

# **Älykuulokkeiden ja kuulokojeiden kehittyminen**

Sami Koivunen

Tampereen yliopisto  
Informaatiotieteiden yksikkö  
Vuorovaikutteinen teknologia  
Pro gradu -tutkielma  
Ohjaaja: Roope Raisamo  
Kesäkuu 2016

---

Tampereen yliopisto  
Informaatiotieteiden yksikkö  
Vuorovaikutteinen teknologia  
Sami Koivunen: Älykuulokkeiden ja kuulokojeiden kehittyminen  
Pro gradu -tutkielma, 58 sivua  
Kesäkuu 2016

---

Älykuuloke-termillä tarkoitetaan korvaan asennettavia, kehittyneitä ominaisuuksia sisältäviä laitteita, joihin kuuluvat ympäristön ääntä käsittelevät älykuulokkeet, terveystietoja mittaavat urheilukuulokkeet, henkilökohtaiset ääniavustajakuulokkeet ja useita toimintoja yhdistelevät hybridiälykuulokkeet.

Älykuulokkeiden lisäksi tässä tutkielmassa tarkastellaan tämänhetkistä tilannetta kuulokoje- ja sisäkorvaistutemarkkinoilla käymällä läpi suurten valmistajien uusinta teknologiaa edustavat laitteet. Selvityksen tarkoituksena on tutkimustietoa hyödyntäen havainnollistaa, kuinka laitteet ovat kehittyneet viimeisten vuosien aikana. Nykytilanteen lisäksi älykuulokkeiden ja kuuloapuvälineiden tulevaisuutta on visioitu käyttämällä hyväksi olemassa olevaa tietoa.

Kuulolaitemarkkinoita on kritisoitu innovaatioiden puutteesta ja rajallisesta kilpailusta johtuvista korkeista hinnoista. Käyttäjän kannalta kehittyneimpien kuulokojeiden näkyvimpiä uusia toimintoja on langaton yhdistettävyyys erilaisiin älylaitteisiin. Uusimmissa korkealuokkaisissa kuulokojeissa ääneen liittyviä ominaisuuksia on mahdollista säätää älypuhelimien avulla.

Älykuulokkeita ja kuuloapuvälineitä yhdistävät niiden käyttämät langattomat teknologiat. Tutkielmassa pohditaan erityisesti Bluetooth- ja NFMI-teknologioiden mahdollisuuksia korvaan puettavissa laitteissa. Molemmissa teknologioissa on rajoitteita, joiden takia langattoman signaalinvälityksen ongelmat rajoittavat tällä hetkellä älykuulokkeiden ja kuulokojeiden kehitystä.

Älykuulokkeet voivat lähitulevaisuudessa olla riippumattomia älypuhelimesta ja mitata sykkeen ja aivosähkökäyrän kaltaisia terveyteen liittyviä tietoja. Lisäksi älykkäät kuulokkeet voivat esimerkiksi suodattaa valikoivasti ympäristön ääniä tai toimia välikätenä ääniavustajalle, joka kertoo käyttäjälle reaaliaikaisesti tietoa terveydentilasta ja vastaa käyttäjän äänikomentoihin.

Avainsanat ja -sanonnat: pro gradu -tutkielma, kuuloaisti, huonokuuloisuus, puettava teknologia, älykuulokkeet, kuulokojeet, anturit

## Sisällys

1.	Johdanto .....	1
2.	Kuuloaisti ja huonokuuloisuus .....	4
2.1.	Kuulon toiminta .....	4
2.2.	Huonokuuloisuuden yleisyys .....	6
2.3.	Huonokuuloisuuden vaikutukset .....	8
3.	Älykuulokkeet ja kuulolaitteet .....	10
3.1.	Huonokuuloisten kuulokojeet .....	10
3.1.1.	Suurimmat kuulokojevalmistajat ja kehittyneimmät kuulokojeet .....	13
3.2.	Sisäkorvaistutukset .....	17
3.3.	Älykkäiden ominaisuuksien saapuminen kuulokkeisiin .....	20
3.4.	Älykuulokkeet .....	21
3.4.1.	Ympäristön ääntä käsittelevät älykuulokkeet .....	24
3.4.2.	Hybridiälykuulokkeet .....	25
3.4.3.	Urheilua tukevat älykuulokkeet .....	27
3.4.4.	Älykuulokkeet ääniavustajina .....	28
3.4.5.	Langattomat kuulokkeet kehittyneillä ominaisuuksilla .....	28
4.	Langattomuuden, älykuulokkeiden ja kuulokojeiden kehitys lähitulevaisuudessa .....	31
4.1.	Langaton teknologia äänentoistossa .....	31
4.2.	Älykuulokkeiden kehitys lähitulevaisuudessa .....	33
4.3.	Kuulokojeiden kehitys .....	35
4.3.1.	Henkilökohtaiset äänenvahvistimet .....	36
5.	Pohdinta .....	38
6.	Yhteenveto .....	44
	Viiteluettelo .....	45

## 1. Johdanto

Edistysaskeleet langattomassa teknologiassa ja pienikokoiset anturit antavat nykyisin mahdollisuuden mitata puettavan teknologian avulla reaaliaikaisesti terveyteen ja urheiluun liittyviä tietoja rajoittamatta käyttäjää [Patel and Wang, 2010]. Puettavan teknologian esiinmarssia ovat vauhdittaneet erityisesti älykellojen ja aktiivisuusrannekkeiden menestys. Verisuonten läheisyys ja korvakäytävään asetettavan laitteen potentiaalinen näkymättömyys tekevät korvaan asetettavan kuulokkeen sijainnin otolliseksi terveyteen liittyvien tietojen mittaamiseen [Vogel *et al.*, 2009]. On havaittu, että happisaturaation ja sykkeen mittaaminen on pienikokoisten anturien avulla luotettavasti mahdollista juuri korvakäytävästä [Budidha and Kyriacou, 2014]. Terveystietojen lisäksi korvaan asetettavaan kuulokkeeseen on mahdollista yhdistää luonnollisella tavalla äänenkäsittely-, ääniavustaja- ja muita toimintoja niin huonokuuloisten kuin normaalikuuloistenkin käyttöön.

Tutkielmani tarkoituksena on kartoittaa tämän hetken tilannetta älykuulokkeiden, kuulokojeiden ja sisäkorvaistutteen osalta. Kartoitus on tehty seuraamalla aktiivisesti älykuuloke- ja kuulokojemarkkinoita vuoden 2015 toiselta puoliskolta vuoden 2016 puoleenväliin. Tietolähteinä ovat olleet kuuloa käsittelevät kirjat, tutkimukset, tiedejulkaisut, laitevalmistajien internetsivustot, lehdistötiedotteet, joukkorahoitussivut sekä kuuloalaa ja kuulokkeita käsittelevät verkkolehdet.

Kuulokojeita ja älykuulokkeita yhdistävät puettavuus korvaan sekä haasteet ja mahdollisuudet, joita ne kohtaavat korvan rakenteen ja sijainnin takia. Yhtenä isoimmista teemoista tutkielmassani on langattomuus, joka voi tarkoittaa esimerkiksi helppoa yhdistettävyyttä korvaan puettun laitteen ja älypuhelimien välillä.

Älykuulokkeissa usein langattomaan tiedonsiirtoon käytetty Bluetooth on osoittautunut ongelmalliseksi [NXP, 2016]. Itsenäisesti toimivissa kuulokkeissa on erityisen tärkeää, että vasen ja oikea kuuloke pystyvät häiriöttä kommunikoimaan keskenään. Kilpailevan NFMI-teknologian (Near Field Magnetic Induction) rajoitteena on puolestaan pidetty tiedonsiirtokapasiteettia ja lyhyttä kantamaa [Kim *et al.*, 2016]. NFMI perustuu langattomaan NFC-teknologiaan (Near Field Communications), jonka tulevaisuuden käyttökohteiksi Kim ja muut [2016] mainitsevat muun muassa sisäkorvaistutteen.

Lokakuussa 2015 Yhdysvalloissa kuulokojemarkkinoista julkaistu kansallinen PCAST-raportti (President's Council of Advisor on Science and Technology) kritisoi jyrkästi nykyisiä kuulokojemarkkinoita [PCAST, 2015]. Kuuden suuren valmistajan ympärille 98 prosenttisesti rakentuneet markkinat ovat raportin mukaan rajoittaneet sekä uusien innovaatioiden syntyä että kuluttajan valintoja ja pitäneet kuulokojeiden hinnat korkeina.

Kuuloapuvälineiden tekninen kehitys ja uudet innovaatiot ovat Suomessakin ajankohtainen aihe. Huonokuuloisten määrä todennäköisesti lisääntyy nopeasti, sillä ikääntyneiden määrän odotetaan kasvavan ja kuulovikojen yleisyys kasvaa selvästi 55 ikävuodesta lähtien [Mäki-Torkko, 2011, 76].

Kuuloltaan normaaleiksi luokitellut henkilöt voivat kokea esimerkiksi hälyssä kuulemisvaikeuksia [Tremblay *et al.*, 2015]. Markkinoilla voikin olla kysyntää kuuloa kohdentaville laitteille, joiden tarkoitus ei kuitenkaan ole kuulokojeiden tapaan vahvistaa ääntä. Esimerkiksi ympäristön ääntä käsittelevillä älykuulokkeilla on tyypillisesti mahdollista suodattaa valikoivasti ympäröivää ääntä. Kuulokojeiden ja älykuulokkeiden lisäksi markkinoilla on henkilökohtaisia äänenvahvistimia, jotka on kehitetty kuulokojeiden kilpailijoiksi, mutta joilla ei ole lääketieteellisesti kuuloapuvälineen asemaa.

Kehittyneen tekniikan ansiosta kuulokkeisiin on viime vuosina onnistuttu lisäämään älykkäiksi kutsuttuja ominaisuuksia. Vuoden 2014 huhtikuussa langattomien teknologioiden asiantuntija Nick Hunn esitteli artikkelissaan uuden hearables-sanan kuvaamaan älykkäillä ominaisuuksilla varustettuja kuulokkeita [Hunn, 2014]. Termi on yhdistetty englannin kielen sanoista puettava teknologia (wearable) ja kuuloke (headphone). Termi on sittemmin noussut kuvaamaan laajasti erilaisia älykkäitä kuulokkeita ja tunnetuimmat älykkäät nappikuulokkeet, kuten Dash ja Here tunnetaan hearables-termillä. Termi on sen verran uusi, että sille ei ole vakiintunutta suomennosta. Tässä tutkielmassa käytän älykkäitä ominaisuuksia sisältävistä kuulokkeista termiä älykuuloke. Hearables-sanan lisäksi englannin kielessä on ollut käytössä jonkin verran termi ”earables”, joka tulee englannin kielen sanoista korva ”ear” ja puettava teknologia ”wearable”. Käytännössä hearable- ja earable-termeillä on kuitenkin tarkoitettu samaa asiaa.

Kuulokevalmistajien lisäksi myös jotkin kuulokojevalmistajat, kuten Starkey, käyttävät kuulokojeistaan termiä ”hearable”, viitaten kuulokojeiden kehittyneisiin ominaisuuksiin [Starkey, 2016a]. Myös henkilökohtaisista äänenvahvistimista on joissain yhteyksissä käytetty hearable-termiä [PCAST, 2015]. Tässä tutkielmassa huonokuuloisten kuulokojeet ja henkilökohtaiset äänenvahvistimet on kuitenkin erotettu älykuulokkeista.

Jaottelen älykuulokkeet niiden sisältämien toimintojen perusteella neljään eri luokkaan. Kuulokkeet ovat pääsääntöisesti joko keskittyneet ympäristön äänen käsittelyyn, terveyteen liittyvien tietojen mittaukseen tai ääniavustustoimintoihin. Esiteltävät älykuulokkeet on jaoteltu kategorioihin niiden pääasiallisen toimintatarkoituksen perusteella. Joidenkin kuulokkeiden kohdalla toimintoja voi olla useampaan kategoriaan, mutta kuulokkeita on markkinoitu pääasiallisesti jollakin siihen liitetyn kategorian toiminnolla. Muutamien kuulokemallien kohdalla tiukka kategorijaottelu ei kuitenkaan ole toimiva ja ne onkin esitelty useita toimintoja yhdistelevinä hybridiälykuulokkeina.

Tutkielman ensimmäisessä luvussa esitellään tutkielman aihe ja siihen liittyvät uudet termit. Toiseen lukuun on kerätty tietoa korvasta, kuuloaistista ja huonokuuloisuudesta. Kolmannessa luvussa esitellään markkinoiden uusimmat kuuloapuvälineet ja tutkimustietoa uusista kuulolaitteisiin liittyvistä innovaatioista. Lisäksi kolmannessa luvussa on johdatus älykuulokkeisiin ja esimerkkejä käyttäen esitellään, kuinka älykuulokkeet voidaan jakaa erilaisiin luokkiin. Tutkielman neljänteen lukuun on kerätty puolestaan tietoa langattoman teknologian tämän hetken tilanteesta ja lähitulevaisuuden mahdollisuuksista älykuulokkeisiin ja kuulokojeisiin liittyen. Tutkielman pohdintaluvussa esitellään viimeaikaista keskustelua kuulokojemarkkinoihin liittyen ja lopussa on yhteenveto, johon on koottu tutkielman keskeisimmät havainnot.

## 2. Kuuloaisti ja huonokuuloisuus

Äänellä tarkoitetaan fysikaalisesti painemuutoksista johtuvaa aaltomaista värähtelyliikettä, joka voi edetä ilman lisäksi kiinteissä ja nestemäisissä väliaineissa [Krokstad and Laukli, 2008, 11]. Äänellä on kolme fysikaalista perusominaisuutta: taajuus, voimakkuus ja ajalliset piirteet [Jauhiainen, 2007, 16].

Kuuloaistin avulla ihmiset pystyvät aistimaan ääntä ja kommunikoimaan puhutulla kielellä [Sorri *et al.*, 2008, 318]. Puhuttu kieli on puolestaan tärkeä väline ihmisen ajattelussa, oppimisessa ja ilmaisussa [Huttunen *et al.*, 2008, 45]. Kuuloaistin eri toiminnot kehittyvät pääosin murrosikään asti, vaikka uusien äänihahmojen oppiminen on mahdollista myöhemmälläkin iällä [Huttunen *et al.*, 2008, 46].

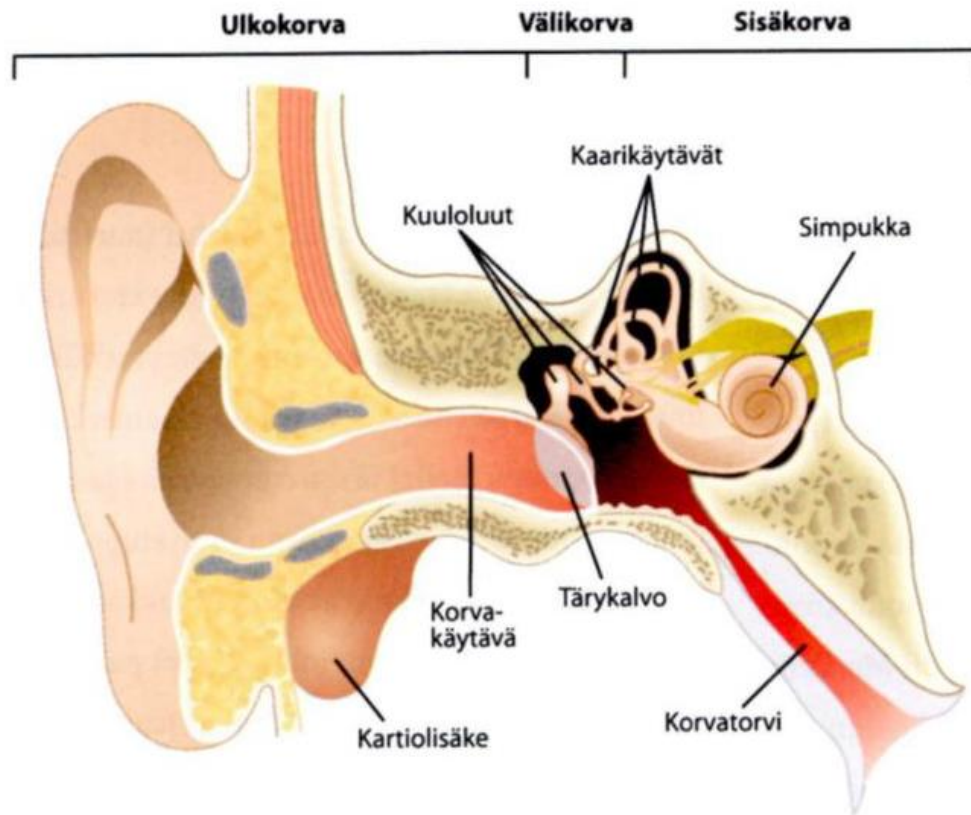
Huonokuuloiset eroavat toisistaan iältään, kuulovian vaikeusasteeltaan ja kuulovian syntyhistorialtaan [Ahti, 2010, 138]. Kuuloapuvälineiden tarkoituksena on hyödyntää jäljellä olevaa kuulokykyä ja tärkein apuväline siihen on kuulokoje [Andersson *et al.*, 2010, 220].

Kuulonalenemaa mitataan yleensä kuulokäyrän eli audiogrammin avulla. Audiogrammilla tarkoitetaan graafisesti esitettyä tulosta kuulokynnysmittauksesta [Jauhiainen, 2007, 92]. Siihen merkitään molempien korvien kuulokynnysarvot eri taajuisilla äänillä [Jauhiainen, 2007, 32]. Kaavion pystyakselilla on äänen voimakkuus desibeleinä ja vaak akselilla äänen taajuus hertseinä. Kuulokynnyksellä tarkoitetaan heikointa äänitason, joka on juuri kuultavissa tietyn taajuisella ja tyyppisellä äänellä [Arlinger, 2008, 34].

### 2.1. Kuulon toiminta

Korva rakentuu ulkokorvasta, välikorvasta ja sisäkorvasta (Kuva 1). Ulkokorvan osia ovat korvalehti ja korvakäytävä. Aikuisen korvakäytävä on pituudeltaan noin 3,5 senttimetriä ja halkaisijaltaan noin 0,9 senttiä pystysuunnassa ja noin 0,7 senttiä vaakasuunnassa [Vasama, 2011a, 15]. Korvakäytävän ja välikorvan erottaa toisistaan tärykalvo, joka on kiinnittynyt kuuloluuketjun vasaraan [Vasama, 2011b, 16]. Kuuloluuketjun muita osia ovat alasin ja jalustin [Vasama, 2011c, 18]. Jalustimen tehtävänä on välittää vasaran ja alasin värähtely soikean ikkunan kautta sisäkorvaan [Vasama, 2011c, 18]. Jalustimen värähtelyt aiheuttavat sisäkorvassa olevissa nesteissä aaltoliikkeen, joka etenee simpukan läpi pyöreään ikkunaan [Vasama, 2011c, 18].

Sisäkorvan simpukan keskikäytävässä on Cortin elimeksi kutsuttu kuuloelin, jossa sijaitsevia aistinsoluja kutsutaan karvasoluiksi [Berggren *et al.*, 2008, 76]. Molempien korvien kuuloelimissä on noin 3500 sisempää ja 15 000 ulompaa karvasolua [Berggren *et al.*, 2008, 78]. Karvasolut muuttavat värähtelyn biosähköiseen muotoon siten, että äänitieto pääsee kulkeutumaan kuulohermoa pitkin aivojen kuulojärjestelmän eri osiin [Jauhiainen, 2007, 26].



Kuva 1. Korvan rakenne [Vasama, 2011a, 16].

Korva, kuulohermo ja kuuloaivokuori ovat rakenteellisesti jo valmiita, kun lapsi syntyy [Löppönen, 2011, 72]. Sen jälkeen alkaa useita vuosia kestävä kypsyminen, jonka aikana lapsi oppii havaitsemaan, tunnistamaan, erottamaan ja ymmärtämään erilaisia ääniä [Löppönen, 2011, 72]. Äänen paikantaminen edellyttää, että molemmat korvat käsittelevät binauraalisesti äänitiedon yhtä aikaa [Berggren *et al.*, 2008, 88]. Äänet koetaan yhtenä ja samana, kun korviin tulevat äänet ovat riittävät samankaltaiset.

Äänen taajuudella tarkoitetaan paineaaltojen lukumäärää sekunnissa [Krokstad and Laukli, 2008, 12]. Nuoren normaalikuuloisen henkilön kuuloherkkyyden taajuusalue on n. 20 hertsin ja 20 000 hertsin välillä [Jauhiainen, 2007, 22]. Puheen äänet ovat 100–8000 hertsin alueella. Herkimmillään ihmisen kuulojärjestelmä on 500–4000 hertsin taajuusalueella [Arlinger *et al.*, 2008, 116].



## 2.2. Huonokuuloisuuden yleisyys

Lääketieteellisesti termillä huonokuuloinen tarkoitetaan henkilöä, joka ei kuule hyvin ja henkilön kuulovammaan kiinnitetään huomiota [Widberg-Palo and Seikola, 2012, 27]. Huonokuuloisista käytetään myös termejä kuulovammainen ja kuulovikainen. Suomessa Kuurojen Liiton kielipoliittisessa ohjelmassa kerrotaan vammaa korostavien termien olevan ongelmallisia, sillä esimerkiksi kuurot eivät välttämättä koe olevansa omassa yhteisössään vammaisia [Kuurojen Liitto ry, 2010].

Arviot huonokuuloisten lukumäärästä vaihtelevat lähteestä riippuen, sillä kuulovamaisuutta määritellään eri tavoin. Maailman terveysjärjestön (World Health Organization, WHO) vuonna 2015 päivittämien tietojen mukaan maailmassa on 360 miljoona ihmistä, joilla on niin kutsuttu haittaava kuulovika (disabling hearing loss) [WHOa, 2015]. WHO:n määritelmään lukeutuvat aikuiset, joiden kuulo on paremmalla korvalla enintään 40 desibelin äänenpainetasolla ja lapset, joiden kuulo on paremmalla korvalla enintään 30 desibelin tasolla.

