

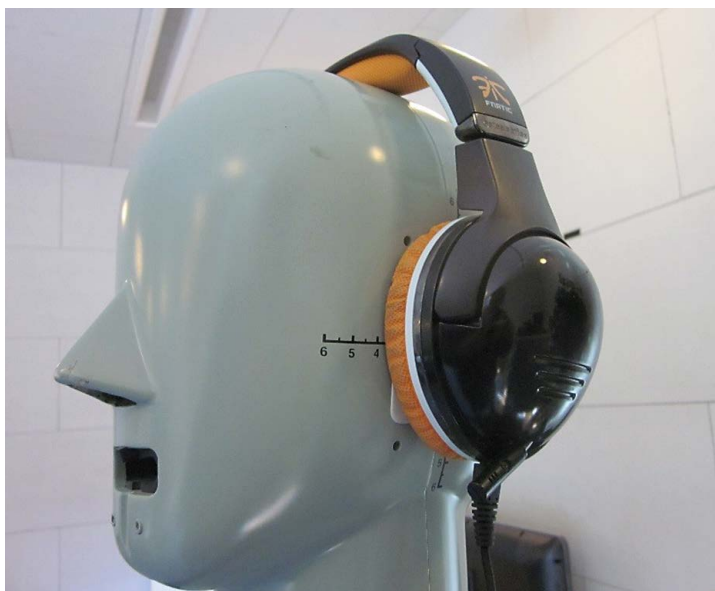
SIKRE LYTTEVANER

– en del af vores digitale livsstil

Vi bruger øretelefoner som aldrig før til musik, podcasts, gaming og digitalt samvær. Tre årtiers forskning har gjort os klogere på sammenhænge mellem brug af øretelefoner og risikoen for høreskader.

Allerede i 1990'erne blev man opmærksom på, at vores små personlige musikafspillere potentielt kunne skade vores hørelse, fordi de kunne spille højt og længe. Vi manglede dengang metoder til at karakterisere lydpåvirkningen og estimere risikoen. Først i 00'erne fik vi de første ISO-standarder at læne os op ad, som fastlagde målemetoder og principper, når lyden kommer fra øretelefoner og ikke kunne måles med en håndholdt støjmåler i et frit felt. WHO har efterfølgende med initiativet "Make Listening Safe" og i samarbejde med ITU (FN's organ for digitale teknologier) fastlagt grænseværdier for, hvilken dosis vi i dag antager vil give sikre lyttevaneer.

Der findes allerede enkelte smartphones, som beregner dosis jævnfør WHO-ITU's standard og visualiserer påvirkningen dag for dag, uge for uge, måned for måned, så man selv kan vurdere, hvor skoen trykker. Vi kan nemlig godt tåle lidt kraftig lyd, hvis det ikke er for længe eller for hyppigt. Omvendt kan vi tage skade af moderate lydniveauer, hvis vi lytter længe og ofte. Vi skal selv overveje, hvad vi eventuel vil ændre, hvis vi får for høj dosis. Vores smartphones viser (i bedste fald) resultatet af dosisberegningen som en dB-midelværdi over tid og vil foreslå, at der bliver skruet ned, hvis midelværdien er for høj. Men for nogle vil løsningen være at lytte sjældnere eller i



Standardiseret mannequin til måling. Foto: Dorte Hammershøj

kortere tid. Især hvis man i forvejen kun lytter ved moderat niveau, men bare tit og længe.

I øjeblikket er der stor forskel på de visninger, som vores smartphones giver. Nogle giver advarsler, hvis vi skruer mere end 80 % op på volumenkontrollen, hvilket i sig selv ikke nødvendigvis er et problem. Hvis man lytter til en svag lydoptagelse, kan man roligt skruer op, selvom man er tæt på max volumen. Advarslen kan også ramme langt ved siden af, hvis smartphonen er nødt til at lave et vildt gæt på øretelefonens følsomhed, som kan variere en del fra produkt til produkt.

