

BrainHearing™

Uusi näkökulma

JOHDANTO

BrainHearing on Oticonin johtotähti tutkiessamme ja kehittäessämme tekniikoita. Se on myös filosofiamme, kun autamme aivoja saamaan selvää ympäristöäänistä ymmärtämällä, kuinka aivot toimivat. Tässä dokumentissa keskustelemme uudesta tieteellisestä löydöksestä siitä, kuinka aivot käsittelevät ääniä.

Viimeaikaiset löydökset viittaavat siihen, että kuuloaivokuorella toimii kaksi osajärjestelmää. Äänenkäsittelyn aikaisessa vaiheessa, kutsukaamme sitä huomion suuntaamisesta huolehtivaksi osajärjestelmäksi, kokonainen kuultava äänimaisema tarjotaan aivojen käyttöön. Myöhemmässä vaiheessa, kutsukaamme tätä keskittymiseen osallistuvaksi osajärjestelmäksi, aivot prosessoivat ja vahvistavat valikoivasti ääniä, joihin keskittyvät ja yhdistyvät edelleen muihin aivojen alueisiin, jotka ovat vastuussa erilaisista kognitiivisista toiminnoista ja prosesseista. Tämä viittaa siihen, että aivot tarvitsevat koko äänimaiseman toimiakseen luonnollisesti. BrainHearingin uusi näkökulma valaisee kuulonaleneman vaikutuksia ja antaa arvokkaan uuden näkemyksen kuulonhuollon seuraavavaksi edistysaskeleeksi.

TOIMITTANEET

Brian Man Kai Loong, MSc

Clinical Research Audiologist, Centre for the Applied Audiology Research, Oticon A/S

Elaine Hoi Ning Ng, PhD, MSc

Senior Research Audiologist, Centre for the Applied Audiology Research, Oticon A/S

Johdanto

Aivomme hahmottavat ympäröivää maailmaa viiden aistimme avulla. Luotamme vahvasti kuuloomme, kun kanssa käymme muiden kanssa päivittäin. Alentunut kuulo ei tarkoita vain sitä, että kuuleminen vaikeutuu, vaan aivojemme on myös työskenneltävä ahkerammin saadakseen selvää äänistä. BrainHearing näkemyksemme velvoittaa meitä tuottamaan teknologioita, jotka tukevat parhaalla mahdollisella tavalla aivojen luonnollista toimintaa antamalla niille parhaat mahdolliset mahdollisuudet toimia. Uudet tieteelliset löydökset antavat lisätietoa siitä, kuinka aivomme toimivat käsitellessään ääntä. Nämä löydökset ovat perusta uudelle BrainHearing näkökulmallemme.

Aivot – Luonnolliset äänenkäsittelijämme

Aivojemme poikkeuksellinen kyky hahmottaa ympäristöä on mietityttänyt tutkijoita pitkään. Kuvittele, että seisot ihmisjoukon keskellä nauttimassa katusoittajien energisestä esityksestä. Erotat sellon täyteläisen äänen, saksofonin kohoavat ja dynaamiset nuotit ja lisäksi puistossa ärsyttävästi haukkuvan koiran (Kuva 1).

Nautit musiikista ja välillä keskityt kuuntelemaan tiettyä soitinta vaihtaen huomiosi kohdetta aina halutessasi. Kuinka aivot voivat keskittyä haluttuun soittimeen ja samanaikaisesti sulkea pois haukunnan? Ensimmäinen oletus olisi ns. "valokeilailmiö". Todellisuudessa näin on ajateltu jo pitkään. Tämä ei kuitenkaan pysty selittämään, miksi kuulokojeiden käyttäjät suuntamikrofoneineen yhä kärsivät. Toki jos pystymme leikkaamaan pois kaiken paitsi halutun äänilähteen, kuulokojeen käyttäjäkin voi kuulla helposti juuri haluamansa.



Kuva 1. Musiikin kuuntelu erittäin vaihtelevassa ääniympäristössä

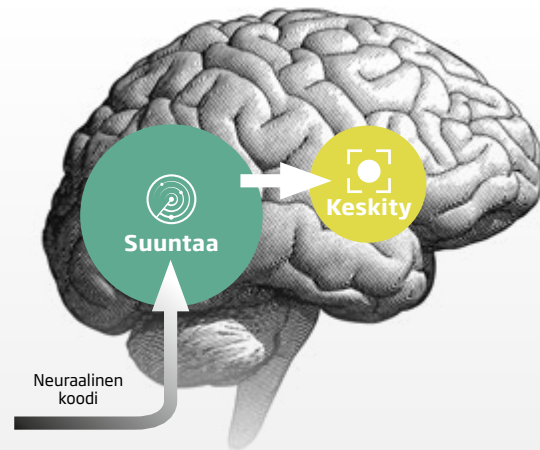
Tämä ajattelutapa ei kuitenkaan ota huomioon avainpelaajaamme eli aivojamme.