Kuulovammalla on useita vaikeusasteita ja tavat määritellä vaikeusasteet vaihtelevat organisaatioiden välillä. EU:n työryhmä esitti vuonna 1996 vaikeusasteluokitusta, jossa kuulonaleneman eri asteita ovat lievä, keskivaikea, vaikea ja erittäin vaikea [Sorri *et al.*, 2008, 319]. Luokittelu perustuu paremman korvan puhealueen kuulokynnysten keskiarvoon (better ear hearing level, BEHL) [Johansson, 2011, 32]. EU:n työryhmän luokitus perustuu 0,5-4 kilohertsin kuulokynnysten keskiarvoon ja toinen, WHO:n vuonna 1991 määrittelemä luokitus 0,5-2 kilohertsin kynnysten keskiarvoon [Sorri *et al.*, 2008, 319]. Suomessa on käytössä EU:n työryhmässä tehty luokittelu [Johansson, 2011, 32]. Luokitukset eroavat toisistaan taajuuskynnyksien lisäksi vaikeusasteiden kuulokynnystasoiltaan (Taulukko 1).

	Kuulokynnys/EU	Kuulokynnys/WHO
Lievä	21–39 dB	26–40 dB
Keskivaikea	40–69 dB	41–60 dB
Vaikea	70–94 dB	61–80 dB
Erittäin vaikea	95 dB tai enemmän	81 dB tai enemmän

Taulukko 1. Kaksi erilaista kuulovikojen vaikeusasteluokitusta.

Kuuloliitto [2016a] arvioi erilaisia kuulovikoja olevan noin 750 000 suomalaisella. Liiton mukaan 300 000 suomalaista hyötyisi kuulokojeen käytöstä, mutta säännöllisiä käyttäjiä on kuitenkin vain noin 70 000. Kaikkiaan kuulokojeen on saanut arviolta

100 000–200 000 suomalaista. Huonokuuloisten määrä on Kuuloliiton mukaan Suomessa kasvussa, koska väestö ikääntyy ja meluvammat ovat yleisiä.

Jauhiaisien [2007] mukaan huonokuuloisuutta aiheuttavat muun muassa erilaiset sairaudet ja iän tuomat muutokset. Ensimmäiset iän tuomat muutokset alkavat jo murrosiässä, kun sisäkorvan aistinsolut alkavat rappeutua. Muutokset voimistuvat iän myötä ja aiheuttavat kuuloherkkyyden alenemista erityisesti korkeissa äänissä. Kuulo voi vaurioitua myös esimerkiksi meluvaurion, otoskleroosisairauden, Ménièreen sairauden ja tapaturmien seurauksena.

Kuulovika on Löppösen [2011] mukaan vastasyntyneiden tavallisin synnynnäinen poikkeavuus. Varhaislapsuuden kuulovika voi vaikeuttaa lapsen kehitystä useilla eri osa-alueilla, kuten puheen ja kielen kehittymistä sekä emotionaalista ja sosiaalista kypsymistä. Kuulovikojen esiintyvyys on Suomessa samaa luokkaa kuin muissa läntisen Euroopan maissa, eivätkä luvut ole juuri muuttuneet viimeksi kuluneiden 30 vuoden aikana. Synnynnäistä kuulovikaa esiintyy useista tutkimuksista koottujen tietojen perusteella noin yhdestä kahteen lapsella 1000 lasta kohden [Morton and Nance, 2006]. Häkli ja muut [2014] tutkivat suomalaisten lasten kuulovikojen yleisyyttä ja etiologiaa. Tutkimustietoa kerättiin 213 lapsesta, joilla oli todettu vähintään lievä kuulovika. Tutkijat havaitsivat kuulovian yleisyydeksi 2,3 lasta 1000 lasta kohden ja etiologiaksi 47,2 prosenttia perinnöllisiä, 16,4 prosenttia hankittuja ja 36,4 prosenttia tuntemattomia. Häklin ja muiden [2014] saamat tulokset olivat linjassa aiempiin suomalaisiin tutkimuksiin nähden.

Kuulovika on ikääntyneiden yleisin aistivamma ja sen vallitsevuus kasvaa selvästi 55 ikävuodesta lähtien [Mäki-Torkko, 2011, 76]. Ikääntymisestä johtuvasta kuuloviasta käytetään termiä ikäkuulo (age-related hearing impairment, ARHI). Ikäkuulo on yleensä seurausta muutoksista sisäkorvassa ja sentraalisessa kuulojärjestelmässä. Sille ovat tyyppillisiä suuret yksilölliset erot etenemisnopeudessa, ilmenemisen iässä ja vaikeusasteessa [Mäki-Torkko, 2011, 78]. Huonokuuloisuus on Suomessa lähitulevaisuudessa lisääntyvä aistivamma, sillä ikääntyvien määrän odotetaan kasvavan nopeasti. Vuonna 2010 iältään yli 65-vuotiaita oli vähän yli 940 000 ja luvun odotetaan kasvavan yli 1,5 miljoonan 2030-luvun aikana [Tilastokeskus, 2015].

Rothin ja muiden [2011] tekemän meta-analyysin perusteella vähintään 30 desibelin kuulonalenema on noin 30 prosentilla miesväestöstä ja noin 20 prosentilla naisväestöstä 70 ikävuoteen mennessä. 80 ikävuoteen mennessä vastaava kuulonalenema on jo 55 prosentilla miehistä ja 45 prosentilla naisista. Katsauksen pohjana oli käytetty kaikkiaan 19 eri tutkimusta. Tuloksia ei voida pitää täysin varmoina eri tutkimusten heterogeenisten mittaustapojen takia, mutta saadut tiedot ovat varmastikin suuntaa antavia.

Melusta on tullut kasvava terveysriski. Savolaisen [2011] mukaan melulla tarkoitetaan terveydelle haitallista ääntä. Suomessa lähes 20 prosentilla palvelukseen astuvista

varusmiehistä on todettu meluvamma ja miesten ammattitaudeista lähes puolet on meluvammoja. Melu eroaa hälystä, sillä audiologiassa hälyllä tarkoitetaan häiritsevää ääntä, joka vaikeuttaa puheen vastaanottamista. Kovasta äänestä aiheutuneesta meluvammasta seuraa sensorineuraalinen kuulovamma.

WHO:n [2015b] arvion mukaan jopa 1,1 miljardia teini-ikäistä ja nuorta aikuista ovat vaarassa menettää kuuloaan ympäristön kovien äänien, kuten yökerhojen ja urheilutapahtumien sekä älypuhelin kaltaisten henkilökohtaisten apuvälineiden takia. Kerätyn tiedon mukaan lähes puolet 12–35 vuotiaista ihmisistä altistuu henkilökohtaisista äänilaitteista lähtevälle liian kovalle äänelle ja lähes 40 prosenttia altistuu mahdollisesti kuuloa vahingoittavalle äänentasolle viihdetapahtumissa. Mahdollisesti vahingoittavana äänentasona pidetään esimerkiksi altistumista 85 desibelin äänelle kahdeksan tunnin ajan tai 100 desibelin äänelle 15 minuutin ajan.

### **2.3. Huonokuuloisuuden vaikutukset**

Kuulovauriosta johtuvasta huonokuuloisuudesta voi koitua haittaa useissa erilaisissa tilanteissa ja ympäristöissä. Jauhaisen [2007] mukaan haitta voi näkyä toimintakyvyssä kodissa sekä kodin ulkopuolella, opiskelussa, työtilanteissa, sosiaalisissa kontakteissa, harrastuksissa ja kulttuuripalveluiden käytössä. Yksilölliset erot ovat kuitenkin suuria ja huonokuuloisuuden kokemiseen vaikuttavat muun muassa persoonallisuus, ammatti, kulttuuritausta, koulutus ja asuinpaikka.

Kuulokojeiden käytön asenteista on tehty jonkin verran tutkimusta. Uriarte ja muut [2005] tutkivat kattavalla yli 1000 henkilöä käsittäneellä populaatiolla, kuinka tyytyväisiä käyttäjät ovat kuulokojeisiinsa. Tutkimuksessa havaittiin merkittävä yhteys aiemalla kokemuksella kuulokojeiden käytöstä siihen, kuinka tyytyväisiä henkilöt olivat laitteisiin. Sen sijaan esimerkiksi iällä tai sukupuolella ei havaittu olevan merkitystä kuulokojeiden käytön tyytyväisyyteen. Käsitystä siitä, että iällä ei ole merkitystä, vahvistaa Knudsenin ja muiden [2010] tekemä meta-analyysi, jossa ikä-muuttujan ei yhteensä kymmenessä tutkimuksessa havaittu vaikuttavan kuulokojeiden käyttöön.

Vaikka huonokuuloiselle annettaisiin kuulokoje ja neuvontaa sen käytöstä, jäävät laitteet usein käyttämättömiksi. McCormack ja Fortnum [2013] keräsivät tutkimustietoa siitä, miksi ilmiö on yleinen. Hakuheitojen perusteella he löysivät kymmenen eri tutkimusta, joista yksi oli tehty Iso-Britanniassa, kolme Yhdysvalloissa, kaksi Australiassa, kaksi Suomessa, yksi Ruotsissa ja yksi Sveitsissä. Tutkimusten populaatiot vaihtelivat 76 henkilöstä 8707 henkilöön. Tutkimusten perusteella suurin syy sille, miksi kuulokojeet jäävät käyttämättömiksi liittyy joko laitteiden käytön epämukavuuteen tai tietämättömyyteen, kuinka laitteet asetetaan korvaan oikein. Muiksi käyttämättömyyteen liittyneiksi

syiksi annettiin muun muassa toimimattomuus meluisassa ympäristössä, huono äänenlaatu, sopimattomuus omaan kuulovikaan, kutina, käyttöön liittyvä epämukavuus ja tarve apuun kojetta asetettaessa sekä pois otettaessa. Lisäksi kuulokojeiden käyttäjät ovat tavallisesti iäkkäitä, minkä vuoksi kojeiden suhteellinen pienuus sekä paristojen vaihto ja säätäminen voivat asettaa haasteita.

Vuorialhon ja muiden [2006] tekemän tutkimuksen perusteella kuulokojeiden hyväksymistä voidaan lisätä asianmukaisella neuvonnalla. Tutkimus oli mukana McCormackin ja Fortnumin [2013] keräämässä aineistossa ja korosti erityisesti ensimmäisen kuulokojesovituksen jälkeisen neuvonnan olevan kannattavaa. Knudsenin ja muiden [2010] tutkimuksessa negatiiviset asenteet voidaan yhdistää henkilöihin, jotka käyttävät kojeita vain satunnaisesti tai eivät ollenkaan. Sen sijaan säännöllisesti kuulokojeita käyttävät henkilöt ovat asenteeltaan positiivisempia. Kuulokojetta hankkivalle erityisesti kojeiden huomaamattomuus on havaittu tärkeäksi seikaksi negatiivisten mielikuvien välttämiseksi [Kochkin, 2012].

Huonokuuloisten kokemat korostuneet väsymyksen ja ponnettomuuden tunteet johtuvat yleisen käsityksen mukaan kognitiivisesta kuormasta, joka aiheutuu kuulovian takia pinnistetyistä kuulosta [Bess and Hornsby, 2014]. Hornsby ja Kipp [2016] tutkivat huonokuuloisten subjektiivisia kokemuksia väsymyksestä ja ponnekkuudesta. Tutkimuksen tulosten mukaan huonokuuloisilla, jotka hakevat apua kuulovaikeuksiin, on korostunut riski kokea väsymystä. Aiempien tutkimuksen perusteella huonokuuloisten korostunut riski ponnettomuuteen ja väsymykseen voi johtua vaikeuksista auditoristen signaalien käsittelyssä kuulovammaan liittyen. Kuulovamman vaikeusasteen ja väsymyksen määrän välillä ei kuitenkaan yllättäen havaittu yhteyttä.

Kuulo-ongelmia voi kokea myös, vaikkei niitä objektiivisesti katsoen olisikaan. Tremblayn ja muiden [2015] mukaan klinikot kohtaavat työssään ihmisiä, jotka kuvailevat kokevansa kuulemisvaikeuksia, vaikka heidän kuulokäyränsä ovat normaalin kuulon rajoissa. Normaalikuuloiset voivat kokea kuulevansa huonosti erityisesti, jos ympärillä on useampia puhujia tai kilpailevaa ääntä. Ilmiötä tutkittiin kaikkiaan 2783 henkilöä käsittäneellä populaatiolla, joista 686 henkilöllä oli normaaliksi luokiteltu kuulokäyrä. Tutkimuksessa havaittiin, että osalla väestöstä on kuulemisvaikeuksia, vaikka kuulokäyrä olisi normaalin rajoissa. Normaalikuuloisiksi luokitelluista henkilöistä 82 eli 12 prosenttia koki kuulemisvaikeuksia. Osanottajien ikä vaihteli 21 ikävuodesta 84 ikävuoteen. Kuulemisvaikeuksia kokeneiden keski-ikä (42,1 vuotta) ei tutkimuksessa poikennut juurikaan niistä, jotka eivät kokeneet kuulemisvaikeuksia (42,5 vuotta). Kuulemisvaikeuksiin yhdistettiin kyselyjen perusteella alhaiset tulot, korostunut altistuminen melulle, korkeampi todennäköisyys masennukselle ja alentunut näkökyky.

### 3. Älykuulokkeet ja kuulolaitteet

Louekari ja Tuominen [2010] ovat työssään havainneet, että kuulokojeiden kulloinenkin kehitystilanne vaikuttaa merkittävästi kuulonkuntoutuksen käytäntöihin. Vuonna 2010 kuulokojeiden oli havaittu kehittyneen huomattavasti edeltävän vuosikymmenen aikana. Käyttöön tulleita digitaalisia kojeita voitiin säätää yksilöllisesti kuulokynnyksen mukaan vahvistamalla esimerkiksi ainoastaan suuria taajuuksia. 1990-luvun loppupuolella sisäkorvaistuteteknologian kehitys alkoi puolestaan vaikuttaa perustavanlaatuisesti kuurona syntyneiden lasten ja kuuroutuneiden aikuisten elämään. Tulevaisuudessa tekniikan, lääketieteen ja geenitekniikan odotetaan vaikuttavan merkittävästi kuntoutuskäytäntöihin.

Tutkielmassani on esitelty kuulokojeiden ja sisäkorvaistutteen kehitysaste vuoden 2016 ensimmäisellä puoliskolla. Laitemarkkinoilla on isoja valmistajia vain niukasti, joten esittely onnistuu tekemällä selvitys kaikkien isojen valmistajien viimeisintä tekniikkaa edustavista huippumalleista. Samalla havainnollistuu myös, kuinka kuulokojemarkkinat ovat rakentuneet suurten toimijoiden ympärille. Ennen varsinaista selvitystä käyn läpi yleisemmällä tasolla viimeaikaisia innovaatioita ja niihin liittyvää tutkimusta.

Kuulokojeista ja sisäkorvaistutteen tehtyä selvitystä seuraa normaalikuuloisille suunnattujen älykkäiden kuulokkeiden esittely. Älykuulokkeisiin johdatuksena toimii viimeisten vajaan kymmenen vuoden aikana tehty tutkimus korvaan asetettavista antureista ja langattoman teknologian kehityksestä.

#### 3.1. Huonokuuloisten kuulokojeet

Eri tason kuulovioille on olemassa valikoima erilaisia kuulokojeita. Kuulokojeet ja älykuulokkeet eroavat siinä, että kuulokojeiden pääasiallinen tehtävä on tarjota apu käyttäjän kuulovialle. Yleisimpiä kuulokojemalleja ovat tavallinen korvantaustakoje (Behind-The-Ear, BTE), kuuloke korvassa -korvantaustakoje (Receiver-In-Ear, RIE), tavallinen korvakäytäväkoje (In-The-Ear, ITE) ja kokonaan korvakäytävässä -koje (Completely-In-Canal, CIC). Tavalliset korvantaustakojeet sopivat yleensä kaikille kuulonaleneman tyypeille, kun taas kuuloke korvassa -kuulokojeet ja tavalliset korvakäytäväkojeet soveltuvat yleensä lievään tai keskivaikeaan kuulonalenemaan. Usein modernit kuulokojeet tulevat myyntiin kuulokojeperheinä, mikä tarkoittaa, että kuulokojeesta on olemassa useita kuulokojetyyppejä. Myös kojeiden ominaisuudet ja hinnat voivat vaihdella kuulokojeperheen sisällä.

Nykyisin kuulovika voidaan todeta jo varhain ja sen kuntoutus aloittaa vauvaiässä. Luotosen [2011] mukaan Suomessa jo 1–2 kuukauden ikäisille lapsille voidaan sovittaa kuulokojeita. Vastasyntyneiden nykyaikaiset kuulonseulontamenetelmät ovat yleistyneet 2000-luvun alusta lähtien ja tavoite on todeta keskivaikeat sekä vaikeat kuuloviat neljän kuukauden ikään mennessä. Jos vahvimmatkaan kuulokojeet eivät tarjoa tarpeeksi apua,

on mahdollista hankkia sisäkorvaistute, joka tarjoaa lähes aina riittävät edellytykset puhekielen kehittymiseksi.

Äänen spektraalinen ja ajallinen rakenne vaikuttavat kuulokojeen vahvistusominaisuuksiin. Kuulokojeen mukautuvuus tulevaan ääneen on tehokkainta monikanavaisissa ja taajuuskohtaisesti vahvistusominaisuuksia sisältävissä kuulokojeissa. Salosen ja muiden [2011] kokoamien tietojen mukaan kuulokojeet kykenivät vuosikymmenen alussa jo muuttamaan itsenäisesti säätöparametreja ympäristön vaatimusten mukaisesti. Kuulokojeiden säädettävissä olevia toimintoja olivat tuolloin tavallisesti suuntamikrofoni, hälyn vaimennus, puheen selkeyttäminen, vinkumisen esto, tuulesta aiheutuvan kohinan vähentäminen ja musiikin kuunteluun sekä vaihteleviin ääniympäristöihin sopeutuminen.

Digitaalisissa kuulokojeissa ulkoinen ääni kulkeutuu kojeen mikrofonista AD-muuntimelle, josta signaali etenee vahvistimelle [Sorri, 2011, 104]. Vahvistimella signaalia käsitellään kuulokojeen ominaisuuksien mukaan. Signaali etenee vahvistimelta DA-muuntimelle, joka palauttaa käsitellyn signaalin kuulokkeen ymmärtämään analogiseen muotoon. Kuuloke välittää lopuksi vahvistetun ja käsitellyn signaalin korvaan. Vuonna 2015 modernit kuulokojeet ovat digitaalisia ja sisältävät tavallisesti useita kanavia, suuntamikrofonin ja hälynvaimennusalgoritmeja [Cox *et al.*, 2016]. Korkean luokan kuulokojeissa on vielä monimutkaisemmat, automaattisemmat ja adaptiivisemmat versiot samoista toiminnoista.

Cox ja muut [2014] tutkivat, tuovatko korkealuokkaiset kuulokojeet lisäarvoa ikäihmisillä puheenymmärtämiseen ja elämänlaatuun verrattuna perustason kuulokojeisiin. Tutkimushenkilöiden keski-ikä oli hieman yli 70 vuotta ja kuulovikojen aste vaihteli lievästä keskivaikeaan. Tutkimuksessa käytettiin vuonna 2011 julkaistuja kuulokojeita kahdelta eri valmistajalta siten, että molemmilta oli mukana sekä korkealuokkainen että perustason kuulokoe. Kuulokojeiden merkkejä ei kerrottu, mutta ne olivat peräisin alan kuuden suurimman valmistajan joukosta. Verrattuna perustason kuulokojeisiin, korkealuokkaisista kojeista löytyi muun muassa enemmän kanavia, monikanavainen suuntamikrofoni ja korvalehden vaikutusta simuloiva digitaalinen korvalehti -ominaisuus. Tutkimukseen osallistui kaikkiaan 25 henkilöä. Mukana oli sekä kokeneita kuulokojeenkäyttäjiä että ensimmäistä kertaa kuulokojeita käyttäviä. Osallistujat testasivat kaikkia kuulokojeita kuukauden kerrallaan ja heidän kuulokykyään ja -kokemuksiaan arvioitiin kyselyjen, päiväkirjan ja laboratorio-olosuhteissa suoritettujen puheentunnistustestien avulla. Tulosten perusteella pääteltiin, että kuulokojeiden käyttö on hyödyllistä ja elämänlaatua parantavaa, mutta ei voida olettaa, että teknologisesti kehittyneemmät, korkealuokkaiset kuulokojeet tarjoaisivat enemmän hyötyä arkielämässä kuin perustason kuulokojeet.

Cox ja muut [2016] jatkoivat tutkimusta ja artikkeli tutkimuksesta julkaistaan vuonna 2016. Tutkimuksessa oli mukana aiemman tutkimuksen 25 henkilön lisäksi 20

uutta henkilöä siten, että kokonaispopulaatio oli 45 henkilöä. Tutkimuksessa käytettiin samoja vuonna 2011 julkaistuja korvantausmallisia kuulokojepareja kuin aiemmassa tutkimuksessa. Kuulokojepareista kaksi edustivat korkean luokan ja kaksi perusluokan kuulokojeita. Kojet otettiin yksilöllisesti käyttöön kuulokojevalmistajan asiantuntijan läsnäollessa ja alan käytäntöjä noudattaen. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt käyttivät kaikkia neljää kuulokojeitaria kuukauden kerrallaan. Aiemman tutkimuksen tapaan tulokset viittasivat vahvasti kuulokojeiden käytön parantavan elämänlaatua, mutta ei pystytty osoittamaan, että korkealuokkaiset kuulokojeet tarjoaisivat enemmän parannusta elämäntilaan kuin perustason kuulokojeet. Vaikka tulokset olivat selviä, lisätutkimukset käyttämällä erilaisia kuulokojeita eri tuotemerkeiltä olisivat tarpeellisia.

