

KATSAUS SISÄKORVAISTUTETTA KÄYTTÄVIEN AIKUISTEN KUULONVARAISEEN PUHEEN HAVAITSEMISEEN

Taina Välimaa, Oulun yliopisto, Humanistinen tiedekunta, Logopedia

Tämän artikkelin tarkoituksena on luoda katsaus sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten kuulonvaraiseen puheen havaitsemiseen. Erityishuomio on suomenkielisten aikuisten puheen havaitsemisen kuntoutumisessa. Artikkelissa perehdytään aluksi puheen havaitsemisen perusteisiin, sisäkorvaistutteen toimintaan ja puheen havaitsemisen mittaamenetelmiin. Sen jälkeen luodaan katsaus sekä germaanisiksi kieliä puhuvien aikuisten että suomenkielisten aikuisten lauseiden, sanojen, vokaalien ja konsonanttien tunnistukseen. Artikkelissa käsitellään kuntoutumisen kestoa sekä kuntoutumiseen yhteydessä olevia sisäkorvaistutetta käyttäviin aikuisiin ja sisäkorvaistutettiin liittyviä seikkoja. Lopuksi perehdytään viimeaikaisiin intensiivisiin kuulonharjoituksen kuntoutuskokeiluihin.

Asiasanat: Konsonanttien tunnistus, kuntoutuminen, kuulovika, lauseiden tunnistus, sanojen tunnistus, vokaalien tunnistus.

JOHDANTO

Sisäkorvaistutetta harkitaan vaikeasti tai erittäin vaikeasti kuulovikaiselle aikuiselle moniammatillisessa työryhmässä yhdessä aikuisen kanssa, kun hän ei enää hyödy riittävästi perinteisistä kuulokojeista (NICE, 2009). Kuulovika on vaikea, kun paremman korvan kuulokynnysten keskiarvo ilman kuulokojeen vahvistusta taajuuksilla 0,5, 1, 2 ja 4 kHz (better ear hearing level, BEHL_{0,5-4 kHz}) on ≥ 70 dB ja erittäin vaikea, kun keskiarvo on ≥ 95 dB (EU Work Group, 1996). Aikuisena saatu vaikea tai erittäin vaikea kuulovika vai-

uttaa puheen kuulonvaraiseen havaitsemiseen ja kommunikaatioon, sosioemotionaaliseen tilanteeseen, kykyyn osallistua yhteiskunnassa sekä elämänlaatuun hyvin monin tavoin, sillä aikuisen kommunikaatiomuoto on tällöin yleensä puhuttu kieli. Huuliolkua, viittomia, sormiaakkosia ja kirjoittamista käytetään tukitoimina joko spontaanisti tai opastettuna. Puheen kuulonvaraisen havaitsemisen paraneminen sisäkorvaistutteen saamisen jälkeen on aikuisten kuntoutuksen päätavoite. Niinpä sitä on tutkittu tieteessä erittäin paljon. On tärkeää tutkia myös kommunikaatiota, subjektiivisia mielipiteitä sekä elämänlaatua, mutta tässä katsauksessa perehdytään lauseiden, sanojen ja äänneiden tunnistukseen. Käsitteellä puheen *havaitseminen* (engl. perception) viitataan yleisesti puheen kuulonvaraiseen havaitsemiseen (tietoisuus, erottelu, tunnistaminen, ymmärtäminen; Erber, 1982; Tuomainen, 2010). Käsitteellä

Kirjoittajan yhteystiedot:
Taina Välimaa
Humanistinen tiedekunta, Logopedia
PL 1000
90014 OULUN YLIOPISTO
Sähköposti: taina.valimaa@oulu.fi

tunnistaminen tarkoitetaan relevanttien äänien, sanojen ja äänneiden tunnistamista, kun kuunnellaan vain esimerkiksi yksi testiärsyke kerrallaan. Käsitteellä *erottelu* tarkoitetaan äänien erottelua toisistaan kuunneltaessa yhtä ärsyketä useampia ärsykeitä.

KATSAUS NORMAALIIN KUULOTOIMINTAAN JA ÄÄNIEN JA PUHEEN HAVAITSEMISEEN

Normaalissa kuulossa ääniaallot siirtyvät ilmasta kudoksiin, saavuttavat korvakäytävän kautta tärykalvon ja saavat sen värähtelemään (Berggren ym., 2008). Tämä värähtely saa kuuloluut (vasaran, alasiimen ja jalustimen) liikkumaan. Kuuloluut muodostavat tärykalvon ja soikean ikkunan väliin ketjun, joka välittää tärykalvon liikkeen sisäkorvaan. Jalustinlevyn liikkeet (soikeaa ikkunaa vasten) aiheuttavat sisäkorvan nesteissä paineaallon, joka etenee simpukan läpi pyöreään ikkunaan saaden puolestaan pyöreän ikkunan kalvon värähtelemään. Seurauksena on etenevä aaltoliike. Se ulottuu soikeasta ikkunasta tyvikalvoa (basilaarikalvo) pitkin simpukan kärkialueelle (helikotreemaan). Simpukan rakenteen vuoksi etenevä aaltoliike ulottuu eripituisen matkan äänen korkeudesta riippuen. Tyvikalvon tyvi (base) reagoi suuriin taajuuksiin. Pienten taajuuksien värähtelyherkkyys paikantuu lähemmäksi simpukan kärkeä (apex). Näin myös biosähköinen ärsytys on voimakkainta siinä kohdassa simpukkaa, jossa etenevän aaltoliikkeen värähtelylaajuus on suurinta (paikkaperiaate, tonotopia, äänen-taajuuden jakautuminen suurimman ärsytyksen paikan perusteella; Greenwood, 1990). Taajuustieto välittyy myös kuulohermoon, koska omat afferentit hermosäikeet hermottavat jokaista simpukan kohtaa. Paikkaperiaatteen mukaista taajuustietoa täydentää hermosäikeiden toimintataajuus (taajuus- eli frekvenssiteoria). Pienillä taajuuksilla toi-

mintataajuus on äänivärähtelyn kanssa samassa vaiheessa. Taajuusteorian mukainen informaatio on erittäin tarkkaa alle 1 kHz taajuuksilla. Useampi hermosäie yhdessä seuraa ärsykkeen taajuutta 4–5 kHz:iin saakka ja suurempien taajuuksien osalta vaadittaneen järjestäytyntä hermosäierhymien toimintaa (wolleyteoria; Zwicker & Terhardt, 1980).

