoke frekvencije. Takav tonotopski raspored postoji i u bazilarnoj membrani pa se može zaključiti da i svaki dio bazilarne membrane ima svoje pripadajuće kortikalno područje zbog čega se nekad umjesto izraza tonotopski koristi izraz kohleotopski. “Eksperimentalnim podraživanjem primarnog slušnog korteksa u dobrovoljaca ili pacijenata

došlo je samo do subjektivnog doživljavanja pojedinih frekvencija zvuka. Nisu zabilježena doživljavanja većih sintaktičkih jedinica, kao što su riječi ili rečenice, niti opažanje melodija.” (18). Za doživljavanje većih sintaktičkih jedinica potrebna je aktivnost sekundarnog slušnog korteksa. Sekundarni slušni korteks obuhvaća *gyrus temporalis superior* (Brodmannova areja 22 i 42) i Wernickovo područje za govor. Uloga sekundarnog slušnog korteksa je integrativna i interpretacijska obrada slušnih informacija. U sekundarnoj slušnoj kori pohranjeni su engrami, slušne slike koje čine neurofiziološku osnovu prepoznavanja i osvještavanja slušne poruke. U tercijarnoj slušnoj kori uspoređuju se pristigli podatci iz vidnog i somatosenzornog područja sa slušnim podacima. Prepoznavanje i razumijevanje slušne poruke odvija se u dominantnoj hemisferi, a funkcija nedominantne hemisfere prepoznavanje je i slušanje glazbe i ostalih neverbalnih poruka. (18)

## **4. OŠTEĆENJE SLUHA**

### **4.1. Etiologija**

Oštećenje sluha prema nastanku dijelimo na prirođeno (kongenitalno) ili stečeno. Kongenitalni poremećaji mogu dovesti do oštećenja sluha koje se očituje ubrzo nakon rođenja. Polovica kongenitalnih oštećenja sluha uzrokovana je nenasljednim, okolišnim faktorima poput intrauterine infekcije rubeolom, citomegalovirusom ili sifilisom, asfiksija prilikom poroda, prematurusi, izražena hiperbilirubinemija u neonatalnom periodu te korištenje ototoksičnih lijekova u trudnoći (aminoglikozidi, diuretici, citotoksični lijekovi ili antimalarici). Drugih 50 % kongenitalnih oštećenja uzrokovano je nasljednim čimbenicima, od toga je 35 % nesindromskih oštećenja, a 15 % sindromskih. Najčešći nesindromski genetski uzrok kongenitalnog oštećenja sluha je mutacija gena za protein koneksin 26 (Cx26). Postoji više od 700 sindroma koji se vežu uz određeni stupanj oštećenja sluha, a neki od njih su: Downov, Alpertov, Treacher-Collinsov, Piere Robinov, Marfanov, ahondroplazija i mnogi drugi. (19)

Stečeno oštećenje sluha može nastati u bilo kojoj dobi. Najčešći uzroci stečenog oštećenja sluha su starenje (prezbiakuzija), izloženost buci, cerumen, komplikacije upale srednjeg uha, meningitis, ototoksični lijekovi, traume, neoplastične bolesti, ospice i zaušnjaci.

### **4.2. Epidemiologija**

Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije 466 milijuna, od toga 34 milijuna djece, pati od oštećenja sluha. Zajedno čine 5 % svjetske populacije. Ovaj podatak obuhvaća oštećenje sluha od 40 dB na uhu s boljim sluhom kod odraslih, odnosno 30 dB kod djece. Kod djece 60 % oštećenja sluha nastaje zbog sprječivih uzroka. Trećina ljudi starijih od 65 godina ima oštećenje sluha. Procjenjuje se da će do 2050. godine više od 900 milijuna ljudi oboljeti od oštećenja sluha. (1)

U Hrvatskoj ima oko 12 000 osoba s oštećenim sluhom, a u Zagrebu taj broj čini oko 3 000 osoba. Istraživanja mladih ispitanika u dobi od 16 do 20 godina, u Republici Hrvatskoj tijekom 1998. i 1999. godine, pokazala su zabrinjavajuće rezultate. U uzorku u kojem je bilo više od

12 000 zdravih ispitanika pokazalo se da je u 11 % njih sluh oštećen, a u više od 7 % lezija sluha bila je posljedica akustičke traume. Kod više od 90 % ispitanika oštećenje sluha nastalo je kao posljedica životnog okoliša (diskoklubovi, glasno slušanje muzike, petarde), a tek neznatan broj bio je izložen industrijskoj buci, što se svakako može tumačiti i životnom dobi ispitanika. (20) Prema podacima Hrvatskog registra za osobe s invaliditetom 2,6 % invaliditeta u Republici Hrvatskoj uzrokovano je oštećenjem sluha. (21)

### **4.3. Vrste i stupnjevi oštećenja sluha**

Vrste oštećenja sluha su periferna i centralna. Periferni slušni sustav dijelimo na provodni mehanički dio (vanjsko i srednje uho) i zamjedbeni dio (unutarnje uho i kohlearni dio VIII. živca). Strogo gledano, u mehanički provodni dio pripada i tekućina u pužnici. No, u praktičnoj dijagnostici njenu pokretljivost ne možemo ispitivati, pa su ovalni i okrugli prozorčić dijagnostička granica provodnog i perceptivnog aparata. Oštećenje bilo kojeg od navedenih dijelova perifernog slušnog organa dovodi do naglušosti ili gluhoće. Ako je oštećenje u provodnom dijelu, naglušost je provodna (konduktivna), a ako je oštećenje u zamjedbenom dijelu, naglušost je zamjedbena (perceptivna, sensorineuralna). Postoji još i mješoviti tip naglušosti koji nastaje nakon oštećenja u provodnom i zamjedbenom dijelu. Oštećenja na razinama slušnog puta višim od slušnog živca izazivaju centralno oštećenje sluha.

Ljudsko osjetilo sluha ima moć zapažanja zvukova frekvencija između 20 Hz i 20 000 Hz, što se naziva frekvencijski raspon. Intenzitetski raspon unutar kojeg sluša prosječno uho je između 0 i 120 dB. Na 120 dB je prag nelagode, a na 140 dB prag bola. Prag čujnosti za određenu frekvenciju je najtiši ton, odnosno ton najnižeg intenziteta, koji čujemo na toj frekvenciji. Ovisno o stupnju oštećenja sluha razlikujemo naglušost i gluhoću. Urednim sluhom smatramo sluh s pragom čujnosti, izraženim kao aritmetička sredina praga čujnosti na 500, 1000 i 2000 Hz, koji je jednak ili manji od 26 dB. Ako je prag čujnosti viši od 26 dB, govorimo o naglušosti, a ako je viši od 93 dB, to nazivamo gluhoćom.

Kod ocjene naglušosti u orijentacijsko-dijagnostičke svrhe, možemo se poslužiti sljedećim kriterijem (20) :

1. Neznatna naglušost – osoba ne čuje zvuk jakosti do 20 dB
2. Lagana naglušost – osoba ne čuje zvuk jakosti 20 - 40 dB
3. Umjerena naglušost – osoba ne čuje zvuk jakosti 40 - 60 dB
4. Teška naglušost – osoba ne čuje zvuk jakosti 60 - 80 dB (po nekim autorima ta granica je 93 dB)

## 5. ISPITIVANJE SLUHA

### 5.1. Akumetrija

Akumetrija je jednostavna metoda ispitivanja sluha glazbenim ugađalicama. Njome je moguće utvrditi postojanje i tip oštećenja sluha, ali ne i stupanj oštećenja. Ovom metodom ispituje se zračna i koštana vodljivost. Zračna se vodljivost ispituje postavljanjem ugađalice ispred uške tako da zvučna poruka prolazi kroz provodni i zamjedbeni dio. Koštana se vodljivost ispituje tako da ugađalicu pritisnemo na mastoid ili tjeme pa zvučna poruka vibriranjem lubanje dolazi u pužnicu.

Postoje 4 osnovna pokusa koji se izvode u akumetriji:

- a) Pokus zračne vodljivosti - izvodi se tako da se ugađalica postavlja ispred uha ispitanika i uredno čujućeg uha (liječnikovog) za lijevo i desno uho. Na taj se način procjenjuje postoji li oštećenje i je li ono jednostrano ili obostrano.
- b) Pokus po Weberu - uspoređujemo koštanu vodljivost desnog i lijevog uha ispitanika na način da postavljamo ugađalicu na njegovo tjeme. Pri jednostranoj naglušosti ispitanik čuje ton na jednom uhu bolje nego na drugom, odnosno lateralizira. Pri provodnoj naglušosti ton lateralizira u nagluhu stranu, a pri zamjedbenoj u zdravu stranu.
- c) Pokus po Scwabachu - uspoređuje se prag koštane vodljivosti ispitanika i ispitivača. Ako ispitanik na ispitivano uho čuje jednako dugo kao i ispitivač na uredno uho, Scwabach je uredan, a ako čuje kraće, Schwabach je skraćen, što ukazuje na zamjedbeno oštećenje sluha.
- d) Pokus po Rinneu – uspoređujemo prag zračne i koštane vodljivosti ispitanika za svako uho posebno. Ovaj pokus govori nam postoji li provodna naglušost. Normalno je zračna vodljivost bolja od koštane. Ako je zračna vodljivost manja od koštane, Rinne je negativan i postoji provodna naglušost. (7)

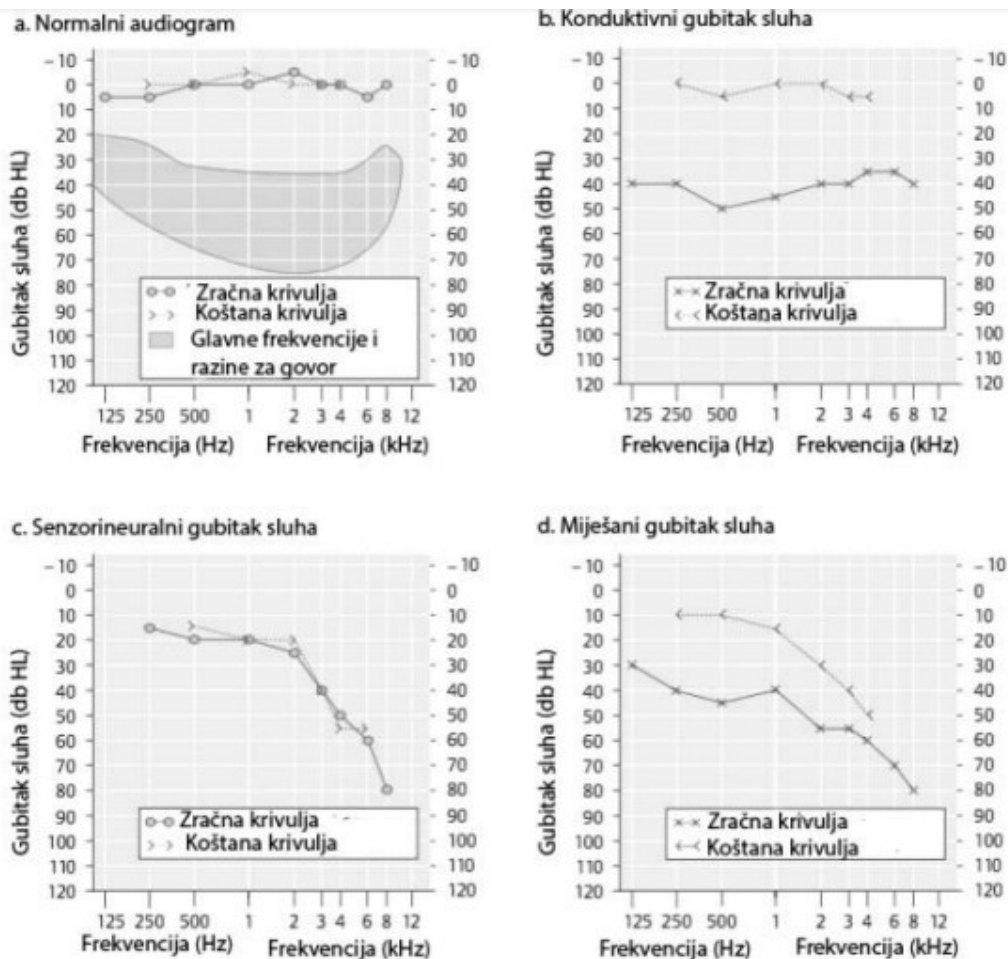


## 5.2. Tonska audiometrija

Tonska audiometrija metoda je kojom se, osim utvrđivanja oštećenja sluha, može utvrditi i koji je stupanj oštećenja sluha. Audiometrija je subjektivna pretraga jer ispitanik sam odlučuje što će pokazati kao prag čujnosti. Prag čujnosti najtiši je ton koji ispitanik čuje. Klinički, prag čujnosti definira se kao minimalni intenzitet zvuka ili vibracije koju pacijent ispravno zamjećuje u 50 % slučajeva. (22)