McCormackin ja Fortnumin [2013] tutkimusaineisto listasi häiritsevän taustahälyny yleiseksi syyksi olla käyttämättä kuulokojeita. Gygi ja Ann Hall [2016] keräsivät yhteen tutkimustietoa aiheesta. Kaikkiaan 75 tutkimuksesta löydetty havainnot koostettiin viiteen eri teemaan, joista kuulokojeiden teknologia oli yksi laajimmista. Kuulokojeiden teknologiaan keskittyneiden tutkimusten perusteella laitteiden uudet innovaatiot parantavat yleensä kuulemiskykyä hälyssä. Erityisen hyviä tuloksia saatiin kuitenkin kontrolloidussa ympäristössä, kun taas luonnollisessa ympäristössä ominaisuuksien toiminta vaihtelee yksilöiden välillä. Aineiston perusteella noin kolmasosa kuulokojeen käyttäjistä on taustahälyssä tyytymättömiä joihinkin kuulokojeen ominaisuuksiin.

Äänen suunnan paikantaminen on kuulokojeille haasteellista. Korvantauskuulokojeissa ääntä vastaanottava yksittäinen mikrofoni sijaitsee usein korvolehden takana ja poimii ääniä herkemmin takaviistosta. Sivonen [2011] havaitsi korvolehden tuoman hyödyn, kun mikrofoni oli sijoitettu korvakäytävän sisäänkäynnille. Tutkimuksessa vertailtiin korvakäytävään ja korvolehden taakse sijoitettujen mikrofoni eroja keinotekoisista päätä hyväksi käyttäen. Sivonen havaitsi merkittävää hyötyä suunnan havaitsemisessa yli 1,0 kilohertsin taajuuksilla, kun mikrofoni oli sijoitettu korvakäytävän sisäänkäynnille. Xun ja Hanin [2014] tekemän meta-analyysin mukaan korvolehden luonnollinen suuntaavuus vähenee korvantauskojeita käytettäessä, mutta korvantauskuulokojeiden määrä on silti kasvussa. Tällä hetkellä tavallinen tapa kompensoida korvolehden tuomia hyötyjä on käyttää monikanavaista suuntamikrofonia BTE-tyypin digitaalisissa kuulokojeissa. Useat kuulokojevalmistajat hyödynsivät vuonna 2014 jo lähes 10 vuotta olemassa ollutta teknologiaa, mutta markkinoivat sitä eri tavoin. Esimerkkejä suuntamikrofonitoiminnoista ovat ReSound split-band directionality, Phonak Real Ear Sound, Siemens TruEar ja Widex Digital Pinna. Xu ja Han [2014] havaitsivat neljästä eri tutkimuksesta tekemänsä yhteenvedon pohjalta, että korvolehden luonnollista suuntaavuutta mallintavat teknologiat (pinna-cue preserving technologies) voivat parantaa edestä ja takaa tulevien äänien

suunnan havaitsemista erityisesti laboratorio-olosuhteissa. Laboratorio-olosuhteiden ulkopuolella hyötyjä ei kuitenkaan havaittu ja arkielämässä vain yksittäiset testeihin osallistuneet henkilöt raportoivat hyötyvänsä teknologiasta.

Joistakin kuulokojeista löytyy niin kutsuttu taajuussiirto-ominaisuus, jonka avulla korkeampien taajuuksien ääniä voidaan siirtää matalammille taajuuksille. Taajuussiirron päätarkoituksena on kasvattaa yksilöllisesti puheen ymmärtämistä [Kirchberger and Russo, 2016]. Kuulokojevalmistajat ovat toteuttaneet taajuussiirron esimerkiksi taajuuksien transponoinnilla (frequency transposition) tai epälineaarilla taajuussiirrolla (non-linear frequency compression). Kirchbergerin ja Russon mukaan [2016] taajuuksien alentaminen on kuulokojevalmistajasta riippuen joko kiinteä tai saapuvaan kuuloinformaatioon sopeutuva, kun kuulokoje tunnistaa saapuvassa äänessä relevantit piirteet. Vuonna 2014 ominaisuutta tarjosivat jossain muodossa Widex, Starkey, Bernafon, Siemens ja Sonovo-ryhmän valmistajat [Huber *et al.*, 2014].

Kuulokojeiden yhdistämisessä älylaitteisiin on otettu kehitysaskelia aivan muutama viime vuoden aikana. Yhdysvaltalainen teknologiayritys Apple kertoi ensimmäisen kerran MFi-ohjelmasta (Made for iPhone) vuonna 2012 WWDC-kehittäjätapauhtumassa (Worldwide Developers Conference). Apple käynnisti MFi-ohjelman, jotta digitaaliset kuulokojeet voitaisiin yhdistää Applen iOS-käyttöjärjestelmällä varustettuihin laitteisiin [Apple, 2016]. Kun kuulokoje on MFi:n avulla yhdistetty esimerkiksi älypuhelimien, on älypuhelimesta mahdollista säätää muun muassa kuulokojeiden äänenvoimakkuutta ja vaihtaa kuunteluympäristöön sopiva kuulo-ohjelma. Live Listen -ominaisuuden avulla on lisäksi mahdollista kuulla keskustelua paremmin hälyssä. Ominaisuus käyttää laitteen mikrofonian eli iOS-laite on silloin sijoitettava lähelle puhujaa. Virallisesti ensimmäinen MFi-tuettu kuulokoje esiteltiin lokakuussa 2013, kun GN ReSound julkisti ReSound LiNX -kuulokojeen [GN ReSound, 2013]. Tällä hetkellä ominaisuutta tukee noin 15 eri kuulokojetta kahdeksalta eri tuotemerkiltä [Apple, 2016]. MFi-ohjelman myötä kuulokojeita on alettu yhdistellä erilaisiin älylaitteisiin, kuten älypuhelimiin, tabletteihin ja älykelloihin.

### **3.1.1. Suurimmat kuulokojevalmistajat ja kehittyneimmät kuulokojeet**

Tähän kappaleeseen on kerätty tuoretta tietoa tämän hetken isoimmista kuulokojevalmistajista ja viimeisimmistä kuulokojejulkistuksista. Esittelyssä on painotettu erityisesti kuulokojeiden langattomia ominaisuuksia ja uusia innovaatiota. Sen sijaan selvityksen ulkopuolelle jäävät pääosin äänen prosessointiin ja äänen vahvistamiseen liittyvät tekniset ominaisuudet.



Cox ja muut [2014] arvioivat kuulokojevalmistajien julkaisevan uusia kuulokojemalleja keskimäärin noin 18 kuukauden välein. Sukupolvenvaihdon aikana korkealuokkaisten kuulokojeiden erityisominaisuudet muuttuvat perustason kuulokojeiden ominaisuuksiksi ja yleensä uusia huippukuulokojeita markkinoidaan muutamalla uudella erityisominaisuudella.

Kuulokojemarkkinoita on pitkään hallinnut kuusi isoa yritystä. Tutkimusyhtiö Bernsteinin mukaan vuonna 2012 GN Store Nord, Starkey Hearing Technologies, Sonova, William Demant, Siemens, ja Widex pitivät yhdessä hallussaan maailmanlaajuisesti 98 prosentin markkinaosuutta [Kirkwood, 2013]. Vuonna 2015 Siemensin kuulokojetoiminnot myytiin ja nimeksi vaihdettiin Sivantos [Sivantos, 2015]. Tällä hetkellä kuuteen isoimpaan yritykseen lukeutuvat siis GN Store Nord, Starkey Hearing Technologies, Sonova, William Demant, Sivantos ja Widex.

Vuonna 1985 perustettu EHIMA (The European Hearing Instrument Manufacturers Association) edustaa kuutta suurinta eurooppalaista kuulokojevalmistajaa [EHIMA, 2015]. EHIMA arvioi jäsentensä osuuden olevan enintään 90 prosenttia Euroopassa valmistetuista kuulokojeista. Sen jäseniä ovat GN ReSound, Starkey, Phonak, Oticon, Sivantos ja Widex. Oticon on William Demant -yhtiölle kuuluva tuotemerkki ja Phonak on Sonova-yhtiön tuotemerkki.

Tanskalainen GN ReSound esitteli LiNX-kuulokojeperheen vuonna 2013 [GN ReSound, 2013]. Kojessa oli Nordic nRF51822 -järjestelmäpiiri, joka mahdollisti langattoman Bluetooth Smart -teknologian hyödyntämisen [Nordic Semiconductor, 2014]. Järjestelmäpiirin ja Resound Smart -älypuhelinsovelluksen avulla on mahdollista esimerkiksi merkitä ja tallentaa kodin ja työpaikan kaltaisia paikkoja ja räätälöidä niille sopivat ääniympäristöt. Lisäksi sovelluksen avulla on mahdollista etsiä kadonnutta kuulokojetta ja säätää kuulokojeiden äänenvoimakkuutta, mykistystä sekä basson ja diskantin tasapainoa.

Vuoden 2015 maaliskuussa julkaistiin ReSound LiNX2- ja Beltone Legend -kuulokojeperheet [GN ReSound, 2015]. LiNX2 -kuulokojeiden uusia ominaisuuksia olivat edelliseen malliin verrattuna suuntakuuloa avustava Spatial Sense -teknologia, uudet vastaanottimet helpottamaan puheen ymmärtämistä ja neljä kertaa nopeammat MFi-yhteydet. Spatial Sensen kerrotaan perustuvan kojeiden väliseen kommunikointiin, jolloin käyttäjä pystyy paremmin tunnistamaan, mikä ääni kuuluu mistäkin suunnasta. Lisäksi ReSoundin älypuhelinsovellusta päivitettiin. Uudistuksen myötä käyttäjälle annettiin muun muassa mahdollisuus vastamelutasojen säätöön ja mikrofoniin suuntaavuuden säätöön.

Merkittäviin kuulokojebrändeihin lukeutuva yhdysvaltalainen Beltone on osa GN ReSound -yhtymää ja yhtiöiden kuulokojeet muistuttavat ominaisuuksiltaan läheisesti

toisiaan. Kuulokojeperheellä tarkoitetaan, että LiNX2-kuulokojeista on olemassa useampia eri tyyppisiä eri tason kuulovioille. Kuvassa 2 on havainnollistettu erilaisia kuulokojetyyppejä. Kuulokojeiden ominaisuudet vaihtelevat jonkin verran kuulokojetyyppien välillä. Esimerkiksi MFi-ohjelmaa tukevat RIE- ja BTE-mallien lisäksi kojeperheen ITC-, ITE- ja MIH-mallit. Tyyppien lisäksi kuulokojeet eroavat myös paristojen koossa, minkä takia kuvassa esiintyy useampia saman tyyppin kuulokojeita.



Kuva 2. ReSound LiNX2 -kuulokojeperhe. Kuulokojeiden tyypit ovat ylävirin vasemmalta reunalta luetteluna RIE, RIE, BTE, BTE ja vastaavasti alareunassa luetteluna IIC, CIC, ITC, ITE, ITE, MIH-S ja MIH. [ReSound, 2016]

Yhdysvaltalainen Starkey on ReSoundin LiNX -kuulokojeiden tapaan kehittänyt markkinoille omat Halo-kuulokojeensa, jotka ovat mukana Applen MFi-ohjelmassa. Starkey esitteli Halo 2 -kuulokojeen maaliskuussa 2016 [Starkey, 2016a]. Bluetooth-yhteyden avulla käyttäjä voi muun muassa suoratoistaa älypuhelimesta musiikkia ja vastata puheluihin. Lisäksi Applen Siri-ääniavustajan voi MFi-ominaisuuden avulla saada lukemaan tekstiviestejä ja sähköposteja kuulokojeen kautta. Starkey esitteli Halo 2 -julkaisun yhteydessä myös niin kutsutun Synergy-alustan, jonka kaksoiskompressoriteknologialla on mahdollista optimoida yhtä aikaa sekä puhetta että musiikkia niille osoitetuilla kompressoreilla.

Sveitsiläiseen Sonova-ryhmään kuuluvan Phonakin viimeisintä kuulokojeteknologiaa edustavat huhtikuussa 2016 esitellyt BTE-tyypin Naída V -kuulokojeet [Phonak, 2016a]. Kuulokojeen lisäksi Phonak esitteli Soundhawk2:n, joka on uusi versio tuotemerkin epälineaarinen taajuussiirto -ominaisuudesta. Naída V -kuulokojeet kuuluvat nimensä mukaisesti Phonakin lokakuussa 2014 esittelemän Venture-alustan kuulokojeisiin [Sonova, 2014]. Kuulokojetta myydään neljässä eri suorituskykyluokassa. Ennen Naída-mallia Venture-kuulokojeet on jo julkaistu Audéo-, Bolero- ja Virto-malleista. Naídan yhteydessä esiteltiin myös lapsille suunnatut Sky-mallin kuulokojeet [Phonak, 2016b]. Eri mallit eroavat toisistaan kuulokojetyypiltään ja äänenvahvistusteholtaan. Naída V on veden- ja pölynkestävä IP68-luokituksella, mikä tarkoittaa, että kuulokoje toimii hetken aikaa myös vedenpinnan alapuolella [Phonak, 2016c]. Kuulokoje on myös edeltäjänsä verrattuna 60 prosenttia kestävämpi ja 25 prosenttia ohuempi. Naída V -kuulokojeen voi Roger-vastaanottimen kautta yhdistää langattomasti Phonakin Roger-tuotteisiin, joihin lukeutuvat mikrofoniina toimiva Roger EasyPen -kynämikrofoni, Roger Table Mic -mikrofoni ja Roger Clip-On -mikrofoni. Erilaisten mikrofoniin avulla on mahdollista siirtää puhujan ääntä esimerkiksi hälyssä suoraan kuulokojeen käyttäjän korvaan.

Kuulokojevalmistajat Oticon, Sonic ja Bernafon ovat tanskalaisen William Demant-konsernin kolme isoa kuulokojetuotemerkkiä [William Demant, 2016a]. Valmistajista erityisesti Oticon on keskittynyt edistyneiden kuulokojeiden valmistukseen. Oticon esitteli huhtikuussa 2016 uuden Oticon Opn -kuulokojeen [Oticon, 2016a]. Kuulokoje tulee myyntiin RIE-kojeita muistuttavana miniRITE-tyyppinä. Taajuusalue on jaettu 64 kanaavaan ja kojetta markkinoidaan 50 kertaa edellistä sukupolvea nopeammalla Velox-alustalla, minkä lisäksi Oticonin uusi OpenSound Navigator -ympäristöanalysoija skannaa, analysoi ja reagoi ääniympäristöön yli 100 kertaa sekunnissa poistaen hälyä ja tasapainottaen puhetta. Opn-kuulokojeessa on myös otettu käyttöön älykuulokkeista tuttu NFMI-yhteystekniikka, jonka kerrotaan olevan kaksi kertaa nopeampi kuin Oticonin edellisen sukupolven huippumallien binauraalinen prosessointi. Nopeamman prosessoinnin avulla Opn-kuulokojeiden Spatial Sound tunnistaa nopeammin, mistä suunnasta ääni on lähtöisin. Suoratoistossa Opn-kuulokoje hyödyntää erityisesti kuulokojeille suunnattua Bluetooth Smart -teknologiaa. Kuulokojeen voi kytkeä internetiin IFTTT:n (If This Then That) välityksellä. IFTTT:n avulla kuulokojeen voi ohjelmoida esimerkiksi yhteistyöhön IFTTT-toimintoa tukevien kodinkoneiden ja turvajärjestelmien kanssa. Opn kuuluu myös Applen MFi-ohjelmaan.

Siemens myi vuoden 2015 tammikuussa kuulokojeisiin liittyvän liiketoimintansa EQT-sijoitusyhtiölle ja toiminta siirtyi uudelle Sivantos-ryhmälle [Sivantos, 2015]. Tammikuussa 2016 Sivantos-ryhmä esitteli uuden korkealuokkaiseen kuulokojeisiin keskitty-

vän Signia-tuotenimen, jonka kuulokojeita myydään edelleen myös Siemens-nimellä [Sivantos, 2016a]. Huhtikuussa 2016 Signia esitteli uudet Ace primax-, Pure primax-, Motion primax- ja Insio primax -kuulokojemallit [Sivantos, 2016b]. Muiden valmistajien tapaan mallit eroavat toisistaan kuulokojetypiltään ja vahvistuskyvyltään. Ace primax- ja Pure primax -mallit ovat RIC-tyypin kuulokojeita, Motion primax on BTE-tyypin kuulokoje ja Insio primax ITE-tyypin kuulokoje [Signia, 2016]. Kustakin kuulokojemallista on olemassa kolme erilaista versiota. Versiot eroavat toisistaan jonkin verran sekä sovelustason lisäominaisuuksiltaan että suorituskyvyltään. RIC- ja BTE-kuulokojeissa on IP67-luokitus eli ne kestävät vesiroiskeet, mutta eivät veteen upotusta. Primax -kuulokojeet voi myös yhdistää kaulassa pidettävän easyTek-mediakaukosäätimen ja e2e wireless 3.0 -teknologian avulla Bluetooth-laitteisiin ja älypuhelinsovellukseen, jossa joitakin kuulokojeen asetuksia on mahdollista säätää.

Suurimpiin kuulokojevalmistajiin lukeutuu myös tanskalainen Widex. Widexin uusi Unique-kuulokojeperhe on kehittynyt edelliseen sukupolveen nähden mm. tuulesta aiheutuvan kohinan ja hiljaisten häiriöäänien vaimennuksessa [Widex, 2016]. Unique-kuulokojeperheeseen kuuluvat muun muassa Passion-, Fusion- ja Fashion-kuulokojemallit, jotka eroavat toisistaan esimerkiksi kuulokojetypiltään ja äänenvahvistuskyvyltään. Kunkin mallin kuulokojeet on jaettu vielä neljään suorituskykyluokkaan, joissa vaihtelevat mm. kanavien ja kehittyneiden sovellusominaisuuksien määrä. Unique-kuulokojeet voi yhdistää kaulassa pidettävään COM-DEX-laitteeseen, joka puolestaan voi yhdistää kuulokojeet Bluetoothin avulla älypuhelimien. Widexin oman älypuhelinsovelluksen avulla voi muun muassa säätää kuulokojeiden äänenvoimakkuutta, vaihtaa kuunteluohjelmaa, valita äänen suunnan ja kuunnella musiikkia. Kuulokojeet voi COM-DEX:n avulla yhdistää myös Apple Watch -älykelloon.

### **3.2. Sisäkorvaistutteen**

Kuuloliiton [2016b] mukaan sisäkorvaistute eli implantti on erityinen kuulokoje niille, joille vahvimmatkaan kuulokojeet eivät tuo apua kuulemiseen tai puheen erottamiseen. Sisäkorvaistute koostuu sekä ulkoisesta että ihon alle asetettavasta osasta. Ihon alainen osa kiinnitetään leikkauksen avulla kalloluuhun ja sisäkorvan simpukkaan. Toimenpiteen tarkoituksena on ohittaa toimimaton sisäkorva ja johtaa sähköinen signaali suoraan kuulohermoon ja sieltä aivoihin.

Sisäkorvaistutteenä pidetään yhtenä modernin lääketieteen suurimmista menestystarinoista [Wilson and Dorman, 2008]. Ensimmäinen kokeilu kuulohermoja sähköisesti stimuloivalla kuulolaitteella tehtiin jo 1957, mutta ensimmäiset laitteet tarjosivat vain yk-

sinkertaisia ääniaistimuksia ja tukea huulitaluvulle, kunnes monikanavaiset sisäkorvaistutteen esiteltiin vuonna 1984 [Eisen, 2009]. Suomessa ensimmäinen monikanavainen sisäkorvaistute asennettiin vuonna 1995 [Martikainen and Rainò, 2014].

Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto (Food and Drug Administration, FDA) arvioi sisäkorvaistutevalmistajien antamien tietojen pohjalta 2012 joulukuussa sisäkorvaistutteen käyttäjiä olevan maailmassa noin 324 000 [NIDCD, 2014]. Suomessa sisäkorvaistutteita on leikattu vuodesta 1995 lähtien ja vuoteen 2015 mennessä leikkauksia on tehty noin 1150 [Kuuloliitto, 2016b]. Viime vuosina leikkauksia on tehty vuosittain noin 130 ja kuuroutuneiden työikäisten aikuisten molemminpuoliset implantoinnit ovat yleistyneet. Suomessa syntymäkuuroille lapsille asennetaan implantti molemminpuolisesti ennen kahden vuoden ikää [Kuuloliitto, 2016b]. Syntymäkuuroista lapsista noin 95 prosentille asennetaan Suomessa implantti [LapCi, 2016].

Sisäkorvaistutteen ihonalaista osaa kutsutaan implantiksi ja korvan taustalla olevaa osaa puheprosessoriksi [Kuuloliitto, 2016b]. Puheprosessorin mikrofoni kerää ympäristöstä ääniä ja lähettää ne implantiin niin kutsutun lähetinkelan kautta. Sisäkorvaistutteen toimivuus on yksilöllistä. Erityisesti musiikin hahmotus voi olla haastavaa sisäkorvaistutteen käyttäjälle [Limb and Roy, 2014].

Maailmanlaajuisesti sisäkorvaistutevalmistajiin lukeutuvat australialainen Cochlear, itävaltalainen MED-EL, sveitsiläinen Sonova-ryhmä, yhdysvaltalainen Advanced Bionics, kiinalainen Nurotron ja tanskalainen William Demant -yhtiöön kuuluva Oticon. Kiinalainen Nurotron ei ole mukana valmistajakohtaisessa kartoituksessa.

Cochlearin uusin puheprosessorimalli on vuonna 2013 julkaistu Nucleus 6, joka on seuraaja vuonna 2010 esitellylle Nucleus 5:lle ja vuonna 2005 esitellylle Freedomille. Cochlear tiedotti Nucleus 6:n CE-merkinnästä elokuussa 2013 [Cochlear, 2013]. Cochlear BTE-puheprosessori oli tuolloin markkinoiden pienikokoisin ja vedenpitävin IP57-luokituksen ansiosta. Nucleus 6 on myös täysin langaton eli ääntä on mahdollista toistaa suoraan puheprosessoriin Bluetoothin kautta ilman lisävarusteita. Uuden implantin lisäksi Cochlear esitteli niin kutsutun SCAN-teknologian, jonka avulla puheprosessori analysoi ympäristöä ja asettaa automaattisesti tilanteeseen sopivan kuulo-ohjelman. Ennen SCAN-teknologiaa käyttäjien täytyi asettaa sopiva ohjelma käsin. Nucleus 6 kykenee myös keräämään ja tallentamaan tietoa siitä, kuinka puheprosessoria on käytetty.