Äänen matka korvasta aivoihin

Kuten on käynyt ilmi, aivot toimivat äänenkäsittelijänä. Toimiakseen parhaalla mahdollisella tavalla, aivot tarvitsevat kaiken olennaisen tiedon saavuttaakseen lopullisen päämääränsä eli tuottaa merkityksellisen vasteen käsiteltävään asiayhteyteen. Ymmärtääksemme paremmin, kuinka suodatamme ja valitsemme tietyt äänet, meidän on sukeltettava syvemmälle ja yksityiskohtaisemmin aivoissa esiintyviin prosesseihin. Täydellinen äänimaisema saapuu ensin korvaan, jossa se muunnetaan kemiallissähköiseksi energiaksi sisäkorvan hermo-soluissa. Tämä kemiallissähköinen energia muodostaa neuraalisen koodin, joka välitetään kuulohermoja pitkin aivorunkoon ja loppujen lopuksi aivokuorelle.

Aivojemme erinomaisesta ärsykkeiden käsittelytehosta huolimatta, niiden resurssit ovat valitettavasti rajalliset (Rönnberg et al., 2013). Aivomme eivät pysty väsymättä tutkimaan kaikkia ympäröiviä ääniä kuinka kauan ta-hansa. Siksi aivojen on valittava kohde, mitä tutkia tarkemmin muiden kohteiden kustannuksella. Tämä kohteen valinta tuo sellon soinnut esiin niin, että voit paremmin virittäytyä sen melodiaan.

Valintaprosessi kohteiden muodostamiselle ja valinnalle on jaettu kahdelle osajärjestelmälle tai tasolle: Suuntaa ja keskity. Aivot tunnistavat nämä äänet merkitykselliseksi kohteiksi, jotka ovat merkityksellisiä juuri siinä asiayhteydessä, jossa olemme. Kuva 2 esittää äänelle tyypillisen matkan aivokuorelle.



Kuva 2. Kuulon kaksi osajärjestelmää: Suuntaa ja keskity

Suuntaa – Täydellinen äänikuva kuuloaivokuoren uloimpaan osaan

Kun äänen yhdistelmät on kanavoitu korvaan, sisäkorva muuttaa mekaaniset värähtelyt sähköiseksi energiaksi, joka muodostaa **neuraalisen koodin, joka matkaa kuulohermoja myöten aivorunkoon ja lopulta saavuttaa uloimman kuuloaivokuoren. Täällä kultu muodostuu kohteiksi** (O’Sullivan et al., 2019). Tällä alueella aivojen sisältämät neuronit aktivoituvat niin, että koko äänimaisema on käytettävissä, niin musiikki, puhe kuin taustamelukin.

Valikoivaa huomioimista käsittelevät tutkimukset osoittavat, kuinka kokonainen äänimaisema on aivoissa edustettuna. Se sisältää tyypillisesti sekä hallittuja että hallitsemattomia ääniä. Käyttämällä erilaisia aivoja kuvantavia tekniikoita kuten magnetoenkefalografiaa (MEG), aivosähkökäyrämittausta (EEG) ja elektrokortikaaligrafiaa (ECoG), tutkimuksissa on selvinnyt, että äänimaiseman kaikkien äänien neuraalinen esiintyvyys oli yhtä lailla edustettuna uloimmalla aivokuorella varhaisvaiheen äänenkäsittelyssä (O’Sullivan et al., 2019; Puvvada & Simon, 2017). Toisin sanoen aivot eivät ole vielä sitoutuneet mihinkään tiettyyn äänikohteeseen, vaan aivot etsivät akustisia ominaisuuksia, jotka sisältävät merkityksellistä sisältöä ja asettavat ne kaikki esille. Eli aivan kuin silloin, ennen kuin valitaan, mitä niistä käytetään (kuva 3, vasen puoli). Kun kaikki tiedot on kerätty, aivot voivat siirtyä valitsemaan, mitkä työkalut (eli kohteet) ne haluavat valita, riippuen kuulijan tavoitteista.

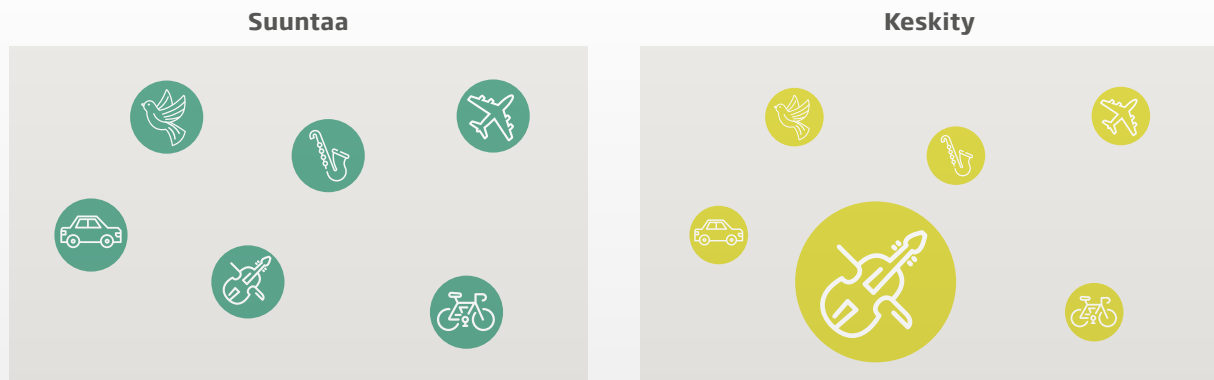
Kutsumme tätä varhaisen vaiheen prosessointia **keskittymisvaiheeksi**. Tässä vaiheessa aivot luottavat hyvään **neuraaliseen koodiin** luodessaan kokonaiskuvan kaikista äänikohteista ja erotellakseen äänet