Sisäkorvasta lähtevä kuulohermo välittää keskushermostoon tietoa äänien taajuus-, voimakkuus- ja aikapiirteistä (Berggren ym., 2008). Tarkkaan ei tiedetä, miten äänen taajuus ja voimakkuus koodautuu kuulohermossa. Ilmeisesti hermon aktiopotentiaalien määrä (tai taajuus), toimivien hermosäikeiden määrä ja eri säikeiden toiminnan vaihe-erot ja niiden tonotooppinen jakauma välittävät taajuustietoa. Aktiopotentiaalien määrä ja toimivien hermosäikeiden määrä välittävät voimakkuustietoa. Aikapiirteet välittynevät kuulohermotoiminnan ajallisiin piirteisiin ja aktiopotentiaalien taajuuteen, koska nopeat muutokset äänen taajuudessa ja voimakkuudessa laukaisevat suuremman impulssimäärän kuin hitaat. Hermosolut ovat tonotooppisesti järjestyneet kunkin hermosolun vasteen ominaistajuuden mukaan. Kuulohermossa ärsyke kulkee kuuloradan afferentteja ratoja pitkin kohti keskushermostoa ja kuulojärjestelmään kuuluvien hermosolujen lukumäärä kasvaa kuuloradan edetessä. Simpukasta lähtevä tieto myös tarkentuu prosessoinnin edetessä. Kuuloradasta valtaosa etenee alemmasta nelikukkulasta talamuksen sisempään polvenystyyn (corpus geniculatum mediale), edeten siitä molemmin puolin päätä ohimolohkoissa sijaitseviin kuuloaivokuoriin (primaarit kuuloaivokuoret). Kuuloradan useilla eri tasoilla on ristikkäin meneviä kuuloradan säikeitä. Näin ääniärsykkeen aiheuttama reaktio kulkee molemmista korvista kuuloratoja pitkin molemmille kuuloaivokuorille. Toiselta puolelta aiheutetun ääniärsykkeen aikaansaama reaktio tosin kulkee vastakkai-

sen puolen kuuloaivokuorelle nopeammin ja voimakkaampana kuin ärsykkeen kanssa samanpuoleiselle kuuloaivokuorelle. Aivo-puoliskojen kuuloaivokuoret ovat yhteydessä keskenään aivokurkiaisien (*corpus callosum*) kautta. Myös aivokuorilla on useita tonotooppisesti järjestäytyneitä alueita. Äänien ja puheen havaitsemisessa aktivoituvat primaarit kuuloaivokuoret, kuulon assosiaatioalueet ja vähitellen myös Wernickin alue ja muut aivoalueet erityisesti kielellisen koodauksen osalta (Ylinen, Alho, & Kujala, 2010). Puhe on kommunikation väline, jolloin keskeistä puheen havaitsemiselle on puheen ymmärtäminen. Sen edellytyksenä on äänneiden (foneemien) tunnistus, sanojen tunnistus ja lauserakenteiden jäsenyys.

Puheen kuulonvaraista havaitsemista on selitetty monien eri mallien avulla, mutta niihin perehtyminen ei ole tässä katsauksessa mahdollista (tarkemmin esim. Liberman, 1957; Pisoni, 1973; Marslen-Wilson, 1980; Liberman & Mattingly, 1985; McClelland & Elman, 1986; Luce & Pisoni, 1998). Yhteenvetona voi todeta, että puhesignaalin akustisen rakenteen pohjalta havaitaan jokin akustis-foneettinen kokonaisuus (Kent, 1997, s. 389–390; Ylinen ym., 2010). Kokonaisuutta verrataan muistiin säilötyihin yksiköihin (kaavoihin, templaatteihin, sanoihin, semanttisiin kokonaisuuksiin, kohorttiin; termit vaihtelevat riippuen mallin käsitteistä). Tunnistuksen määrittää tämän jälkeen mm. akustisesta analyysistä saatu tieto, muistiin tallentuneiden yksiköiden kokonaisuus ja mieleen palauttaminen.

SISÄKORVAISTUTTEEN TOIMINTA

Kun aikuisen sisäkorvan aistinsolujen (karvasolujen) toiminta on heikentynyt tai lakanut, ääniärsykkeet eivät enää aiheuta normaalia biosähköistä reaktiota (esim. otos-

kleroositaudin, Ménièreen taudin, Usherin oireyhtymän, kallovamman tai tuntemattomaksi jäävän vähitellen kuuloa heikentävän syyn vuoksi; Davis, 1995; Van Den Bogaert ym., 2001; Välimaa & Sorri, 2000). Sisäkorvaistutteella hermoimpulssit saadaan aikaan hermosäikeiden suoralla sähköisellä ärsytyksellä. Sisäkorvaistutteessa on leikkauksella ihon alle ja sisäkorvaan asennettavat sisäiset osat (vastaanotin ja elektrodinauha) ja ihon päällä pidettävät ulkoiset osat (puheprosessori, lähetinkela ja antenni). Puheprosessorin mikrofoni vastaanottaa äänisignaalin tietyltä taajuuskaistalta (esim. 100–10000 Hz, 70–8500 Hz) ja muuntaa sen sähköiseen muotoon (Hochmair & Hochmair, 1980; Seligman & McDermott, 1995; Wilson & Dorman, 2008). Sähköinen signaali muunnetaan edelleen digitaaliseen muotoon puheprosessorissa käytössä olevan koodausmenetelmän (ohjelmointistrategia) mukaan. Tämän jälkeen koodi lähetetään lähettimeen, joka lähettää koodin radioaaltojen avulla ihon alla sijaitsevaan vastaanottimeen. Vastaanottimessa koodi puretaan takaisin sähköiseen muotoon ja ärsyke lähetetään sähköisinä impulsseina simpukassa (kuulokäytävässä) sijaitsevaan elektrodinauhaan. Aktivoitujen elektrodien sähkökenttä aktivoi kuulohermosäikeitä ja ärsyke kulkeutuu kuuloratoja pitkin kuuloaivokuorelle.

Yhteistä nykyisin käytössä oleville koodausmenetelmille on kokonaistaajuuskaistan jako kapeampiin taajuuskaistoihin ja tiedon välittäminen eriytetysti kuulokäytävässä sijaitsevan elektrodinauhan elektrodeille paikkaperiaatteen (tonotopia) mukaan (Wilson ym., 1988; Wilson ym., 1991; Skinner ym., 1994; Seligman & McDermott, 1995; Zierhofer, Hochmair-Desoyer, & Hochmair, 1995; Kiefer, Hohl, Stürzebecher, Pfennigdorff, & Gstöettner, 2001). Jokaista puheprosessorin kanavaa vastaa yksi elektrodinauhan elektrodi (yleensä 8–22 kanavaa/elektrodia). Puhepro-