I denne artikel vil vi give eksempler på nogle af de tekniske udfordrin-

ger, som står i vejen for pålidelige advarsler. Nogle har fundet deres løsninger, men der er stadig en del udfordringer tilbage. Forskningen indenfor området er gennemført over flere årtier, så de tekniske muligheder har selvsagt ændret sig parallelt med bestræbelserne på at forstå betydningen af de afgørende faktorer. I artiklen fokuserer vi på de personlige musikafspillere og tekniske egenskaber ved lyd fra øretelefoner, men artiklen belyser også helt overordnet betydningen af andre faktorer og vores forståelse for høreskader generelt.

Øreprop eller hørebof?

Udtrykkene hovedtelefon, øretelefon, høretelefon, hørebof, ear-insert, earbuds og ørepropper anvendes

Om forfatterne



Dorte Hammershøj er professor dh@es.aau.dk

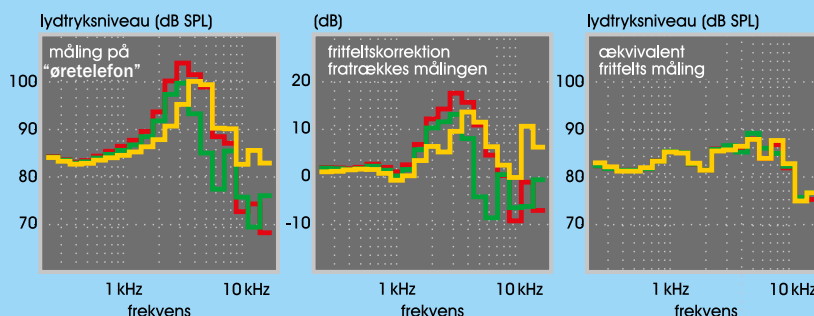


Rodrigo Ordoñez er lektor rop@es.aau.dk

Begge ved Institut for Elektroniske Systemer, Aalborg Universitet. De forsker i akustik og hørelse.

Måling af lydniveau

Almindelige støjmålere har en mikrofon, som måler det lydfelt, som "eksponerer" personen, og ikke den lyd, der er i personens øre. Der er forskel, fordi lyd er luftbårne vibrationer, som påvirkes af menneskekroppen, ved at nogle frekvenser forstærkes, mens andre dæmpes. Det gør det svært at vurdere målinger foretaget inde i øret på en, der lytter til lyd fra øretelefoner, fordi de ikke direkte kan sammenlignes med målinger foretaget i rummet udenom personen. Man er derfor nødt til at regne tilbage til det fiktive eksterne lydfelt, som ville have foranlediget den samme lyd, som man måler i øret på personen. Figurene viser denne processering, hvor lyden fra øretelefoner er vist til venstre, korrektionskurverne (som trækkes fra)

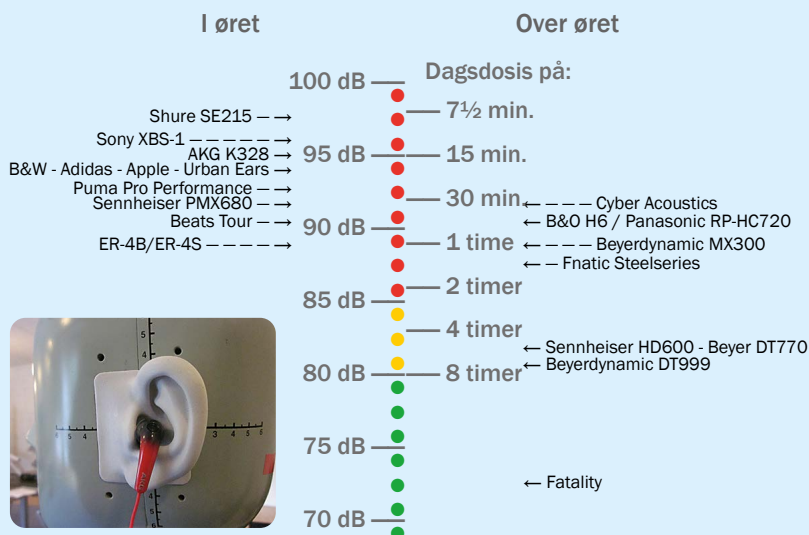


i midten og resultatet til højre. Der er tre kurver, fordi det også betyder noget, hvor i øret man måler (rød kurve er måling ved trommehinden, grøn kurve er ved indgangen til ørekanalen) og om ørekanalen er blokeret (gul kurve). Oftest vælger man at måle med en mannequin med indbyggede mikrofoner der, hvor vi mennesker har trommehinder. De

første internationale standarder for denne type støjmåling kom i 2002 og 2004 (ISO 11904). Før disse blev lavet, var diskussionerne vanskelige, fordi de målinger man vurderede, ofte var principielt usammenlignelige. En nyere standard fra 2020 (WHO-ITU H.870) bygger også på korrigerede lydtryk, som i store træk svarer til ISO 11904-metoderne.