Cochlear on viime vuosina tehnyt aktiivisesti yhteistyötä kuulokojevalmistaja GN ReSoundin kanssa [Cochlear, 2015]. Yhteistyössä on ajateltu kehittää erityisesti sisäkorvaistutteen ja kuulokojeiden yhteistoimintaa bimodaalisesti. Yhtiöt ovat tehneet yhteistyötä aiemminkin, minkä ansiosta Nucleus 6- ja Baha 5 -puheprosessorit hyödyntävät ReSoundin täysin langatonta 2,4 GHz:n teknologiaa äänen suoratoistoon siten, että käyttäjän ei tarvitse pukea kaulan ympärille erillistä laitetta. Perinteisesti sisäkorvaistute- ja

kuulokojekäyttäjät ovat pukeneet erillisen laitteen kyetäkseen langattomaan kommunikointiin muiden laitteiden kanssa.

Itävaltalainen MED-EL sai FDA:n hyväksynnän Sonnet-puheprosessorille ja markkinoille se tuli keväällä 2015 [MED-EL, 2014]. Sonnetissa on Automatic Sound Management 2.0 -järjestelmä, jonka avulla puheprosessori sopeutuu aktiivisesti ympäristön ääniin. Puheprosessorissa on mahdollista säätää muun muassa tuulikohinan vaimennusta. Vuoden 2015 alussa MED-EL esitteli myös uuden Synchrony-implantin, jonka ensimmäinen käyttäjä vastaanotti maalikuussa 2015 [MED-EL, 2015].

Sonnet-puheprosessorin lisäksi MED-EL:llä on yksiosainen Rondo-puheprosessori. Huhtikuussa 2013 esitelty Rondo oli markkinoiden ensimmäinen yksiosainen puheprosessori [MED-EL, 2013]. Käytännössä Rondossa on yhdistetty kela, keskusyksikkö ja paristokotelo yhdeksi laitteeksi. Yksiosaisen puheprosessorin ajatellaan olevan erityisen kätevä silmälasien käyttäjille, koska laitteessa ei ole lainkaan korvantausosaa.

Kuulokojevalmistaja Phonakin kanssa Sonova-ryhmässä toimivan Advanced Bionicsin uusinta teknologiaa ovat Naída CI Q70-, Q30- ja Q90-puheprosessorit. Q70-puheprosessori saapui markkinoille ensimmäisenä toukokuussa 2013 [Advanced Bionics, 2013]. Q30- ja Q90 -puheprosessorit saapuivat Yhdysvaltojen markkinoille elokuussa 2015 [Advanced Bionics, 2015]. Q90-puheprosessori korvasi samalla Q70-prosessorin Advanced Bionicsin edistyneimpänä puheprosessorina. Q-sarjan puheprosessoreissa on hyödynnetty kuulokojevalmistaja Phonakin teknologioita, mikä näkyy esimerkiksi tukena langattomille Roger-laitteille ja niin kutsutussa Binaural VoiceStream -teknologiassa, jonka avulla sisäkorvaistutekäyttäjä kuulee yhdestä suunnasta tulleet äänet binauraalisesti molemmissa korvissa. Q-sarjan puheprosessorien erot näkyvät esimerkiksi AutoSound-ominaisuuksien laajuudessa. AutoSound-teknologian avulla puheprosessorit pystyvät Nucleus 6- ja Sonnet-puheprosessoreiden tapaan mukautumaan käyttäjän ääniympäristöön. Roger 17 -vastaanottimen avulla Q-sarjan puheprosessorit ovat puolestaan yhdistettävissä Roger Pen -kynämikrofoniin ja Roger Clip-On -mikrofoniin.

Oticon tuli sisäkorvaistutemarkkinoille emoyhtiö William Demantin ostettua ranskalaisen Neurelecin vuonna 2013 [William Demant, 2013]. Oticon on jo esitellyt ensimmäisen sisäkorvaistutejärjestelmänsä, mutta tuote ei vielä toukokuussa 2016 ole saapunut markkinoille [William Demant, 2016b]. Tulevaan Neuro-järjestelmään kuuluu Neuro Zti -sisäkorvaistute ja Neuro One -puheprosessori [Oticon, 2016b]. Muiden puheprosessorien tapaan myös Neuro One osaa tunnistaa ja mukautua ääniympäristöön. Kaulaan ripustettavan HearIt-laitteen avulla puheprosessorin voi myös yhdistää Bluetooth-laitteisiin.

### 3.3. Älykkäiden ominaisuuksien saapuminen kuulokkeisiin

Härmä ja muut [2004] esittelivät jo yli kymmenen vuotta sitten älykuulokkeille sukua olevaa MARA-konseptia (Mobile Augmented Reality Audio). Konseptin ajateltiin laajentavan todellista ääniympäristöä virtuaalisilla äänielementeillä. Tarkoituksena oli yhdistää virtuaaliset äänet ja nappikuulokkeen ympäristöstä keräämät äänet, jotta käyttäjän äänimaailma olisi lisättyä todellisuutta hyödyntävä hybridi. Tutkimuksessa toteutettu prototyyppi muistutti nykyisiä älykuulokkeita, sillä sen ajateltiin olevan binauraalinen, korvatulppaa muistuttava, kevyt, vähän energiaa kuluttava, jatkuvasti puettava ja keino-tekoista ääntä reaaliaikaisesti toistava. Vuonna 2004 tehdyssä tutkimuksessa osattiin myös jo visioida äänen suojauksen, kuulokojeominaisuuksien, melusuojauksen, spatiaalisen suodatuksen ja tärkeiden äänien korostamisen kaltaisista ominaisuuksista.

Viimeisen kymmenen vuoden aikana on tehty enenevässä määrin kartoitusta korvan hyödyntämisestä terveydenhoitoon liittyvien tietojen, kuten sykkeen keräämiseen. Ensimmäisiä tähän pyrkiviä tutkimuksia oli Vogelin ja muiden [2009] tutkimus, jossa tavoitteena oli kehittää ympärivuorokautinen nappikuulokemallinen järjestelmä terveyteen liittyvien tietojen mittaamiseen. Esitetty laitteisto perustui saman tutkimusryhmän vuosien 2007–2008 aikana eri konferensseissa esittämään konseptiin, jossa mikro-optinen heijastava anturi (microoptic reflective sensor) on sijoitettu yksilölliseen korvakappaleeseen mittaamaan fotopletysmografiaa (photoplethysmogram). Anturin avulla pystyttiin selvittämään sydämen syke. Korvakappaleeseen sijoitetun anturin ajateltiin olevan sijainniltaan hyvä, koska liikkuvia osia on vähemmän, verisuonet ovat korvakäytävässä lähellä ja anturi on korvakäytävässä potentiaalisesti näkymättömissä.

Winokur ja muut [2012] esittelivät BTE-korvantauskojetta muistuttavan laitteiston, jonka avulla pystyttiin mittaamaan verenpaineen, pulssin ja lämmön kaltaisia terveyteen liittyviä ominaisuuksia. Esitetyn laitteiston avulla saatiin tuloksia sydänsähkökäyrästä (electrocardiogram), ballistokardiogrammista (ballistocardiogram) ja fotopletysmografiasta yhdestä alueesta korvan takaa. Laitteistoon kuului korvantauskuulokojetta muistuttava mittauslaite ja tietokone, joka oli yhdistetty langattomasti mittauslaitteeseen tietojen analysointia varten.

Syketietojen avulla voidaan seurata esimerkiksi eteisvärinän kaltaista rytmihäiriötä, jossa sydämen syke muuttuu epäsäännölliseksi. Da He ja muut [2015] esittelivät korvassa olevan puettavan laitteen, joka kykeni mittaamaan sydänsähkökäyrää, ballistokardiogrammia ja fotopletysmografiaa hankkiakseen tietoa supistumista edeltävästä ajasta (pre-ejection period), sydämen pumppaustilavuudesta (stroke volume), sydämen minuuttitilavuudesta (cardiac output) ja sykkeen siirtymisajasta korvaan (pulse transit time). Sovellus oli kehitetty Winokurin ja muiden [2012] toteutuksen pohjalta lähes samalla työryhmällä.

Deparin ja muiden [2013] tarkoituksena oli havainnollistaa halpaa, yksinkertaista ja siirrettävää järjestelmää, jota voitaisiin käyttää erityisesti urheilukäyttöä tukevien terveystietojen mittaamiseen. Järjestelmä koostui Bluetooth-kuulokkeesta, johon oli yhdistetty korvanipukasta fotopletysmografiaa mittaava anturi. Bluetoothin avulla järjestelmän mittaamia tietoja pystyttiin lukemaan reaaliaikaisesti esimerkiksi älypuhelimella tai tabletilla. Tutkijaryhmä esitteli järjestelmän toimivuutta Androidille ohjelmoitun demosovelluksen avulla. Toimivan järjestelmän ajateltiin auttavan erityisesti urheilijoita, jotka voivat sovelluksen tarjoamien tietojen avulla säätää suoritusta terveysongelmien välttämiseksi ja urheilusuoritusta parantaakseen.

### 3.4. Älykuulokkeet

Ensimmäiset älykkäillä ominaisuuksilla varustetut kuulokkeet esiteltiin vuonna 2013. Alussa kuulokkeet olivat kuitenkin pääosin sellaisia, joissa vasen ja oikea kuuloke oli yhdistetty johdolla toisiinsa ja ominaisuudet rajoittuivat askelten ja sykkeen mittaukseen. Vuotta 2014 voidaan pitää käännekohtana täysin langattomien älykuulokkeiden kehityksessä, sillä tuolloin kasvuyritykset käynnistivät ensimmäiset onnistuneiksi osoittautuneet joukkorahoituskampanjat. Vuoden 2016 alussa älykkäitä ominaisuuksia sisältäviä kuulokehankkeita on joukkorahoitettu onnistuneesti jo yli kaksikymmentä. Valtaosalle tässä tutkielmassa esitetyistä älykuulokkeista haetaan tai on haettu rahoitusta Kickstarter- ja Indiegogo-palveluissa järjestettyjen joukkorahoituskampanjoiden avulla. Vuonna 2016 useiden onnistuneiden joukkorahoitusten älykuulokkeita on alettu toimittaa rahoittajille, mutta tavallisissa kauppoissa älykuulokkeiden saatavuus on vielä rajattua. Vuoden 2016 ensimmäisellä puoliskolla kuluttajille älykuulokkeita toimittavia valmistajia ovat esimerkiksi Motorola, Bragi ja Doppler Labs.

On hyvä ottaa huomioon, että useat älykuulokehankkeet ovat lähtöisin kasvuyrityksiltä ja ne ovat joukkorahoituksella rahoitettuja. Vaikka tässä tutkielmassa tuotteet pääsääntöisesti ovat saaneet jo takeita markkinoille saapumisesta, eivät ne välttämättä toimi täysin niin kuin niitä on markkinoitu. Tässä kappaleessa onkin tarkoitus lähinnä esitellä älykuulokkeita niiden luvattujen ominaisuuksien perusteella. Tiedot perustuvat usein kuulokehankkeiden joukkorahoitussivuihin. Joukkorahoitetuista älykuulokkeista kaksi merkittävintä lienevät Doppler Labsin Here-kuulokkeet ja Bragin Dash-kuulokkeet. Molemmat valmistajat ovat aloittaneet toimitukset joukkorahoituksessa mukana olleille kuluttajille ja laitteet ovat olleet laajasti esillä mediassa.

Taulukossa 2 on vertailtu tässä tutkielmassa esitettyjä keskeisimpiä ja tunnetuimpia älykuulokkeita. Taulukon tarkoituksena on havainnollistaa, kuinka kuulokkeet eroavat toisistaan ja toisaalta mitkä toiminnot ovat tällä hetkellä vertailtavissa. Vedenkestävyys-



ja kuulokkeiden välinen kommunikointi -kohdissa on tarkennettu, millä tavalla kuulokkeet kestävät vettä ja ovat yhteydessä toisiinsa. Taulukon perusteella voidaan sanoa, että hybridikuulokkeissa on eniten toimintoja, mutta toisaalta taulukon avulla ei voi tehdä paremmuusvertailua, sillä muiden kuin hybridikuulokkeiden tarkoituksena ei ole tarjota kattavasti ominaisuuksia.

	Syk- keen- mittaus	Sisäinen tal- lennustila	Langaton musiikki	Handsfree- puhelut	Melusuoda- tus	Haptinen syöte	Veden- kestävyys	Kuulokkeiden välinen kom- munikointi
Here	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei yhdessä
IQbuds	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Hikoilu	NFMI
Dash	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Yhteen- metriin asti	NFMI
The Aware	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei tietoa saatavilla	Johdollisesti
Moto Hint	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei tietoa saatavilla	Ei yhdessä
Xperia Ear	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	IPX2	Ei yhdessä

Taulukko 2. Älykuulokkeiden vertailua. Tiedot perustuvat tekstissä esitettyihin lähteisiin

### 3.4.1. Ympäristön ääntä käsittelevät älykuulokkeet

Yhdysvaltalainen kasvuyritys Doppler Labs käynnisti kesäkuussa 2015 joukkorahoitus-kampanjan Here-nappikuulokkeille [Doppler Labs, 2015]. Kuulokkeet keräsivät rahoitusta 28 päivässä 635 000 dollaria, mikä ylitti tavoitteen moninkertaisesti. Toimitukset rahoittajille alkoivat vuoden 2016 alussa. Here-kuulokkeilla käyttäjä voi älypuhelimien avustuksella korostaa haluamiaan äänitaajuuksia ja personoida ääniympäristöään (kuva 2). Ympäröiviä ääniä on mahdollista vahvistaa ja vaimentaa valikoivasti. Kuulokkeiden tekniikka perustuu äänen hienovaraiseen käsittelyyn signaalinkäsittelyalgoritmien avulla ennen kuin ääni saavuttaa käyttäjän korvan. Heren tarkoituksena on käsitellä ääntä reaaliaikaisesti, eikä se sovellu esimerkiksi musiikin toistamiseen. Kuulokkeet toimivat myös yhtäaikaaisesti eli toispuoleinen äänenkäsittely ei ole mahdollista.

Here-kuulokkeita on tarkoitus ohjata täysin älypuhelimien kautta eli ne eivät tarjoa suoraan kuulokkeissa olevaa kosketus- tai puhekäyttöliittymää. Älypuhelinsovelluksessa on valmiita ääniympäristöasetuksia, joita käyttäjä voi muokata. Valmiita ääniympäristöjä ovat muun muassa musiikki, lentokone, toimisto ja kaupunki. Esimerkiksi kaupunkiasetuksessa Here hiljentää metron ja liikenteen ääniä siten, että käyttäjä kuitenkin kuulee kovemmat äänet. Kuulokkeet hyödyntävät aktiivista vastamelua. Ympäröivän äänen voimakkuutta voi nostaa kuulokojeiden tapaisesti kuudella desibelillä ja vaimentaa 25 desibelillä.



Kuva 3. Doppler Labsin Here-älykuulokkeet ja älypuhelinsovellus, jolla kuulokkeita hallitaan. [Doppler Labs, 2016]

Australiassa ja Yhdysvalloissa perustettu Nuheara pyrkii langattomilla IQbuds-nappikuulokkeillaan Here-kuulokkeiden tapaan suodattamaan ja korostamaan haluttuja taa-juuksia, mutta mahdollistaa lisäksi digitaalisen musiikin suoratoiston ja puhelut [Nuheara, 2016]. Kuulokkeiden joukkorahoitus käynnistyi huhtikuussa 2016. Nuhearan älykuulokkeet yhdistelevät tunnettujen Dash- ja Here-älykuulokkeiden ominaisuuksia. Here-kuulokkeiden tapaan IQbuds-kuulokkeiden avulla on mahdollista vaikuttaa reaaliaikaisesti ääniympäristöön ja luoda älypuhelinsovelluksen avulla erilaisille ympäristöille omanlaiset ääniprofiilit. Dash-kuulokkeiden kanssa yhteistä on mahdollisuus vastata puheluihin ja kuunnella langattomasti musiikkia. IQbudsien pääasiallinen tehtävä on kuitenkin käsitellä ympäröivää ääntä, minkä vuoksi kuulokkeet eivät sovi hybridiälykuulokkekatgoriaan. Ne hyödyntävät NFMI-tekniikkaa kuulokkeiden väliseen kommunikointiin ja kytkeytyvät langattomasti älylaitteisiin Bluetoothin avulla. Kuulokkeissa on käytetty Nuhearan omaa Super Intelligent Noise Cancellation -teknologiaa aktiivisen tai passiivisen vastamelun sijaan. Markkinointia on kohdennettu myös käyttäjille, joilla on kuulemisvaikeuksia sosiaalisissa tilanteissa tai alkava kuulovika.

### **3.4.2. Hybridiälykuulokkeet**

Saksalainen kasvuyritys Bragi on kehittänyt Dash-kuulokkeet (kuva 4), jotka toimivat tarvittaessa pelkästään kuulokkeiden kosketuskäyttöliittymän avulla [Bragi, 2014]. Dashin joukkorahoituskampanja käynnistyi Kickstarterissa helmikuun 9. päivänä 2014 ja se keräsi rahoitusta saman vuoden maaliskuun 31. päivään mennessä 3,4 miljoonaa dollaria. Dashin toimitukset rahoittajille alkoivat vuoden 2016 alussa ja ensimmäisiin tavallisiin kauppoihin tuote saapui huhti-toukokuussa 2016 [Bragi, 2016a; Bragi 2016b]. Kuulokkeet ovat tähän mennessä julkaistuista älykuulokkeista kunnianhimoisimpia, sillä ne toimivat älypuhelimella ohjattavina Bluetooth-kuulokkeina, tiedontallennusvälineenä musiikille ja terveystietojen mittaajana.

Dashin antureilla on mahdollista mitata esimerkiksi sykettä, hengitysnopeutta ja happisaturaatiota. Kuulokkeista löytyy Here-kuulokkeiden tapaan myös ympäröivän äänen käsittelyyn liittyviä ominaisuuksia. Ne kykenevät suodattamaan taustamelua 22 desibelillä ja lisäämään ympäröivän äänen voimakkuutta kuudella desibelillä. Lisäksi kuulokkeilla on mahdollista voimistaa ympäröivän musiikin bassoa ja kaikuefektiiä 30 mikrosekunnin viiveellä. Kuulokkeita on mahdollista hallita kosketuskäyttöliittymän lisäksi myös päänliikkeiden avulla.



Kuva 5. Bragi Dash -älykuulokkeet. [Bragi, 2016c]

Vielä joukkorahoitusvaiheessa olevista älykuulokkeista selvästi erottuva ratkaisu on yhdysvaltalaisen United Sciencesin suunnittelemat The Aware -kuulokkeet [The Aware, 2016]. The Aware erottautuu muista älykuulokehankkeista erityisesti 3D-tulostettavilla korvakappaleilla, jotka voidaan muotoilla käyttäjäkohtaisesti. Korvan laserilla kartoittava eFit 3D -korvaskannaaja on jo tuotannossa. The Awaren visioidaan lisäksi tarjoavan laajasti eri ominaisuuksia, kuten sykkeenmittauksen, äänenvaimennuksen ja unen seurannan. Käyttäjäkohtaisen korvakappaleen lisäksi The Aware erottautuu muista tämän hetken älykuulokkeista aivosähkökäyrää mittaavan anturinsa ansiosta. Tunnistimen kerrotaan kykenevän kirjaamaan alfa-, beeta- ja delta-rytmejä. Unen tarkkailua varten The Awaressa on työkalut kuorsauksen, hampaiden narskutuksen ja univaiheen seurantaan. Seurannan ajatellaan onnistuvan kilpailijoita tarkemmin aivosähkökäyrän ja erityisesti delta-rytmin mittaamisen ansiosta. Oikean ja vasemman korvan kuulokkeet on The Awaressa yhdistetty toisiinsa johdolla, johon on kiinnitetty akku, 16 gigatavun sisäinen muisti ja Bluetooth-moduuli. Ratkaisulla voidaan välttää korvakäytävän epäedullinen sijainti kuulokkeiden välistä yhteydenpitoa sekä kuulokkeen ja älypuhelimien välistä yhteydenpitoa ajatellen.

Japanilainen elektroniikkavalmistaja Sony esitteli vuoden 2015 CES-messuilla (Consumer Electronics Show) prototyyppiä Smart B-Trainer -kuulokkeista [Sony, 2015]. Kuulokkeet ovat vedenkestävät, langattomasti älypuhelimien yhdistettävissä ja sisältävät tallennustilaa musiikille sekä antureita esimerkiksi käyttäjän sykkeen, paikan-

nuksen ja kiihtyvyyden mittaamiseksi. The Aware -kuulokkeiden tapaan Sonyn älykuulokkeet eivät ole täysin langattomat, vaan molempien korvien nappikuulokkeet on yhdistetty johdon avulla toisiinsa.

### 3.4.3. Urheilua tukevat älykuulokkeet

Ensimmäisiä markkinoille saapuneita sykettä mitanneita kuulokkeita olivat iriver On-, LG HRM-, Jabra Sport Pulse- ja SMS Audio BioSport -kuulokkeet. Eteläkorealainen iriver esitteli Valencellin kanssa yhteistyössä kehitettyjä iriver On -kuulokkeita jo vuoden 2013 CES-messuilla [Valencell, 2013]. LG tiedotti seuraavan vuoden CES-messuilla tuovansa HRM-kuulokkeet myyntiin Yhdysvalloissa vuoden 2014 ensimmäisellä puoliskolla [LG, 2014]. Tanskalainen Jabra kertoi puolestaan lokakuussa 2014 tuovansa myyntiin Sport Pulse -kuulokkeet [Jabra, 2014]. Teknologiayritys Intelin ja kuulokkeita valmistava SMS Audion yhteistyössä kehittämät BioSport-kuulokkeet saapuivat myyntiin vuoden 2014 viimeisellä neljänneksellä [Intel, 2014].

Ensimmäiset urheilukuulokkeet eivät ole täysin langattomia. LG:n HRM-kuulokkeet ja iriver On -kuulokkeet ovat kaulapantamallin kuulokkeita. Jabra Sport Pulse -kuulokkeiden oikea ja vasen kuuloke on kytketty toisiinsa johdolla ja BioSport-kuulokkeet on puolestaan kytketty perinteisten nappikuulokkeiden tapaan johdolla älypuhelimeen. Kuulokkeita yhdistää kuitenkin se, että kaikki käyttävät Valencellin PerformTek-anturia sykkeen mittaukseen [Valencell, 2016]. Valencellilla onkin useita patenteja fotopletysmografian mittaukseen puettavassa teknologiassa.