päätellessään, mitä ympäristössä tapahtuu luodessaan kokonaisen äänimaiseman. Edellä kuvatussa tapahtumassa musiikkisoittimet ja haukunta ovat nyt yhtä ilmeisiä aivoille. Nämä tiedot ovat ennakoedellytyksenä **keskittymiselle**.

Keskity – Valikoiva huomiointi sisemmillä kuuloaivokuoren alueilla

Kun kohteet ovat muotoutuneet **suuntaamisvaiheessa** on aika valita, mihin halutaan keskittyä. Kohteen valinta tapahtuu tässä vaiheessa. Tarkastelkaamme aiempaa esimerkkiä, jossa halusimme keskittyä selloon. Aivot tajuavat, että sellolla (matalasointinen soitin) on matalampi sävy kuin saksofonilla (korkeasointinen soitin). Nyt käytetään piirteiden erottamista (matala vastaan korkea sointi) selvitetessä näiden kahden äänen tulevan eri äänilähdeistä. Nyt aivot tunnistavat **ääniominaisuuden** (ts. sävelkorkeuden), joka erottaa soittimet toisistaan tai muista kohteista (kuva 3, oikea puoli). Toisaalta, jos kahdella soittimella on täsmälleen sama sävelkorkeus, aivot yksikertaisesti etsivät muita ominaisuuksia, jolla erottaa soittimet toisistaan, kuten erilainen musiikin rytmi tai suunta, josta ääni tulee. Erottaakseen äänet toisistaan, kuten sellon haukunnasta, aivot tunnistavat, että haukkuminen on rytmiltään erilaista kuin musiikki ja haukkuminen alkaa ja loppuu yhtäkkisesti, kun taas musiikki on jatkuvampaa. Tällainen ominaisuuksien havaitseminen ei olisi mahdollista, jos kuuntelisimme kiilamaisesti eli kuten ”valokiilassa”.

Poimimalla äänen ainutlaatuiset ominaisuudet, valittu kohde tulee voimakkaammin esiin myöhemmän vaiheen äänenkäsittelyä varten muilla kuin aivojen uloimmilla alueilla. Samat tutkijat, jotka tutkivat valikoivaa huomioimista havaitsivat, että valittu äänilähde on paljon paremmin esillä tässä myöhemässä käsittelyyn



Kuva 3. Kokonainen äänikuva, kun suunnataan huomio (vasen puoli). Keskittymisen kohde (sello) on voimakkaammin esillä kun keskitytään (oikea puoli).

vaiheessa (O’Sullivan et al., 2019; Puvvada & Simon, 2017; Alickovic et al., 2020, lisäksi katso Ng & Man, 2020). Muut äänilähteet eivät esiinny yhtä voimakkaasti syvemmällä aivoissa. Valitun äänen erottuminen selvemmin muista äänistä tarkoittaa tehokasta ja vaikuttavaa korkeamman tason prosessointia aivoissa, mahdollistaen esimerkiksi puheen erottamisen muista ympäröivistä äänistä ilman, että aivoja kuormitetaan liikaa.

Tätä syvemmän kuulemisprosessin tasoa kutsutaan keskittymisvaiheeksi. Tässä vaiheessa aivot tunnistavat äänen, johon haluavat keskittyä tai vaihtavat huomionkohdetta samalla, kuin merkityksettömät äänet suodatetaan pois. Tässä vaiheessa meidän on mahdollista keskittyä pitkään haluttuun äänilähteeseen. Tutkimukset osoittavat, että kuuntelun kohde selkeytyy ajan myötä pysyvän keskittymisen ansiosta (Elhilali et al., 2009). Huomion kohteen vaihtamisen helpottamiseksi, aivomme kartoittavat vaille huomiota jäänyttä ääniympäristöämme niinkin nopeasti kuin neljä kertaa sekunnissa (Helfrich et al., 2018) siltä varalta, että jotain muuta mielenkiintoista kuunneltavaa ilmenee.

Aivomme siis yrittävät jatkuvasti saada selvää siitä, mitä ympäristössä tapahtuu. Kyetäkseen tähän, aivojemme tulee erottaa eri äänet ja niihin liittyvät lähteet. Kaksi käsittelyn vaihetta, Suuntaa ja Keskity, toimivat yhdessä saumattomasti ja jatkuvasti löytääkseen toisistaan eroavat äänivihjeet. Tämä aivojen toistuva neuraalisen koodin hienosäätö mahdollistaa mielenkiinnon kohteeksi valittujen äänien erottamisen päivittäisissä keskustelutilanteissa, varsinkin taustahälyssä.