Målinger fra 20 øretelefoner

Figuren viser 20 tilfældige øretelefoners akustiske output-niveau målt i øret på en standardiseret mannequin, når øretelefonerne påtrykkes et standardiseret testsignal (et såkaldt IEC testsignal) med samme styrke (spænding). Venstre sider viser de øretelefoner, som sættes ind i ørerne, mens højre side viser forskellige typer "hørebøffer". Skalaen i midten viser, hvor længe man kan lytte ved et givent niveau, inden man overstiger den risikofri dagsdosis. Det er fristende at tro, at øretelefonerne til venstre er "farligere" end dem til højre, fordi værdierne med det samme input er højere. Men man skal huske, at brugerne jo selv skruer op og ned til det foretrukne lydniveau, som ikke pludseligt er 10-15 dB kraftigere, blot fordi øretelefonen kan levere et kraftigere output. Den væsentligste pointe er derfor, at lydafspilleren



(eksempelvis mobiltelefonen) ikke kan beregne den faktiske påvirkning, medmindre den har tekniske data for den øretelefon, der anvendes. Hvis beregningen for eksempel er baseret på de Apple-øretelefoner, der fulgte med købet af iPhones i 2015, men

man i virkeligheden lytter over en professionel hovedtelefon (for eksempel Sennheiser HD600) med 10-15 dB lavere følsomhed, så vil den acceptable lyttevarighed reelt være flere timer, mens lydafspillerens estimat vil være på få minutter.

en smule i flæng om de elektroakustiske enheder, som vi putter på eller i ørerne. Hørebøfferne er de store, der sidder på og omkring øret, mens ørepropperne er de aktive enheder, hvor selve lyd-enheden (transduceren) sidder mere eller

mindre inde i ørekanalen. I starten arbejdede man ud fra den antagelse, at alle øretelefoner uanset form og producent havde næsten samme følsomhed og lavede samme lydniveau ved samme input-spænding (signal fra afspilleren, hvilket i

dag typisk er en smartphone). Det havde været en kæmpe fordel rent teknisk, men øretelefonerne har langt fra samme følsomhed, og der ville være mange problemer ved at forlange det. I en undersøgelse fra 2015 viste vi, at øretelefoners

Data efter Hammershøi, D., Ordóñez, R. & Christensen, A. T. (2015).



Figuren viser til venstre forskellige musiktipers spektra (dvs. fordeling af frekvenser), og til højre ses betydningen for det lydniveau, man måler i 20 forskellige øretelefoner. Forskellene mellem talværdierne til højre afslører, at det ikke er lige meget, hvad man lytter til. Hvis man lytter til klassisk musik, og musikafspilleren antager, at man lytter til moderne musik, vil det estimerede niveau blive 6-9 dB for højt, hvilket svarer til 2-3 fordoblinger af acceptabel lyttevarighed.

output kan være meget forskelligt, selvom de får det samme inputsignal (se forrige side).

Øretelefonerne i undersøgelsen havde alle en såkaldt jackstik-forbindelse, så afspilleren (smartphonen) kunne af tekniske årsager ikke vide, hvad der sad i den anden ende. Hvis man har en øretelefon med en lav følsomhed, hvor man er nødt til at skrue højt op for at høre lyden, vil afspilleren råbe vagt i gevær uden grund. Hvis man lytter med nogle af de mere potente øretelefoner, hvor man ikke skal skrue ret meget op for at få kraftig lyd, får man måske ikke en rettidig advarsel. Undersøgelsen fra 2015 viste, at datidens ørepropper (øretelefoner, som sidder ind i øret) generelt kunne producere kraftigere lyd, end de mere traditionelle hørebøffer (øretelefoner, som sidder over og omkring øret). Der var derfor generelt en større risiko for en falsk alarm med hørebøfferne end med ørepropperne.