Yhdysvaltalainen äänentoistoon keskittynyt suuryritys Harman International Industries ja urheiluvälinevalmistaja Under Armour julkistivat yhdessä vuoden 2016 CES-messuilla langattomat urheilukuulokkeet [Harman, 2016]. UA Headphones Wireless Heart Rate -kuulokkeet ovat hikoilusuojatut IPX5-luokituksella, kestävät käyttöä yhdellä kerralla viiteen tuntiin asti, tukevat Bluetooth 4.1 -yhteyttä ja sisältävät painikkeen nopealle sykkeen mittaukselle. Jabran tavoin vasen ja oikea kuuloke ovat johdolla yhteydessä toisiinsa.

Älykkäitä urheilukäyttöön suunniteltuja korvakuulokkeita on toteutettu myös korvantausosan sisältävinä malleina. Saksalaisen Cosinuss-yrityksen kuulokkeet eroavat muista tämän tutkielman älykuulokkeista selvästi kookkaammalla ulkomuodollaan [Cosinuss, 2016]. Korvantaustakuulokojeita muistuttavat Cosinuss One -kuulokkeet on suunniteltu erityisesti urheilijoille, sillä ne mittaavat sykkeen lisäksi myös kehon lämpötilaa. Cosinuss Onen anturit ovat kuulokkeen korvakäytäväosassa ja signaalien lähetys suoritetaan puolestaan korvantausosan avulla. Yritys on panostanut kuulokkeiden

lisäksi mobiilisovelluksiin, joiden avulla käyttäjä voi tarkastella tilastoja syketiedoistaan. Jabra-kuulokkeiden tapaan Cosinuss ei ole joukkorahoitettu ja se saapui markkinoille jo elokuussa 2014.

Lumafit-yrityksen Lumafit-korvakuulokkeet muistuttavat ulkoisesti Cosinuss-kuulokkeita. Lumafitissä ei kuitenkaan ole korvakäytävään asetettavaa kuulokeosaa. Laite mittaakin sykettä korvalehteen asetettavan klipsin avulla. Lumafitin Kickstarter-joukkorahoitus käynnistyi huhtikuussa 2014 ja saavutti myöhemmin tavoitteensa [Lumafit, 2014]. Laitteita alettiin toimittaa kuluttajille vuonna 2015. Syketietojen mittaamisen lisäksi Lumafit tunnistaa liikettä kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin avulla kolmiulotteisesti. Ominaisuus mahdollistaa urheilussa toistojen laskemisen ja urheiluharjoitteen tunnistamisen. Lumafitiä markkinoidaan myös urheiluvalmennusominaisuuksilla ja erilaisia urheiluharjoitusohjelmia sisältävällä mobiilisovelluksella.

#### **3.4.4. Älykuulokkeet ääniavustajina**

Motorola oli ensimmäisiä isoja elektroniikkavalmistajia, joka kehitti omalle tuoteperheelleen sopivat älykuulokkeet. Ensimmäisen sukupolven Moto Hint -kuulokkeet julkaistiin vuoden 2014 toisella puoliskolla [Motorola, 2014]. Hint-kuulokkeissa on läheisyystunnistin ympäristön tunnistamiseen siten, että kuuloke aktivoituu, kun sen asettaa korvaan ja katkaisee yhteyden, kun sen ottaa pois korvasta. Kuulokkeisiin yhdistettävän Moto Ääni -avustajan avulla on esimerkiksi mahdollista saada tietoja aikataulusta, valita äänikomennolla soitettava kappale tai tehdä kalenterimerkintöjä. Äänikomentojen antaminen Moto Äänen kautta onnistuu ainoastaan Motorola-älypuhelimella.

Sony esitteli helmikuussa 2016 Barcelonassa pidetyillä Mobile World Congress -messuilla Xperia Ear -älykuulokkeet, jotka ovat ominaisuuksiltaan verrattavissa Hint-kuulokkeisiin [Sony, 2016]. Samaan aikaan esiteltiin myös uusia Xperia-älypuhelimia ja muita Xperia-oheislaitteita, joiden tarkoituksena on toimia keskenään hyvin yhteen. Langattomat Xperia Ear -nappikuulokkeet hyödyntävät Sonyn ääniteknologiaa, jonka avulla käyttäjä voi ohjata kuulokkeita äänikomennoilla. Käyttäjä voi esimerkiksi kysyä navigointiohjeita, sanella viestejä ja tehdä internet-hakuja. Kuulokkeet voi ohjelmoida antamaan tietoa aikatauluista, säästä ja tuoreimmista uutisista. Älypuhelimiin Xperia Earin voi yhdistää NFC- tai Bluetooth-yhteyden avulla. Älypuhelimeen yhdistäminen mahdollistaa puhelujen suorittamisen äänikomennoilla.

#### **3.4.5. Langattomat kuulokkeet kehittyneillä ominaisuuksilla**

Varsinaisten älykuulokkeiden lisäksi markkinoilta löytyy useita esimerkkejä langattomista nappikuulokkeista, jotka voivat sisältää hienouksia, kuten äänenvaimennustekniikkaa tai yksilöidyt korvakappaleet, mutta eivät älykuulokkeiden tapaan käsittele itse tietoa

tai sisällä terveystietoja mittaavia antureita. Dashin ohella ruotsalaisen Earin-kasvuyrityksen kehittämät Earin-kuulokkeet kuuluivat ensimmäisiin onnistuneesti joukkorahoitettuihin langattomiin kuulokkeisiin [Earin, 2014]. Langattomuudestaan huolimatta Earin-kuulokkeet eivät sovi tässä tutkielmassa esitettyihin älykuulokekategorioihin ja ovatkin paremmin verrattavissa perinteisiin Bluetooth-kuulokkeisiin. Earin-kuulokkeissa ääni kulkeutuu älylaitteesta Bluetoothin välityksellä ensin vasempaan kuulokkeeseen ja sieltä oikeaan kuulokkeeseen.

Kasvuyritys Kanoan tulevissa Kanoa-Bluetooth-kuulokkeissa on puolestaan Heren tapaan panostettu laadukkaaseen äänentoistoon älypuhelinsovelluksen avulla [Kanoa, 2016]. Erityisesti aktiiviselle liikkujalle suunnatut pentagonin eli viisikulmion muotoiset Kanoa-kuulokkeet kestävät pölyä ja vettä IP68-luokituksella.

Vuoden 2016 alkupuolella satunnaisesti älykuulokkeina markkinoituja, mutta ominaisuuksiltaan enemmän kehittyneisiin Bluetooth-kuulokkeisiin lukeutuvia kuulokkeita ovat Earinin ja Kanoan lisäksi mm. Onkyo-, Freedom, Apollo 7-, Ripplebuds- ja Phazon-kuulokkeet. Japanilaisen Onkyon vuonna 2015 esittelemissä W800BT-kuulokkeissa vasen ja oikea kuuloke toimivat toisistaan riippumattomasti [Onkyo, 2016]. W800BT-kuulokkeilla on mahdollista kuunnella musiikkia ja oikea kuuloke sisältää mikrofonin handsfree-puheluihin.

Yhdysvaltalaisen Altec Lansingin 2016 CES-messuilla esittelemät Freedom-kuulokkeet ovat niin ikään langattomat [Altec Lansing, 2016]. Vuoden 2016 toisella vuosineljänneksellä myyntiin tulevien Freedom-kuulokkeiden luvataan tarjoavan kuuden tunnin akunkeston, IPX7-suojaluokituksen ja Bluetooth-pohjaisen GPS-paikannustekniikan, jonka avulla kadonneiden kuulokkeiden löytäminen on mahdollista.

Eräs menestyksekkäimmistä joukkorahoitetuista langattomista Bluetooth-kuulokkeista ovat Phazon-kuulokkeet [Phazon, 2016]. Erityisesti liikuntakäyttöön suunniteltuja Phazon-kuulokkeita on mahdollista ohjata kuuloketta napauttamalla, minkä lisäksi ominaisuuksia ovat passiivinen vastamelu, vesitiiviiden takaava IP57-luokitus, NFMI-yhteys ja handsfree-puhelut.

Erato Audion kesällä 2016 rahoittajille toimitettavat Apollo 7 -kuulokkeet ovat langattomat ja tukevat handsfree-puheluita [Erato Audio, 2016]. Musiikin kuuntelua voi ohjata kuulokkeissa olevien painikkeiden avulla. Ne toimivat myös yhdessä Siri- ja Google Now -ääniavustajien kanssa. Kuulokkeet kykenevät vaimentamaan ympäröivää ääntä 30 desibelillä ja tulevat myyntiin yhden kuulokkeen mono-versiona ja kahden kuulokkeen stereo-versiona.



Ripplebuds-kuulokkeet eroavat puolestaan muista Bluetooth-kuulokkeista korvakäytävään sijoitetulla mikrofonilla, jonka avulla handsfree-puhelut ja äänikomennot onnistuvat kovassakin hälyssä [Ripplebuds, 2016]. Kuulokkeiden mikrofonin kerrotaan kykenevän poimimaan puheääntä, joka saapuu puhujan korvatorven kautta korvakäytävään.

Langattomat vastamelutekniikkaan pohjautuvat nappikuulokkeet soveltuvat myös kohdistetusti tiettyyn tarkoitukseen, kuten paremman yöunen saavuttamiseen kehitetyt QuietOn-kuulokkeet osoittavat [QuietOn, 2016]. Oululaisen kasvuyrityksen kuulokkeissa on keskitytty vaimentamaan matalan taajuuden bassoäänet niin, että ainoastaan korkeat äänet kuuluvat kuulokkeiden läpi. QuietOn-kuulokkeet ovat esimerkki vain taajuudet poistavista kuulokkeista, joiden tarkoitus ei ole mukautua Here-kuulokkeiden tapaan reaaliaikaisesti tilanteen mukaan, vaan hiljennettävät taajuudet ovat aina samat. Kesällä 2016 myyntiin saapuvien kuulokkeiden akunkestoksi luvataan 50 tuntia.

## **4. Langattomuuden, älykuulokkeiden ja kuulokojeiden kehitys lähitulevaisuudessa**

Erilaisten korvaan asetettävien kuulokkeiden langattomuus yhdistetään usein erityisesti Bluetooth-teknologiaan. Bluetooth on ollut olemassa jo parikymmentä vuotta, mutta jatkuvan kehityksen ansiosta se on sopeutunut nykypäivän vaatimuksiin. Teknologiassa on kuitenkin myös rajoitteita, jotka vaikuttavat sen kykyyn toimia juuri korvassa pidettävissä kuulokkeissa.

Vaikka älykuulokkeita ei vielä ole juurikaan markkinoilla, ovat ne olleet esillä esimerkiksi patenttihakemusten kautta. Älykuulokkeiden tulevaisuutta onkin rakennettu erityisesti tietokone- ja älypuhelinmarkkinoilta tuttujen suurten valmistajien varaan. Tässä luvussa käydään patenttien lisäksi läpi todennäköisesti lähitulevaisuudessa markkinoille tulevia tuotteita ja selvitetään, miten niissä on ratkaistu nykyisiä haasteita.

### **4.1. Langaton teknologia äänentoistossa**

Älykuulokkeet ja korkealuokkaisimmat kuulokojeet hyödyntävät usein langattomana tiedonsiirtotekniikkana radiotaajuuksilla toimivaa Bluetooth-teknologiaa. Ensimmäisen kerran Bluetoothia esitteli ruotsalainen Ericsson vuonna 1994. Vuonna 1998 Sony-Ericsson, IBM, Intel, Nokia ja Toshiba perustivat SIG:n (Special Interest Group) kehittämään Bluetoothia. Bluetooth-järjestelmät toimivat lisensoimattomalla 2,4 GHz:n ISM (Industry, Science, Medical) taajuusalueella [Bluetooth, 2016b]. Bluetooth 1.0 julkaistiin vuonna 1999. Bluetoothissa käytetään niin kutsuttua taajuushyppelyä häiriöiden ja vaimennuksen välttämiseksi. Adaptiivinen taajuushyppely lisättiin Bluetoothiin versiossa 1.2 vuonna 2003 [Bluetooth, 2016a].

Ensimmäiset Bluetooth-kuulokkeet tulivat myyntiin vuonna 2000 ja ensimmäiset stereokuulokkeet vuonna 2004 [Bluetooth, 2016b]. Äänentoiston ja korvaan asetettävien laitteiden pienikokoisuuden kannalta tärkeimpiin Bluetooth-merkkipaaluihin lukeutuu vuonna 2003 ensimmäisen kerran käyttöön otettu A2DP-Bluetooth-profiili (Advanced Audio Distribution Profile), jonka avulla määriteltiin korkealuokkaisen mono- tai stereoäänen jakaminen esimerkiksi musiikkisoittimesta kuulokkeisiin [Bluetooth, 2016b].

Vuonna 2010 esiteltiin merkittävä Bluetooth 4.0 -versiopäivitys, johon oli sisällytetty kokonaan uutena osana Bluetooth Low Energy [Bluetooth, 2016a]. Jossakin yhteyksissä Bluetooth Low Energy tunnetaan myös Bluetooth Smartina tai BLE-lyhenteellä. Nykyisin BLE-teknologiaa pidetään Bluetooth BR/EDR:n (Basic Rate/Enhanced Data Rate) ohella yleisimpänä Bluetooth-toteutuksena. BLE rakennettiin tehonkulutukseltaan ja sovellustoiminnoiltaan erityisesti esineiden internetin (Internet of Things, IoT) vaati-

mukset huomioiden. BLE:n kerrotaan olevan teollisuusstandardi, joka mahdollistaa yhteistoimivuuden eri tavarantoimittajien tuotteiden välillä ja antaa laitteille kuukausien käyttöiän langattomassa Bluetooth-verkossa pienien kolikkoparistojen varassa. Lisäksi standardoidun sovelluskehitysarkkitehtuurin ajatellaan johtavan vähäisempään kehitystarpeeseen ja pienempiin operaatiokustannuksiin.

Siekinen ja muut [2012] vertailivat BLE:n energiankulutusta ZigBee/802.15.4 -mekanismiin suorittamalla mittauksia ja seuraamalla energiankulutuskäyttäytymistä oikeilla laitteilla. Tutkimuksen perusteella BLE kuluttaa ZigBeehen verrattuna erittäin vähän energiaa ja on erityisen hyvä energiankulutus per lähetetty bitti -suhteeltaan.

Bansalin [2004] mukaan Aura Communicationsin patentoima lyhyen kantaman magneettinen induktio -teknologia (Near-Field Magnetic Communication eli NFMC) voi auttaa pääsemään eroon johdoista puhelimen ja kuulokkeiden väliltä. Bansalin kirjoittama artikkeli siteeraa Aura Communicationsin verkkosivuja, joiden mukaan NFMC toimii 13,56 MHz:n ISM-taajuusalueella ja Bluetoothiin verrattuna erittäin lyhyellä, alle kahden metrin kantamalla. Vuonna 2004 NFMC:n etuja verrattuna Bluetoothiin ajateltiin olevan sen jopa kuusi kertaa vähäisempi energiankulutus sekä kyky luoda käyttäjälle oma kupla, jossa esimerkiksi langaton linkki matkapuhelimen ja mp3-soittimen välillä onnistuu häiriöttömästi. Teknologiaa on myöhemmin kutsuttu englanniksi myös nimillä Near Field Magnetic Induction (NFMI) ja Near Field Magnetic Induction Communications (NFMIC). Suomeksi teknologiaa on tässä tutkielmassa kutsuttu lyhyen kantaman magneettiseksi induktioksi ja lyhennettä NFMI käyttäen.

NFMI:stä on rajatusti tutkimustietoa. NFMI-tuotteita ja -teknologiaa hyödyntävän FreeLinc Technologies -yrityksen toimitusjohtaja Michael Abramsin [2016] kuvauksen mukaan NFMI:llä tarkoitetaan käytännössä NFC:stä edelleen kehitettyä teknologiaa. NFMI:n avulla saadaan aikaan langaton, magneettikenttään perustuva kupla, jonka sisällä tiedonvälitys toimii. Magneettikentät heikkenevät tuhansia kertoja radioaaltoja nopeammin, minkä ansiosta kupla voidaan luoda aina uudelleen samalla taajuudella pienen etäisyyden päähän ja verkko pysyy luotettavana. Kuplan ulkopuolella häiriöitä ei puolestaan synny, koska muut laitteet tai langattomat yhteydet eivät kykene havaitsemaan NFMI:tä.

NFC:n ja NFMI:n hyödyntämistä nykyistä laajemmin eri aloilla on visioitu useissa tutkimuksissa. Kim ja muut [2016] esittelevät tutkimuksessaan uutta MIMO-tekniikkaa, jolla voidaan parantaa tällä hetkellä NFMI:n pullonkaulana olevaa rajallista tiedonsiirtokapasiteettia. NFMI:n etuna verrattuna perinteisiin radiotaajuuksia hyödyntäviin yhteyksiin mainitaan parempi luotettavuus haastavissa olosuhteissa, kuten esimerkiksi maan alla, veden alla ja kudoksissa. NFMI:n heikkouksiksi mainitaan puolestaan tiedonsiirtonepeuden lisäksi suuntausvirheet ja lyhyt kantama. Tutkijoiden mukaan NFC:tä voidaan jo lähitulevaisuudessa odottaa käytettäväksi esimerkiksi langattomassa paikannuksessa,

lääketieteellisissä sovelluksissa, turvakooditietojen välityksessä ja henkilökohtaisiin tietoihin liittyvässä tiedonsiirrossa. Lääketieteellisistä käyttökohteista tutkijat mainitsevat erikseen sisäkorvaistutukset, keinotekoiset verkkokalvot ja kapselikuvauksen. Ne voivat kuitenkin vaatia nopeampaa tiedonsiirtoa hyvälaatuisen signaalin saavuttamiseksi.

NFMI-teknologiaa on käytetty luotettavan yhteyden muodostamiseksi kuulokojeen ja tyypillisesti kaulaan puettavan laitteen välille, jota kutsutaan induktiosilmukaksi [Kim and Kim, 2014]. Uusi Oticon Opn -kuulokoe hyödyntää NFMI:tä myös eri korvien kuulokojien väliseen kommunikointiin [Oticon, 2016a].

Siruyhtiö NXP Semiconductors esitteli Mobile World Congress -messuilla Barcelonassa helmikuussa 2015 NFMI-teknologiaa langattomissa kuulokkeissa [NXP, 2015]. Messuilla esitelty toisen sukupolven NXH2280-siru on kehitetty erityisesti langattomia kuulokkeita ajatellen. Se tukee 596 kb/s tiedonsiirtonopeutta, toimii yhden voltin jännitteellä ja kuluttaa 1,5 milliwattia, kun ääntä siirretään langattomasta kuulokkeesta toiseen. NFMI:n avulla on mahdollista luoda yksityinen verkko, mutta sen ongelmana on suhteellisen lyhyt kantama. Laitteiden pitää olla luotettavuuden vuoksi alle metrin päässä toisistaan ja yhteys heikkenee merkittävästi etäisyyden vähänkin kasvaessa.

Bragin Dash-kuulokkeiden oli alun perin tarkoitus hyödyntää 2,4 GHz:n radiotaajuutta, mutta teknologiaa vaihdettiin NXH2280-sirun myötä NFMI-tekniikkaan, koska Bluetooth ei vastannut odotuksia [NXP, 2016]. NFMI-tekniikkaa hyödyntävät toistaiseksi vain muutamat älykuulokevalmistajat ja useissa kuulokkeissa turvaudutaan yhteyksien osalta edelleen Bluetoothiin. Bluetooth on tällä hetkellä pääasiallinen yhteysmenetelmä myös kuulokkeiden ja älypuhelimien välillä.

#### **4.2. Älykuulokkeiden kehitys lähitulevaisuudessa**

Nyt markkinoille saapuvat ensimmäiset älykuulokkeet ovat todennäköisesti vasta ensimmäinen askel älykkäiden kuulokkeiden kehityksessä. Konkreettisesti viitteitä tulevasta kehityssuunnasta saatiin, kun isoimpiin kuulokojevalmistajiin lukeutuva Starkey Hearing tiedotti tammikuussa 2016 aloittavansa yhteistyön Dash-kuulokkeista tutun Bragin kanssa [Starkey, 2016b]. Lisäksi useiden isojen teknologia-alan yritysten, kuten Samsungin, Applen ja Googlen saapumisesta älykuulokemarkkinoille on saatu viitteitä toistuvasti. Eteläkorealaisen Samsungin tulevista älykuulokemarkkinoille on odotettu Gear IconX -nimisten kuulokkeiden kuvien vuodettua uutissivustoille [Blass, 2016]. Kuulokkeiden ennakoitua olevan vedenkestäviä, sisältävän yhteensä neljä gigatavua tallennustilaa kuuloketta kohden ja keräävän tietoa urheilusuorituksista.

Samsungin ohella teknologiajätti Applen älykuulokekehityksestä on saatu viitteitä. Applelle myönnettiin jo vuoden 2014 alussa patentti urheiluälykuulokkeelle, jonka ajateltiin kykenevän mittaamaan terveyteen liittyviä tietoja, kuten lämpötilaa ja sykettä

[USPTO, 2014]. Patenttihakemuksessa kuvaillaan muun muassa sitä, kuinka kuulokkeet voisivat olla joko johdollisia tai langattomia ja niitä voisi hallita pään liikkeillä. Vuoden 2016 alussa United States Patent and Trademark Office (USPTO) julkaisi useita Applen patenttihakemuksia, jotka viittaavat älykkäisiin kuulokkeisiin ja kuulokojeisiin [Smith, 2016]. Patenttihakemukset ovat vihjanneet muun muassa muotoaan muuttavista tyynyosista nappikuulokkeisiin, automaattisesti ympäristön äänentason tunnistavasta teknologiasta, painetta tunnistavista nappikuulokkeista, samanaikaisesta tiedon- ja puheenkäsitelystä langattomissa laitteissa virran säästämiseksi ja haptisesta teknologiasta, jonka avulla kyettäisiin siirtämään huonosti kuultuja korkeita äänitaajuuksia matalammille äänitaajuuksille.