Audiometar se sastoji od generatora tona kojim ispitivač mijenja frekvenciju i intenzitet tona, slušalica za ispitivanje zračne vodljivosti i vibratora za ispitivanje koštane vodljivosti. Ispitivanje sluha audiometrijom potrebno je izvoditi u zvučno izoliranome prostoru koji se naziva tiha komora. Najprije se ispituje zračna, a zatim koštana vodljivost. Ispituju se tri govorne frekvencije (500, 1 000 i 2 000 Hz) te dvije oktave ispod (250 i 125 Hz) i dvije ili tri oktave iznad toga (4 000, 8 000 i 12 000 Hz). (7)

Nakon ispitivanja tonskom audiometrijom dobije se nalaz koji nazivamo audiogram. Na audiogramu su prikazani pacijentovi pragovi sluha za pojedinu frekvenciju i to za zvučnu i koštanu vodljivost. Pragovi sluha prikazani su u obliku krivulja koje se uspoređuju s normalnim krivuljama i tako se dobivaju podatci o vrsti i stupnju oštećenja sluha. Prosječni prag sluha zbroj je vrijednosti pragova na 500, 100 i 2 000 Hz podijeljen s 3.



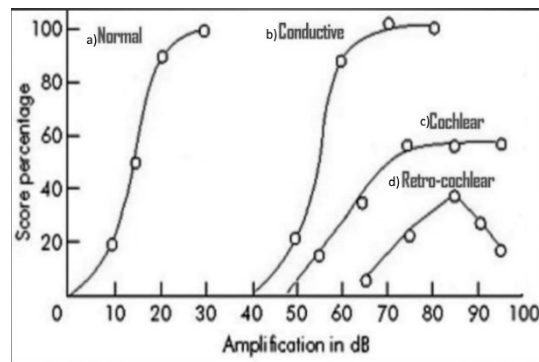
Slika 7. Vrste audiograma (23)

Na slici 7 prikazane su četiri vrste audiograma:

- Uredan audiogram koji prikazuje prag čujnosti od oko 0 dB, a to je zapravo prosjek praga čujnosti u populaciji.
- Audiogram prikazuje konduktivni gubitak sluha jer je prag zračne vodljivosti viši od praga koštane vodljivosti, što znači da je koštana vodljivost uredna.
- Na ovom se audiogramu vidi sensorineuralni (zamjedbeni) gubitak sluha jer su pragovi zračne i koštane vodljivosti spuštteni i ne postoji razlika među njima.
- Mješovito oštećenje sluha se na audiogramu prepoznaje tako da je gubitak zračne vodljivosti veći od gubitka koštane vodljivosti.

### 5.3. Govorna audiometrija

Govorna audiometrija metoda je u kojoj se ispituje sposobnost razabiranja riječi ili rečenica s obzirom na jačinu podražaja. Grafički prikaz govorne audiometrije krivulja je govornog audiograma. Na ordinati su rezultati mjerenja razabiranja riječi iskazani u postotcima, a na apscisi rezultati mjerenja glasnoće izraženi u decibelima. Ispitivanje se vrši audiometrom na kojem su snimljene fonetski izbalansirane jednosložne i dvosložne riječi u obliku elektroničkog zapisa. Taj zapis propušta se kroz audiometar, a potenciometrom se određuje jačina podražaja. Mjeri se prag recepcije govora, prag 50 %-tnog i 100 % razabiranja govora. U osobe uredna sluha prag recepcije je na 0 dB, 50%-tno razabiranje na 10 dB, a 100 % razabiranje govora na 20 dB. (7)



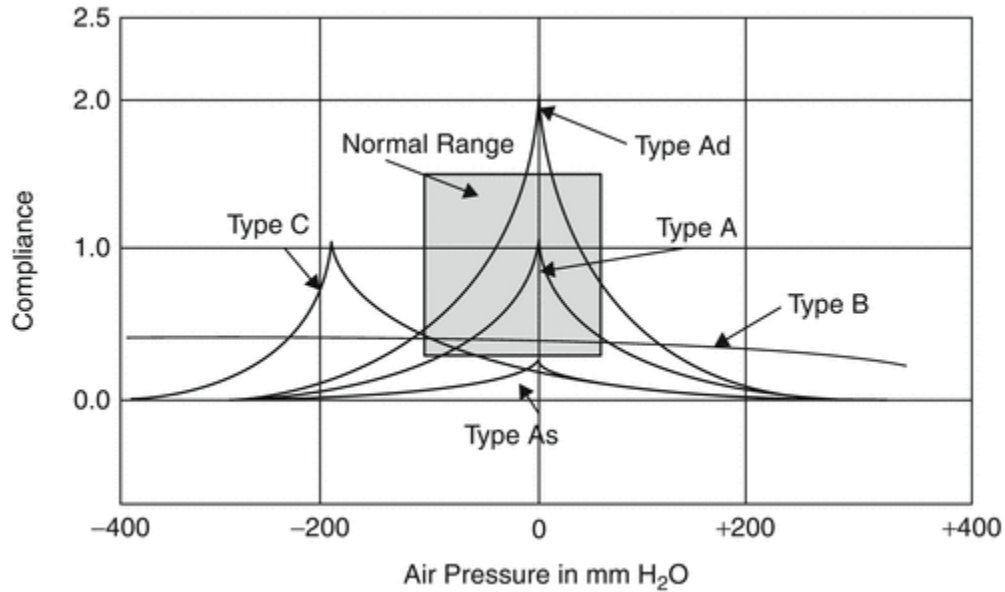
Slika 8. Govorni audiogram (24)

Slika 8 prikazuje četiri vrste krivulja na govornom audiogramu:

- Govorni audiogram osobe koja uredno čuje ima oblik slova "S". Prag recepcije govora je na 0 dB i 100 % razabiranje je na 20 dB.
- Kod konduktivne naglušosti govorni audiogram ima isti oblik kao i kod osobe koja uredno čuje, ali je krivulja pomaknuta udesno za koliko je podignut prag sluha.
- Govorni audiogram kod senozrinalne (kohlearne) naglušosti ima prag recepcije pomaknut udesno. Krivulja ima strm uspon razabiranja, ali zbog slušne preosjetljivosti brzo dolazi do distorzije jačine i frekvencije, razumljivost se smanjuje i pada. Prag nepodnošljivosti zvuka niži je nego u uredna sluha.
- Kod retrokohlearnog oštećenja sluha, odnosno neuralne zamjedbene naglušosti, krivulja ima spor uspon, položeniju krivulju, a potpune razumljivosti nema. Razabiranje riječi je slabo ili ga uopće nema. (7)

#### **5.4. Timpanometrija i akustički refleks**

Timpanometrija je neinvazivna i objektivna metoda kojom ispituje podatljivost (engl. *compliance*) bubnjića i lanca slušnih koščica pri različitim tlakovima u zvukovodu. Timpanometar se sastoji od zračne pumpice koja mijenja tlak u zvukovodu, generator tona i mikrofona koji snima zvučne valove reflektirane s bubnjića. Sva tri dijela povezana su u jedan dio koji se stavlja u vanjski zvukovod. Kada je tlak u vanjskom zvukovodu i srednjem uhu jednak, otpor na bubnjiću je najmanji, odnosno podatljivost je najveća i refleksija akustičke energije je najmanja. U timpanometriji se zapravo traži vrijednost tlaka pri kojem bubnjić najbolje titra jer ta vrijednost predstavlja tlak u srednjem uhu, a prikazuje se timpanogramom.



**Slika 9. Vrste krivulja na timpanogramu (25)**

Slika 9 Pokazuje timpanogram. Na ordinati je podatljivost, a na apscisi tlak u vanjskom zvučnom vodovodu. Vidi se pet vrsta krivulja na timpanogramu:

- A krivulja urednog timpanograma
- As stisnuta krivulja pokazuje smanjenu podatljivost kad je prijenosni mehanizam srednjeg uha ukrućen, npr. kod otoskleroze.
- Ad krivulja pokazuje povećanu podatljivost kad je prijenosni mehanizam hipermobilan, naprimjer kod diskontinuiranosti slušnih koščica.
- B krivulja pokazuje podatljivost koja je vrlo mala ili je nema. Takav timpanogram ukazuje na tekućinu u srednjem uhu, što ukazuje na upalu.
- C krivulja ima vršak podatljivosti koji je pomaknut na vrijednosti negativnog tlaka. Najčešće ukazuje na zatvorenu Eustahijevu cijev. (7)

Timpanometrijom možemo izmjeriti i akustički refleks, a to je kontrakcija mišića srednjeg uha (*m. tensor tympani* i *m. stapedius*) na zvukove ili šumove jakih intenziteta. Refleks *m. stapediusa* znatno je jači i značajniji. Kontrakcija stapesnog mišića uzrokuje pokretljivost stremena pa se manje akustičke energije prenosi u unutarnje uho, što služi kao zaštita unutarnjeg uha, a mijenja se i impedancija (otpor) srednjeg uha. Potonje se može timpanometrijski izmjeriti. U uredna sluha stapesni refleks se javlja na 70 do 100 dB. Odsutnost tog refleksa ili njegov povećani prag može

se javiti u otosklerozi, leziji *n. facialis* koji inervira *m. stapedius* ili kod neuralnog oštećenja sluha jer slušni živac čini aferentni krak tog refleksa. (7)