Tiden har arbejdet lidt for os her, da vi i dag i stor udstrækning bruger

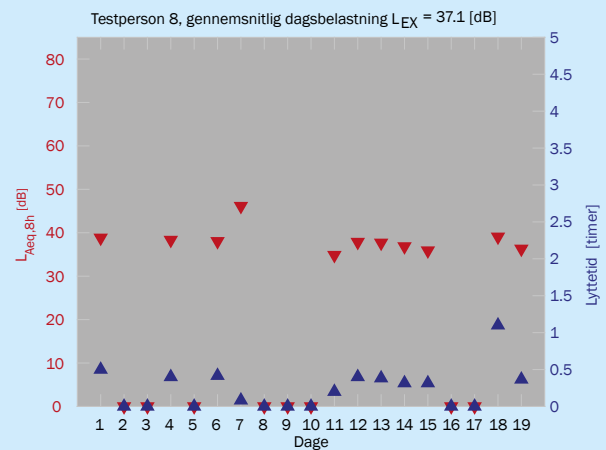
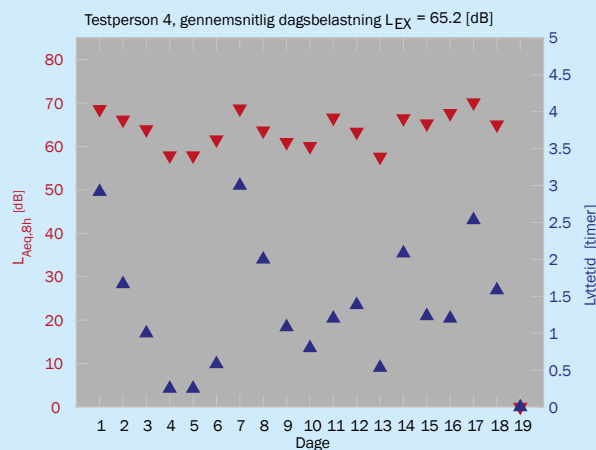
øretelefoner forbundet med Bluetooth. Så kan afspilleren i princippet godt indregne en estimeret følsomhed for den givne type. Det er dog langt fra sikkert, at den gør det, og hvis man indimellem tilslutter øretelefoner med jackstik, vil advarsler være meget usikre.

Dødsmetal eller klassisk?

Man har også tidligere haft den antagelse, at al musik over tid nok har et frekvensspektrum, som ligner det, som man får fra et universelt testsignal, fastlagt af IEC (en international elektroteknisk standardiseringsorganisation). Det ville være en kæmpe teknisk fordel, hvis denne antagelse var korrekt, men det er den langt fra (hvilket vi viste i en undersøgelse fra 2016 - se figur ovenfor). For eksempel har klassisk musik en meget lavere repræsentation af de mellemste og højeste frekvenser, som påvirker hørelsen mest. Klassisk musik har også stor dynamik med skift fra svage perioder til kraftige passager indenfor og mellem numre, så det er nødvendigt at kunne gengive ret høje niveauer for at få en god

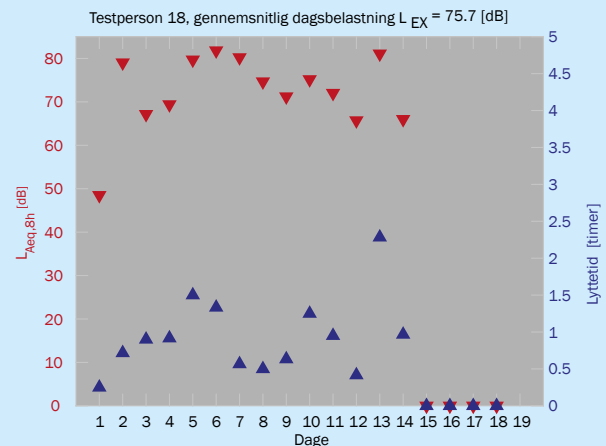
lydkvalitet. I vores undersøgelse var forskellene mindre på tværs af "moderne" musiktiper, hvilket kan hænge sammen med producenter og streamingtjenesters anvendelse af "kompression". Denne processeering dæmper de højeste niveauer uden at påvirke lave og mellem niveauer. Når de højeste spidser er blevet dæmpet, kan man i praksis skrue lidt mere op indenfor samme udstyring (forskellen på højeste positive og negative værdi i signalet) og i praksis opnå et mere kraftfuldt signal. Det spiller også en rolle i forhold til dataforbrug, så der er flere gevinster ved det, selvom det kan gå hårdt ud over lydkvaliteten.