Tällä hetkellä älykuulokkeiden kehityksessä on haasteita esimerkiksi langattomuuden toteuttamisessa, ääniavustajien puheentunnistuksen tarkkuudessa ja kuulokkeiden istuvuudessa. Ongelmia voi kuitenkin välttää rajaamalla kuulokkeiden käyttötarkoitusta esimerkiksi liikuntaan ja yhdistelemällä älykuulokkeet osaksi puettavaa teknologiaa. Teknologia-yhtiö Intel ja aurinkolaseista tunnettu Oakley antoivat tästä esimerkin vuoden 2016 CES-messuilla, kun yhtiöt esittelivät Radar Pace -älylasit. Älylaseissa yhdistyvät älykuulokeominaisuudet ja aurinkolasit [Intel, 2016]. Radar Pace -laseissa kuulokkeet on yhdistetty laseihin ja urheilija voi kysyä äänivalmentajalta reaaliaikaisesti suoritukseen liittyviä kysymyksiä. Lasien kerrotaan tulevan myyntiin vuoden 2016 jälkimmäisellä puoliskolla, mutta niiden sisältämästä teknologiasta ei ole annettu tietoa.

Korvasta on mahdollista mitata terveyteen liittyviä tietoja kuulokkeiden lisäksi myös esimerkiksi korvakorujen kautta. BioSensive Technologies on hakemassa patenttia omien sanojensa mukaan maailman ensimmäiselle älykkäälle korvakorulle [BioSensive Technologies, 2016]. Yhtiön mukaan Ear-o-Smart vastaisi ominaisuuksiltaan suosittua Fitbit-älyranneketta eli se kykenisi mittaamaan poltettuja kaloreita, aktiivisuustasoja ja sykettä.

Vuoden 2016 alkupuolella mediahuomiota ovat saaneet myös kasvuyritys Waverly Labsin Pilot-kuulokkeet, joiden kerrotaan kykenevän kääntämään keskustelua kieleltä toiselle siten, että eri kieltä puhuvat käyttäjät pystyisivät kommunikoimaan keskenään [Waverly Labs, 2016]. Pilot-kuulokkeiden kerrotaan tulevan myyntiin syksyllä 2016 ja Indiegogo-joukkorahoituksen alkavan ennen sitä. Kuulokkeet ovat kuitenkin herättäneet kysymyksiä erityisesti siitä, ovatko ne käytännössä teknisesti toteutettavissa [Armstrong, 2016]. Yhtiön toimitusjohtajan mukaan kuulokkeet eivät olisi täysin reaaliaikaisia ja ne eivät toimisi yhtä sulavasti kuin esimerkiksi Microsoftin Skype-pikaviestintäohjelman kääntäjä. Toteutuessaan Pilot-kuulokkeet soveltuisivat kuitenkin henkilökohtainen avustaja -älykuulokekategoriaan.

Kuulokkeissa trendinä on ollut laitteiden pienenevä koko, mikä asettaa teknologialle rajoitteita. Pyrkimys pienikokoisuuteen vaikuttaa esimerkiksi langattoman teknologian toimintaan ja akunkestoon. Human-yhtiön tulevissa The Sound -kuulokkeissa trendistä ei ole välitetty, vaan kuulokkeista on tehty tarkoituksella suurikokoiset. Kuulokkeet ovat toukokuuhun 2016 mennessä keränneet rahoitusta viisi miljoonaa dollaria [Human, 2016]. Korvat peittävästä kuulokkeista visioidaan Here-älykuulokkeiden tapaisia älykuulokkeita, jotka kykenevät vahvistamaan ja vaimentamaan ympäröivää ääntä sekä olemaan lisäksi jatkuvasti yhteydessä keskenään.

#### 4.3. Kuulokojeiden kehitys

Bluetoothia kehittävä SIG ja eurooppalaisia kuulokojevalmistajia edustava EHIMA kertoivat vuonna 2014 aloittavansa yhteistyön kehittääkseen uuden langattoman standardin kuulokojeille [Bluetooth, 2014]. Yhteistyössä visioitu muutos koskisi erityisesti älypuhelimien, musiikkisoittimien, televisioiden ja tablettien langatonta yhdistettävyyttä kuulokojeisiin. Uuden standardin luomisella pyrittiin välttämään tilanne, jossa tulevat laitteet eivät olisi langattomuuden osalta yhteensopivia keskenään. Kehityksen ajatellaan olevan mahdollista erityisesti vähän virtaa kuluttavan Bluetooth Smart -teknologian ansiosta. Tuleviksi käyttötapauksiksi mainitaan soittaminen puhelimella, stereoäänen kuuntelu multimedialaitteista ja äänitiedotteiden vastaanottaminen julkisilla paikoilla. Vuonna 2013 esitellyt ReSound LiNX -kuulokojeet olivat ensimmäiset Bluetooth Smart -sertifioidut kuulokojeet [GN ReSound, 2013].

Garcia-Espinosa ja muut [2015] kuvailivat kuulokojeiden mahdollisia käyttötapauksia tulevaisuudessa. Tutkijat visioivat kuulokojeen käyttäjien kykenevän esimerkiksi yhdistämään älypuhelimien ja kuulokojeen siten, että puheluun vastaaminen onnistuisi langattoman yhteyden avulla ilman lisävarusteita. Lisäksi äänen kuuntelun televisiosta tai äänentoistolaitteesta visioidaan olevan helpompaa kuin aiemmilla kuulokojesukupolvilla. Tutkimuksessa mainitaan kehitystä rajoittavaksi tekijäksi BLE:n käyttämien radioaajuuden ruuhkaantuminen, koska sitä hyödyntävien laitteiden määrä on kasvussa. Myös Kim ja Kim [2014] ennustivat puheluihin vastaamisen olevan lähitulevaisuudessa mahdollista suoraan kuulokojeesta.

Kuulokojeiden haasteena on paristojen saatavuus. Nykyisin useimmat kuulokojeet vaativat jatkuvaa paristojen vaihtamista, minkä vuoksi huonokuuloisella käyttäjällä pitää olla lähes jatkuvasti paristoja saatavilla. Paristojen saaminen voi olla erityisen haasteellista esimerkiksi kehitysmaissa. Sisäkorvaistutteissa uudelleenladattavien akkujen käyttö on jo tavallista. Viitteitä kuulokojeiden tulevasta kehityksestä saa kuulokojevalmistajille niin kutsuttuja SiP-ratkaisuja (System-in-Package) toimittavan On Semiconductor -siru-

valmistajan lokakuussa 2015 esittelemästä Ezairo 7150 SL -hybridimoduulista [ON Semiconductor, 2015]. Digitaaliteknoologiaan perustuva Ezairo 7150 SL -hybridimoduuli hyödyntää Nordic Semiconductorin nRF51822 -piiriä [Nordic Semiconductor, 2016]. Erityisesti kuulokojeille ja sisäkorvaistutuille suunnatun Ezairo 7150 SL:n yhteydessä esiteltiin HPM10 -virranhallintajärjestelmä, jonka avulla voidaan hyödyntää uudelleenladattavia akkuja. Langattoman latauksen ratkaisuja kehittävä Humavoxin langaton, radiotaajuuksia hyödyntävä ETERNA-latausalusta kykenee HPM10 -järjestelmän avulla lataamaan kuulokojeen akkuja langattomasti [Humavox, 2016]. Latausalustasta annettujen tietojen mukaan myös älykuulokkeiden lataus voisi onnistua sen avulla langattomasti.

Kirchbergerin ja Russon [2016] mukaan tutkimuksissa on laajasti osoitettu, että epälinearisella taajuussierrolla voidaan parantaa puheen ymmärrettävyyttä ja erityisesti frikatiivien ja affrikaattojen havaitsemista. Tutkijoiden mukaan epälineaarinen taajuussiirto ja taajuuksien transponointi ovat kuitenkin uhkia musiikin kuuntelun kannalta, sillä ne voivat hajottaa äänen harmonisen rakenteen eheyttä. Erityisesti musiikin kuuntelua varten kehitettiin harmoninen taajuuden alennus, jossa on tavoitteena säilyttää äänen sävelkorkeuteen ja harmoniseen rakenteeseen liittyviä ominaisuuksia.

#### **4.3.1. Henkilökohtaiset äänenvahvistimet**

Perinteisten kuulokojeiden rinnalla on myyty niin kutsuttuja henkilökohtaisia äänenvahvistimia (Personal Sound Amplification Products, PSAP), joilla ei ole virallisen kuulopuvälineen asemaa. Esimerkiksi FDA:n suositushjeistus luokittelee kuulokojeet puettaviksi äänenvahvistuslaitteiksi ja henkilökohtaiset äänenvahvistimet puettaviksi elektronisiksi laitteiksi [FDA, 2013]. Määritelmän mukaan kuulokojeet on luokiteltu terveydenhuollon laitteiksi, eikä henkilökohtaisia äänenvahvistimia voida mainonnalla kohdistaa huonokuuloisille. Markkinoilta löytyy kuitenkin useita äänenvahvistimia, jotka parantavat kuuloa, vaikka niillä ei ole kuulokojeen asemaa. Toisinaan henkilökohtaisia äänenvahvistimia kutsutaan myös älykuulokkeiksi, vaikka niiden toiminnot yleensä rajoittuvat äänen vahvistamiseen ja kohdistamiseen.

Erityisesti kehitysmaissa ongelmana on audiologisen infrastruktuurin puute ja koulutus kuulokojeiden käyttöön. Keidser ja Convery [2016] arvioivat jo vuonna 2011, että kuulokojemarkkinoille tulisi kojeita, joiden käyttöönotossa ja käytössä ei tarvittaisi ulkopuolista tukea. Vuonna 2016 tutkijat havaitsivat, että käyttöön on tullut jo useita näin toimivia kuulolaitteita. Yhtenä markkinoilla olevana laitteena mainittiin Soundhawk-kuuntelujärjestelmä.

Yhdysvaltalainen Soundhawk kuuluu tunnetuimpiin henkilökohtaisiin äänenvahvistimiin. Kesäkuussa 2014 yritys esitteli niin kutsutun älykkään kuuntelujärjestelmän [Soundhawk, 2014]. Järjestelmään kuuluivat Soundhawk-älypuhelinsovellus, korvaan

asetettava kuuloke, langaton etämikrofoni ja latauskotelo. Kuulokkeen ominaisuuksiksi mainitaan muun muassa mukautuva vastamelu, Bluetooth-tuki ja suuntamikrofoni [Soundhawk, 2016].

Viime vuosina joiltakin kasvuyrityksiltä on nähty äänenvahvistimen näkymättömyyteen panostavia ratkaisuja. Yhdysvaltojen markkinoille suunnattu Eargo on käytännössä ulkoisesti lähes näkymätön äänenvahvistin, joka on valmistajan mukaan suunnattu lievistä ja keskivaikeasta kuulonalenemasta kärsiville kuulovikaisille [Eargo, 2015]. Vuonna 2015 esitelty äänenvahvistin on jotain henkilökohtaisen äänenvahvistimen ja perinteisen kuulokojeen väliltä, sillä sitä markkinoidaan kuuloapuvälineenä, mutta myydään suoraan kuluttajille. Eargo kykenee vahvistamaan ääntä, mutta päästää korvakäytävän läpi myös luonnollisia bassoääniä. Eargon ITE-mallinen äänenvahvistin muistuttaa ulkoisesti kalastuksessa käytettävää perhoa. Korvakappaleen väkästen avulla Eargo on pyrkinyt välttämään perinteisten nappikuulokkeiden istuvuusongelmia. Eargo-kuulokkeita on myös mahdollista säätää yksilöllisesti käyttäjän kuuloon sopivaksi kuulokäyrän perusteella.



## 5. Pohdinta

Olen tutkielmassani luonut katsauksen tämän hetkiseen tilanteeseen älykkäitä ominaisuuksia sisältävissä kuulokkeissa ja kuuloapuvälineissä. Tarkoitukseni on ollut havainnollistaa ja selventää esimerkkejä käyttäen, millaisia laitteet ovat käytännössä ja miten ne vertautuvat toisiinsa. Visioin myös, mihin suuntaan korvaan puettavat laitteet voivat tulevaisuudessa kehittyä ja mitkä seikat ovat kehityksen kannalta erityisen merkityksellisiä.

Kehittyneimmät älykuulokkeet eroavat monista muista puettavan teknologian laitteista riippumattomuudellaan älypuhelimesta. Älykkäät kuulokkeista voivat lisäksi tehdä kyky mitata terveydentilaan liittyviä tietoja, ääniavustustoimintojen hyödyntäminen tai kyky käsitellä käyttäjää ympäröivää ääntä. Joissakin kuulokkeissa on myös sisäistä tallennustilaa, mikä mahdollistaa musiikin kuuntelun ilman lisälaitteita. Älykuulokkeet hyödyntävät yleensä langatonta teknologiaa, vaikka joissain älykuulokkeissa vasen ja oikea kuuloke on yhdistetty toisiinsa johdollisesti. Langattomuus ei kuitenkaan yksistään tee kuulokkeista älykkäitä. Olen erotellut älykuulokkeet tavallisista Bluetooth-kuulokkeista ja jakanut ne neljään eri luokkaan. Jaottelu on tällä hetkellä mielekäs, koska sillä tavalla voi havainnollistaa älykuulokkeiden eri mahdollisuuksia. Tulevaisuudessa on kuitenkin mahdollista, että jotkin luokat menettävät merkitystään ja markkinoita hallitsevat useampia toimintoja yhdistelevät hybridiälykuulokkeet.

Winokurin ja muiden [2012] sekä Da Hen ja muiden [2015] esittelemät korvan ominaisuuksia hyödyntävät puettavat laitteet on kehitetty erityisesti terveyteen liittyvien tietojen mittaamiseksi. Tutkimukset pitävät korvaa ihanteellisena sijaintina tietojen keräämiseen, koska korvasta voi mitata useita tietoja ja laite yleensä peittyi korvan rakenteen ja hiuksien ansiosta. Korva toimii myös kuulokojeiden ja nappikuulokkeiden osoittamaan tapaan luonnollisena ankkurina eli laitteita ei tarvitse erikseen kiinnittää paikalleen. Älykuulokkeista poiketen tutkimusten mittauskohda on korvan takana. Sen sijaan Vogelín ja muiden [2009] tutkimus kohdistui korvakäytävään asetettavaan tunnistimeen. Tulevaisuudessa älykuulokkeet voisivatkin mahdollistaa erilaisten terveystietojen tarkkailun entistä pidempiä tutkimusjaksoja hyödyntäen, ei-invasiivisesti ja tiettyyn paikkaan sitoutumattomasti. Korvalla on lisäksi potentiaalia olla esimerkiksi ranteessa pidettäviin aktiivisuusrannekkeisiin verrattuna luonnollisempi tapa mitata sykkeen kaltaisia tietoja. Korvassa on myös jo totuttu pitämään erilaisia äänentoistoon tarkoitettuja laitteita.

Älykkäiden kuulokkeiden kehitys on saanut inspiraatiota populaarikulttuurista. Vuonna 2008 julkaistussa Adam Brooksín ohjaamassa Ehdottomasti Ehkä -elokuvassa ja 2013 julkaistussa Spike Jonzen ohjaamassa Her-elokuvassa on kuvattu huomattavan kehittyneitä nappikuulokkeita. Elokuvista erityisesti Her on rakentunut pitkälti juuri älykuulokkeiden ominaisuuksien ympärille. Lähitulevaisuuteen sijoittuvassa elokuvassa

päähenkilö käyttää selvästi erottuvaa langatonta kuuloketta, joka on jatkuvasti kytkettynä verkkoon. Päähenkilö suorittaa ääniavustajan avulla elokuvassa useita erilaisia toimintoja, kuten tarkistaa sähköpostin, kuuntelee uutisia, toistaa satunnaisia musiikkikappaleita, kuuntelee säätiedotuksen ja juttelee satunnaiselle keskustelukumppanille. Kuvattuun kuulokkeeseen on myös mahdollista yhdistää kehittyvällä persoonallisuudella varustettu tekoälykäyttöjärjestelmä. Älypuhelimia Her-elokuvassa käytetäänkin lähes ainoastaan soittajien tietojen näkemiseen, kuvien katseluun ja ympäristön tarkkailuun kameran välityksellä.

Henkilökohtaisten avustajien älykuulokekategoria on osoittanut potentiaalia Sirin, Google Assistantin, Cortanan ja Houndifyn kaltaisten ääniavustajien saatua näkyvyyttä. Toisin kuin täysin itsenäisesti toimivien älykuulokkeiden tapauksessa, ääniavustajainnaisuuksiin keskittyvistä älykuulokkeista puuttuvat yleensä kehittyneet äänenkäsittelyominaisuudet ja urheilukäyttöä tukevat anturit. Älykuulokkeiden avulla ääniavustajat ovat jatkuvasti käyttäjän äänikomentojen ulottuvilla ja pystyvät kuiskaamaan vastaukset suoraan korvaan. Ääniavustajat voisivat esimerkiksi kirjata muistiinpanoja keskusteluista, etsiä kysymyksiin nopeasti vastauksia, kääntää puhetta reaaliaikaisesti kieleltä toiselle ja muistuttaa tärkeiden lääkkeiden ottamisesta. Osa tehtävistä on jo mahdollista suorittaa nykyisillä älykuulokkeilla, mutta esimerkiksi puheen kääntäminen reaaliaikaisesti vaatisi nykyistä kehittyneemmät ääniavustajat. Korvassa aktiivisesti toimiva ääniavustaja voi toisaalta olla myös häiriötekijä ja virheherkkä. Ongelmaksi voi ilmetä myös ääniavustajien epätarkkuus puheen tunnistuksessa. Vaikka avustaja tunnistaisi puhetta 90 prosentin tarkkuudella, se ei välttämättä riitä sitä aktiivisesti käyttävälle henkilölle. Mahdollinen tutkimuskohde olisikin, kuinka paljon käyttäjät ovat valmiita hyödyntämään nappikuulokkeessa aktiivisesti toimivaa ääniavustajaa ja kuinka hyvin nappikuulokkeen mikrofonista äänikomentoja vastaanottavan ääniavustajan voidaan odottaa toimivan.

Doppler Labsin Here-kuulokkeet ovat ensimmäisiä markkinoille saapuneita ympäristön ääntä käsitteleviä älykuulokkeita. Valikoivalle äänen suodatukselle voi jo nyt olla kysyntää esimerkiksi kaupunkiympäristössä, jossa on paljon turhaa taustahälyä, mutta tarve kuulla joitakin ääniä. MARA-tutkimuksissa visioitiin juuri Here-kuulokkeiden kaltaisia lisätyn todellisuuden kuulokkeita [Härmä *et al.*, 2004]. Tutkija Ron Azuman yleisesti hyväksytyyn määrittelyyn mukaan lisätyn todellisuuden kolme perusvaatimusta ovat kyky yhdistää todelliset ja virtuaaliset objektit, toimivuus interaktiivisesti ja reaaliaikaisesti ja todellisten sekä virtuaalisten objektien kohdistus toistensa kanssa [Azuma, 1997]. Heren ensimmäisissä arvosteluissa on kuitenkin huomattu, että aktiivinen ympäristön suodattaminen luo myös ongelmia. Kuulokkeet voivat esimerkiksi suodattaa tehokkaasti valitun ääniohjelman äänet, mutta päästävät muita häiritseviä ääniä läpi [Valcarcel,

2016]. Aktiivinen äänenkäsittely voikin siis käytännössä muuttaa vaikkapa oman puheäänänen tai tuulen kohinan häiritseväksi. Lisäksi kuulokkeet vaativat nykyisellään älypuhelimien käyttöä aina, kun erilaisia ääniohjelman muutoksia halutaan tehdä. Tulevaisuudessa älykuulokkeisiin voisikin tulla ominaisuus, jonka avulla kuuloke kykenisi kartoittamaan automaattisesti ympäristöä ja optimoimaan kuulon tilanteeseen sopivaksi.

Tremblayn ja muiden mukaan [2015] jopa yli kymmenen prosenttia väestöstä kokee kuulemisvaikeuksia, vaikka heidän kuulonsa on kliinikoiden käyttämien mittapuiden mukaan normaalilla tasolla. Tulevaisuudessa ylimääräistä hälyä vaimentavat ja ääntä kohdistavat älykuulokkeet ovatkin mahdollisesti huomaamaton ratkaisu kuulemisvaikeuksista kärsiville ja heille, jotka kokevat usein ympäristön hälyn häiritseväksi.

Vaikka älykuulokkeiden tulevaisuus tarjoaa lukuisia mahdollisuuksia, eivät ne vielä vuoden 2016 ensimmäisellä puoliskolla ole onnistuneet vakiinnuttamaan paikkaansa. Näkyvyyttä saaneet tuotteet ovat olleet usein peräisin kasvuyrityksiltä, jotka ovat kohdanneet erityisesti langattomuuteen liittyviä ongelmia. Toisaalta esimerkiksi Doppler Labsin Here-kuulokkeet ovat jo saatavilla, mutta niiden kohdeyleisö on melko rajattu. Muutaman vuoden kuluessa luultavasti näemmekin, nousevatko jotkin älykuulokkeet esimerkiksi Apple Watchin tai Fitbitin kaltaisiksi menestyksiksi puettavassa teknologiassa. Patenttihakemusten ja vuototietojen perusteella massayleisön löytävä älykuuloke voisi saapua lähitulevaisuudessa Applelta tai Samsungilta.