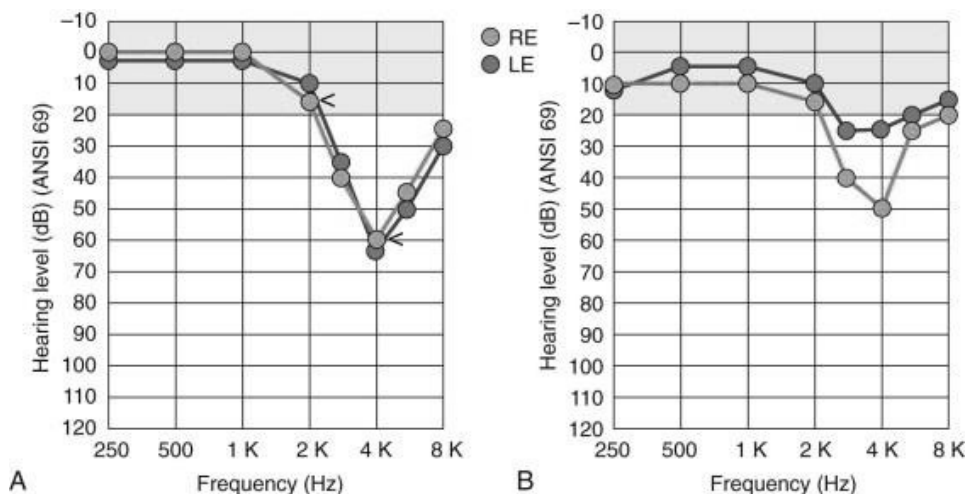
## 5.5. Otoakustička emisija

Otoakustička emisija jednostavna je, neinvazivna, bezbolna i brza pretraga koja je idealna za rano otkrivanje oštećenja sluha kojima je uzrok u pužnici. U užem smislu otoakustička emisija je pojava da Cortijev organ sam proizvodi zvuk zbog aktivnih mehaničkih kontrakcija vanjskih slušnih stanica. Otoakustička emisija bilježi se postavljanjem vrlo osjetljiva mikrofona u vanjski zvukovod, a zdravo srednje uho preduvjet je za njeno bilježenje. Postoji spontana emisija koja ne zahtijeva zvučni podražaj i evocirana emisija koja nastaje kao odgovor na zvučni podražaj. Odsutnost otoakustičke emisije upućuje na oštećenje vanjskih slušnih stanica. Zamjedbeno oštećenje sluha kod kojeg je prag sluha više od 30 dB uzrokuje nestanak otoakustičke emisije. Ako postoji otoakustička emisija i kod zamjedbenih oštećenja većih od 30 dB, to upućuje na neuralno oštećenje. (7)

## 6. OŠTEĆENJE SLUHA UZROKOVANO BUKOM

Buku možemo definirati kao “neželjeni zvuk” koji izaziva neugodan osjećaj ili može nepovoljno utjecati na zdravlje. Praktično, buka je svaki zvuk čiji je intenzitet veći od 85 dB. Možemo ju podijeliti po intenzitetu, duljini trajanja (kontinuirana, fluktuirajuća, intermitentna, udarna, impulsna) i po spektru tonova i šumova koje sadrži (jednotonska, buka uskog spektra i buka širokog spektra). Udarana buka uzrokovana je sudarom dvaju objekata, najčešća je u industriji, no može se pojaviti i u glazbi kod npr. gonga. Impulsna buka uzrokovana je naglim otpuštanjem energije kod npr. eksplozije ili pucanja iz vatrenog oružja. (2)

Gubitak sluha uzrokovan bukom zamjedbeni je (senzorineuralni) tip gubitka sluha. Rijetko, izrazito jaka impulsna buka može uzrokovati perforaciju bubnjića, odnosno konduktivni gubitak sluha. Većina izlaganja rizičnim razinama buke uzrokuje trenutnu zamjedbenu naglušost koja se oporavlja nakon 24 - 48 sati. Ovaj reverzibilni gubitak sluha naziva se privremeni pomak praga sluha (engl. *temporary threshold shift*). Ako je buka dovoljnog intenziteta ili se dovoljno često ponavlja izlaganje buci, dolazi do trajnog pomaka praga sluha (engl. *permenant threshold shift*). Postoje dva oblika gubitka sluha uzrokovanog bukom: kronično oštećenje i akustička trauma. Kronični gubitak sluha uzrokovan je ponavljanim izlaganjem zvuku koji je prevelikog intenziteta ili predugim izlaganjem zvuku određenog intenziteta. Svako izlaganje praćeno je privremenim pomakom praga sluha koji je reverzibilan, ali nakon nekog vremena razvija se trajni pomak praga sluha. Akustička trauma nastaje nakon što je osoba u jednom navratu bila izložena buci prevelika intenziteta, što odmah rezultira nastankom trajnog pomaka praga sluha. (2) Bukom uzrokovan gubitak većinom je simetričan i bilateralan. U početku dolazi do gubitka na frekvencijama od 3, 4 i 6 kHz, s tim da je najveći pomak praga sluha najčešće na 4 kHz. Progresijom oštećenja sluha izazvanog bukom dolazi do pomaka praga sluha i na frekvencijama nižim od 3 kHz, ali pomak je uvijek najveći na frekvencijama od 3 do 6 kHz. Zbog toga gubitak sluha uzrokovan bukom nazivamo visokofrekventnim gubitkom sluha. Kod kontinuiranog izlaganja buci oštećenje sluha najbrže progredira prvih 15 godina, a nakon toga oštećenje se razvija puno sporije. (2)



**Slika 10. A. Audiogram 44-godišnje osobe koja radi u tvornici i svakodnevno je izložena industrijskoj buci. B. Audiogram vojnika koji svakodnevno puca iz puške. (2)**

Slika 10 A prikazuje tipični audiogram osobe koja je svakodnevno izložena industrijskoj buci. Vidi se najveći pomak praga sluha na 4 kHz na oba uha, a na frekvencijama ispod 2 kHz prag sluha je manji od 20 dB. S druge strane, slika 10 B pokazuje asimetričan gubitak sluha vojnika koji svakodnevno puca iz puške pa buka više djeluje na desno uho, koje se nalazi pokraj ramena na koji je puška naslonjena, i u skladu s time pomak praga sluha je na tom uhu veći. Audiogramima je zajedničko da je pomak praga sluha najveći na 4 kHz. Gubitak sluha nastao zbog akustičke traume većinom pokazuje slična svojstva kao i kronični bukom uzrokovan gubitak sluha. Najčešće se na audiogramu vidi krivulja sa silaznim usjekom na 4 kHz (engl. *4kHz-notch*), ali katkad se vidi ravna ili silazna krivulja koja pokazuje pomak praga sluha. Audiometrijski usjek vrsta je krivulje na audiogramu koja nastaje kad je prag sluha na 3 kHz i/ili 4 kHz i/ili 6 kHz barem za 10 dB veći od praga na 1 kHz ili 2 kHz, odnosno 6 kHz ili 8 kHz. Pacijenti koji pate od oštećenja sluha uzrokovanog bukom žale se kako glasno govore na radnom mjestu i slabije čuju kada više ljudi govori istodobno. Također imaju simptome punoće u ušima, šumova i zaglušenosti u tišini. (7) Provedena su brojna istraživanja kako bi se istražilo jesu li dob, spol, rasa ili kardiovaskularne bolesti predisponirajući čimbenici za razvitak bukom inducirano gubitka sluha, ali rezultati su pokazali da nijedan od navedenih čimbenika nema ni pozitivnu ni negativnu korelaciju s razvitkom gubitka sluha. Na kronični sensorineuralni gubitak sluha uzrokovan bukom zaštitno djeluje konduktivni gubitak sluha koji zapravo oponaša nošenje čepića za uši jer se manje vibracija uzrokovanih bukom prenosi na unutarnje uho.



Predisponirajući čimbenik za razvoj takvog oštećenja sluha izostanak je akustičkog refleksa koji štiti unutarnje uho od prejakih vibracija. (2)

## 7. PATOFIZIOLOGIJA OŠTEĆENJA SLUHA UZROKOVANOG BUKOM

Otkriveni su brojni mehanizmi koji objašnjavaju patofiziološki proces nastanka bukom uzrokovanog oštećenja sluha. Možemo ih podijeliti na mehanizme koji uzrokuju privremeni pomak praga sluha (PPPS) i na mehanizme koji uzrokuju trajni pomak praga sluha (TPPS). U sljedećim poglavljima opisat ćemo svaki mehanizam zasebno.

### 7.1. Oštećenja slušnih osjetnih i potpornih stanica Cortijeva organa

Kao što je prije navedeno, unutrašnje i vanjske slušne osjetne stanice sadrže stereocilije. Manje su stereocilije preko kationskog kanala povezane s većima proteinskim kompleksom koji se naziva *tip-link*. Ta proteinska struktura izrazito je osjetljiva na stimulaciju bukom i može se oštetiti ako je izložena prevelikoj razini buke. Kada buka ošteti *tip-link*, tj. proteinski kompleks, kationski kanal za koji je on vezan ne može se više otvarati. Oštećenje *tip-linka* u vanjskim osjetnim slušnim stanicama rezultira gubitkom njihova svojstva amplifikacije zvuka na određenim frekvencijama i može doći do pomaka praga sluha od 20 do 60 dB. Oštećenje *tip-linka* u unutarnjim osjetnim stanicama otežava otvaranje kationskih kanala, a time i depolarizaciju stanice te prijenos podražaja na kohlearni živac. Srećom, proteinski se kompleks može regenerirati ako je dovoljno održana citoskeletna aktinska struktura stereocilija. Njegovim oporavkom prag sluha vraća se u prijašnje vrijednosti, a to je mehanizam koji objašnjava privremeni pomak praga sluha. Međutim, ako buka uzrokuje preveliku depolimerizaciju aktina u stereocilijama, tada se gubi njihov rigiditet, postaju flacidne i proteinski *tip-link* kompleks se ne može oporaviti. Tada nastaje trajni pomak praga sluha. Osim mehaničkog oštećenja stereocilija, buka uzrokuje i metaboličke promjene. Naime, kod izloženosti buci u osjetnim i potpornim stanicama dolazi do intracelularnih metaboličkih promjena koje vode depleciji energije u stanicama, a također dolazi do stvaranja slobodnih radikala i oksidativnog stresa. S jedne strane

to uzrokuje citoskeletne promjene unutar osjetnih stanica i mijenja njihovu mogućnost primanja podražaja putem stereocilija, a s druge strane dolazi i do strukturalnih promjena potpornih stanica koje su bitne za integritet osjetnih stanica i prijenos titranja preko bazilarne membrane. Ako je u stanicama razina oksidativnog stresa ispod one koja uzrokuje apoptozu, dolazi do privremenog pomaka praga sluha, a ako dođe do apoptoze stanica, dolazi do trajnog pomaka praga sluha. Treći mehanizam predložen za nastanak privremenog pomaka praga sluha nastaje bez oštećenja osjetnih stanica – tu dolazi do oštećenja u sinapsi između unutarnje osjetne slušne stanice i aferentnog neurona. Naime, kod određenih radova pokazano je da buka djeluje na unutarnje stanice tako da ih u početku snažno stimulira, što dovodi do otpuštanja velike vrijednosti glutamata u sinapsu. Prevelika veličina glutamata može biti ekscitotoksična, kao i privremeno oštetiti aferentni neuron. Ako oštećenje nije preveliko, može doći do regeneracije i tada postoji privremeni pomak praga sluha, a preveliko oštećenje uzrokuje trajni pomak praga sluha. (26)

## **7.2. Bukom uzrokovane promjene u kohlearnim jezgrama**

Postoje brojni radovi koji dokazuju da buka uzrokuje promjene gotovo na svim dijelovima slušnog puta. U prošlom odlomku opisan je mehanizam oštećenja aferentnih završetaka slušnog živca koji su u sinapsi s osjetnim stanicama. No, glutamat je bitan ekscitatorni neurotransmiter u svim dijelovima slušnog puta. Statler i suradnici u svom radu dokazali su da buka uzrokuje nastanak mikrocista u kohlearnim jezgrama skočimiša, a to su pripisali ekscitotoksičnosti glutamata. (27) Osim toga, dokazano je da u kohlearnim jezgrama nakon izlaganja buci dolazi do pojačane glicinergičke i kolinergičke aktivnosti, što upućuje na to da buka uzrokuje promjenu aktivnosti pojedinih neurona u tim jezgrama i mijenja ravnotežu ekscitacije i inhibicije. Ako se ova ravnoteža ne uspije obnoviti, dolazi do tonotopskih promjena u kohlearnim jezgrama. Područja kohlearnih jezgara koja su zadužena za primanje visokofrekventnih podražaja bivaju smanjena na račun proširenja okolnih područja zaduženih za ostale frekvencije. Također, dokazane su i ultrastrukturalne promjene koje odgovaraju stvaranju novih sinapsi te promjene glijalnih elemenata i neurotrofnih faktora. Zbog potonjeg pojedini autori čak navode da je bukom uzrokovan gubitak sluha neurodegenerativna bolest. (28)