Vores undersøgelse viste også, at forskellene på tværs af musiktiper og selv indenfor nogle af musiktiperne var i samme størrelsesorden som forskellen mellem øretelefoner. Det betyder, at for at kunne vurdere den potentielle risiko for hørelsen, bliver musikafspilleren nødt til at regne direkte på det aktuelle signal og kan ikke bare antage noget ud fra lydtype eller lignende.



Eksempler på individuelle lyttevaner for tre ud af 20 personer hen over 19 dage. De røde symboler (venstre akse) viser gennemsnitligt lytteniveau den givne dag. De blå symboler (højre akse) viser, hvor længe de lyttede den givne dag. Titlen viser "exposure level", som er en type dosis-mål for den gennemsnitlige dagsbelastning. Alle disse tre personer lytter ganske hyppigt, men med ret forskellige lyttemønstre. Person 4 kunne for eksempel godt se ud til at have ugentligt periodiske vaner, det samme kunne person 8, som dog lytter ved stort set samme niveau, når vedkommende lytter. Person 18 lytter generelt ved højere niveauer og er den eneste af deltagerne, som kommer i nærheden af de kritiske grænser.

Data fra Hammershøi, D., Andersen, R. O., Dahl, S. S. & Ordoñez, R. (2019).



Lyttevaner kan ikke baseres på antagelser

I lang tid har man fokuseret på, hvad der er det værste, man kan blive udsat for, fordi det er bøvlet at indregne de individuelle lyttevaner. Det svarer til at antage, at vi alle sammen kører med for eksempel 260 km/t i vores biler, fordi de kan. Det gør vi ikke. Vi lytter heller ikke ved maksimalt niveau hele tiden, og musikkens variation i tid og indhold gør også, at der ikke er maksimal

udstyring af niveau hele tiden, selvom der er skruet højt op for volumen. Dertil kommer, at nogle lytter hyppigt, andre sporadisk, og hvorvidt de spiller højt eller lavt hænger ikke sammen med, om de lytter tit eller sjældent. Hvor længe de lytter, ved de dårligt selv. I et studium fra 2019 kunne vi konstatere, at brugerens egen vurdering af lyttetid var cirka dobbelt så lang som den faktiske lyttetid, hvilket også er rapporteret tidligere. Det svarer i

øvrigt fint til, hvad vi ved fra brug af høreapparater. Brugerne tror, at de lytter dobbelt så længe, som de faktisk gør. Der er ingen grund til at tro, at det er en bevidst overdrivelse. Vi er bare ikke bedre til at vurdere, hvor længe vi bruger vores høreapparater eller lytter til musik.

Selvom det er bøvlet, er vi altså nødt til rent teknisk at indregne brugsmønstret retvisende. Brugernes egne gæt på, om de har lyttet for længe eller ej, kan ikke bruges.

Støj og arbejdsmiljø

Gennemgående for vores arbejdsmiljølovgivning er, at man antager, at man er udsat for støj i maksimalt 8 timer 5 dage om ugen, og resten af tiden hviler ørerne. Hvis det gennemsnitlige lydniveau er 80 dB anses det som værende sikkert for hørelsen. Hvis det gennemsnitlige lydniveau er 85 dB, hvilket tidligere har været grænsen i mange lande, udvikler 10-15% af populationen høreskader over tid. På mange arbejdspladser er man udsat for højere niveauer i kortere tid, hvilket hørelsen er robust overfor. For hver 3 dB lydniveauet i gennemsnit bliver højere end 80 dB, skal man halvere den tid, man udsættes for det. Altså er 83 dB OK i 4 timer, 86 dB i 2 timer, 89 i 1 time, 92 dB i ½ time, 95 dB i 15 min, osv.