sensorin ohjelmoinnissa säädetään koodausmenetelmä, aktiivisten kanavien (elektrodien) määrä, taajuuskaistajako sekä sähköisen ärsytyksen nopeus (stimulaationopeus) ja voimakkuus. Nykyiset laajassa käytössä olevat koodausmenetelmät perustuvat nopeaan ja jatkuvaan näytteenottoon puhesignaalista. Näytteenotto toteutetaan joko suotimin (jatkuvan näytteenoton menetelmä, continuous interleaved sampling, CIS, Wilson ym., 1991; Kiefer ym., 2001) tai spektrianalyysin avulla (spectral peak, SPEAK, Skinner ym., 1994; advanced combination encoders, ACE, Kiefer ym., 2001). CIS-menetelmässä ärsytys välitetään vuorotellen kaikille käytössä oleville elektrodeille. Muut nopeat koodausmenetelmät analysoivat jokaisen näytteenoton aikana kanavakohtaisen energian (number-of-maxima, *n-of-m*, Wilson ym., 1988; SPEAK, Skinner ym., 1994; ACE; Kiefer ym., 2001) ja vain näytteenottohetkellä suurimman energian kanavia vastaavat elektrodit aktivoituvat (esim. 9 elektrodia 12 tai 22 mahdollisesta). Näillä koodausmenetelmillä on rajoitettu informaation välittymistä, jotta se ei peittäisi puheen tai musiikin havaitsemiselle tärkeää taajuustietoa. Koodausmenetelmiä kehitetään jatkuvasti, jotta pystyttäisiin tarjoamaan yhä paremmat edellytykset puheen ja musiikin havaitsemiselle (esim. hienorakenteen koodaaminen, fine structure coding, Wilson ym., 2005; Hochmair ym., 2006; Buechner ym., 2010; Vermeire, Kleine Punte, & Van de Heyning, 2010).

Sisäkorvaistutteen toiminnan rajoitteita. Aktiiviset elektrodit ärsyttävät kuuloherron säikeitä eri tavoin riippuen elektrodinauhasta (esim. elektrodinauhan pituus, aktiivisten elektrodien lukumäärä, elektrodien etäisyys toisistaan), simpukan rakenteesta (esim. luutuneisuus, hermosäikeiden lukumäärä ja mahdollinen anomalia) ja elektrodinauhan asetumisesta kuulokäytävään. Sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset pystyvät usein kuitenkin

hyödyntämään vain 4–8 elektrodia (Kiefer, von Ilberg, Rupperecht, Hubner-Egener, & Knecht, 2000; Friesen, Shannon, Baskent, & Wang, 2001; Garnham, O'Driscoll, Ramsden, & Saeed, 2002). Myös sähköimpulssien stimulaationopeus ja kanavien (elektrodien) dynaaminen alue (ero juuri havaittavan äänen ja epämiellyttävän voimakkaan äänen välillä) vaihtelevat laitemerkkien ja istutetta käyttävien aikuisten yksilöllisten toimintaerojen mukaan ja ovat yleensä erittäin rajallisia normaaliin kuulojärjestelmään verrattuna (Fu & Shannon, 2000; Kiefer ym., 2000; Wilson & Dorman, 2008). Vaikka sisäkorvaistute on teknisenä laitteena erittäin monipuolinen, se tarjoaa vain murto-osan normaalikuuloisten saamasta äänien taajuus-, voimakkuus- ja aikatiedosta. Sisäkorvaistutteen avulla kuunteleminen vaatii oppimista, jolloin kuuloratojen toiminta ja neuraalinen muovautuvuus ovat erityisen tärkeitä (Giraud ym., 2001; Lonka ym., 2004; Green ym., 2008; Moore & Shannon, 2009).

SISÄKORVAISTUTETTA KÄYTTÄVIEN AIKUISTEN PUHEEN KUULONVARAISEN HAVAITSEMISEN MITTAAMINEN

Sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten puheen kuulonvaraista havaitsemista tutkitaan lauseiden (Bench, Kowal, & Bamford, 1979; Nilson, Soli, & Sullivan, 1994; Kollmeier & Wesselkamp, 1997), sanojen (Hirsh ym., 1952; Lidén & Fant, 1954; Boothroyd, 1968) ja äänneiden tunnistusta mittaavilla testeillä (Dubno & Dirks, 1982; Bosman & Smoorenburg, 1995). Usein käytetään myös lauseiden ja sanojen tunnistusta taustahälyssä simuloimaan arkipäivän hälyistä kommunikatiota (Kalikow & Stevens, 1977; Plomp & Mimpfen, 1979; Hagerman 1982). Suomessa kliinisessä käytössä on lähinnä sanojen tunnistusta (ilman taustahälyä) mittaavia testejä

(Palva, 1952; Jauhiainen, 1974). Jonkin verran mitataan myös sanojen tunnistusta taustahälyssä (Laitakari, 1996; Holma ym., 1997). Tieteellisessä tutkimuksessa on käytetty myös lauseiden (Lonka, 1993; Määttä ym., 2001) ja äänteiden tunnistustestejä (Rihkanen, 1988; Välimaa, Määttä, Löppönen, & Sorri, 2002a, 2002b). Vastaavia menetelmiä käytetään kuulokojeita käyttävien aikuisten tutkimuksissa. Lausetestit simuloivat arkipäivän kommunikaatiotilannetta ja jatkuvaa puhetta. Aikuisen pystyy hyödyntämään lausekontekstin tarjoamaa kielellistä päättelyä. Sanojen tunnistusta mittaavia testejä on perinteisesti käytetty hyvin paljon. Myös tällöin kielellinen päättely on mahdollista. Äänteiden tunnistustestien käyttöä puoltaa kielellisen päättelyn väheneminen, koska ärsykkeet eivät muodosta merkityksellisiä sanoja. Niiden avulla saadaan tarkkaa tietoa kategorisesta puheen havaitsemisesta. Testitulanteessa sisäkorvaistutetta käyttävä aikuinen kuuntelee testiärsyksen kaiuttimesta ja joko toistaa sen ääneen tai kirjoittaa testilomakkeelle. Mittaukset toteutetaan tutkimuksia määrittelevien standardien mukaan (ISO8253-3, 1996).

Koska puheen kuulonvarainen havaitseminen on monimutkainen prosessi, suositetaan usean eri testin käyttöä monipuolisen kuvan saamiseksi. Puheen kuulonvaraisen havaitsemisen perustutkimuksella saadaan tietoa sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten puheen tunnistuksen tasosta ja kuntoutumisen kestosta sekä ammattilaisille että käyttäjille itselleen. Kielikohtaisten erojen vuoksi germaanisten ja romaanisten kielten tulokset eivät ole suoraan yleistettävissä suomen kieleen. Tutkimus tarjoaa myös tarvittavaa tietoa laitevalmistajille sisäkorvaistutejärjestelmien kehittämistä varten.