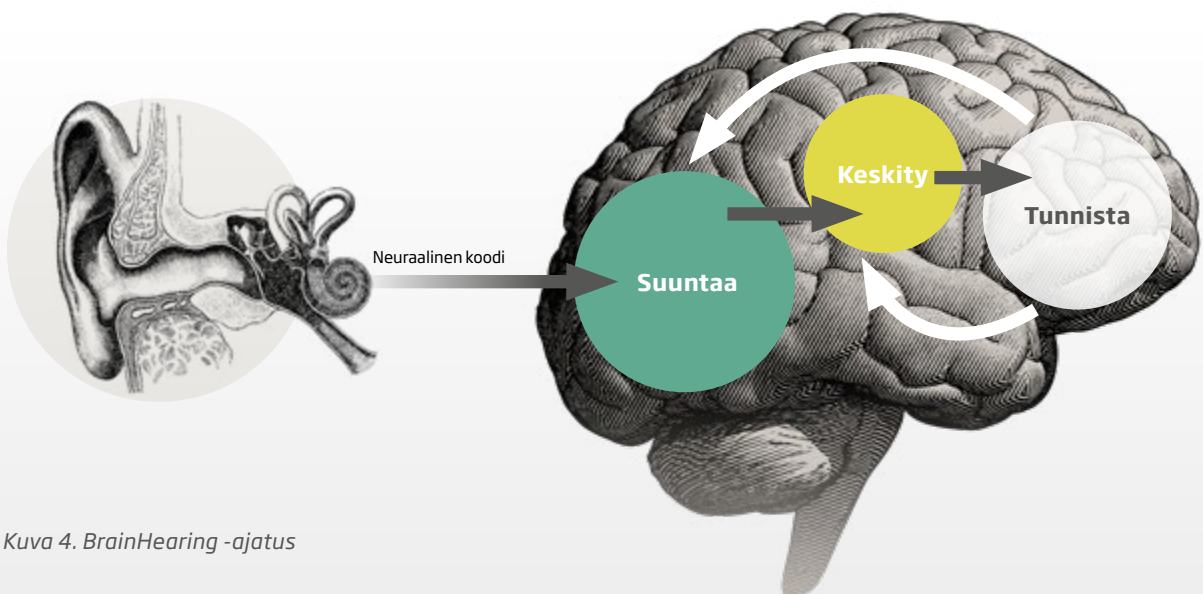
BrainHearing - ajatus

Yhdistämällä yllä esitellyt prosessit ja kognitiiviset tekijät, saamme käsityksen, kuinka ääniä käsitellään ja tulkitaan matkalla korvasta aivoihin (katso kuva 4).

1. Kuuleminen ja neuraalinen koodi - tämä vaihe käsittää kuulojärjestelmän uloimmat osat (eli korvan). Ääni vastaanotetaan mekaanisena energiana ja muutetaan neuraaliseksi koodiksi, josta aivot voivat saada selvää (Shinn- Cunningham & Best, 2008). Tämä neuraalinen koodi, joka sisältää akustisia ääniominaisuuksia, voi vaikuttaa myöhempiin käsiteltelytasoihin, riippuen äänten selkeydestä.

2. Suuntaa ja keskity - ensimmäinen vaihe tapahtuu aivojen alueella, joka on erikoistunut tunnistamaan ja erottamaan äänet toisistaan. Tämä vaihe voidaan edelleen jakaa kahteen vaiheeseen: Suuntaa ja keskity. Suunnattaessa huomio muodostetaan täydellinen äänikuva (kohteiden muodostus) aivojen käyttöön. Kun käsitys on muodostettu valikoivan huomioimisen avulla (kohteen valinta), tarkennetaan käsitystä mielenkiinnon kohteena olevasta kohteesta.

3. Tunnistaminen - tässä vaiheessa aivot käyttävät saatavilla olevaa työmuistia tunnistaa äänet. Aivot poimivat merkitykset ja hallitsevat monimutkaisia kognitiivisia prosesseja, kuten puheenerotusta, huomionkohteen vaihtoa ja muistista palauttamista. Tässä vaiheessa myös vastaanotetaan ja yhdistellään muista aisteista saatavaa tietoa, kuten visuaalista syötettä.



Kuva 4. BrainHearing -ajatus

Jos nyt vertaamme tätä Brainhearing ajatukseemme, voimme nähdä, että hyvän äänenlaadun omaava eheä äänimaisema on menestyksekkään puheesta selvän saannin ja kommunikoinnin tukemisen edellytys. Tämä siksi, että puhtaampi neuraalinen koodi tekee osajärjestelmien, kuten suuntaa, keskity ja tunnista, toiminnan helpommaksi. Nämä kognitiiviset taidot ovat läheistä sukua kommunikointikyvyillemme todellisissa elämäntilanteissa, kuten lukuisat tutkimukset kognitiivisten kykyjen ja puheenerotuksen välisestä vahvasta suhteesta osoittavat (Dryden et al., 2017; Lunner & Sundewall-Thorén, 2007).