Giftige cocktails

En sidste væsentlig antagelse er, at der kun er "én spiller på banen". Historisk set har vi vurderet risikoen for arbejdsskader ved at registrere den støj, man er udsat for i dagtimerne og antaget, at øret hviler resten af tiden. Det gjorde det måske i tidernes morgen, da man begyndte at tilbyde høreværn på arbejdspladserne, men den holder ikke længere. Det gør det vanskeligt at afgøre mange arbejdsrelaterede høreskader, da arbejdsgiveren kun

skal gøres ansvarlig for den støj, der er på arbejdspladsen. Hvis man på sit arbejde har lyttet til musik i ørepropper under høreværn/hjelm eller måske netop direkte via deres supermoderne høreværn/hjelm, er det jo ikke kun arbejdsmiljøet og støjen omkring en, der spiller ind. Dertil kommer, at lyden får et solidt nøk op, når der er baggrundsstøj. Så det er en på alle måder giftig cocktail, selv hvis ørerne hviler resten af dagen.

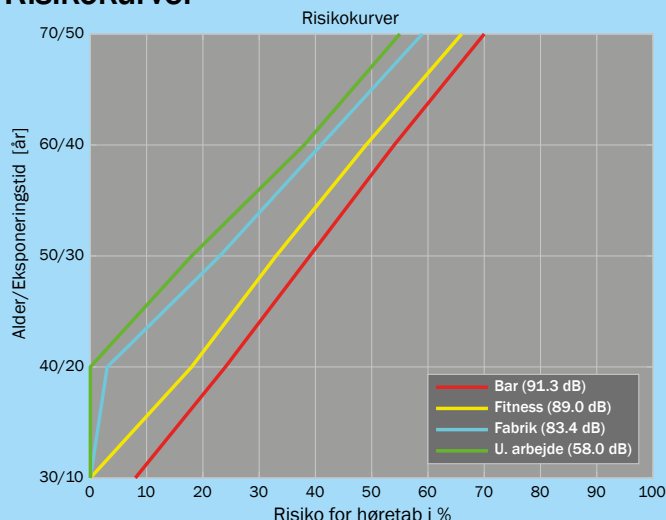
Tilsvarende antog man også tidligere, at hvis musikafspillerne ikke gav højere belastning i fritidslivet end det, vi accepterer på en arbejdsplads, så var det nok sikkert. Men det holder jo ikke, hvis vi som eksempel både nyder musik over øretelefoner, har en støjbelastet arbejdsplads og har andre fritidsvaner med høj lyd belastning (koncerter, natklubber, fitness, gaming). Selvom hver enkelt faktor er sikker hver for sig, kan kombinationen af faktorer blive en giftig cocktail.

Koncerter og festivaler

Lydniveauet ved mange live events og festivaler er så højt, at man kan få en høreskade efter bare en hel eller en halv time. En del får tinnitus, men det er ikke alle, og de fleste høreskader er formentligt "stille". Rent teknisk er lydanlæggene gennem årene blevet optimeret til at give samme niveau over hele publikumsfladen, så alle får samme gode oplevelse. Det betyder dog også, at de kan spille højt over et større område, så man kan være i risiko, selvom man ikke står lige foran højttalerne.

Man kan bringe sig selv i større risiko ved at spille musik på teltpladsen, lytte over øretelefoner før og efter eller bruge høreværn, som man alligevel ikke kan holde ud af have på. Man kan gøre situationen bedre ved at sove med høreværn (ørepropper) og generelt sørge for lange pauser med stilhed. Hørelsen restituerer cirka 7-9 dage efter påvirkningen, så det hjælper, hvis man ikke gentager overbelastningerne indenfor den periode.