### **7.3. Bukom uzrokovane promjene u inferiornim kolikulima**

Neuroni u inferiornim kolikulima također pokazuju promjene nakon što se organizam izloži buci ili akustičkoj traumi. Salvi i suradnici objavili su rad u kojem su pokazali učinke buke na lokalno polje potencijala u inferiornim kolikulima. Lokalno polje potencijala je elektrofiziološki signal koji sumira impulse velikog broja neurona u određenom području u mozgu, a snima se intrakortikalnim elektrodama. U svom istraživanju Salvi i suradnici snimali su lokalno polje potencijala u inferiornim kolikulima činčila prije i poslije petodnevnog izlaganja zvuku frekvencije 2 kHz, a intenziteta od 105 dB. 25 dana nakon ekspozicije, činčile su imale pomak praga sluha od 20 do 30 dB na frekvencijama od 2 do 8 kHz. Na frekvencijama od 4 do 8 kHz smanjila se maksimalna amplituda lokalnog polja potencijala, a također se smanjila promjena lokalnog polja potencijala kao odgovor na tonove niskog intenziteta. Na frekvenciji od 2 kHz lokalno polje potencijala je također pokazivalo smanjen odgovor na podražaje niskog intenziteta, ali se maksimalna amplituda na tim frekvencijama povećala. Povećana maksimalna amplituda lokalnog polja potencijala na tim frekvencijama vjerojatno je uzrokovana smanjenjem inhibitornog djelovanja neurona regije koja je oštećena bukom. (29) Također, brojna istraživanja su dokazala da je akustička trauma koja rezultira unilateralnim gubitkom sluha praćena bilateralnom hiperaktivnošću inferiornih kolikula. Dokazano je da neposredno nakon akustičke traume dolazi do smanjene ekspresije gena bitnih za inhibitornu funkciju neurona, a kako vrijeme od djelovanja trauma odmiče, dolazi do normalizacije ekspresije istih gena. Neki geni koji su uključeni u proces razvoja hiperekscitacije u inferiornim kolikulima su GABRA1, GLRA1, GAD1, GRIA2, GRIN1, RAB3A, RAB3GAP1, KCNK15. (28)

### **7.4. Bukom uzrokovane promjene u medijalnom koljenastom tijelu (MKT) i slušnom korteksu**

Cijeli slušni put pokazuje tonotopski raspored neurona i njihovih vlakana, odnosno postoje dijelovi slušnog puta koji bivaju podraženi zvukovima određenih tonova ili frekvencija. Ista pojava vidi se i u medijalnom koljenastom tijelu i slušnom korteksu. Buka uzrokuje promjene u regijama slušnog puta koje tonotopski odgovaraju visokim frekvencijama. Kamke i suradnici

istraživali su kako buka utječe na raspored tonotopskih regija u MKT mačaka. Pri tom su mjerili promjene lokalnog polja potencijala u različitim dijelovima MKT pri izloženosti zvukovima različitih frekvencija i intenziteta. Mjerenja su radili na kontrolnoj skupini i na skupini mačaka kojima su bukom inducirali visokofrekventnu naglušnost. Njihovi rezultati pokazali su da kod visokofrekventnog gubitka sluha uzrokovanog bukom dolazi do reorganizacije tonotopskih regija. Tonotopske regije zadužene za niže frekvencije proširile su se na račun smanjivanja tonotopskih regija zaduženih za više frekvencije. (30) Robertson i Irvin u svom su istraživanju dokazali istu takvu tonotopsku reorganizaciju u primarnom slušnom korteksu. (31) Tonotopska reorganizacija u MKT i slušnom korteksu puno je veća nego u ostalim dijelovima slušnog puta, što dokazuje da MKT i slušni korteks pokazuju najveće svojstvo sinaptičke plastičnosti.

## 7.5. Bukom uzrokovane vaskularne promjene unutarnjeg uha

Unutarnje uho prima vaskularnu opskrbu od *a. labyrinthi* koja je ogranak *a. cerebelli anterior inferior*, a ona je pak ogranak *a. basillaris*. *A. labyrinthi* ima tri glavna ogranka: *a. vestibularis anterior*, *a. vestibulocochlearis* i *a. cochlearis*. (32) Krvne žile unutarnjeg uha sastavni su dio krvno-labirintne barijere, bitne su za održavanje ionske homeostaze u perilimfi i endolimfi te dovode kisik i nutrijente bitne za održavanje metaboličkih funkcija. Kod gubitka sluha uzrokovanog bukom dolazi i do promjena kohlearnih vaskularnih struktura. Izlaganje buci dovodi do reverzibilnih promjena poput vazokonstrikcije, lokalne ishemije i povećane permeabilnosti krvnih žila. (33) Blokada kalcijevih kanala verapamilom prije izlaganja buci smanjuje privremeni pomak praga sluha upravo zbog toga što smanjuje vazokonstrikciju i permeabilnost. (34) Bez obzira na reverzibilnost tih promjena, one vjerojatno pridonose oštećenju stanica Cortijeva organa i spiralnog ganglija. Piccioti i suradnici u svom su istraživanju dokazali da su koncentracije VEGF-a (engl. *vascular endothelial growth factor*) u kohlearnim krvnim žilama domaćih zamorčića koji su bili izloženi buci 2 do 3 puta veće od koncentracija u kontrolnoj skupini zamorčića koja nije bila izložena buci. VEGF je faktor koji potiče angiogenezu i ima neuroprotektivno djelovanje, a njegovo lučenje iz endotelnih stanica inducira hipoksiju i ozljeda endotelnih stanica krvnih žila. Zbog toga su zaključili da buka uzrokuje vazokonstrikciju, oštećenje kohlearnih krvnih žila i hipoksiju, a odgovor na te podražaje je pojačana produkcija

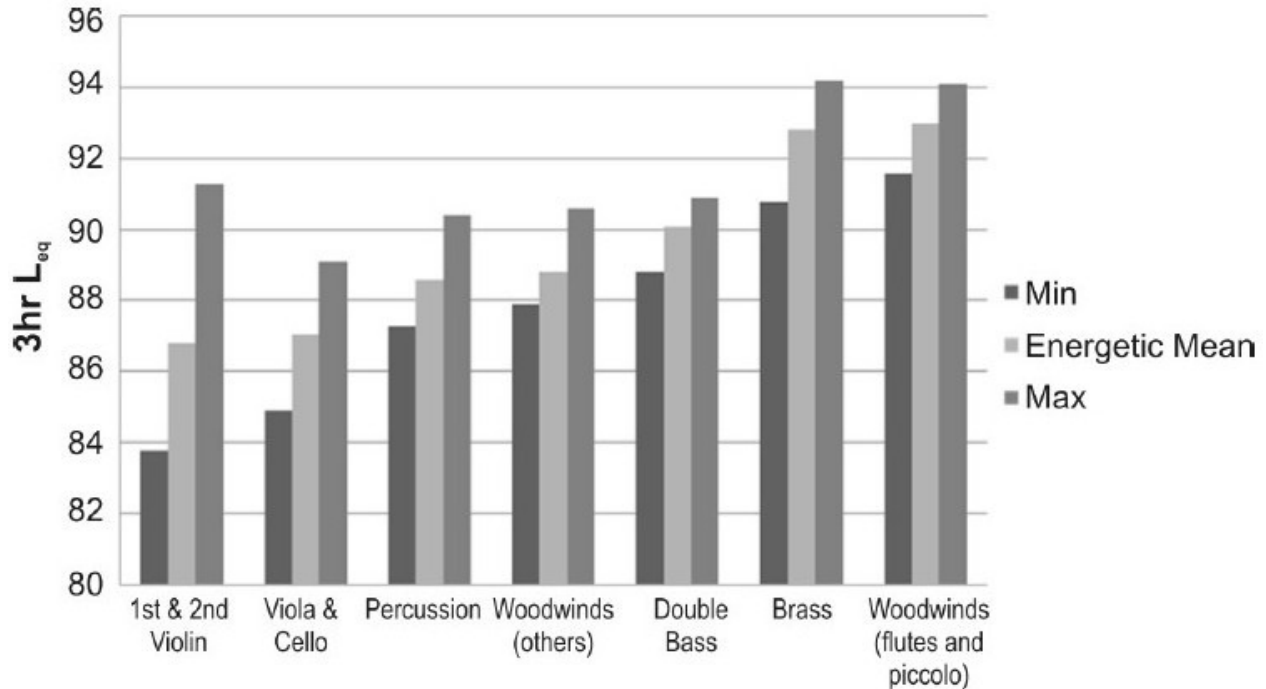
VEGF-a kako bi se ponovno uspostavila normalna doprema kisika i vaskularnih struktura. (35) Ovo istraživanje govori u korist mogućeg protektivnog djelovanja VEGF-a kod gubitka sluha uzrokovanog bukom.

## 8. GUBITAK SLUHA U POPULACIJI GLAZBENIKA

Većina se glazbenika gotovo svakodnevno izlaže zvukovima visokog intenziteta, odnosno buci i zbog toga predstavljaju rizičnu skupinu za razvoj zamjedbenog gubitka sluha uzrokovanog bukom pri muziciranju. Gubitak sluha kod glazbenika je kao i kod svih oštećenja sluha uzrokovanih bukom visokofrekventan. Najveći pomak praga sluha je na frekvencijama od 3 do 6 kHz, što je detaljnije opisano u poglavlju 7. Gubitak sluha ovisi o količini buke kojoj se glazbenici izlažu pri izvođenju glazbe, ali i o duljini trajanja izloženosti, što je povezano s godinama bavljenja glazbom. Candido i suradnici u svom su istraživanju dokazali da su glazbenici potpuno uredna sluha prosječne dobi od 22 godine te imaju 2,5 godine izvedbenog iskustva, glazbenici s laganom do umjerenom nagluhošću na lijevom uhu prosječne su dobi od 40 godina te imaju 21,5 godina izvedbenog iskustva, a glazbenici s laganom do umjerenom nagluhošću na oba uha prosječne su dobi od 42 godine te imaju 24 godine izvedbenog iskustva. (36) Glazbenici se izlažu buci na probama, koncertima, a nerijetko i pri slušanju preglasne glazbe putem slušalica ili zvučnika. Vrlo mali postotak njih koristi pritom zaštitna pomagala poput čepića za uši jer im oni smanjuju percepciju dinamike (promjene intenziteta) i boje tona, a također ih smatraju neudobnima. (37) Budući da je sluh ključno osjetilo glazbenika, postoje brojna istraživanja koja se bave upravo gubitkom sluha u populaciji glazbenika. Istraživanja su provedena na različitim skupinama poput *pop/rock/jazz*-glazbenika, *rap*-glazbenika, pripadnika različitih vrsta orkestrara, studenata glazbenih akademija, studenata vojnih glazbenih akademija, DJ-eva itd.