PUHEEN KUULONVARAISEN HAVAITSEMISEN KUNTOUTUMINEN SISÄKORVAISTUTTEEN AVULLA

Lauseiden ja sanojen tunnistus

Suurin osa sisäkorvaistutetta käyttävistä aikuisista tunnistaa lauseita ja sanoja hiljaisessa tilassa sisäkorvaistutteen avulla hyvin (sanojen ja lauseiden tunnistusprosentin keskiarvo 50–90 %; Helms ym., 1997; Tyler, Parkinson, Woodworth, Lowder, & Gantz, 1997; Ziese ym., 2000; Välimaa & Sorri, 2000; Kiefer, Hohl, Stürzebecher, Pfennigdorff, & Gstöetter, 2001; Higgins, Chen, Nedzelski, Shipp, & McIlmoyl, 2002; Ruffin ym., 2007). Useat aikuiset pystyvät myös käyttämään puhelinta arkipäivän kommunikoinnissa (Välimaa & Sorri, 2000; Välimaa, Sorri, & Löppönen, 2005). Suomalaisten aikuisten lauseiden ja sanojen kuulonvaraisen tunnistuksen taso vastaa hyvin germaanisista kielistä saatuja tuloksia (Välimaa & Sorri, 2000, 2001; Välimaa ym., 2005; Välimaa, Laitakari, Sivonen, & Sorri, valmisteilla¹). Sanojen ja lauseiden tunnistusprosenttien hajonta on kuitenkin suuri niin germaanisista kieliä puhuvilla kuin suomenkielisilläkin aikuisilla.

Koska kuntoutumisen taso vaihtelee, pitkittäistutkimuksilla on pyritty selvittämään kuntoutumisen kestoa (Tyler ym., 1997; Ruffin ym., 2007). Aikuisten puheen kuulonvarainen tunnistuskyky vaikuttaa paranevan eniten ensimmäisten kahden vuoden ajan sisäkorvaistutteen käyttöönotosta. Osa aikuisista kuntoutuu kuitenkin huomattavasti pitempään. Esimerkiksi Ruffin ym. (2007) totesivat joidenkin aikuisten saavuttavan parhaan sanojen tunnistuskyvyn vasta 4–5 vuoden kuluttua istutteen käyttöönotosta. Joillain aikuisilla kuntoutumista tapahtui jopa yli 10 vuoden ajan. Suomalaisessa neljän vuoden pitkittäistutkimuksessa (Välimaa ym., valmis-

teilla¹) havaittiin myös sanojen kuulonvaraisen tunnistuksen paranevan eniten ensimmäisten kuuden kuukauden aikana (N=55, estimaatti 58 %, 95 %:n luottamusväli 49–67; yleistetty pitkittäistutkimukseen tarkoitettu sekamalli, generalized mixed model for longitudinal data, Glimmix menetelmä, SAS Proprietary Software Release 9.2, TS1M0). Sen jälkeen kuntoutuminen hidastui huomattavasti, mutta ei tasoittunut kokonaan. Sanojen tunnistusprosentti oli tilastollisesti merkitsevästi parempi neljä vuotta sisäkorvaistutteen asentamisen jälkeen kuin kuuden kuukauden seurannan kohdalla (estimaatti 76 %, 95 %:n luottamusväli 68–83). Tämä on rohkaisevaa, sillä useissa tutkimuksissa osoitettu (erityisesti parhaiten sisäkorvaistutteen hyötyvien aikuisten) nopea kuntoutuminen ensimmäisten vuoden tai kahden aikana sisäkorvaistutteen käyttöönotosta on voinut luoda käsityksen, että sen jälkeen ei juuri enää kuntoutumista tapahdu kellään aikuisella.

Sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset pystyvät tunnistamaan puhetta kuulonvaraisesti taustahälyssä huomattavasti heikommin kuin hiljaisessa tilassa (Skinner, Arndt, & Staller, 2002; Firszt ym., 2004; Shannon, Fu, & Galvin, 2004; Balkany ym., 2007; Dorman, Gifford, Spahr & McKarns, 2008; Gifford & Revit, 2010). Esimerkiksi englanninkieliset aikuiset tunnistivat lauseista keskimäärin 64 % oikein lievässä taustahälyssä, jolloin puhesignaali oli 10 dB voimakkaampi kuin taustahäly (häiriöetäisyys eli signaali-kohina-suhde, signal-to-noise-ratio, SNR, +10 dB; Balkany ym., 2007). Toisaalta lauseista tunnistettiin vain keskimäärin 37 % oikein, kun signaali-kohina-suhde oli +8 dB (Firszt ym., 2004). Myös suomenkielisten aikuisten puheen kuulonvarainen tunnistaminen heikkenee huomattavasti taustahälyssä. Hiljaisessa tilassa aikuiset tunnistavat esimerkiksi yksittäisistä sanoista keskimäärin 70 % oikein yli vuoden sisäkorvaistutetta käytettyään (Väli-

maa & Sorri, 2000, 2001; Välimaa ym., 2005; Välimaa ym., valmisteilla¹). Kuitenkin jo lievässä taustahälyssä (SNR +10 dB) aikuisten sanojen tunnistus heikkeni selkeästi ja myös vaihteli huomattavasti (keskiarvo 43 %, mediaani 46 %, min. 4 %, max. 80 %, N=12; Välimaa, Laitakari, Sivonen, Brotherus, & Sorri, 2010). Yhtä sisäkorvaistutetta käyttävä aikuinen voi hyötyä sisäkorvaistutteen ja kuulokojeen yhtäaikaisesta käytöstä puheen havaitsemisessa (hiljaisuudessa ja taustahälyssä) ja äänen suunnan havaitsemisessa (lokalisaatio), mikäli vastakkaisessa korvassa on jäännöskuuloa (esim. kuulokynnykset >70/80 dB HL taajuuksilla 0,250–4 kHz; Ching, Incerti, & Hill, 2004; Mok, Grayden, Dowell, & Lawrence, 2006; Potts, Skinner, Litovsky, Strube, & Kuk, 2009).

Koska sisäkorvaistutteen avulla saavutettu puheen tunnistuskyky vaihtelee huomattavasti, on tutkittu myös kuntoutumiseen liittyviä seikkoja. Ne jaetaan yleensä (hieman keinotekoisesti) yksilöön (esim. ikä, sukupuoli, kuulovian kesto, jäännöskuulo) ja sisäkorvaistutejärjestelmään liittyviin tekijöihin (esim. istute, koodausmenetelmä, aktiivisten kanavien/elektrodien lukumäärä, kokonaistaajuuskaista, kaistajakko, stimulaationopeus). Nämä eivät tietystikään ole toisistaan täysin riippumattomia. Nostan tässä katsauksessa esille muutamia selkeimpiä havaintoja. Vaikea-asteisen kuulovian kesto ja jäännöskuulon määrä ennen sisäkorvaistuteleikkausta ovat selkeästi yhteydessä sisäkorvaistutetta käyttävän aikuisen puheen havaitsemiseen (Rubinstein, Parkinson, Tyler, & Gantz, 1999; van Dijk ym., 1999; Friedland, Venick, & Niparko, 2003; Gomaa, Rubinstein, Lowder, Tyler, & Gantz, 2003; Green ym., 2007; Ruffin ym., 2007; Välimaa ym., valmisteilla¹). Vaikea-asteisen kuulovian keston piteneminen hidastaa ja heikentää saavutettavaa puheen kuulonvaraista tunnistusta. Toisaalta vaikea-asteisen kuulovian kesto voi olla yhte-

ydessä erityisesti kuntoutumisen nopeuteen alkuvaiheessa istutteen käyttöönoton jälkeen, mutta ei enää usean vuoden jälkeen saavutettuun parhaimpaan sanojen tunnistuskykyyn (Ruffin ym., 2007).