Kuulonalenema - ei vain korvien ongelma

Mitä tapahtuu, kun kuulijalla on kuulonalenema? Voimme hyödyntää BrainHearing ajatteluamme ennusteesamme, mitä tapahtuu huonokuuloiselle kuuntelijalle hänen kuunnellessaan esimerkkinä mainittua musiikkiesitystä:

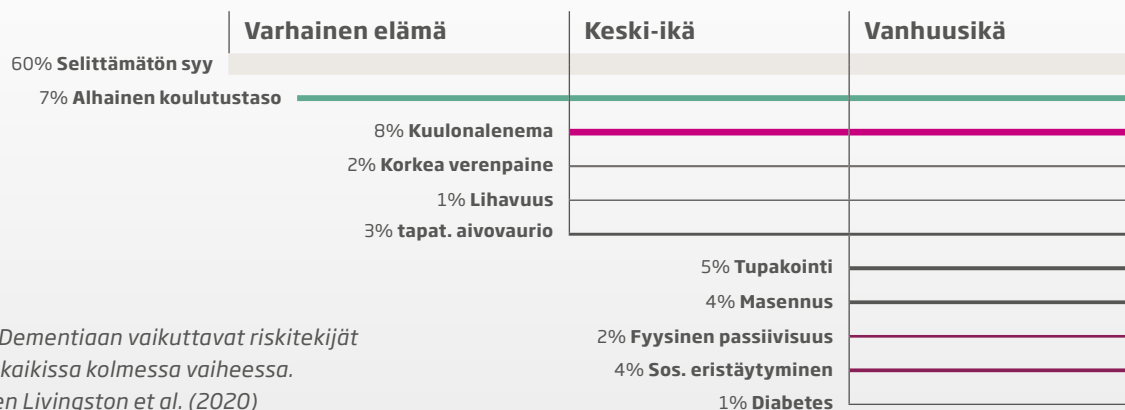
Kuulonalenemasta johtuen korvaan tulevan äänen laatu on huonoa, aiheuttaen neuraalisen koodin alku- peräisyyden. Kuuntelija ei välttämättä erota eri äänien yksityiskohtia, kuten saksofonin korkeita taajuuksia ja jotkut erotettavissa olevat ominaisuudet ovat epäselviä tehden keskittymisen kohteeseen aivoille vaikeaksi. Lopputuloksena aivojen on turvaututtava työmuistin käytettävissä oleviin kognitiivisiin resursseihin saadaksesen selvää kohteesta (Rönnerberg et al., 2013). Tämä henkisten voimavarojen lisätarve lisää kuuntelun kuormittavuutta (Edwards, 2016), johtaen lopulta katkoksiin tiedonsiirrossa.

Kuulonaleneman vaikutukset eivät kuitenkaan lopu tähän. Kuulemiseen käytettyjen henkisten lisäresursien käyttö tarkoittaa muiden kognitiivisten prosessien, kuten huomion ylläpitämisen ja huomionkohteen vaihtamisen vaikeutumista (Rönnerberg et al., 2013).

Aivojen sisäisissä rakenteissa on havaittu huomattavia muutoksia huonokuuloisilla henkilöillä (Lomber et al., 2020). Tiedemiehet ovat osoittaneet, että huonokuuloisen kuuloaivokuori varaa alueita visuaalisille ärsykeille ja reagoi niihin paremmin verrattuna normaalisti kuuleviin saman ikäisiin (Campbell & Sharma, 2014, Stropahl ja Debener, 2017). Uusi tieteellinen näyttö paljastaa myös, että huonokuuloisilla kuuloaivokuoren ulkopuolella olevia muita aivojen osia, kuten etualueita, rekrytoidaan kuuloprosesseihin eli ylimääräisiä resursseja otetaan käyttöön muilta aivojen alueilta äänien käsittelemiseksi (Peelle et al., 2011, Wingfield & Peelle, 2015).

Tämä muiden aivoverkoston varaaminen osoittaa selkeästi, että jopa lievä tai kohtalainen kuulonalenema voi johtaa aivojen sisäisen eheyden muutoksiin (Campbell & Sharma, 2014).

Aivojen toiminnallisten rakenteiden muutosten perusteella on myös havaittu, että henkilöillä, joilla on ikään liittyvää kuulonalenema, kuuloaivokuoren alueet kutistuvat, etenkin ulommalla kuuloaivokuorella, jossa huomion suuntaaminen tapahtuu, sekä aivosolujen välisestä kommunikaatiosta vastuussa olevien valkoisen ja harmaan aineen määrä vähenee (esim. Lin et al., 2014). Näillä on vakavia vaikutuksia kuulijan kognitiivisiin kykyihin, etenkin niiden heikkenemiseen (Loughrey et al., 2018). Ikään liittyvällä kuulonalenemalla on osoitettu olevan merkittäviä yhteyksiä kognitiiviseen heikkenemiseen ja dementiaan (Barnes & Yeffe 2011; Albers et al., 2015). Tutkiessaan, kuinka dementiaa voitaisiin ehkäistä, Livingston ja hänen kollegansa (2017; 2020) kehittivät dementiaan liittyviä riskitekijöitä sisältävän elämäntapamallin, jossa kuvataan, kuinka mahdolliset olosuhteet yksilön kolmessa eri elämänvaiheessa voivat johtaa dementiariskin lisääntymiseen.