Risikokurver



Figuren viser risikokurver (jævnfør ISO 1999), hvis man indregner fritidspåvirkninger på samme betingelser som arbejds påvirkning. Risikoen for høretab stiger med alderen uafhængigt af vores lyttevaner, hvilket man kan se af den grønne kurve (som har et tydeligt knæk ved 40 år efter cirka 20 år på arbejdsmarkedet). Den turkis kurve viser risiko ved industriarbejde 5 dage á 8 timer med 85 dB gennemsnitlig påvirkning (dvs. det maksimalt tilladte!). Den gule kurve viser effekten af 3 ugentlige tjanser i fitness-center á 5 timer med gennemsnitligt 93 dB, og endeligt viser den røde kurve risikoen ved at have to ugentlige bartendertjanser med høj musik, gennemsnitlig 98 dB. Eksemplerne er baseret på faktiske observationer af lydniveauer, som hver for sig holder sig indenfor det arbejdsmiljømæssigt tilladelige på ugebasis, men som bliver farligt i kombination med bare 58 dB(A) gennemsnitlig påvirkning over øretelefoner i fritiden.

Skjulte høretab

I 2009 publicerede Kujawa og Liberman en artikel i tidsskriftet *Journal of Neuroscience*, hvor de viste, at høreskader manifesterer sig gennem ændringer i de synapser, der forbinder de nerveceller, der opsamler lyden, med de nervebaner, der transmitterer signalerne til hjernen. Fænomenet kendes som synaptopati og kan kun observeres i dyreforsøg, hvor forsøgsdyrene obduces. Resultaterne viste også, at disse ændringer forekom ved påvirkninger, hvor nerveceller og høretærskler ellers så ud til at restituere helt. Det var en alvorlig game-changer, da man forud for denne opdagelse havde brugt henholdsvis bortfald af nerveceller (de såkaldte "hårceller") og den eksponeredes høretærskel efter påvirkning som indikatorer for skade. Det første kan man kun observere i dyreforsøg, mens høretærsklerne kan måles i både dyre- og menneskeforsøg.

Som om det ikke var slemt nok, ser synaptopatien ud til at gå hårdest ud over de nerver, som kun er aktive ved høje lydniveauer. Vi har ingen tests, der kan påvise den forandring i mennesker. Alle de høretests, vi har, tester hørelsen ved det lavest hørbare eller ved almindeligt samtaleniveau. Der er kun meget få tests, som aktiverer højintensitetsfibre, og indtil videre er der ikke evidens for, at de kan påvise synaptopati.

Resultaterne er eftervist i mange efterfølgende dyreforsøg, så vi ved med ret stor sikkerhed, at det samme formentligt sker i den menneskelige hørelse. Den tankevækkende konsekvens af dette er så også, at påvirkninger vi hidtil har betragtet som sikre, måske alligevel ikke er det. Der er derfor al mulig grund til at fortsætte udviklingen af teknologiske løsninger, som kan hjælpe os til at finde de lyttevaner, som er sikre for lige netop os. ■

Kilder og videre læsning
15 vigtige råd til at undgå høreskader:
www.aau.dk/15-vigtige-rad-til-at-undga-horeskader-n147261

Sharon G. Kujawa and M. Charles Liberman (2009): Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss. *Journal of Neuroscience* 11, 29 (45) 14077-14085;

Hammershøi, Dorte; Ordoñez, Rodrigo; Christensen, Anders T.; (2015): Dose Estimate by Personal Music Players Based on Weighted Output Voltage [PDF]; Aalborg University. Paper 6-2;

Hammershøi, Dorte; Ordoñez, Rodrigo; Christensen, Anders Tornvig; (2016): Dose Estimate for Personal Music Players Including Earphone Sensitivity and Characteristic [PDF]; AES International Conference on Headphone Technology (August 2016). Audio Engineering Society, 7 pages, Paper 7-4.

Hammershøi, D., Andersen, R. O., Dahl, S. S. & Ordoñez, R. (2019): Hearing damage risk from headphone-based listening. 2019 AES International Conference on Headphone Technology. Audio Engineering Society, Paper 40.

Om data og metode for ISO-målemetoden: Hammershøi, D., & Møller, H. (2008). Determination of noise immission from sound sources close to the ears. *Acustica United with Acta Acustica*, 94(1), 114-129.

Dorte Hammershøi har bidraget med flere artikler i *Aktuel Naturvidenskab*: fx : Når musikken skader i nr. 5-2006, s. 14-17.