Suomalaisessa pitkittäistutkimuksessa havaittiin myös, että ainoastaan erittäin vaikean kuulovian kesto ($BEHL_{0,5-4\text{ kHz}} > 95\text{ dB}$; EU Work Group, 1996) oli yhteydessä saavutettuun lauseiden (selitysaste 35 %, $p=0,003$, regressioanalyysi, askeltava menettely; Välimaa ym., valmisteilla¹) ja sanojen tunnistustasoon (selitysaste 43 %, $p < 0,001$). Selitysasteet olivat tosin kohtalaisen alhaiset. Selittävinä muuttujina olivat erittäin vaikean kuulovian kesto, koehenkilön ikä leikkaushetkellä, sisäkorvaistutteen tyyppi, koodausmenetelmä, elektrodinauhan insertiosyvyys, aktiivisten kanavien/elektrodien lukumäärä ja istutteen stimulaationopeus. Alle tai korkeintaan 10 vuotta erittäin vaikeasti kuulovikaisina ($BEHL_{0,5-4\text{ kHz}} > 95\text{ dB}$; EU Work Group, 1996) olleet aikuiset tunnistivat lauseista keskimäärin 94 % oikein neljä vuotta sisäkorvaistutteen käyttöönoton jälkeen (95 %:n luottamusväli 90–96; yleistetty pitkittäistutkimukseen tarkoitettu sekamalli, Glimmix menetelmä). Kun kuulovian kesto oli yli 10 vuotta, lauseista tunnistettiin neljän vuoden seurantakohtalla keskimäärin 70 % oikein (95 %:n luottamusväli 50–84). Erot ryhmien välillä olivat myös tilastollisesti merkitseviä koko neljän vuoden seurannan ajan. Sanojen tunnistuksen osalta vastaavaa eroa ei havaittu. On todennäköistä, että käytetyt puheen havaitsemista mittaavat testit vaikuttavat tutkimustuloksiin. Testi voi osoittautua liian helpoksi, jolloin se ei enää mittaa muutosta (ns. kattoefekti). Yli 10 vuotta erittäin vaikeasti kuulovikaisina olleet aikuiset tunnistivat lauseita kuulonvaraisesti kuitenkin huomattavan hyvin, vaikka vaihtelu oli suuri. Sekä kuulovika sinänsä, erittäin vaikean kuulovian kesto että sisäkorvaistutteen uudelleen

tarjoama ääniärsytys vaikuttavat kuuloratojen toimintaan ja kuuloaivokuorien muovautuvuuteen (Bilecen ym., 2001; Lee ym., 2003; Lonka ym., 2004; Green ym., 2008; Moore & Shannon, 2009; Thai-Van, Veuillet, Norena, Guiraud, & Collet, 2010). Ei voida myöskään jättää huomiotta aikuisena sisäkorvaistutteen saaneen henkilön puhutun kielen taitoja (esim. mentaalinen leksikko eli opittujen sanojen muistivarasto, sanojen semanttiset verkostot, semanttiset ja syntaktiset muisti-edustumat, sanavarasto, kielellinen harrastuneisuus; mm. Kuczaj, 1999; Vitevitch, Luce, Pisoni, & Auer, 1999). Nämä seikat vaikuttavat selkeästi aikuisena sisäkorvaistutteen saaneiden puheen kuulonvaraisen havaitsemisen kuntoutumisen yksilöllisiin eroihin.

Sisäkorvaistutteeeseen liittyvistä seikoista erityisesti aktiivisten kanavien (elektrodien) lukumäärä vaikuttaa puheen havaitsemiseen (Shannon ym., 1995; Kiefer ym., 2000; Friesen ym., 2001; Garnham, O'Driscoll, Ramsden, & Saeed, 2002; Shannon ym., 2004). Lausetasoista puhetta tunnistetaan kohtalaisen hyvin hiljaisessa tilassa, vaikka käytössä on vain neljä aktiivista kanavaa, sillä kielellinen päättely tukee aina puheen tunnistamista. Toisaalta vokaalien ja konsonanttien tunnistamiseen sekä puheen tunnistamiseen taustahälyssä tarvitaan huomattavasti enemmän aktiivisia kanavia (7–16; Garnham ym., 2002; Skinner ym., 2002; Shannon ym., 2005). Sisäkorvaistutteen stimulaationopeus puolestaan on yhteydessä erityisesti konsonanttien tunnistamiseen ja puheen tunnistamiseen taustahälyssä (Fu & Shannon, 2000; Kiefer ym., 2000; Arora, Dawson, Dowell, & Vandali, 2009; Buechner, Frohne-Buechner, Boyle, Battmer, & Lenarz, 2009). Kanavien (elektrodien) dynaamisella alueella on yhteyttä puheen kuulonvaraiseen havaitsemiseen erityisesti taustahälyssä (Fu & Shannon, 1999; Cosendai & Pelizzone, 2001; James ym., 2003; Dawson, Vandali, Knight, &

Heasman, 2007). Tällä hetkellä laajasti käytössä olevien istutemerkkien ja koodausmenetelmien välillä ei vaikuta olevan suurta eroa, vaan ne tarjoavat yhtä hyvät edellytykset puheen tunnistuskyvyn kuntoutumiselle (Higgins, Chen, Nedzelski, Shipp, & McMoyl, 2002; Välimaa & Löppönen, 2008). Joitain pieniä eroja tosin on osoitettu esimerkiksi vokaalien tunnistuksessa (Spahr & Dorman, 2004; Spahr, Dorman, & Loiseau, 2007). Tutkimus puheen havaitsemiseen yhteydessä olevista seikoista on kansainvälisesti erittäin aktiivista. Tutkimustulokset antavat tarpeellista tietoa sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten moniammatilliselle kuntoutukselle sekä sisäkorvaistutteen tekniselle kehittämiselle. Kaikkiin teknisiin osatekijöihin liittyvään tutkimukseen perehtyminen ei ole tässä katsauksessa kuitenkaan mahdollista.