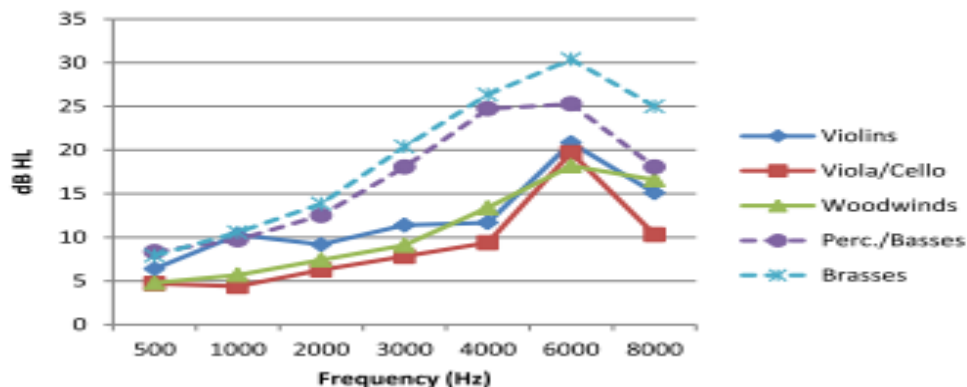
## 8.1. Gubitak sluha u orkestralnih glazbenika

Glazbenici orkestra Kanadskog nacionalnog baleta više su puta bili sudionici istraživanja koja ispituju buku nastalu pri izvođenju glazbe i njezin utjecaj na sluh. Quian i suradnici istražili su kolika je ekvivalentna trajna razina buke, *Leq*, kojoj se izlažu pojedini pripadnici orkestra. “Ekvivalentna trajna razina buke, *Leq*, jest ona razina stalne buke koja bi na čovjeka jednako djelovala kao promatrana promjenjiva buka istog vremena trajanja.” (38). *Leq* su izračunali tako da su koristili vrijeme od 360 sati jer toliko glazbenici ovog orkestra godišnje provedu izvođeći. Svaki glazbenik nosio je mikrofon na ramenu koji je spojen s dozimetrom buke i tako se mjerila pojedinačna izloženost buci tijekom 10 izvedbi jednog od najglasnijih baleta, *Romeo i Julija*. Najveća prosječna *Leq* izmjerena je kod glazbenika koji sviraju drvene i limene puhačke instrumente (engl. *woodwinds and brass*). Kod trubača ona je iznosila najviše, 94 decibela, drugi po redu bili su trombonist i flautisti s 93 decibela, a nakon njih svirači tube s 92 decibela. Kod ostalih glazbenika *Leq* je bila ispod 90 db. Detaljniji prikaz rezultata vidi se na slici 11. Pomoću ISO 1999 : 1990 formule Quian i suradnici izračunali su prediktivnu vrijednost trajnog pomaka praga sluha navedenih glazbenika nakon 40 godina izloženosti izmjerenoj dozi buke. Dobiven rezultat pokazuje da će pomak praga sluha kod svih pripadnika orkestra biti manji od 10 db na frekvencijama od 3 do 6 kHz. Kod trubača, koji su najizloženiji, 90 % će imati pomak praga sluha manji od 4 dB. Zaključeno je da pripadnici ovog orkestra nisu u riziku za razvoj značajnog trajnog pomaka praga sluha ako se promatra samo izloženost buci tijekom izvedbe, ne uključujući izloženost na probama. (3)



**Slika 11. Minimalni, prosječni i maksimalni  $Leq$  tijekom trosatne izvedbe kod različitih instrumentalista u orkestru. Slijeva nadesno: violine, viola i čelo, perkusije, drveni puhački instrumenti (osim flaute i pikola), kontrabas, limeni puhački instrumenti, flauta i pikolo (3)**

Russo i suradnici godinu su dana kasnije proveli istraživanje na istom orkestru. Osim mjerenja izloženosti buci kojoj su izloženi pojedini instrumentalisti, radili su i audiometrijska testiranja kako bi otkrili tko u orkestru ima najveći pomak praga sluha. Rezultati audiometrije prikazani su na slici 12 na kojoj se vidi da se najveći pomak praga sluha kod svih instrumentalista događa između 4 000 i 6 000 Hz. Najveća razlika između pomaka praga sluha vidi se na 4 000 Hz. Glazbenici koji sviraju limene puhačke instrumente na toj frekvenciji imaju pomak od čak 25 dB, odmah ispod njih su perkusionisti i basisti, a svi ostali imaju pomak manji od 10 dB. To je u skladu s prijašnjim istraživanjem koje je pokazalo da su trubači i ostali instrumentalisti koji sviraju limena puhačke instrumente izloženi najvišoj dozi buke pri izvođenju glazbe. Osim toga, na grafu se vidi da je najveći pomak praga sluha u svih instrumentalista na 6 000 Hz. Najmlađi ispitanici imali su 46 godina, najstariji 56, a prosječna razlika u godinama između ispitanika bila je 4. Takvim odabirom ispitanika smanjila se vjerojatnost utjecaja prezbiakuzije na rezultat audiometrije. (39)



**Slika 12. Audiometrijske krivulje pojedinih skupina instrumentalista u orkestru dobivene linearnom regresijom. Plava isprekidana crta - limeni puhački instrumenti; ljubičasta isprekidana crta - perkusije i bas; zelena puna crta - drveni puhački instrumenti; crvena puna crta - viola i čelo; plava puna crta - violine. (39)**

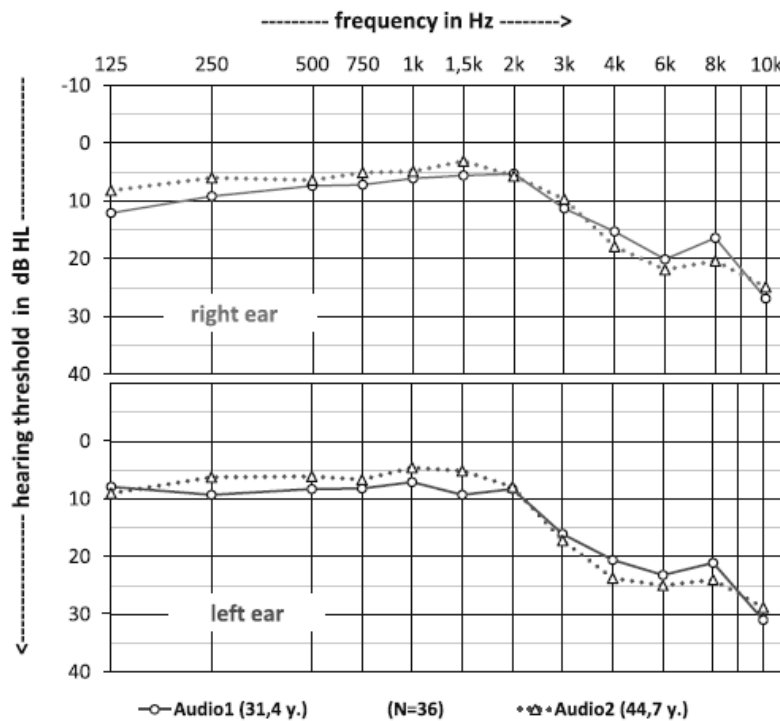
Pet godina kasnije Russo i suradnici napravili su isto istraživanje na istom orkestru s nešto izmijenjenim članovima. Od 40 ispitanika kojima su rađena audiometrijska testiranja, samo troje je imalo značajan gubitak sluha, od toga je dvoje sviralo drveni puhački instrument, a jedan od glazbenika je bio perkusionist. Značajan gubitak sluha u ovom je slučaju definiran kao prosječni pomak praga sluha u oba uha na frekvencijama od 2, 3 i 4 kHz koji je veći ili jednak 10 dB, ili prosječni pomak praga sluha u jednom uhu na istim frekvencijama veći ili jednak 15 dB.(40)

Gubitak sluha u orkestralnih glazbenika najčešće je bilateralan, što pokazuje i istraživanje Pouryaghoubi i suradnika. (41) Oni su radili audiometrijske pretrage na 125 orkestralnih glazbenika, a na audiogramima su tražili audiometrijski usjek koji je detaljnije opisan u poglavlju 7. Od 125 ispitanika 42,4 % odnosno 52 njih imalo je audiometrijski usjek na audiogramu, a u 88 % slučajeva usjek je bio bilateralan, odnosno vidio se na audiogramu i lijevog i desnog uha. Jedina iznimka za bilateralan gubitak sluha su violinisti/ice koji češće gube sluh na lijevom uhu zbog načina držanja instrumenta i prosječno imaju za 6 dB lošiji sluh na lijevom uhu. (41)

Müller i Schneider u svom su prospektivnom kohortnom istraživanju radili audiometrijska testiranja na 39 pripadnika vojnog glazbenog orkestra. Prvo audiometrijsko testiranje radili su na početku istraživanja, a drugo 13 godina nakon toga. Svi su ispitanici tijekom tih 13 godina



aktivno svirali u orkestru. Rezultati istraživanja, prikazani na slici 14, pokazali su da se prosječni prag sluha na frekvencijama od 4 kHz do 8 kHz pogoršao, odnosno povisio u vrijednosti od 2 do 5 dB, što odgovara učinku utjecaja buke na sluh. Na frekvencijama ispod 2 kHz, izuzev 125 Hz, sluh se poboljšao, odnosno prag sluha se snizio u vrijednosti od 1 do 4 dB. (42) Moguće je da do takvog blagog poboljšanja sluha na nižim frekvencijama dolazi zbog tonotopske reorganizacije u slušnom putu, odnosno zbog toga što područja u slušnom putu, koja su zadužena za prijenos tonova niže frekvencije, preuzimaju dio neaktivnih područja zaduženih za visoke frekvencije. Naposljetku, zaključak je ovog istraživanja da vojni glazbenici nisu pod povišenim rizikom za gubitak sluha uzrokovanog bukom koja nastaje pri izvođenju glazbe.



**Slika 13. Audiogrami pripadnika vojnog glazbenog orkestra snimljeni u razmaku od 13 godina. Punom crtom označena je audiometrijska krivulja snimljena na početku istraživanja, a iscrtkanom crtom audiometrijska krivulja snimljena nakon 13 godina, odnosno na kraju istraživanja. (42)**

## 8.2. Gubitak sluha u *rock*-glazbenika

*Rock*-glazba širok je pojam, ali ono što povezuje većinu podžanrova *rock*-glazbe zvuk je velikog intenziteta pri izvođenju glazbe. Potonje ukazuje na to da su glazbenici koji se bave navedenim žanrom, kako na koncertima, tako i na probama, često izloženi buci koja može oštetiti njihov sluh. Smuziger i suradnici u svom su istraživanju usporedili audiometrijske nalaze 42 *rock*-glazbenika s audiometrijskim nalazima 20 ispitanika iz kontrolne skupine koji ni na koji način nisu bili izloženi buci. Kriteriji za isključivanje *rock*-glazbenika iz pokusne skupine bili su: akustička trauma u anamnezi, izloženost buci na drugom poslu kojim se bave, rekurentni *otitis media* u anamnezi, prethodne operacije uha, korištenje ototoksičnih lijekova, fraktura baze lubanje u anamnezi. Svi glazbenici uključeni u istraživanje bavili su se glazbom dulje od 5 godina, tjedno su se prosječno 5 sati izlagali buci intenziteta od 100 do 105 dB i svi su bili mlađi od 50 godina. Većina ih nije koristila čepiće za uši kao zaštitu, neki su ih povremeno koristili, a neki uvijek. Nakon standardizacije rezultata po dobi i spolu, na audiometrijskom nalazu prosječni prag sluha za oba uha na frekvencijama od 3 do 8 kHz za skupinu *rock*-glazbenika bio je 6 dB, a za kontrolnu skupinu bio je 1,5 dB. Na istim frekvencijama, glazbenici koji su uvijek nosili čepiće za uši pri izlaganju buci imali su prosječni prag sluha od 2,4 dB, oni koji su ih nosili povremeno 3,8 dB, a oni koji ih nikad nisu nosili 8,2 dB. Tablica 1 prikazuje rezultate glazbenika čiji se prag sluha nalazi ispod desete percentile. Najteža oštećenja imaju četiri gitarista, od kojih jedan svira i klavijature, jedan trombonist i jedan perkusionist. Usprkos tome, istraživanje je pokazalo da je oštećenje sluha najčešće kod bubnjara. Rezultati istraživanja također su pokazali da su oštećenja odnosno pomak praga sluha češći i teži na lijevom uhu, što se vidi i kod najtežih oštećenja prikazanih u tablici 1. To ukazuje na mogućnost da je lijevo uho podložnije oštećenju sluha uzrokovanog bukom iako je ta razlika vjerojatno klinički nebitna. (4)