Kuva 5. Dementiaan vaikuttavat riskitekijät elämän kaikissa kolmessa vaiheessa. Mukailten Livingston et al. (2020)

Kuva 5 kertoo kuulonaleneman aiheuttavan huomattavan suuren riskin sairastua dementiaan, verrattuna muihin tutkittuihin riskeihin, kuten masennus, sosiaalinen eristäytyminen, tupakointi ja fyysisen passiivisuus. Lisäksi riski kasvaa riippuen siitä, kuinka vaikeasta kuulonalenemasta on kyse (Lin et al., 2011). Voidaan myös huomata, että kuulonalenema, masennus, fyysinen passiivisuus ja sosiaalinen eristäytyminen voivat muodostaa noidankehän keskenään. Kun kuulo laskee, henkilö saattaa kokea lisääntyneitä kuormitusta kuunnellessaan ja sosiaaliset tilanteet saattavat muuttua haasteellisiksi. Tämä saattaa taas johtaa vetäytymiseen sosiaalisesta kanssakäymisestä ja fyysisistä aktiviteeteistä, jotta vältetään kiusallisilta tilanteilta. Tämä taas johtaa sosiaaliseen eristäytymiseen. Tuloksena, pidempi aika sosiaalisesti eristäytyneenä saattaa lisätä, ihmiskontaktien puuttuessa, masentuneisuutta. Lopputuloksena kaikkien riskitekijöiden myötä dementia on yhä todennäköisempi.

Mitä voimme siis tehdä?

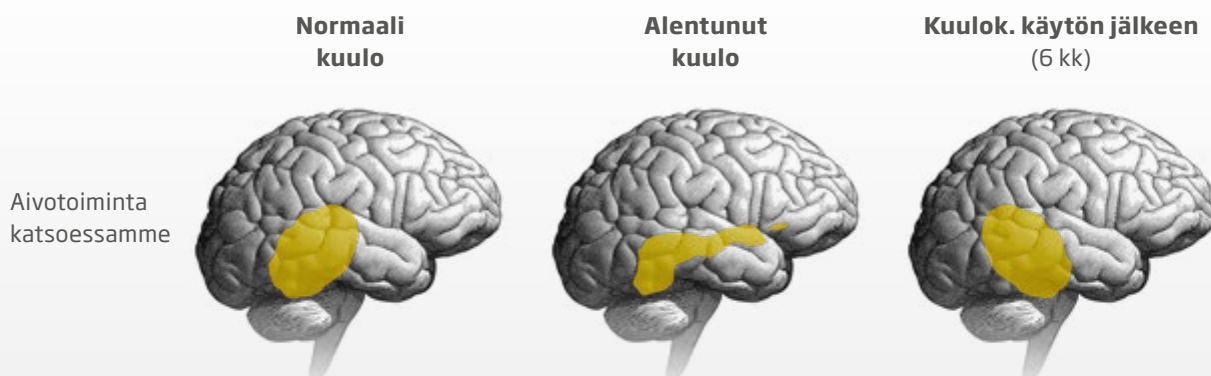
Näemme siis kuulonaleneman aiheuttavan seurauksia korvasta aivoihin saakka. Mitä voimme tälle asialle tehdä?

Viimeaikainen Glickin ja Sharman (2020) suorittama tutkimus osoitti, kuinka säännöllinen hyvin sovitettujen kuulokojeiden käyttö vaikuttaa niiden käyttäjiin. Käyttäen neurokuvaustekniikkaa, he havaitsivat

visuaalisten toimintojen lisääntyneen käytön kuulolaitteilla. Eli kun visuaalisen aivokuoren tehtävä on tarkkailla visuaalisia vihteitä normaalikuuloisilla, niin huonokuuloisten aivoissa kuulolaitteiden käyttö alkoi myös reagoida visuaalisiin ärsykkeisiin. Myöhemmin tutkijat soveltivat huonokuuloisille kuulokojeita ja toistivat saman mittauksen uudelleen, kun kuulokojeita oli käytetty kuusi kuukautta. Tulokset on esitetty kuvassa 6.

Kuva osoittaa, että ne aivojen alueet, jotka olivat aktiivisia ennen kuulokojeiden käyttöä, siirtyivät nyt alueille, jotka ovat huomattavasti lähempänä hyväkuuloisilla havaittuja vastaavia alueita. Tuloksena voimme nähdä, että huonokuuloisilla on tapahtunut elpymistä kuulokojeiden käytön seurauksena.