Vokaalien ja konsonanttien tunnistus ja sekoittuvuudet

Vokaalien (suomen kielessä /i y e ø æ u o a/) laatu havaitaan kuulonvaraisesti pääasiassa kahden alimman formantin (voimistuneiden taajuusalueiden, osasävelten) F1 ja F2 avulla (Peterson & Barney, 1952). Konsonanttien laadun havaitsemiselle olennaista on puolestaan matalataajuisinen sointiformantti (soinnilliset plosiivit, /b d g/), hiljaisuus (soinnittomat plosiivit /p t k/), soinnin alkamishetki (voice onset time, VOT; soinnittomat ja soinnilliset plosiivit), kohina (frikatiivit /s h/), vokaalien formanttirakennetta muistuttavat formantit (lateraali /l/, nasaalit /m n/, puolivokaalit /j v/) sekä konsonantin ja lähivokaalin rajalla esiintyvät formanttisiirtymät (obstruentit ja resonantit; Halle, Hughes, & Radley, 1957; Stevens, 1980). Tiedettäessä esimerkiksi vaikeasti kuulovikaisen aikuisen kuulokäyrän muoto (se, millä taajuuksilla kuulo on heikentynyt) ja vokaalien ja konsonanttien akustinen ra-

kenne voidaan päätellä äänneiden kuulonvaraisen havaitsemisen vaikeuksia. Tutkimuksia suomenkielisten kuulovikaisten aikuisten vokaalien ja konsonanttien havaitsemisesta on kuitenkin erittäin vähän. Kiukaanniemi ja Määttä (1980) tosin totesivat esim. etuvokaalien /i y/ ja takavokaalin /u/ sekoittuvan keskenään, kun kokeellisesti suodatettiin puhetta taajuuksilta 0,250–4 kHz simuloimaan suurille taajuuksille laskevaa kuulokäyrän muotoa (suurille taajuuksille päin heikkenevää kuuloa).

Sisäkorvaistutteen kokonaistaajuuskaista on laitemerkistä riippuen 70–8500 tai 100–10000 Hz, joten sen avulla voidaan saavuttaa kohtalaisen tasaiset kuulokynnykset (Välimaa & Sorri, 2000, 2001). Päätelmiä vokaalien ja konsonanttien havaitsemisesta ei voida tehdä leikkaantuvien taajuuksien avulla. Sisäkorvaistutejärjestelmässä on kyse siitä, mitä piirteitä puheäänneistä koodausmenetelmä välittää. Perustutkimus sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten vokaalien ja konsonanttien kuulonvaraisesta havaitsemisesta puolestaan antaa tietoa aikuisen tottumisesta (adaptoitumisesta) istutejärjestelmän välittämään puutteelliseen taajuus-, voimakkuus- ja aikatietoon ja kyvystä oppia tunnistamaan äänneitä ilman sanojen tarjoamaa kielellistä päättelyä. Vokaalien ja konsonanttien havaitseminen on kielisidonnaista kielten välisten äänneiden tuottotapojen erojen vuoksi (Wiik, 1965; Suomi, 1980; Iivonen & Laukkanen, 1993), joten perustutkimus puoltaa paikkaansa. Vokaalien ja konsonanttien havaitseminen on myös selkeästi yhteydessä sanojen ja lauseiden havaitsemiseen (Välimaa ym., 2005).

Sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset tunnistavat keskimäärin 60–80 % vokaaleista oikein nykyisten laajassa kliinisessä käytössä olevien sisäkorvaistutteen avulla (Helms ym., 1997; Ziese ym., 2000; Dorman, Loizou, Spahr, & Maloff, 2002; Higgins ym., 2002; Loizou, Stickney, Mishra, & Assmann,

2003; Spahr & Dorman, 2004). Suomenkielisten aikuisten vokaalien tunnistus vaikuttaa tasoittuvan keskimäärin 80 %:n tasolle (Välimaa ym., 2002a; Välimaa ym., 2010). Vain lyhyen aikaa erittäin vaikeasti kuulovikaisena olleet suomalaisaikuiset tunnistavat vokaaleita selkeästi paremmin kuin pitkään erittäin vaikeasti kuulovikaisina olleet (kuulovian keston ka 2,4 vuotta, parhain saavutettu taso 18 kk istutteen käyttöönotosta 92,4 %, 95 %:n luottamusväli 86,5–95,8; kuulovian keston ka 10,3 vuotta, tunnistus 18 kk kohdalla 59,4 %, 95 %:n luottamusväli 49,2–68,9, yleistetty pitkittäistutkimukseen tarkoitettu sekamalli, Glimmix menetelmä; Välimaa ym., 2010). Erittäin hyvin vokaaleita tunnistaville aikuisille vaikeuksia tuottaa pääasiassa suomenkielen etuvokaalien /y e ø/ ja erityisesti vokaalien /e ø/ tunnistaminen. Sen sijaan huonosti vokaaleita tunnistaville aikuisille vaikeuksia tuottaa sekä etu- että takavokaalien tunnistus. Tulokset vastaavat hyvin germaanisten kielten tuloksia niiltä osin, että läheisimmät vokaalit sekoittuvat toisiinsa helposti ja osa aikuisista oppii heikosti hyödyntämään sisäkorvaistutteen tarjoamaa taajuus-, voimakkuus- ja aikatietoa (Munson, Donaldson, Allen, Collinson, & Nelson, 2003; Rødvik, 2008). On myös havaittu, että sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset voivat havaita vokaalien tunnistukselle tärkeimmät formantit F1 ja/tai F2 vääristyneesti taajuudeltaan suurempina (Harnsberger ym., 2001; Välimaa ym., 2002a; Iverson, Smith, & Evans, 2006; Välimaa ym., 2010). Niinpä aikuiset sekoittavat vokaaleita pääasiallisesti lähimpään vokaaliin, jolla on suurempi F1:n taajuus (Välimaa ym., 2002a; Välimaa ym., 2010). Tämä tieto tarjoaa teoreettisemmän näkökulman sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten vokaalien havaitsemisen kuntoutumiseen.

Konsonanttien tunnistaminen on vaikeampaa kuin vokaalien. Konsonanttien tunnistusprosenttien keskiarvot vaihtelevat 40–80

%:iin ja yksilöllinen vaihtelu on suuri, kuten yleensäkin puheen kuulonvaraisessa havaitsemisessa (van Wieringen & Wouters, 1999; Ziese ym., 2000; Kiefer ym., 2001; Spahr & Dorman, 2004; Spahr ym., 2007). Konsonanttien ääntymätapa (plosiivi, frikatiivi, resonantti) tunnistetaan helpommin kuin ääntymäalue (van Wieringen & Wouters, 1999; Teoh, Neuburger & Svirsky, 2003; Rødvik, 2008). Eräässä tutkimuksessa havaittiinkin NucleusCI22 ja C24 sisäkorvaistutteen ja SPEAK-koodausmenetelmän välittävän paremmin englannin kielen hitaasti muuttuvia spektraalisia formanttipiirteitä sekä frikatiiveihin liittyvää kohinaa ja suuritaajuuksista hälyä kuin nopeita formanttisiirtymiä (Teoh ym., 2003), mikä osaltaan selittää hyvää vokaalien, frikatiivien ja resonanttien tunnistusta ja huonoa konsonanttien ääntymäalueen tunnistusta kyseisessä kielessä.