**Tablica 1. Ispitanici s pragom sluha ispod 10. percentile na frekvencijama od 3 do 8 kHz.**

**D - desno uho, L - lijevo uho.**

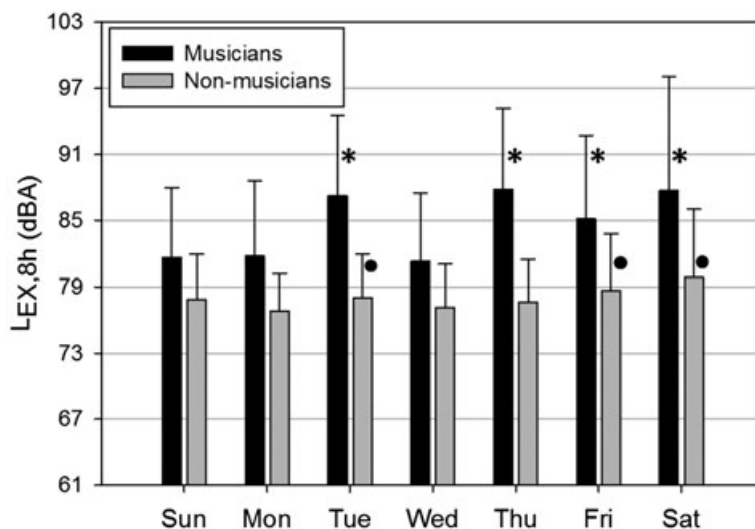
**Preuzeto i prilagođeno iz Schmuziger N, Patscheke J, Probst R. (4)**

Dob (godine)	Instrument	Vrijeme izloženosti		Prag sluha (dB)
		Godine bavljenja glazbom	Tjedna izloženost u satima	3 - 8 kHz
23	Trombon	5	3	2,5 (D) 17,5 (L)
22	Gitara	6	9	16 (D) 10 (L)
23	Gitara	7	4	11 (D) 16 (L)
29	Gitara	11	5	11 (D) 25 (L)
34	Perkusije	16	8	9 (D) 21 (L)
49	Gitara i klavijatura	30	4	32 (D) 40 (L)

Maia i suradnici u svom su istraživanju radili pretragu audiometrije i evocirane otoakustičke emisije na 23 *rock*-glazbenika. (43) Rezultati istraživanja pokazali su da 41 % ispitanika ima audiometrijski usjek na audiogramu pri frekvencijama od 4 do 6 kHz. Evocirana otoakustička emisija bila je prisutna kod 39 %, a odsutna kod 61 % ispitanika. Takav postotak evocirane otoakustičke emisije i audiometrijskih usjeka ukazuje na oštećenje slušnih stanica u ispitanjoj populaciji glazbenika.

### 8.3. Gubitak sluha u studenata koji se bave glazbom

Studenti glazbenih akademija dobar su uzorak za istraživanje oštećenja sluha uzrokovanog bukom odnosno glazbom koja uključuje zvukove visokog intenziteta. Osim što imaju velik broj sati vježbanja instrumenta, proba i izvedaba, često su i posjetioci različitih bučnih događanja poput koncerata. Tufts i suradnici u svom su istraživanju usporedili tjednu izloženost buci nastaloj pri glazbenim aktivnostima kod 22 studenta koji se aktivno bave glazbom s tjednom izloženosti kod 40 studenata koji se ni na koji način ne bave glazbom, odnosno kontrolne skupine studenata. Svi studenti imali su između 18 i 24 godine, a svaki od njih dobio je svoj osobni dozimetar buke (bukomjer) koji su nosili svih sedam dana u tjednu, izuzev spavanja. Rezultati istraživanja očekivano su pokazali da glazbenici žive bučniji život, što se vidi na slici 13. Prosječna dnevna izloženost buci (*LEX*) kod glazbenika 47 % dana u tjednu, odnosno polovicu tjedna, bila je iznad 85 dB. U kontrolnoj skupini dnevna izloženost buci bila je iznad 85 dB samo 10 % dana u tjednu. 74 % glazbenika, a samo 13 % ispitanika iz kontrolne skupine, imalo je dnevnu izloženost veću do 85 dB tri ili više dana. Samo 9 % glazbenika nije imalo dnevnu izloženost buci veću d 85 dB niti u jednom danu u tjednu. Budući da dnevna izloženost buci veća od 85 dB predstavlja rizik za razvoj gubitka sluha uzrokovanog bukom, zaključak istraživanja je da su studenti glazbenici pod značajno višim rizikom za razvoj oštećenja sluha. (44)



**Slika 14. Dnevna izloženost buci tijekom dana u tjednu. Na ordinati je razina dnevne izloženosti buci u decibelima, a na apscisi su dani u tjednu poredani s lijeva nadesno počevši od nedjelje. Crnom bojom označena je dnevna izloženost buci kod glazbenika, a sivom dnevna izloženost buci kod kontrolne skupine. Svaki dan u tjednu glazbenici imaju veću dnevnu izloženost, a 4 dana u tjednu dnevna je izloženost kod glazbenika veća ili jednaka 85 dB. (44)**

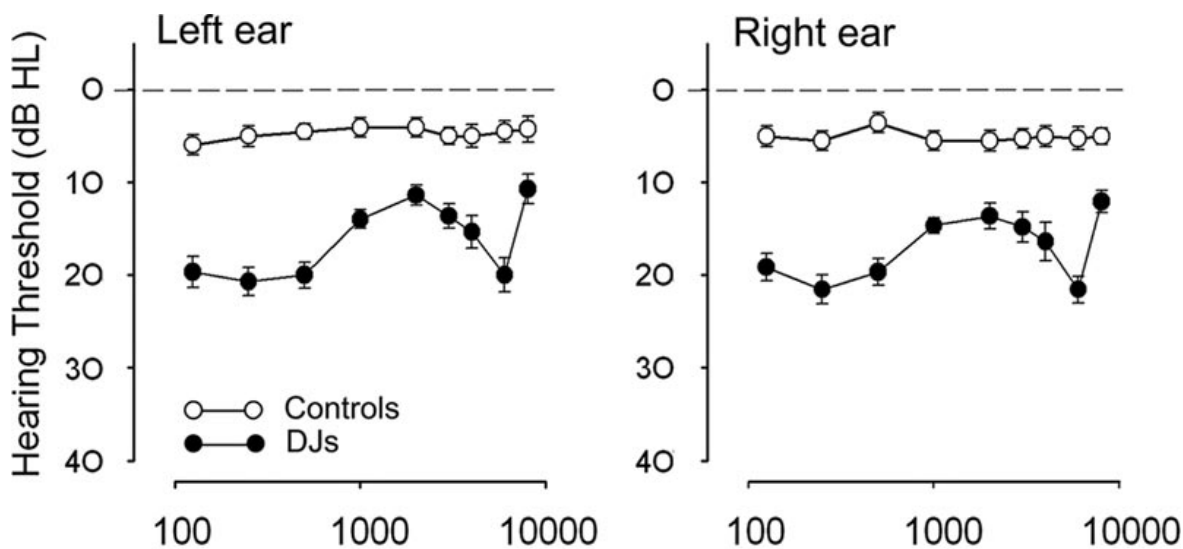
Lüders i suradnici proveli su retrospektivno kohortno istraživanje u kojem su kao pokusnu skupinu koristili 42 studenata glazbene akademije prosječne dobi 26 godina, a kao kontrolnu skupinu 42 ispitanika prosječne dobi 24,5 godina koji se nikada nisu bavili glazbom. Audiometrijom su ispitivali sluh na frekvencijama od 250 Hz do 16 000 Hz. Većina glazbenika, njih 92,85 % imala je uredan prag sluha. Na svim frekvencijama, osim na 4 000 Hz, glazbenici su imali viši prag sluha odnosno lošiji sluh na desnom uhu. U usporedbi s kontrolnom grupom skupina glazbenika imala je viši prag sluha na frekvencijama od 250 Hz na oba uha i 500 Hz na lijevom uhu, a zanimljivo je da su glazbenici imali niži prag sluha od kontrolne grupe na frekvenciji od 3 000 Hz u desnom uhu. To nije u skladu s činjenicom da buka uzrokuje pomak praga sluha na frekvencijama od 3 do 6 kHz pa se takav podatak ni ne može pripisati utjecaju buke. Na frekvencijama od 6 kHz kontrolna grupa imala je niži prag sluha odnosno bolji sluh na oba uha. Na ostalim frekvencijama razlika u pragu sluha nije bila statistički značajna. Usprkos opsežnosti istraživanja, ono nije dokazalo da buka prvo uzrokuje gubitak sluha na frekvencijama od 3 kHz do 6 kHz, zatim na frekvencijama od 8 kHz i 500 Hz i naposljetku 250 Hz, kao što je

navedeno u prijašnjim istraživanjima. (5) Dobiveni rezultati su naprotiv pokazali obrnuti redoslijed, a to se može pripisati lošem odabiru dobne skupine ispitanika jer kod tako mladih ljudi vjerojatno se nije ni počelo razvijati oštećenje sluha uzrokovano bukom.

#### **8.4. Gubitak sluha u DJ glazbenika**

DJ skraćunica je od *disc jockey*, što prevedeno na hrvatski u doslovnom smislu znači “jahač diskova”. DJ označava svaku osobu koja je zadužena za puštanje glazbe na bilo kakvim događajima. DJ-i se najčešće bave puštanjem glazbe u noćnim klubovima, što je u velikoj većini slučajeva povezano s cjelonoćnim izlaganjem buci visokog intenziteta. Takvi uvjeti rada predstavljaju rizični faktor za razvoj gubitka sluha uzrokovanog bukom, pa tako postoji nekoliko istraživanja koja se bave gubitkom sluha u navedenoj populaciji.