Teknologisesti älykuulokkeiden suurimpiin haasteisiin lukeutuu langaton teknologia ja erityisesti se, kuinka kuulokkeet voivat kommunikoida keskenään. Älykuulokkeissa Bluetooth-teknologia on ongelmallinen, sillä Bluetooth- ja muut 2,4 gigahertsin signaalit vaimentuvat merkittävästi tilanteessa, jossa vasemman ja oikean korvan kuulokkeiden on tarkoitus kommunikoida keskenään pään läpi muodostettavalla yhteydellä. Ongelman voisi ratkaista isommalla antennilla, mutta ratkaisu ei usein ole järkevä käytännöllisistä ja esteettisistä syistä. Joissain tapauksissa, kuten The Sound -kuulokkeissa, langattomuuden ongelmia ei ole, koska kuulokkeet ovat riittävän isokokoiset. Yleisesti trendinä on kuitenkin ollut kuulokkeiden pieneneminen. Langattomuuden lisäksi kuulokkeiden haasteina ovat jo perinteisesti olleet niiden istuminen ja pysyminen mukavasti korvassa. Nykyiset älykuulokkeet onkin suunniteltu pääosin vain satunnaista käyttöä varten ja esimerkiksi urheilukuulokkeilta ei välttämättä enempää vaaditakaan. Toisaalta urheilukäytön jatkuva liike asettaa vaatimuksia kuulokkeiden pysyvyydelle korvassa varsinkin täysin langattomissa kuulokkeissa.

Kuulokojen kaltaiset apuvälineet ovat YK:n vammaisten henkilöiden oikeuksia koskevan yleissopimuksen mukaan perusoikeus huonokuuloiselle henkilölle [Borg *et al.*, 2009]. Tässä tutkielmassa on selvitetty tämän hetkinen kehitystilanne kuulokojemarkkinoilla. Havaintojen perusteella markkinat ovat jakautuneet kuuden suuren valmistajan

kesken ja samoja edistyneitä toimintoja löytyy useilta valmistajalta. Valmistajat ilmentävätkin usein kehitystä vertaamalla uuden sukupolven kojeiden ominaisuuksia edelliseen sukupolveen. Äänenlaatuun ja laitteiden yksityiskohtaisen teknisen rakenteen sijaan painotin selvityksessä erityisesti kojeiden innovaatioita langattoman teknologian hyödyntämisessä. Langattomuuteen liittyviä toimintoja, kuten yhdistettävyyttä älypuhelimeen, kutsutaan kuulokojeissa usein älykkäiksi ominaisuuksiksi.

Tarvetta kuuloon liittyville innovaatioille ja halvoille kuulokojeille on erityisesti kehitysmaissa, joissa kuulokojeiden käytön arvioidaan olevan kysyntään nähden selvästi vähäisempää kuin muualla [Stevens *et al.*, 2013]. WHO:n mukaan maailmanlaajuisesti kuuloapuvälineitä on saatavilla vain alle kymmenelle prosentille niitä tarvitsevista. Kehitysmaissa vastaava luku on alle kolme prosenttia [WHO, 2015a].

Yhdysvalloissa on käyty enenevässä määrin keskustelua kuulokojemarkkinoista ja henkilökohtaisten äänenvahvistimien asemasta. Lokakuussa 2015 julkaistu kansallinen PCAST-raportti nosti esiin kansalaisten ikääntymiseen liittyvän huonokuuloisuuden yleisyyden ja paikallaan polkevat kuulokojemarkkinat [PCAST, 2015]. Raportin mukaan kuuden ison yrityksen hallitsemat kuulokojemarkkinat eivät ole kuluttajaelektronikka-tuotteiden tapaan kehittyneet suuntaan, jossa kilpailu lisäisi tuotteiden ominaisuuksia ja halventaisi hintoja. Muissa kuluttajatuotteissa yleisesti käytössä olevat ominaisuudet, kuten älypuhelinsovellus- ja Bluetooth-tuki voivat lisätä kuulokojeen hintaa jopa 500–1000 dollarilla. Vuonna 2010 kuulokojeisiin sisältyvien osien hinnaksi arvioitiin alle 100 dollaria ja hinnan kehittyvän alaspäin teknologiaan ja valmistukseen liittyvien kehitysharppausten myötä [Donahue *et al.*, 2010]. Kuulokojeiden valmistuskustannuksiin liittyvä luku oli esillä myös PCAST-raportissa.

PCAST-raportti mainitsee myös älykuulokkeet, joiden käyttökohteiksi visioidaan henkilökohtainen avustus, unohtuneiden nimien palautus, terveystoimintojen seuranta ja sisä- sekä ulkonavigointi. Muita lähitulevaisuudessa kuluttajia hyödyntäviä teknologioita ovat raportin mukaan esimerkiksi automatisoitu kuulontarkistus älylaitteiden avulla ja yksilöllisesti kolmiulotteisesti tulostettavat korvakappaleet.

Raportti suositteli havaintojen perusteella FDA:lle uuden, erillisen kuulokojekategorian luomista, johon lukeutuisi lievään ja keskivaikean kuulonalenemaan tarkoitettuja perusluokan kuulokojeita. Perusluokan kuulokojeita voisi raportin mukaan myydä ilman konsultointia, mutta asianmukaisilla varoituksilla varustettuna tavallisissa kaupoissa. Raportissa esitetään lisäksi henkilökohtaisten äänenvahvistimien osalta nykyisten FDA:n suositushjeistusten perumista. Sen mukaan laitteet tulisi ymmärtää kuluttajatuotteina, jotka voivat olla avuksi kuulemisvaikeuksissa. Tilannetta verrataan lukulasien myyntiin tavallisissa kaupoissa.

Useita kuuloalan yrityksiä edustava Hearing Industries Association (HIA) on julkaissut PCAST:lle vastineen, jossa raportin päätelmiä kritisoidaan laajasti [HIA, 2015]. HIA kertoo vastineessaan kannattavansa ajatusta kuuloapuvälineiden paremmasta saatavuudesta, mutta ei kannata uuden kuulokojeluokan luomista. HIA vertaa raportin suosituksia Japaniin, jossa kuulokojeden myyntiä ei säännöstellä lainkaan. Vastineessa mainittujen tutkimusten mukaan tilanteesta on seurannut se, että kuulokojeita on käytössä vähemmän ja tyytyväisyys kojeisiin on alhaisempi. HIA:n mukaan myös väite kuulokojeden vähäisestä innovoinnista on virheellinen, koska kuulokojevalmistajat käyttävät käyttävän vuosittain 600 miljoonaa dollaria kuulolaitteiden kehitykseen. Alan viimeisimmiksi innovaatioiksi mainitaan suuntamikrofoniteknologia, kehittyneet algoritmit kuulotilanteen tunnistamiseksi ja suora langaton yhteys Bluetooth-laitteisiin. Lisäksi 3D-tulostuksen sanotaan olleen käytössä jo pitkään. Euroopassa kuulokojualan ammattilaisten (European Association of Hearing Aid Professionals, AEA) ja huonokuuloisten Euroopan järjestö (European Federation of Hard of Hearing People, EFHOH) ovat ilmaisseet huolensa henkilökohtaisten äänenvahvistimien vaikutuksista kuuloon [EUHA, 2015]. Järjestöjen mukaan henkilökohtaisten äänenvahvistimien käyttö voi heikentää kuuloa, koska suuri yleisö ei tiedä, mitä eroa on kuulokojella ja henkilökohtaisilla äänenvahvistimilla. Laitteita kerrotaan myös olevan EU:n markkinoilla.

PCAST-raportin ehdotukset ovat saaneet ristiriitaisen vastaanoton sidosryhmiltä [Blustein and Weinstein, 2016]. Toisaalta ne voivat toteutuessaan avata mahdollisuuksia kuuloapuvälineiden määrän kasvuun, mutta toisaalta tavallisista kaupoista myydessä asiakkaan huonokuuloisuuden taustalla oleva sairaus voi jäädä huomaamatta. Joidenkin audiologioiden ja kuulokojevalmistajien edustajien kerrotaan väittävän, että ammattimainen avustus on tärkeää diagnosoinnissa, laitteen sovituksessa ja laitteen käyttöönotossa, vaikka tutkimustulokset eivät välttämättä tuekaan väitettä [Blustein and Weinstein, 2016].

Tässä tutkielmassa on kartoitettu kuuden suurimman valmistajan tämän hetkisiä huippukuulokojeita. Kartoituksen perusteella voidaan todeta, että viime vuosina on nähty kehitysharppauksia kuulokojeden yhdistettävyydessä langattomasti esimerkiksi älypuheliin. Ongelmat Bluetooth-teknologiassa rajoittavat kuitenkin edelleen kuulokojeden kehitystä suuntaan, jossa langattomuus ei vaatisi kaulassa pidettävää induktiosilmukkaa. Pitkään kuulokojissa juuri induktiosilmukan kautta hyödynnetty NFMI-tekniikka on kuitenkin osoittanut potentiaalia ratkaisuksi Bluetoothin ongelmakohdissa. NFMI on osoittautunut myös älykuulokkeissa keskeiseksi tekniikaksi, koska sen avulla päässä pidettävät kuulokkeet pystytään kytkemään langattomasti yhteistyöhön.

Kuulokojeiden ja kuulokkeiden lisäksi myös sisäkorvaistutteet ovat ottaneet kehitysaskeleita, vaikka laitteiden päivitystahti on hidas, kestäen useita vuosia. Muutaman viimeisen vuoden aikana uusimpiin puheprosessoreihin on kuitenkin ilmestynyt automaattisen ääniympäristön tunnistamisen kaltaisia toimintoja ja langattomaan teknologiaan liittyviä innovaatioita. Lisäksi laitteiden fyysinen koko on pienentynyt uusien sukupolvien myötä.

## 6. Yhteenveto

Kuuloapuvälineiden tekniset kehitysaskeleet ja kuuloon liittyvät innovaatiot ovat tärkeitä, koska huonokuuloisten määrä on myös Suomessa lisääntymässä ja normaalikuuloisistakin yli kymmenellä prosentilla on kuulemisvaikeuksia joissakin tilanteissa. Tässä tutkielmassa on kartoitettu älykuulokkeiden, kuulokojeiden ja sisäkorvaistutteiden tämän hetken kehitystilannetta.

Älykuulokkeiden kehitys on saanut vauhtia muun muassa langattoman teknologian kehityksestä, nappikuulokkeiden kehityksestä ja havainnosta, että korvasta on mahdollista mitata anturien avulla terveyteen liittyviä tietoja. Älykuulokkeet ovat tyypillisesti keskenään kommunikoiivia, molemmissa korvissa binauraalisesti pidettäviä laitteita. On kuitenkin olemassa myös yksittäisenä kuulokkeena toimivia älykuulokkeita. Esitän neljä luokkaa kuvaamaan erilaisia älykuulokkeita. Ympäristön ääntä käsittelevät kuulokkeet kykenevät käsittelemään ääntä siten, että käyttäjä voi personoida omaa kuuloaan. Urheiluun suunnatuilla älykuulokkeilla tarkoitetaan, että kuuloke kykenee mittaamaan korvasta sykkeen kaltaista tietoa ja esimerkiksi antamaan käyttäjälle urheilun aikana suoritukseen liittyviä tietoja. Ääniavustustoiminnoilla varustetut älykuulokkeet kykenevät vastaamaan käyttäjän äänikomentoihin ja hybridiälykuulokkeet puolestaan yhdistelevät useampien luokkien ominaisuuksia. Älykuulokkeiden käyttö voi olla mahdollista esimerkiksi älypuhelimien, äänikomentojen, pään liikkeiden tai kuulokkeissa olevan kosketuskäyttöliittymän avulla. Lähitulevaisuudessa on odotettavissa, että markkinoille saapuu yhä enemmän langattomia älykuulokkeita.

Kuulokojemarkkinoita on hallinnut jo pitkään kuusi suurta yritystä, joilla on tyypillisesti valikoimassaan useita kuulokojetuotemerkkejä. Valmistajilla on eri tason kuulovioille erilaisia kuulokojetyyppisiä ja yhden tyypin kuulokojeesta voi löytyä useita hinnoiltaan ja ominaisuuksiltaan toisistaan eroavia suorituskykyluokkia. Viimeisen parin vuoden aikana tutkimuksista on saatu viitteitä, joiden mukaan ominaisuuksiltaan monipuolisemmat ja hinnoiltaan satoja euroja kalliimmat korkealuokkaiset kuulokojeet eivät välttämättä tuo lisäarvoa arkielämään verrattuna moderneihin perustason kuulokojeisiin. Yhdysvalloissa lokakuussa 2015 julkaistussa kansallisessa PCAST-raportissa kuulokojemarkkinoita onkin syytetty innovaatioiden puutteesta ja korkeista hinnoista ominaisuuksiin nähden.

Kartoituksen perusteella kuulokojeet ovat kehittyneet viimeisen parin vuoden aikana erityisesti langattoman yhdistettävyyden ja käyttäjän säätömahdollisuuksien osalta. Korkealuokkaiset kuulokojeet eroavat lisäksi toisistaan vedenpitävyysluokitukseltaan ja yhdistettävyydellä internetiin. Huipputason ominaisuudet löytyvät kuitenkin vain markkinoiden kalleimmista ja edistyneimmistä malleista. Sisäkorvaistutteissa kehitys näkyy puolestaan laitteiden koon pienenemisenä ja entistä automaattisempina toimintoina.

## Viiteluettelo

- [Abrams, 2016] Michael Abrams. NFMI: Connectivity for the IoT. Lainattu 16.5.2016, saatavilla <https://www.linkedin.com/pulse/nfmi-connectivity-iot-michael-abrams>.
- [Advanced Bionics, 2013] Advanced Bionics Announces the Commercial Release of the Naída CI Q70 Sound Processor in Europe, Canada and Several Other Countries Around the World [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://www.advancedbionics.com/it/it/system/footer/about\\_us/corporate\\_news/2013/naida\\_europe\\_canada.html](http://www.advancedbionics.com/it/it/system/footer/about_us/corporate_news/2013/naida_europe_canada.html).
- [Advanced Bionics, 2015] Advanced Bionics Receives TÜV Approval for the Naída CI Q Series of Sound Processors [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.4.2016, saatavilla [http://www.advancedbionics.com/us/en/system/footer/about\\_us/corporate\\_news/2015/two\\_new\\_naida\\_ci\\_processors.html](http://www.advancedbionics.com/us/en/system/footer/about_us/corporate_news/2015/two_new_naida_ci_processors.html).
- [Ahti, 2010] Helena Ahti. Kuulovammaisten kuntoutuksen monimuotoiset ratkaisut. In: Eila Lonka and Kaisa Launonen (eds.), *Kuulokuntoutuksen käytännöt muutoksessa*. Palmenia-sarja 71, Helsinki: Gaudeamus, 138–174.
- [Altec Lansing, 2016] New "Freedom" Earbuds from Altec Lansing Enable True Wireless Listening. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.prnewswire.com/news-releases/new-freedom-earbuds-from-alc Lansing-enable-true-wireless-listening-300198507.html>.
- [Andersson *et al.*, 2010] Gerhard Andersson, Sara Andersson, Stig Arlinger, Torborg Arvidsson, Anita Danielsson, Tapani Jauhiainen, Anders Jönsson, Lars Kronlund, Einar Laukli, Lars van der Lieth, Björn Lyxell, Per Nielsen, Eva Nyberg and Jerker Rönnerberg. Kuntoutus. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 213–248.
- [Apple, 2016] Made for iPhone Hearing Aids. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.apple.com/accessibility/ios/hearing-aids/>.
- [Arlinger, 2008] Stig Arlinger. Psykoakustiikka. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 33–44.
- [Arlinger *et al.*, 2008] Stig Arlinger, Gylfi Baldursson, Björn Hagerman and Tapani Jauhiainen. Kuulontutkimukset. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 95–139.
- [Armstrong, 2016] I Just Spoke With Pilot And I Don't Know If It Is Real... Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.forbes.com/sites/paularmstrongtech/2016/05/17/i-just-spoke-with-pilot-and-i-dont-know-if-its-real/#65372189215c>.
- [Azuma, 1997] Ronald T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 6(4), 355–385.



- [Bansal, 2004] Rajeev Bansal. Near-Field Magnetic Communication. *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, 46(2), 114–115.
- [Berggren *et al.*, 2008] Diana Berggren, Tapani Jauhiainen, Sari Levänen, Ola Lind, Bengt Magnusson, Jean K. Moore and Kirsten Osen. Korvan ja kuulojärjestelmän kehitys, rakenne ja toiminta. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 63–94.
- [Bess and Hornsby, 2014] Fred H. Bess and Benjamin W.Y. Hornsby. Commentary: Listening can be exhausting—Fatigue in children and adults with hearing loss. *Ear and hearing*, 35(6), 592–599.
- [BioSensive Technologies, 2016] Ear-O-Smart. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://earosmart.com/>.
- [Blass, 2016] Evan Blass. First look: Samsung Gear Fit 2 and Gear IconX revealed. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://venturebeat.com/2016/04/26/first-look-samsung-gear-fit-2-and-gear-iconx-revealed/>.
- [Bluetooth, 2014] Bluetooth sig and ehima partner to advance hearing instrument technology to improve the lives of the hearing impaired [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.bluetooth.com/news/press-releases/2014/03/12/bluetooth-sig-ehima-partner-to-advance-hearing-instrument-technology-to-improve-the-lives-of-the-hearing-impaired>.
- [Bluetooth, 2016a] Bluetooth specifications. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.bluetooth.com/specifications>.
- [Bluetooth, 2016b] Bluetooth our history. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.bluetooth.com/media/our-history>.
- [Blustein and Weinstein, 2016] Jan Blustein and Barbara E. Weinstein. Opening the Market for Lower Cost Hearing Aids: Regulatory Change Can Improve the Health of Older Americans. *American Journal of Public Health*, 106(6), 1032–1035.
- [Borg *et al.*, 2009] Johan Borg, Anna Lindström and Stig Larsson. Assistive technology in developing countries: national and international responsibilities to implement the Convention on the Rights of Persons with Disabilities. *The Lancet*, 374(9704), 1863–1865.
- [Bragi, 2014] The Dash – Wireless Smart In Ear Headphones. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.kickstarter.com/projects/hellobragi/the-dash-wireless-smart-in-ear-headphones>.
- [Bragi, 2016a] O2 brings Bragi “The Dash” wireless earphones to the UK [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://cdn.bragi.com/www/2016/04/22084743/PRelease-O2-Bragi.pdf>.

- [Bragi, 2016b] The Dash now available at Vodafone Germany [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://cdn.bragi.com/www/2016/04/27161427/hlink-Vodafone\\_Bragi\\_FINAL.pdf](http://cdn.bragi.com/www/2016/04/27161427/hlink-Vodafone_Bragi_FINAL.pdf).
- [Bragi, 2016c] Bragi. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.bragi.com/>.
- [Budidha and Kyriacou, 2014] Karthik Budidha and Panayiotis A Kyriacou. The human ear canal: Investigation of its suitability for monitoring photoplethmographs and arterial oxygen saturation. *Physiological measurement*, **35**(2), 111–128.
- [Cochlear, 2013] Cochlear announces the Nucleus 6 System [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/intl/about/media-centre/cochlear-announces-the-nucleus-6-system>.
- [Cochlear, 2015] GN ReSound and Cochlear Limited Establish Smart Hearing Alliance [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/intl/about/media-centre/gn-resound-and-cochlear-limited-establish-smart-hearing-alliance>.
- [Cosinuss, 2016] cosinuss – the company. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.cosinuss.com/content/medien/1-eine-gruppe-an-dateien/cosinusspa-en.docx>.
- [Cox *et al.*, 2014] Robyn M. Cox, Jani A. Johnson and Jingjing Xu. Impact of Advanced Hearing Aid Technology on Speech Understanding for Older Listeners with Mild to Moderate, Adult-Onset, Sensorineural Hearing Loss. *Gerontology*, **60**(6), 557–568.
- [Cox *et al.*, 2016] Robyn M. Cox, Jani A. Johnson and Jingjing Xu. Impact of Hearing Aid Technology on Outcomes in Daily Life I: The Patients' Perspective. *Ear & Hearing*. Saatavilla: <http://europemc.org/abstract/MED/26881981>.
- [Da He, 2015] David Da He, Eric S. Winokur and Charles G. Sodini. An Ear-Worn Vital Signs Monitor. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, **62**(11), 2547–2552.
- [Depari *et al.*, 2013] Alessandro Depari, Alessandra Flammioni, Stefano Rinaldi and Angelo Vezzoli. Multi-sensor system with Bluetooth connectivity for non-invasive measurements of human body physical parameters. *Sensors and Actuators A: Physical*, **202**, 147–154.
- [Donahue *et al.*, 2010] Amy Donahue, Judy R. Dubno and Lucille Beck. Accessible and Affordable Hearing Health Care for Adults with Mild to Moderate Hearing Loss. *Ear Hear*, **31**(1), 2–6.
- [Doppler Labs, 2015] Here Active Listening – Transform The Way You Hear The World. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.kickstarter.com/projects/dopplerlabs/here-active-listening-change-the-way-you-hear-the>.

- [Doppler Labs, 2016] Here Active Listening. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.hereplus.me/>.
- [Eargo, 2015] Eargo Disrupts Hearing Device Market with Launch of Innovative In-Ear Hearing Device [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.prnewswire.com/news-releases/eargo-disrupts-hearing-device-market-with-launch-of-innovative-in-ear-hearing-device-300104628.html>.
- [Earin, 2014] Earin – The Worlds Smallest Wireless Earbuds. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.kickstarter.com/projects/1629248706/earin-the-worlds-smallest-wireless-earbuds>.
- [EHIMA, 2015] About EHIMA. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.ehima.com/about-ehima/>.
- [Eisen, 2009] Marc D Eisen. The History of Cochlear Implants. In: John K. Niparko (eds.), Cochlear implants: principles & practices. Lippincott Williams & Wilkins, 89–92.
- [Erato Audio, 2016] Apollo 7 – World’s Most Compact True Wireless Earphones. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.kickstarter.com/projects/1865494715/apollo-7-worlds-most-compact-true-wireless-earphon>.
- [EUHA, 2015] Paper on the potential risk of using ”Personal Sound Amplification Products” PSAPs December 2015. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.euha.org/assets/Uploads/Internationales/AEA-EFHOH-Paper-on-Personal-Sound-Amplification-Products-12-15.pdf>.
- [FDA, 2013] Regulatory Requirements for Hearing Aid Devices and Personal Sound Amplification Products - Draft Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff (päivitetty 27.7.2015). Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/Guidance-Documents/ucm373461.htm>.
- [Galster, 2010] Jason A. Galster. A new method for wireless connectivity in hearing aids. *The Hearing Journal*, **63**(10), 36–38.
- [Garcia-Espinosa *et al.*, 2015] E. Garcia-Espinosa, O. Longoria-Gandara, A. Veloz-Guerrero and G. G. Riva. Hearing aid devices for smart cities: A survey. In: *Smart Cities Conference (ISC2), 2015 IEEE First International*, 1–5.
- [GN ReSound, 2013] GN ReSound Launches ReSound LiNX, a Revolutionary Hearing Aid [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.business-wire.com/news/home/20140224005645/en/GN-ReSound%20AE-Launches-ReSound-LiNX%E2%84%A2-Revolutionary-Hearing>.