Suomenkielisten aikuisten konsonanttien tunnistusprosentti vaikuttaa vakiintuvan keskimäärin 70 %:n tasolle (Välimaa ym., 2002b; Välimaa ym., valmistella²). Neljän vuoden pitkittäistutkimuksessa havaittiin, että konsonanttien tunnistus parani eniten ensimmäisten kuuden kuukauden aikana, mutta tilastollisesti merkitsevästi kokonaisuudessaan kaksi vuotta sisäkorvaistutteen käyttöönotosta (estimaatti 70 %, 95 %:n luottamusväli 66–74; Välimaa ym., valmistella²). Alle 10 vuotta erittäin vaikeasti kuulovikaisena olleet aikuiset saavuttivat parhaimmillaan keskimäärin 73 %:n konsonanttien tunnistustason kaksi vuotta istutetta käytettyään (95 %:n luottamusväli 69–77). Sen sijaan yli 10 vuotta erittäin vaikeasti kuulovikaisina olleet tunnistivat kahden vuoden mittauskohdalla vain hieman yli puolet konsonanteista oikein (estimaatti 58 %, 95 %:n luottamusväli 47–69). Heidän konsonanttien tunnistuskynsä ei myöskään parantunut sen jälkeen, kun he olivat käyttäneet sisäkorvaistutettaan vuoden ajan. Koska konsonanttien tunnistus

on selkeästi yhteydessä sanojen ja lauseiden tunnistukseen, on perusteltua olettaa konsonanttien tunnistusvaikeuksien vaikeuttavan puheen kuulonvaraista tunnistusta. Myös suomenkieliset sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset tunnistivat paremmin frikatiiveja (erityisesti suomen /s/) kuin resonantteja tai plosiiveja (Välimaa ym., 2002b; Välimaa ym., valmisteilla²). Eniten vaikeuksia tuottaa plosiivin /p/, resonanttien /m l v/ ja energiajakaumaltaan heikon frikatiivin /h/ tunnistus.

PUHEEN KUULONVARAISEN HAVAITSEMISEN SYSTEMAATTINEN KUNTOUTUS

Sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten puheen tunnistustulosten hajonta on erittäin suuri. Tämän vuoksi keskustelua on herättänyt, voidaanko puheen kuulonvaraisen havaitsemisen systemaattisella harjoittamisella parantaa sisäkorvaistutuksesta saatavaa hyötyä. Perustieto puheäänneiden tunnistamisvaikeuksista tarjoaa tutkimukseen perustuvan pohjan kuntoutuksen suunnittelulle. Hyvin usein aikuiset saavat vähemmän kuntoutusta kuin lapset. Tämä on myös ymmärrettävää, sillä lasten kohdalla on kyse sekä puheen havaitsemisen että puhutun kielen kehityksestä. Esimerkiksi suomalaisessa kahden vuoden seurantatutkimuksessa mukana olleet sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset saivat keskimäärin 10 kertaa puheterapiaa sisäkorvaistutteen käyttöönoton jälkeen (puheterapiakäyntien vaihteluväli 5–30; Välimaa ym., 2002a, 2002b). Nopeasti ja erittäin hyvin kuntoutuvat aikuiset eivät enempää kuntoutusta välttämättä tarvitsekaan. Mutta entäpä hitaasti kuntoutuvat aikuiset? Viimeaikaisten kuntoutuskokeilujen tulokset ovat olleet erittäin rohkaisevia. Sanamateriaaliin (ilman taustahälyä ja taustahälyssä) perustuvan intensiivisen kuulonharjoituksen (tunti päivässä, viitenä päivänä viikossa, kuukauden

ajan; tietokoneohjanteinen kotiharjoittelu) on todettu parantavan sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten vokaalien ja konsonanttien tunnistusta (hiljaisuudessa ja taustahälyssä) sekä lauseiden tunnistusta taustahälyssä tilastollisesti merkitsevästi (Fu, Nogaki, & Galvin, 2005; Fu & Galvin, 2007; Fu & Galvin, 2008). Kuulonharjoituksen vaikuttavuuden vertailukohtana käytettiin useaa lähötason mittausta, jotta voitiin todeta spontaanin kuntoutumisen tasoittuminen ennen intensiivisen kotiharjoittelun aloittamista. Seurantamittaukset osoittivat myös harjoittelun tulosten pysyvyyttä. Huomattavaa on, että sekä hyvin että huonosti sisäkorvaistutuksesta hyötyvien aikuisten puheen kuulonvarainen havaitseminen parani. Samansuuntaisia tuloksia on havaittu myös kuulovikaisille lapsille sovelletusta intensiivisen kotiharjoittelun kuntoutuskokeilusta (Wu, Yang, Lin, & Fu, 2007). Erityisesti systemaattinen sana- ja lausemateriaaliin perustuva intensiivinen kuulonharjoitus on ollut tehokasta (Fu ym., 2005; Stacey, 2007; Stacey & Summerfield, 2007). Ongelmanratkaisustrategioihin ja kommunikaatiotilanteiden harjoitteluun pohjautuva strukturoitu ryhmäterapia on puolestaan parantanut sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten varmuutta, hyvinvointia ja kommunikointistrategioita huomattavasti (Heydebrand, Mauze, Tye-Murray, Binzer, & Skinner, 2005). Terapian vaikutus osoittautui myös pysyväksi vuosi terapian päättymisen jälkeen. Aikuisten kanssa harjoiteltiin ongelmanratkaisustrategioita, vaikeita kommunikaatiotilanteita roolileikkien avulla ja annettiin tietoa esim. stressin säätelystä. Nämä tulokset ovat erittäin rohkaisevia, sillä käytettyjen toimintatapojen edellytetään yhä enemmän perustuvan tutkimukselliseen näyttöön.

LOPUKSI

Perustutkimus sisäkorvaistutteita käyttävien aikuisten puheen kuulonvaraisesta havaitsemisesta on ollut erittäin vilkasta kansainvälisesti. Myös suomenkielisten sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten kuntoutumisesta on saatavilla seurantatietoa. Sisäkorvaistutetta käyttävien aikuisten puheen kuulonvarainen havaitseminen paranee eniten ensimmäisen kahden vuoden ajan sisäkorvaistutteen käyttöönotosta. Kuntoutumista tapahtuu kuitenkin hitaasti myös pitempään – erityisesti hitaasti kuntoutuvilla aikuisilla. Aikuisena sisäkorvaistutteen saanut henkilö voi myös olla jo varhaislapsuudessa vaikean kuulovian saanut ja pääasiallisesti viittomakielellä kommunikoi, puhuttua kieltä eri tasoisesti hallitseva. Silloin puheen havaitsemisen kuntoutumisessa (ja kuntoutuksessa) korostuvat selkeämmin myös puhutun kielen taidot (leksikko, morfologia, syntaksi, semantiikka). Useat sisäkorvaistutetta käyttävät aikuiset ovat myös todenneet, että vielä kolmen ja neljän vuoden kuluttua istutteen käyttöönotosta ”sisäkorvaistutteella kuunteleminen tuntuu jotenkin helpommalta”. Todennäköinen syy on juuri tarkentunut puheen kuulonvarainen havaitseminen. Havaitsemista mittaavien menetelmien täytyy kuitenkin olla monipuolisia, jotta muutos saadaan selville. Pelkkä (kliinisessä käytössä usein käytetty) sanojen tunnistusta mittaava testi ei alkuvaiheen jälkeen enää mittaa mahdollista muutosta. Mittauksessa tulisikin käyttää ainakin lauseiden ja sanojen tunnistustestejä hiljaisuudessa ja taustahälyssä. Hyvä olisi mitata myös vokaalien ja konsonanttien tunnistusta, sillä ne antavat kielellisen päättelyn vähyyden vuoksi tarkkaa tietoa äänneiden akustis-foneettisten piirteiden havaitsemisesta. Moniammatilliseen kliniseen työhön tarvitaan selkeästi lisää seurantamenetelmiä. Viimeaikaiset tutkimukselliseen näyttöön perustuvat tulokset