Kuulokojeiden käytön ja dementian välistä syy-seuraussuhdetta tutkitaan edelleen. Tärkeää on kuitenkin, että kuulonalenema on muutettavissa oleva riskitekijä (Livingstone et al., 2017, 2020) eli meillä on olemassa tapoja käsitellä sitä niin, että voimme vähentää dementian tai kognitiivisen heikkenemisen todennäköisyyttä tai viivästyttää sitä (Dawes, 2019; Maharani et al., 2018). Esimerkiksi Livingstone et al. (2020) kannustavat kuulokojeiden käyttöä kuulon heiketyksessä ja korvien suojaamista liialliselta melulta. Tätä tukee myös äskettäin ilmestynyt raportti kuulokojeiden hyödyllisyydestä kognitiivisten taitojen ylläpitäjänä (e.g. Karawani et al., 2018).



Kuva 6. Jo kuudessa kuukaudessa kuulokojeiden käyttö auttaa palauttamaan aivokuoren alkuperäiseen toimintaansa. Mukaelleen Glick ja Sharma (2020)

Johtopäätökset

Olemme keskustelleet siitä, miten aivot käsittelevät ääntä: suunnatessaan kartoittaen ensin koko kuuntelu-ympäristön ja keskittyessään osallistuen valikoiden äänen käsittelyyn ja vahvistamiseen. Tapahtuu valikoivaa huomioimista, joka yhdistyy muihin aivojen alueisiin tukien erilaisia kognitiivisia toimintoja ja prosesseja, kuten tunnistamista, mieleen painamista ja reagointia ärsykkeeseen. Tämä osoittaa, että aivot tarvitsevat koko äänikentän toimiakseen luonnollisesti.

Yhdistävä tekijä on BrainHearing, joka käsittää teorian kuuntelun kohdentamisesta, valikoivan huomioimisen ja kognitiiviset taidot luodakseen meille syvemmän ymmärryksen, ei vain aivojen kyvystä saada selvää äänistä, vaan myös siitä, kuinka voimme optimoida tämän prosessin paremman kuuntelukokemuksen luomiseksi kuulokojeiden käyttäjille.

Oticon soveltaa BrainHearing-filosofiaa kuulonaleneman ymmärtämiseen. Näemme kuulonaleneman vaikutukset paitsi korvan myös aivojen näkökulmasta, missä äänet löytävät merkityksen. Todisteet osoittavat, kuinka BrainHearing-teknologia voi parantaa puheen erottamista (Le Goff et al., 2016), vähentää kuunteluponnisteluja ja helpottaa muistamista vapauttamalla kognitiivisia resursseja haastavissa kuuntelutilanteissa (Juul Jensen, 2019). Lisäksi BrainHearing -teknologiaa tukee myös näyttö, joka osoittaa suoraan havaitut edut aivoille, kuten valikoivan huomioinnin (Ng & Man 2020).

Kuulon heikkeneminen heikentää aivoihin tulevien äänen laatua ja lisää erilaisten terveysriskien ilmenemistä vanhemmalla iällä. BrainHearingin uusi näkökulma korostaa hyvän neuraalisen koodin saavuttamista koko äänimaisemasta kuulonalenemien hoidossa. Yhdessä hyvin sovitettujen kuulokojeiden säännöllisen käytön kanssa tämä antaa meille arvokkaan näkemyksen, miten kuulonhuollon seuraava edistysaskel tulee määritellä. Kun astumme tulevaisuuteen, keskitymme uusiin, jännittäviin löydöksiin, joilla täydennämme kokonaiskuvaamme BrainHearingista.