Potier i suradnici istraživali su kolika je razina buke u 6 noćnih klubova u Montpellieru i koliko je prosječno oštećenje sluha u uzorku od 29 DJ-a. Prosječna ekvivalentna trajna doza buke, izmjerena u neposrednoj blizini DJ-a, iznosila je 98,7 dB, što je iznad dopuštene granice od 80 dB. Najvišeg intenziteta bili su tonovi niskih frekvencija od 60 do 250 Hz. (45) DJ-i na kojima su rađene audiometrijske pretrage u prosjeku su imali 26 godina, a svi su se bavili ovim poslom duže od 6 godina i radili su barem tri noći tjedno. Rezultati audimetrijskih pretraga, prikazani na slici 15, nakon linearne regresije pokazali su da u prosjeku postoji bilateralni gubitak sluha od 5 dB na svim frekvencijama. Najveći prosječni gubitak sluha zamijećen je na frekvenciji od 6 kHz, a iznosio je 20 dB, odnosno prag sluha se u prosjeku povisio za 20 dB. Također zanimljivo je da je na frekvencijama od 125 do 500 Hz zabilježen tek nešto manji gubitak sluha od onog na 6 kHz. Taj niskofrekventni gubitak sluha vjerojatno nastaje zbog toga što su DJ-i izloženi niskofrekventnim tonovima vrlo visokog intenziteta pa se oštete slušne stanice zadužene za niske frekvencije. (45)



**Slika 15. Audiometrijska krivulja dobivena audiometrijskim ispitivanjima na 29 DJ-a u usporedbi s kontrolnom skupinom. Na apscisi su označene frekvencije u Hz, a na ordinati prag sluha u dB. Gubitak sluha je simetričan, a pomak praga sluha postoji na frekvencijama od 3 do 6 kHz te na frekvencijama od 125 do 500 Hz. (45)**

Slično istraživanje proveli su Santos i suradnici na skupini od 30 brazilskih DJ-eva. No, oni su osim trajnog pomaka praga sluha istraživali i privremeni pomak praga sluha nakon izlaganja buci. 27 % ispitanika imalo je prag sluha viši od 25 dB na frekvencijama od 3 do 6 kHz neovisno o izlaganju buci. Privremeni pomak praga sluha nakon izlaganja buci također je bio umjeren na frekvencijama od 500 Hz do 8 kHz, a iznosio je od 5 do 30 dB. Najizraženiji privremeni pomak praga sluha bio je na frekvencijama od 3 do 6 kHz. Najveći postotak ispitanika, njih 76 %, imalo je privremeni pomak praga sluha veći od 10 dB na frekvenciji od 4kHz. (6) To je u skladu s prije navedenom činjenicom da buka uzrokuje visokofrekventnu naglušost, kako trajnu, tako i privremenu.

## 8.5. Prevencija oštećenja sluha uzrokovanog bukom nastalom pri muziciranju u populaciji glazbenika

Najjednostavniji način na koji se osoba može zaštititi od oštećenja sluha uzrokovanog bukom je smanjeno izlaganje zvukovima visokog intenziteta odnosno energije. No, zanimanje glazbenika zahtijeva izlaganje buci na koncertima i probama, stoga glazbenici ne mogu u potpunosti izbjeći rizik od razvoja oštećenja sluha. S druge strane, postoji nekoliko efikasnih metoda kojima se može pribjeći u svrhu smanjivanja razine buke kojoj se glazbenici izlažu. Najčešće korištene protektivne metode su: razne vrste čepića za uši (silikonski, jednokratni spužvasti, elektronski), smotuljci obične vune, antifoni (zaštitne slušalice), slušna pomagala s mogućnošću regulacije razine buke i ograde od pleksiglasa koje se postavljaju oko bučnih instrumenata. Sve navedene metode smanjuju razinu buke kojoj se glazbenici izlažu pri izvođenju glazbe, ali im također stvaraju određene smetnje, stoga ih većina glazbenika ne koristi redovito. Čepići za uši najčešće su korištena metoda zaštite od buke, a oni u prosjeku smanjuju razinu buke kojoj se izlažemo za 15 do 20 dB. (46) Istraživanje Laitinena i suradnika provedeno na uzorku sačinjenom od 150 glazbenika iz tri danska orkestra pokazalo je da samo 15 % njih redovito koristi neku od metoda zaštite od buke, kako na probama tako i na koncertima, a ostali ih koriste samo povremeno ili nikad. Većina ih povremeno koristi kad se nalazi kraj nekog glasnog instrumenta ili izvodi glasnu izvedbu. Najčešće korištena metoda zaštite su jednokratni spužvasti čepići, a slijede ju ostale vrste čepića. (47) Kod osoba koje se profesionalno izlažu buci intenziteta iznad 85 dB dulje od 10 godina, jednokratni spužvasti čepići smanjuju rizik za gubitak sluha za 2,7 puta. (48) Kao najčešće smetnje pri korištenju metoda zaštite od buke ispitanici su naveli: otežano slušanje drugih instrumenata (82 % ispitanika), ometanje vlastite izvedbe (76 % ispitanika), neudobnost (52 % ispitanika), otežano stavljanje čepića u uši (30 % ispitanika), osjećaj pritiska u ušima pri korištenju čepića (23 % ispitanika), učinak okluzije i infekcije (10 % ispitanika). (47) Učinak okluzije je pojava koja se javlja pri korištenju čepića i slušnih pomagala koji se stavljaju u vanjski zvukovod i pri tome ga začepi. Kada osoba govori, diše ili puše u puhački instrument, stvaraju se zvukovi koji se vibracijom preko kosti prenose u unutrašnje, srednje i vanjsko uho. Kada je začepljen vanjski zvukovod, niskofrekventni tonovi koji dolaze u njega kroz kost ne mogu izaći, već se odbijaju od čepića ili slušnog pomagala i vraćaju se u srednje odnosno unutrašnje uho i pri tom stvaraju neugodni slušni podražaj. Iako nije naveden kao najčešća



smetnja pri korištenju metoda zaštite od buke, učinak okluzije najčešći je razlog koji su glazbenici u Latinenovom istraživanju naveli kao razlog zbog kojeg su prestali koristiti zaštitu od buke. Njih 43 % pripisalo je prestanak korištenja metoda zaštite od buke učinku okluzije. (47)

Bitan problem kod korištenja čepića za uši pri izvođenju glazbe je i promjena frekvencijskog spektra zvuka. Naime, uobičajeni spužvasti ili silikonski čepići onemogućavaju prolaz tonovima određenih frekvencija kroz vanjsko do srednjeg uha. Tako otežavaju glazbenicima da u potpunosti čuju instrumente oko sebe. No, danas postoje aktivni elektronski čepići koji imaju puno manji utjecaj na frekvencijski spektar zvuka, ali i puno višu cijenu. (49)

## 9. ZAKLJUČAK

Organ sluha od esencijalne je važnosti za život glazbenika. Njegova anatomija i fiziologija su kompleksni, a još su kompleksniji patofiziološki mehanizmi koji dovode do njegova oštećenja. U slučaju gubitka sluha uzrokovanog bukom postoje brojni mehanizmi koji objašnjavaju njegov nastanak, ali vjerojatno najvažniji od njih oštećenje je vanjskih slušnih osjetnih stanica Cortijeva organa. Glazbenici se često izlažu buci prilikom izvođenja glazbe zbog čega ih se smatra rizičnom skupinom za razvoj gubitka sluha uzrokovanog bukom. S jedne strane, istraživanja su pokazala da je sluh najčešće i najviše oštećen u DJ i *rock*-glazbenika. S druge strane, gubitak sluha nastao zbog izlaganja buci nastaloj pri izvođenju glazbe kod orkestralnih glazbenika i studenata koji se bave glazbom nije toliko velik, čak ga se može smatrati klinički nebitnim. Svi glazbenici najviše gube sluh na frekvencijama od 3 do 6 kHz, a DJ glazbenici uz navedene frekvencije imaju i značajan pomak praga sluha na frekvencijama od 125 Hz do 500 Hz zbog izlaganja niskofrekventnim tonovima visokog intenziteta. Iako je poznato da buka nastala pri izvođenju glazbe uzrokuje oštećenje sluha, glazbenici svejedno u vrlo maloj mjeri koriste zaštitna sredstva protiv buke kad izvode i zato često pate od gubitka sluha uzrokovanog bukom. Razlozi zbog kojih ne koriste zaštitna sredstva u najvećoj mjeri povezani su s time da im ona mijenja percepciju zvukova koje produciraju instrumenti oko njih, ali i percepciju zvuka koji sami stvaraju na instrumentu koji sviraju. Osim toga, zaštitna sredstva koja se stavljaju u vanjski slušni hodnik mogu uzrokovati učinak okluzije koji u uhu stvara neugodne podražaje, što uvelike ometa glazbenike pri izvedbi. Usprkos tome, nepobitno je da čepići, antifoni i brojna druga zaštitna sredstva imaju protektivni utjecaj na slušni organ koji je izložen buci. Zbog toga je potrebno poticati glazbenike na korištenje navedenih zaštitnih sredstava kako bi sačuvali osjetilo koje je najbitnije za njihovu profesiju. Edukativni programi u glazbenim školama i akademijama kojima bi se glazbenici obrazovali o rizičnim čimbenicima za gubitak sluha uzrokovan bukom nastalom pri izvođenju i vježbanju, o mjerama zaštite i o posljedicama gubitka sluha te dijeljenje besplatnih čepića za uši na izvedbama i koncertima, samo su neke od preventivnih mjera kojima bi se efektivno moglo usmjeriti glazbenike na korištenje zaštitnih sredstava protiv buke. Budući da postoje efektivne zaštitne mjere koje imaju utjecaj na smanjivanje postotka glazbenika koji pate od gubitka sluha, potrebno je početi ih provoditi kroz ministarstva obrazovanja, zdravstva i kulture te tako spriječiti invaliditet u djelatnostima glazbene umjetnosti.

## **10. ZAHVALE**

Zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Krsti Dawidowskom na ukazanu strpljenju i savjetima koje mi je pružio prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala roditeljima i svim prijateljima na nesebičnoj podršci koju su mi pružali svih šest godina studiranja. Hvala Lidiji Novosel, prof., i Davoru Lakušu na lektoriranju. Posebno hvala svim glazbenicima svijeta što svojom umjetnošću čine naš život ljepšim i zanimljivijim.

## 11. LITERATURA:

1. World health organisation. Deafness and hearing loss [Internet]. [citirano 28. ožujak 2019.]. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
2. Arts HA. Sensorineural Hearing Loss in Adults. U: Flint MD PW, Haughey MBChB BH, Lund CBE, MD V, Niparko MD JK, Robbins MD KT, Thomas MD JR, i ostali, urednici. 2015. str. 2319-2335.e6. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9781455746965001500>
3. Qian C, Behar A, Wong W. Noise exposure of musicians of a ballet orchestra. *Noise Heal* [Internet]. 01. siječanj 2011.;13(50):59–63. Dostupno na: <http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741>
4. Schmuziger N, Patscheke J, Probst R. Hearing in Nonprofessional Pop/Rock Musicians. *Ear Hear* [Internet]. kolovoz 2006. [citirano 02. svibanj 2019.];27(4):321–30. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16825883>
5. Lüders D, Gonçalves CG de O, de Moreira Lacerda AB, Ribas Â, de Conto J. Music students: conventional hearing thresholds and at high frequencies. *Braz J Otorhinolaryngol* [Internet]. srpanj 2014. [citirano 03. svibanj 2019.];80(4):296–304. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25183179>
6. Santos L, Morata TC, Jacob LC, Albizu E, Marques JM, Painsi M. Music exposure and audiological findings in Brazilian disc jockeys (DJs). *Int J Audiol* [Internet]. 07. siječanj 2007. [citirano 03. svibanj 2019.];46(5):223–31. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17487670>
7. Bumber Ž, Katić V, Nikšić-Ivančić M, Pegan B, Petrić V ŠN. *Otorinolaringologija*. Katić V KB, urednik. Zagreb: Ljevak; 2004. 65–88 str.
8. Koeppen MD, PhD BM, Stanton PhD BA. The Special Senses. U: Koeppen MD, PhD BM, Stanton PhD BA, urednici. 2018. str. 127–60. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9780323393942000080>