- [GN ReSound, 2015] GN ReSound launches ReSound LiNX2 and Beltone Legend [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.businesswire.com/news/home/20150302005704/en/ReSound%C2%AE-Launches-ReSound-LiNX2%E2%84%A2-World%E2%80%99s-Full-Family>.
- [Gygi and Ann Hall, 2016] Brian Gygi and Deborah Ann Hall. Background sounds and hearing-aid users: A scoping review. *International Journal of Audiology*, **55**(1), 1–10.
- [Harman, 2016] JBL and Under Armour Usher in New Standard for Wireless Sport Headphones [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://news.harman.com/releases/jbl-and-under-armour-usher-in-new-standard-for-wireless-sport-headphones>.
- [HIA, 2015] Hearing Industries Association. Response of Hearing Industries Association to October 2015 PCAST Report on Hearing Aids. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://www.hearing.org/uploadedFiles/Content/HIA\\_Updates\\_and\\_Bulletins/Response%20of%20HIA%20to%20October%202015%20PCAST%20Report%20on%20Hearing%20Aids%20%2800172863%29.pdf](http://www.hearing.org/uploadedFiles/Content/HIA_Updates_and_Bulletins/Response%20of%20HIA%20to%20October%202015%20PCAST%20Report%20on%20Hearing%20Aids%20%2800172863%29.pdf).
- [Hornsby and Kipp, 2016] Benjamin W.Y. Hornsby and Aaron M. Kipp. Subjective Ratings of Fatigue and Vigor in Adults With Hearing Loss Are Driven by Perceived Hearing Difficulties Not Degree of Hearing Loss. *Ear and hearing*, **37**(1), e1–e10.
- [Huber *et al.*, 2014] Rainer Huber, Vijay Parsa and Susan Scollie. Predicting the Perceived Sound Quality of Frequency-Compressed Speech. *PloS one*, **9**(11), e110260.
- [Human, 2016] Secretive Venture, Human, Announces Flagship Audio Product [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://whoishuman.io/pr4212016-1>.
- [Humavox, 2016] Humavox Brings New Smart Wireless Charging Technology to Hearing Aids, Wireless Earbuds, and Hearables [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.businesswire.com/news/home/20160413005904/en/Humavox%C2%AE-Brings-Smart-Wireless-Charging-Technology-Hearing>.
- [Hunn, 2014] Nick Hunn. Hearables – the new Wearables. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.nickhunn.com/hearables-the-new-wearables/>.
- [Huttunen *et al.*, 2008] Kerttu Huttunen, Tapani Jauhiainen, Björn Lyxell, Bob McAllister, Taisto Määttä, Jerker Rönnerberg and Birgit Svendsen. Kielellinen viestintä. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 45–62.
- [Häkli *et al.*, 2014] Sanna Häkli, Mirja Luotonen, Risto Bloigu, Kari Majamaa and Martti Sorri. Childhood hearing impairment in northern Finland, etiology and additional

- disabilities. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, **78** (2014), 1852–1856.
- [Härmä *et al.*, 2004] Aki Härmä, Julia Jakka, Miikka Tikander, Matti Karjalainen, Tapio Lokki, Jarmo Hiipakka and Gaëtan Lorho. Augmented reality audio for mobile and wearable appliances. *Journal of the Audio Engineering Society*, **52**(6), 618–639.
- [Intel, 2014] Intel and SMS Audio to Supercharge Fitness Wearables [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-and-sms-audio-to-supercharge-fitness-wearables/>.
- [Intel, 2016] Intel Brings Amazing Experiences to Life at Consumer Electronics Show [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-brings-amazing-experiences-to-life-at-consumer-electronics-show/>.
- [Jabra, 2014] Beat Your Best With Jabra’s All in One Training Solution [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.jabra.com/cp/us/pressreleasesarchive/2014/press-release-27-08-2014>.
- [Jauhiainen, 2007] Tapani Jauhiainen. *Huonokuuloisuus*. WSOY
- [Johansson, 2011] Reijo Johansson. Äänesaudiometria. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korva-, nenä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 31–34.
- [Kanoa, 2016] KANO. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.getkanoa.com/>.
- [Keidser and Convery, 2016] Self-Fitting Hearing Aids: Status Quo and Future Predictions. *Trends in Hearing*, **20**, 1–15.
- [Kim and Kim, 2014] Jin Sook Kim and Chun Hyeok Kim. A Review of Assistive Listening Device and Digital Wireless Technology for Hearing Instruments. *Korean journal of audiology*, **18**(3), 105–111.
- [Kim *et al.*, 2016] Han-Joon Kim, Jinho Park, Kyoung-Sub Oh, Jihwan P. Choi, Jae Eun Jang and Ji-Woong Choi. Near-Field Magnetic Induction MIMO Communication Using Heterogeneous Multipole Loop Antenna Array for Higher Data Rate Transmission. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **64**(5), 1952–1962.
- [Kirchberger and Russo, 2016] Martin Kirchberger and Frank A. Russo. Harmonic Frequency Lowering: Effects on the Perception of Music Detail and Sound Quality. *Trends in hearing*, **20**, 2331216515626131.
- [Kirkwood, 2013] David H. Kirkwood. Research firm analyzes market share, retail activity, and prospects of major hearing aid manufacturers. *Hearing News Watch*, July 3, 2013. Saatavilla <http://hearinghealthmatters.org/hearingnewswatch/2013/research-firm-analyzes-market-share-retail-stores-prospects-of-major-hearing-aid-makers/>.

- [Knudsen *et al.*, 2010] Line Vestergaard Knudsen, Marie Öberg, Claus Nielsen, Graham Naylor and Sophia E. Kramer. Factors Influencing Help Seeking, Hearing Aid Uptake, Hearing Aid Use and Satisfaction With Hearing Aids: A Review of the Literature. *Trends in Amplification*, **14**(3) (2010), 127–154.
- [Kochkin, 2012] Sergei Kochkin. MarkeTrak VIII: The key influencing factors in hearing aid purchase intent. *Hearing Review*, **19**(3), 12–25.
- [Krokstad and Laukli, 2008] Asbjorn Krokstad and Einar Laukli. Akustiikka. In: Tapani Jauhiainen (eds.), *Audiologia*. Duodecim, 11–33.
- [Kuuloliitto, 2016a] Huonokuuloisuus yleistyy. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/huonokuuloisuus/>.
- [Kuuloliitto, 2016b] Sisäkorvaistute-esite (päivitetty 27.1.2016). Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/sisakorvaistute/>.
- [Kuurojen Liitto ry, 2010] Suomen viittomakielten kielipoliittinen ohjelma. Kuurojen Liitto ry ja Kotimaisten kielten tutkimuskeskus. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://scripta.kotus.fi/www/verkkojulkaisut/julk15/Viittomakielten\\_kielipoliittinen\\_ohjelma.pdf](http://scripta.kotus.fi/www/verkkojulkaisut/julk15/Viittomakielten_kielipoliittinen_ohjelma.pdf).
- [LapCi, 2016] Sisäkorvaistute (SI). Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.lapci.fi/sisakorvaistute/>.
- [LG, 2014] LG Jumps Into Fitness Tech at CES With Lifeband Touch and Heart Rate Earphones [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://www.lg.com/ca\\_en/press-release/lg-jumps-into-fitness-tech-at-ces-with-lifeband-touch-and-heart-rate-earphones](http://www.lg.com/ca_en/press-release/lg-jumps-into-fitness-tech-at-ces-with-lifeband-touch-and-heart-rate-earphones).
- [Limb and Roy, 2014] Technological, biological, and acoustical constraints to music perception in cochlear implant users. *Hearing research*, **308**, 13–26.
- [Louekari and Tuominen, 2010] Hannele Louekari and Annikki Tuominen. Kuulovammaisten lasten hoito foniatrian osastolla. In: Eila Lonka and Kaisa Launonen (eds.), *Kuulonkuntoutuksen käytännöt muutoksessa*. Palmenia-sarja 71, Helsinki: Gaudeamus.
- [Lumafit, 2014] Lumafit – Interactive Fitness Coach With Heart Age Tracking. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.kickstarter.com/projects/1965740681/lumafit-worlds-first-fitness-tracker-for-body-and/updates>.
- [Luotonen, 2011] Mirja Luotonen. Kuntoutus. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korva-, nenä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 103–104.
- [Löppönen, 2011] Heikki Löppönen. Varhaislapsuuden kuuloviat. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korva-, nenä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 72–76.
- [Manchayah *et al.*, 2015] Vinaya Manchayah, Berth Danermark, Vinay, Tayebbeh Ahmadi, David Tomé, Rajalakshmi Krishna and Per Germudsson. Social representation of

- hearing aids: cross-cultural study in India, Iran, Portugal, and the United Kingdom. *Clin Interv Aging*. **10** (2015), 1601–1615.
- [Martikainen and Rainò, 2014] Liisa Martikainen and Päivi Rainò. Sisäkorvaistutetta käyttävien lasten ja nuorten kuntoutus- ja tulkkaukspalvelujen toteutuminen ja tarve tulevaisuudessa. *Sosiaali- ja terveysturvan selosteita*, **89**(2014).
- [McCormack and Fortnum, 2013] Abby McCormack and Heather Fortnum. Why do people fitted with hearing aids not wear them? *International Journal of Audiology*, **52**(5), 360–368.
- [MED-EL, 2013] MED-EL Announces Worldwide Launch of RONDO Single-Unit Processor for Cochlear Implants [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.medel.com/rondo-launch/>.
- [MED-EL, 2014] FDA Approves New SONNET Audio Processor and MAESTRO 6.0 Software from MED-EL [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://s3.medel.com/pdf/US/24967\\_r10\\_SONNET\\_FDA%20Approval-Press-Release.pdf](http://s3.medel.com/pdf/US/24967_r10_SONNET_FDA%20Approval-Press-Release.pdf).
- [MED-EL, 2015] First U.S. Patient Receives MED-EL’s SYNCHRONY Cochlear Implant [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://s3.medel.com/pdf/US/SYNCHRONY\\_First\\_Surgery\\_3.24.15.pdf](http://s3.medel.com/pdf/US/SYNCHRONY_First_Surgery_3.24.15.pdf).
- [Morton and Nance, 2006] Cynthia C. Morton and Walter E. Nance. Newborn Hearing Screening – A Silent Revolution. *The New England Journal of Medicine*, **354** (2006), 2151–2164.
- [Motorola, 2014] Motorola Gives You the Power to Choose with New Smartphones, Wearables and Accessories. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://motorola-blog.blogspot.co.uk/2014/09/motorola-gives-you-power-to-choose-with.html>.
- [Mäki-Torkko, 2011] Elina Mäki-Torkko. Ikäkuulo. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korvanä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 76–79.
- [Nordic Semiconductor, 2014] Bluetooth Smart hearing aid receives stereo audio direct from iOS devices and can recognize and optimize settings in frequently visited places [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.nordicsemi.com/eng/News/News-releases/Product-Related-News/Bluetooth-Smart-hearing-aid-receives-stereo-audio-direct-from-iOS-devices-and-can-recognize-and-optimize-settings-in-frequently-visited-places>.
- [Nuheara, 2016] Nuheara IQbuds: Super Intelligent Wireless Earbuds. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [https://www.indiegogo.com/projects/nuheara-iqbuds-super-intelligent-wireless-earbuds#](https://www.indiegogo.com/projects/nuheara-iqbuds-super-intelligent-wireless-earbuds#/).



- [NIDCD, 2014] National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. Cochlear Implants. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.nidcd.nih.gov/health/cochlear-implants>.
- [NXP, 2015] NXP Announces Ultra-Low Power Radio Transceiver Enabling Truly Wireless Earbuds [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.globenewswire.com/news-release/2015/02/26/710225/10122169/en/NXP-Announces-Ultra-Low-Power-Radio-Transceiver-Enabling-Truly-Wireless-Earbuds.html>.
- [NXP, 2016] NXP and BRAGI Demonstrate World's First Smart, Truly Wireless Earphones at CES 2016 [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://globenewswire.com/news-release/2016/01/06/799852/0/en/NXP-and-BRAGI-Demonstrate-World-s-First-Smart-Truly-Wireless-Earphones-at-CES-2016.html>.
- [ON Semiconductor, 2015] ON Semiconductor Announces New Solutions Enabling State-of-the-Art Wireless and Recharging Features in Hearing Aids [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/newsItem.do?article=3416>.
- [Onkyo, 2016] True Wireless headphones with charging case. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.onkyo-headphones.com/en/headphones/in-ear/w800bt.html>.
- [Oticon, 2016a] Speed, power and connectivity open up the world for the end-user [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.oticon.global/about/press/news/2016/open-up-the-world/>.
- [Oticon, 2016b] The Neuro System - Designed for a future of sounds. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.oticonmedical.com/~asset/cache.ashx?id=43833&type=14&format=web>.
- [Patel and Wang, 2010] Maulin Patel and Jianfeng Wang. Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies. *IEEE Wireless Communications Magazine*, **17**(1), 80–88.
- [PCAST, 2015] President's Council of Advisors on Science and Technology. Report on Hearing Technologies, lainattu 30.5.2016, saatavilla [https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast\\_hearing\\_tech\\_letterreport\\_final3.pdf](https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/pcast_hearing_tech_letterreport_final3.pdf).
- [Phazon, 2016] Phazon: Wireless Earbuds Quaranteed Not to Fall. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [https://www.indiegogo.com/projects/phazon-wireless-earbuds-guaranteed-not-to-fall#](https://www.indiegogo.com/projects/phazon-wireless-earbuds-guaranteed-not-to-fall#/).
- [Phonak, 2016a] Phonak unveils Naída V portfolio [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5, saatavilla <https://www.phonak.com/com/en/press/phonak-naida-v.html>.



- [Phonak, 2016b] Phonak launches Sky V [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.phonak.com/com/en/press/phonak-sky-v.html>.
- [Phonak, 2016c] Phonak Naída V User Guide. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.phonakpro.com/us/en/products/hearing-aids/naida-v/overview-naida-v.html>.
- [QuietOn, 2016] Suomalainen innovaatio maailmanmaineeseen [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.epressi.com/tiedotteet/terveys/suomalainen-innovaatio-matkalla-maailmanmaineeseen.html>.
- [ReSound, 2016] ReSound LiNX2 support. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.re-sound.com/en-US/support/linx2support>.
- [Ripplebuds, 2016] RippleBuds: World's 1st Noise Blocking Earbuds. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.indiegogo.com/projects/ripplebuds-world-s-1st-noise-blocking-earbuds#/>.
- [Roth *et al.*, 2011] Thomas Niklaus Roth, Dirk Hanebuth and Rudolf Probst. Prevalence of age-related hearing loss in Europe: a review. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, **268** (2011), 1101–1107.
- [Salonen *et al.*, 2011] Jaakko Salonen, Lars Kronlund ja Erna Kentala. Mitä uutta kuolonkuntoutuksessa? *Duodecim*, **127** (2011), 835–842.
- [Savolainen, 2011] Seppo Savolainen. Meluvamma. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korvanä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 79–82.
- [Siekkinen *et al.*, 2012] Matti Siekkinen, Markus Hienkari, Jukka K. Nurminen and Johanna Nieminen. How low energy is bluetooth low energy? comparative measurements with zigbee/802.15. 4. In *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE* (pp. 232-237). IEEE.
- [Signia, 2016] Product Portfolio Spring/Summer 2016. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [https://www.signia-pro.com/wp-content/uploads/sites/74/2016/03/Product-portfolio-catalog\\_2016-02\\_en.pdf](https://www.signia-pro.com/wp-content/uploads/sites/74/2016/03/Product-portfolio-catalog_2016-02_en.pdf).
- [Sivantos, 2015] Siemens Audiology business is now Sivantos [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.sivantos.com/en/press/2015/01/15/siemens-audiology-business-is-now-sivantos/>.
- [Sivantos, 2016a] Sivantos celebrates record first year and introduction of Signia hearing aid brand [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.sivantos.com/en/press/2016/01/25/sivantos-celebrates-record-first-year-and-introduction-of-signia-hearing-aid-brand/>.
- [Sivantos, 2016b] New Premium Hearing Aids [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <https://www.sivantos.com/en/press/2016/04/08/new-premium-hearing-aids/>.

- [Sivonen, 2011] Ville P. Sivonen. Binaural Directivity Patterns for Normal and Aided Human Hearing. *Ear & Hearing*, **32**(5), 674–677.
- [Smith, 2016] Gina Smith. The USPTO has published several new Apple patent applications, which hint at what's to come for future Apple hearables and hearing aids. Lainattu 24.5.2016, saatavilla <http://anewdomain.net/2016/02/12/new-apple-patent-applications-glimpse-hearables-come/>.
- [Sonova, 2014] Sonova Investor & Analyst Day: Focus on innovation [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.sonova.com/en/sonova-investor-analyst-day-focus-innovation>.
- [Sony, 2015] No let up for Sony in wearables, with new SmartWear products, styles and partnerships announced at CES 2015 [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://blogs.sonymobile.com/press\\_release/new-sony-smartwear-wearables-and-partners-ces2015/](http://blogs.sonymobile.com/press_release/new-sony-smartwear-wearables-and-partners-ces2015/).
- [Sony, 2016] Sony Mobile introduces an evolution of the Xperia brand to redefine communications [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://blogs.sonymobile.com/press\\_release/sony-mobile-introduces-an-evolution-of-the-xperia-brand-to-redefine-communications/](http://blogs.sonymobile.com/press_release/sony-mobile-introduces-an-evolution-of-the-xperia-brand-to-redefine-communications/).
- [Sorri, 2011] Martti Sorri. Kuulokojeet. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korva-, nenä- ja kurkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 104–107.
- [Sorri *et al.*, 2008] Martti Sorri, Kerttu Huttunen and Sirkka-Liisa Rudanko. Kuulo- ja näkövammät. In: Paavo Rissanen, Tapani Kallanranta and Asko Suikkanen (eds.), *Kuntoutus*. Duodecim.
- [Soundhawk, 2014] Soundhawk Unveils the World's First Smart Listening System [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.soundhawk.com/press/soundhawk-unveils-the-worlds-first-smart-listening-system-press>.
- [Soundhawk, 2016] Soundhawk Technical Specifications. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.soundhawk.com/specifications>.
- [Starkey, 2016a] Starkey Hearing Technologies Revolutionizes Hearing Industry With "Made for Life" Hearable and Wearable Solutions [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.marketwired.com/press-release/starkey-hearing-technologies-revolutionizes-hearing-industry-with-made-life-hearable-2101817.htm>.
- [Starkey, 2016b] Starkey Hearing Technologies Joins Forces with Bragi to Transform Hearable and Wearable Technology [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla [http://www.starkey.com/~media/International/US/Files/Press-Releases/2016/Starkey\\_Hearing\\_Technologies\\_Joins\\_Bragi\\_Press\\_Release.pdf](http://www.starkey.com/~media/International/US/Files/Press-Releases/2016/Starkey_Hearing_Technologies_Joins_Bragi_Press_Release.pdf).



- [Vasama, 2011c] Juha-Pekka Vasama. Välikorva, kartiolisäke ja korvatorvi. In: Juhani Nuutinen (eds.), *Korva-, nenä- ja kurkkutaudit ja foniatrian perusteet*. Korvatieto Oy, 18–20.
- [Vogel *et al.*, 2009] Stefan Vogel, Markus Hülsbusch, Thomas Hennig, Vladimir Blazek and Steffen Leonhardt. In-Ear Vital Signs Monitoring Using a Novel Microoptic Reflective Sensor. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, **13**(6), 882-889.
- [Vuorialho *et al.*, 2006] Arja Vuorialho, Petri Karinen and Martti Sorri. Counselling of hearing aid users is highly cost-effective. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, **263** (2006), 988–995.
- [Valcarcel, 2016] Josh Valcarcel. Magical Earbuds Let You Tune In and Out of the World Around You. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.wired.com/2016/04/doppler-here-review-superhuman-hearing/>.
- [Waverly Labs, 2016] Waverly Labs. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.waverlylabs.com/>.
- [WHO, 2015a] World Health Organization. Deafness and hearing loss. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/en/>.
- [WHO, 2015b] 1.1 billion people at risk of hearing loss [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/en/>.
- [Widberg-Palo and Seilola, 2012] Maarit Widberg-Palo and Irja Seilola. Kuurot ja huonokuuloiset lapset Suomessa. In: Johanna Kiili ja Kirsi Pollari (eds.), *Hei Kato Mua!* Lapsiasiavaltuutetun toimiston julkaisuja 2012–3.
- [Widex, 2016] Breaking the Sound Barrier. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://pdf.medicalexpo.com/pdf/widex/unique-dispenser-brochure/84303-153152.html>.
- [William Demant, 2013] William Demant acquires French manufacturer of cochlear implants [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.demant.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=753612>.
- [William Demant, 2016a] About us. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.demant.com/about.cfm>.
- [William Demant, 2016b] Major milestone with the introduction of Opticon Opn - a true paradigm shift [Lehdistötiedote]. Lainattu 30.5.2016, saatavilla <http://www.demant.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=970120>.
- [Wilson and Dorman, 2008] Blake S. Wilson and Michael F. Dorman. Cochlear implants: Current designs and future possibilities. *Journal of rehabilitation research and development*, **45**(5), 695.

- [Winokur *et al.*, 2012] Eric S. Winokur, David Da He and Charles G. Sodini. A Wearable Vital Signs Monitor at the Ear for Continuous Heart Rate and Pulse Transit Time Measurements. In: *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. IEEE, 2724–2727.
- [Xu and Han, 2014] Jingjing Xu and Woojae Han. Improvement of Adult BTE Hearing Aid Wearers' Front/Back Localization Performance Using Digital Pinna-Cue Preserving Technologies: An Evidence-Based Review. *Korean journal of audiology*, **18**(3), 97–104.