Lähteet

1. Albers, M. W., Gilmore, G. C., Kaye, J., Murphy, C., Wingfield, A., Bennett, D. A., ... & Duffy, C. J. (2015). At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 11(1), 70-98.
2. Alickovic E., Lunner T., Wendt D., Fiedler L., Hietkamp R., Ng E.H.N., Graversen C. (2020). Neural Representation enhanced for speech and reduced for background noise with a hearing aid noise reduction scheme during a selective attention task. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 846. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00846>.
3. Barnes, D. E., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *The Lancet. Neurology*, 10(9), 819-828. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70072-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70072-2)
4. Campbell, J., & Sharma, A. (2014). Cross-modal re-organization in adults with early stage hearing loss. *PLoS One*, 9(2), e90594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090594>
5. Dawes, P. (2019). Hearing interventions to prevent dementia. *HNO*, 67(3), 165-171. <https://doi.org/10.1007/s00106-019-0617-7>
6. Dryden, A., Allen, H. A., Henshaw, H., & Heinrich, A. (2017). The Association Between Cognitive Performance and Speech-in-Noise Perception for Adult Listeners: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Trends in Hearing*, 21, 233121651774467. <https://doi.org/10.1177/2331216517744675>
7. Edwards, B. (2016). A Model of Auditory-Cognitive Processing and Relevance to Clinical Applicability: Ear and Hearing, 37, 85S-91S. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000308>
8. Elhilali, M., Xiang, J., Shamma, S. A., & Simon, J. Z. (2009). Interaction between attention and bottom-up saliency mediates the representation of foreground and background in an auditory scene. *PLoS biology*, 7(6).
9. Glick, H. A., & Sharma, A. (2020). Cortical Neuroplasticity and Cognitive Function in Early- Stage, Mild-Moderate Hearing Loss: Evidence of Neurocognitive Benefit From Hearing Aid Use. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 93. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00093>
10. Helfrich, R. F., Fiebelkorn, I. C., Szczepanski, S. M., Lin, J. J., Parvizi, J., Knight, R. T., & Kastner, S. (2018). Neural mechanisms of sustained attention are rhythmic. *Neuron*, 99(4), 854-865.
11. Juul Jensen, J. (2019). *Opn S Clinical Evidence*. Oticon Whitepaper.
12. Karawani, H., Jenkins, K. A., & Anderson, S. (2018). Neural and behavioral changes after the use of hearing aids. *Clinical Neurophysiology*, 129(6), 1254-1267. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.03.024>
13. Le Goff, N., Wendt, D., Lunner, T., & Ng, E. (2016). *Opn Clinical Evidence*. Oticon Whitepaper.
14. Lin, F. R., Ferrucci, L., An, Y., Goh, J. O., Doshi, J., Metter, E. J., Davatzikos, C., Kraut, M. A., & Resnick, S. M. (2014). Association of Hearing Impairment with Brain Volume Changes in Older Adults. *NeuroImage*, 90, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.12.059>
15. Lin, F. R., Metter, E. J., O'Brien, R. J., Resnick, S. M., Zonderman, A. B., & Ferrucci, L. (2011). Hearing Loss and Incident Dementia. *Archives of Neurology*, 68(2), 214-220. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2010.362>
16. Livingston, G., Huntley, J., Sommerlad, A., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., ... & Costafreda, S. G. (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *The Lancet*, 396(10248), 413-446.
17. Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., Costafreda, S. G., Huntley, J., Ames, D., ... & Cooper, C. (2017). Dementia prevention, intervention, and care. *The Lancet*, 390(10113), 2673-2734.
18. Lomber, S. G., Butler, B. E., Glick, H., & Sharma, A. (2020). Chapter 16 - Crossmodal neuroplasticity in deafness: Evidence from animal models and clinical populations. In K. Sathian & V. S. Ramachandran (Eds.), *Multisensory Perception* (pp. 343-370). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812492-5.00016-4>
19. Loughrey, D. G., Kelly, M. E., Kelley, G. A., Brennan, S., & Lawlor, B. A. (2018). Association of Age-Related Hearing Loss With Cognitive Function, Cognitive Impairment, and Dementia: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 144(2), 115-126. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2017.2513>

20. Lunner, T., & Sundewall-Thorén, E. (2007). Interactions between Cognition, Compression, and Listening Conditions: Effects on Speech-in-Noise Performance in a Two-Channel Hearing Aid. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(7), 604-617. <https://doi.org/10.3766/jaaa.18.7.7>
21. Maharani, A., Dawes, P., Nazroo, J., Tampubolon, G., Pendleton, N., SENSECog WP1 group, ... & Constantinidou, F. (2018). Longitudinal relationship between hearing aid use and cognitive function in older Americans. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(6), 1130-1136.
22. Ng, E., & Man, B. (2020). Enhancing selective attention: Oticon Opn S™ new evidence. Oticon Whitepaper.
23. O'Sullivan, J., Herrero, J., Smith, E., Schevon, C., McKhann, G. M., Sheth, S. A., Mehta, A. D., & Mesgarani, N. (2019). Hierarchical Encoding of Attended Auditory Objects in Multi-talker Speech Perception. *Neuron*, 104(6), 1195-1209. e3. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.007>
24. Peelle, J. E., Troiani, V., Grossman, M., & Wingfield, A. (2011). Hearing loss in older adults affects neural systems supporting speech comprehension. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(35), 12638-12643. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2559-11.2011>
25. Puvvada, K. C., & Simon, J. Z. (2017). Cortical Representations of Speech in a Multitalker Auditory Scene. *The Journal of Neuroscience*, 37(38), 9189-9196. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0938-17.2017>
26. Rönnberg, J., Lunner, T., Zekveld, A., Sörqvist, P., Danielsson, H., Lyxell, B., ... & Rudner, M. (2013). The Ease of Language Understanding (ELU) model: theoretical, empirical, and clinical advances. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 31.
27. Shinn-Cunningham, B. G., & Best, V. (2008). Selective Attention in Normal and Impaired Hearing. *Trends in Amplification*, 12(4), 283-299. <https://doi.org/10.1177/1084713808325306>
28. Stropahl, M., & Debener, S. (2017). Auditory cross-modal reorganization in cochlear implant users indicates audio-visual integration. *NeuroImage?: Clinical*, 16, 514-523. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.09.001>
29. Wingfield, A., & Peelle, J. E. (2015). The effects of hearing loss on neural processing and plasticity. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00035>