9. Baker MHS, PA-C HJ, Sataloff MD, DMA RT. Cochlear Implants in the Elderly. *Physician Assist Clin* [Internet]. 2018.;3(2):223–34. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/1-s2.0-S2405799117301627>
10. Krmpotić-Nemanić J, Marušić A. *Anatomija čovjeka*. Zagreb: Medicinska naklada; 2004. 548-559. str.
11. Hall PhD JE. *The Sense of Hearing*. U: Hall PhD JE, urednik. 2016. str. 673–83. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9781455770052000536>
12. Merritt CRB. *Physics of Ultrasound*. U: Rumack MD, FACR CM, Levine MD, FACR D, urednici. 2018. str. 1–33. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9780323401715000018>
13. Standring MBE, PhD, DSc, FKC, Hon FAS, Hon FRCS S. *Inner ear*. U: Standring MBE, PhD, DSc, FKC, Hon FAS, Hon FRCS S, urednik. 2016. str. 641-657.e2. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9780702052309000388>
14. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, i ostali. *Duale Reihe Anatomie*. U: *Duale Reihe - Anatomie* [Internet]. 2017. Dostupno na: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-005-143674>
15. [http://www.hiim.unizg.hr/images/knjiga/Judas\\_Kostovic-Temelji\\_Neuroznanosti.pdf](http://www.hiim.unizg.hr/images/knjiga/Judas_Kostovic-Temelji_Neuroznanosti.pdf) [Internet]. [citirano 11. svibanj 2019.]. Dostupno na: <http://www.hiim.unizg.hr/images/knjiga/CNS25.pdf>
16. McGee J, Walsh EJ. *Cochlear Transduction and the Molecular Basis of Auditory Pathology*. U: Flint MD PW, Haughey MBChB BH, Lund CBE, MD V, Niparko MD JK, Robbins MD KT, Thomas MD JR, i ostali, urednici. 2015. str. 2234-2274.e15. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/3-s2.0-B9781455746965001469>
17. Dallos P. Cochlear amplification, outer hair cells and prestin. *Curr Opin Neurobiol* [Internet]. 2008.;18(4):370–6. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/1-s2.0-S0959438808000871>
18. Friedrich Anderhuber, Franz Pera JS. *Waldeyer Anatomie des Menschen*. Lehrbuch und

Atlas in einem Band. 1. Vinter I, urednik. Waldeyerova anatomija čovjeka. Zagreb: Golden Marketing-Tehnička knjiga; 2009. 469.-472.

19. Stewart MD JE, Bentley AuD JE. Hearing Loss in Pediatrics. *Pediatr Clin North Am* [Internet]. 2019.;66(2):425–36. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/1-s2.0-S0031395518301974>
20. Resanović B, Vranjković M, Orsag Z. Tema iz preventive Buka okoliša-javnozdravstveni problem (Noise from the Environment-A Public Health Problem) [Internet]. Sv. 2. 2006 [citirano 27. ožujak 2019.]. Dostupno na: <https://www.hcjz.hr/index.php/hcjz/article/viewFile/2001/1977>
21. Draušnik Ž, Štefančić V, Benjak T. Prevalencija invaliditeta uzrokovanog oštećenjem sluha u Republici Hrvatskoj. *Hrvat Rev za Rehabil istraživanja* [Internet]. 08. srpanj 2016. [citirano 28. ožujak 2019.];52(1):140–9. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/161507>
22. Favier V, Vincent C, Bizaguet É, Bouccara D, Dauman R, Frachet B, i ostali. French Society of ENT (SFORL) guidelines (short version): Audiometry in adults and children. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* [Internet]. 2018.;135(5):341–7. Dostupno na: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/1-s2.0-S1879729618300899>
23. Kalogjera L, Trotić R IM. Skripta iz otorinolaringologije za studente stomatologije. Zagreb: Znanje; str. 8.
24. Speech Audiometry Short Presentation ENT [Internet]. [citirano 29. ožujak 2019.]. Dostupno na: <https://www.slideshare.net/ALPHAROME093/speech-audiogram-short-presentation-e>
25. Nakayama JR, Ramsey MJ. Tympanometry BT - Encyclopedia of Otolaryngology, Head and Neck Surgery. U: Kountakis SE, urednik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. str. 2905–9. Dostupno na: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6\\_742](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6_742)
26. Alschuler RA, Dolan D. Basic Mechanisms Underlying Noise-Induced Hearing Loss. U 2015 [citirano 08. travanj 2019.]. str. 129–46. Dostupno na:

[http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-13473-4\\_7](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-13473-4_7)

27. Statler KD, Chamberlain SC, Slepecky NB, Smith RL. Development of mature microcystic lesions in the cochlear nuclei of the Mongolian gerbil, *Meriones unguiculatus*. *Hear Res* [Internet]. prosinac 1990. [citirano 10. travanj 2019.];50(1–2):275–88. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2076978>
28. Eggermont JJ. Noise and the brain : experience dependent developmental and adult plasticity [Internet]. [citirano 10. travanj 2019.]. Dostupno na: [https://books.google.hr/books?id=YNqAAAAQBAJ&pg=PA207&lpg=PA207&dq=cortical+receptive+Weld+plasticity&source=bl&ots=bERfU6qbIo&sig=ACfU3U3lftWByoLwQawdvnr-Q218pOiMbw&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjNkJ2g18XhAhVODOwKHcmoBhcQ6AEwAHoECACQAQ#v=onepage&q=cortical receptive Weld plasticity&f=false](https://books.google.hr/books?id=YNqAAAAQBAJ&pg=PA207&lpg=PA207&dq=cortical+receptive+Weld+plasticity&source=bl&ots=bERfU6qbIo&sig=ACfU3U3lftWByoLwQawdvnr-Q218pOiMbw&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjNkJ2g18XhAhVODOwKHcmoBhcQ6AEwAHoECACQAQ#v=onepage&q=cortical%20receptive%20Weld%20plasticity&f=false)
29. Salvi R, Henderson D, Hamernik R, Ahroon W. Neural correlates of sensorineural hearing loss. *Ear Hear* [Internet]. 1983. [citirano 11. travanj 2019.];4(3):115–29. Dostupno na: <https://europepmc.org/abstract/med/6345246>
30. Kamke MR, Brown M, Irvine DRF. Plasticity in the tonotopic organization of the medial geniculate body in adult cats following restricted unilateral cochlear lesions. *J Comp Neurol* [Internet]. 12. svibanj 2003. [citirano 11. travanj 2019.];459(4):355–67. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12687704>
31. Robertson D, Irvine DRF. Plasticity of frequency organization in auditory cortex of guinea pigs with partial unilateral deafness. *J Comp Neurol* [Internet]. 15. travanj 1989. [citirano 11. travanj 2019.];282(3):456–71. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2715393>
32. Mei X, Atturo F, Wadin K, Larsson S, Agrawal S, Ladak HM, i ostali. Human inner ear blood supply revisited: the Uppsala collection of temporal bone-an international resource of education and collaboration. *Ups J Med Sci* [Internet]. 2018/09/11. rujanj 2018.;123(3):131–42. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30204028>
33. Quirk WS, Seidman MD. Cochlear vascular changes in response to loud noise. *Am J Otol*

- [Internet]. svibanj 1995. [citirano 29. travanj 2019.];16(3):322–5. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8588626>
34. Goldwyn BG, Quirk WS. Calcium Channel Blockade Reduces Noise-Induced Vascular Permeability in Cochlear Stria Vascularis. *Laryngoscope* [Internet]. 01. kolovoz 1997.;107(8):1112–6. Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/00005537-199708000-00019>
35. Picciotti PM, Fetoni AR, Paludetti G, Wolf FI, Torsello A, Troiani D, i ostali. Vascular endothelial growth factor (VEGF) expression in noise-induced hearing loss. *Hear Res* [Internet]. travanj 2006. [citirano 29. travanj 2019.];214(1–2):76–83. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16603326>
36. Cândido PEF, Merino EAD, Gontijo LA. An auditive protection for professional musicians. *Work* [Internet]. 2012. [citirano 05. svibanj 2019.];41 Suppl 1:3260–8. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22317214>
37. Halevi-Katz DN, Yaakobi E, Putter-Katz H. Exposure to music and noise-induced hearing loss (NIHL) among professional pop/rock/jazz musicians. *Noise Health* [Internet]. 2015. [citirano 02. svibanj 2019.];17(76):158–64. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25913555>
38. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave [Internet]. [citirano 02. svibanj 2019.]. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004\\_10\\_145\\_2548.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_10_145_2548.html)
39. Russo FA, Behar A, Chasin M, Mosher S. Noise exposure and hearing loss in classical orchestra musicians. *Int J Ind Ergon* [Internet]. 01. studeni 2013. [citirano 02. svibanj 2019.];43(6):474–8. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016981411200100X>
40. Behar A, Chasin M, Mosher S, Abdoli-Eramaki M, Russo FA. Noise exposure and hearing loss in classical orchestra musicians: A five-year follow-up. *Noise Health* [Internet]. [citirano 02. svibanj 2019.];20(93):42–6. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29676294>



41. Pouryaghoub G, Mehrdad R, Pourhosein S. Noise-Induced hearing loss among professional musicians. *J Occup Health* [Internet]. 24. siječanj 2017. [citirano 02. svibanj 2019.];59(1):33–7. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27853057>
42. Müller R, Schneider J. Noise exposure and auditory thresholds of military musicians: a follow up study. *J Occup Med Toxicol* [Internet]. 12. prosinac 2018. [citirano 03. svibanj 2019.];13(1):14. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29681993>
43. Maia JRF, Russo ICP. Estudo da audição de músicos de rock and roll. *Pró-Fono Rev Atualização Científica* [Internet]. ožujak 2008. [citirano 02. svibanj 2019.];20(1):49–54. Dostupno na: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-56872008000100009&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-56872008000100009&lng=pt&tlng=pt)
44. Tufts JB, Skoe E. Examining the noisy life of the college musician: weeklong noise dosimetry of music and non-music activities. *Int J Audiol* [Internet]. 26. siječanj 2018. [citirano 03. svibanj 2019.];57(sup1):S20–7. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29172785>
45. Potier M, Hoquet C, Lloyd R, Nicolas-Puel C, Uziel A, Puel J-L. The Risks of Amplified Music for Disc-Jockeys Working in Nightclubs. *Ear Hear* [Internet]. travanj 2009. [citirano 03. svibanj 2019.];30(2):291–3. Dostupno na: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00003446-200904000-00014>
46. Kozłowski E, Żera J, Młyński R. Effect of Musician’s Earplugs on Sound Level and Spectrum During Musical Performances. *Int J Occup Saf Ergon* [Internet]. 08. siječanj 2011. [citirano 05. svibanj 2019.];17(3):249–54. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21939597>
47. Laitinen H, Poulsen T. Questionnaire investigation of musicians’ use of hearing protectors, self reported hearing disorders, and their experience of their working environment. *Int J Audiol* [Internet]. 07. siječanj 2008. [citirano 05. svibanj 2019.];47(4):160–8. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18389411>
48. Almaayeh M, Al-Musa A, Khader YS. Prevalence of noise induced hearing loss among Jordanian industrial workers and its associated factors. *Work* [Internet]. 03. studeni 2018.

[citirano 05. svibanj 2019.];61(2):267–71. Dostupno na:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30373976>

49. O'Brien I, Driscoll T, Williams W, Ackermann B. A Clinical Trial of Active Hearing Protection for Orchestral Musicians. *J Occup Environ Hyg* [Internet]. 03. srpanj 2014. [citirano 05. svibanj 2019.];11(7):450–9. Dostupno na:  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24433326>

## **12. ŽIVOTOPIS**

### **OSOBNI PODACI**

Ime i prezime: Valentino Potroško

Datum i mjesto rođenja: 22. 08. 1994., Koprivnica

### **OBRAZOVANJE**

2001. - 2009. Osnovna škola Antun Nemčić Gostovinski, Koprivnica

2009. - 2013. Gimnazija "Fran Galović" Koprivnica

2013. - 2019. Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

### **NAGRADE I IZVANNASTAVNE AKTIVNOSTI**

Dobitnik Dekanove nagrade za najboljeg studenta 2. godine u akademskoj godini 2014./2015.

Osnivač i tajnik Studentske sekcije za otorinolaringologiju i kirurgiju glave i vrata.