intensiivisen kuulonharjoituksen kuntoutuskokeiluista ovat myös erittäin rohkaisevia. Aikuisena sisäkorvaistutteen saaneiden tulisikin saada puheen kuulonvaraisen havaitsemisen systemaattista puheterapeutin ohjaamaa kuntoutusta (kuulonharjoitus hiljaisuudessa ja taustahälyssä) erityisesti, mikäli kuntoutuminen on hidasta.

KIITOKSET

Tämä artikkeli perustuu kirjoittajan väitöskirjaan johtaneeseen tutkimukseen ja Suomen Akatemian vuosina 2007–2009 rahoittamaan tutkijatohtorin projektiin (projekti-numero 114809). Kiitokset kuuluvat myös kaikille työryhmän jäsenille.

LÄHTEET

- Arora, K., Dawson, P., Dowell, R., & Vandali, A. (2009). Electrical stimulation rate effects on speech perception in cochlear implants. *International Journal of Audiology*, 48, 561–567. doi: 10.1080/14992020902858967
- Balkany, T., Hodges, A., Menapace, C., Hazard, L., Driscoll, C., Gantz, B.,...Payne, S. (2007). Nucleus Freedom North American clinical trial. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 136, 757–762. doi:10.1016/j.otohns.2007.01.006
- Bench, J., Kowal, Å., & Bamford, J. (1979). The BKB (Bamford-Kowal-Bench) sentence lists for partially-hearing children. *British Journal of Audiology*, 13, 108–112.
- Berggren, D., Jauhiainen, T., Levänen, S., Lind, O., Magnusson, B., Moore, J.K., & Osen, K. (2008). Korvan ja kuulojärjestelmän kehitys, rakenne ja toiminta. Teoksessa T. Jauhiainen (toim.), *Audiologia*, s. 63–94. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Bilecen, D., Seifritz, E., Radü, E.W., Schmid, N., Wetzel, S., Probst, R., & Scheffler, K. (2000). Cortical reorganization after acute unilateral hearing loss traced by fMRI. *Neurology*, 54, 765–767.
- Boothroyd, A. (1968). Developments in speech audiometry. *Sound*, 2, 3–10.

- Bosman, A.J. & Smoorenburg, G.F. (1995). Intelligibility of Dutch CVC syllables and sentences for listeners with normal hearing and with three types of hearing impairment. *Audiology*, 34, 260–284.
- Buechner, A., Frohne-Buechner, C., Boyle, P., Battmer, R.-D., & Lenarz, T. (2009). A high rate n-of-m speech processing strategy for the first generation Clarion cochlear implant. *International Journal of Audiology*, 48, 868–875. doi: 10.1080/14992020903095783
- Buechner, A., Brendel, M., Saalfeld, H., Litvak, L., Frohne-Buechner, C., & Lenarz, T. (2010). Results of a pilot study with a signal enhancement algorithm for HiRes 120 cochlear implant users. *Otology & Neurotology*, 31, 1386–1390.
- Ching, T.Y.C., Incerti, P., & Hill, M. (2004). Binaural benefits for adults who use hearing aids and cochlear implants in opposite ears. *Ear & Hearing*, 25, 9–21.
- Cosendai, G. & Pelizzone, M. (2001). Effects of the acoustical dynamic range on speech recognition with cochlear implants. *Audiology*, 40, 272–281.
- Davis, A.C. (1995). *Hearing in adults. The prevalence and distribution of hearing impairment and reported hearing disability in the MRC Institute of Hearing Research's National Study of Hearing*. London: Whurr Publishers Ltd..
- Dawson, P.W., Vandali, A.E., Knight, M.R., & Heasman, J.M. (2007). Clinical evaluation of expanded input dynamic range in Nucleus cochlear implants. *Ear & Hearing*, 28, 163–176.
- Dorman, M.F., Gifford, R.H., Spahr, A.J., & McKarns, S.A. (2008). The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies. *Audiology Neurotology*, 13, 105–112.
- Dorman, M.F., Loizou, P.C., Spahr, A.J., & Maloff, E. (2002). Factors that allow a high level of speech understanding by patients fit with cochlear implants. *American Journal of Audiology*, 11, 119–123.
- Dubno, J.R. & Dirks, D.D. (1982). Evaluation of hearing-impaired listeners using a nonsense-syllable test. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 135–141.
- Dunn, C.C., Tyler, R.S., & Witt, S.A. (2005). Benefit of wearing a hearing aid on the unimplanted ear in adult users of a cochlear implant. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48, 668–680.
- Erber, N.P. (1982). *Auditory training*. Washington DC: Alexander Graham Bell.
- EU Work Group, (1996). EU Work Group on Genetics of Hearing Impairment. Teoksessa A. Martini (toim.), *European Commission Directorate, Biomedical and Health Research Programme, Hereditary Deafness, Epidemiology and Clinical Research (HEAR)*, Infoletter 2.
- Firszt, J.B., Holden, L.K., Skinner, M.W., Tobey, W.A., Peterson, A., Gaggl, W., ...Wackym, P.A. (2004). Recognition of speech presented at soft to loud levels by adult cochlear implant recipients of three cochlear implant systems. *Ear & Hearing*, 25, 375–387. doi: 10.1097/01.AUD.0000134552.22205.EE
- Fishman, K.E., Shannon, R.V., & Slattery, W.H. (1997). Speech recognition as a function of the number of electrodes used in the Speak cochlear implant speech processor. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 1201–1215.
- Friedland, D.R., Venick, H.S., & Niparko, J.K. (2003). Choice of ear for cochlear implantation: The effect of history and residual hearing on predicted postoperative performance. *Otology Neurotology*, 24, 582–589.
- Friesen, L.M., Shannon, R.V., Baskent, D., & Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 1150–1163.
- Fu, Q.-J. & Galvin, J.J., III (2007). Perceptual learning and auditory training in cochlear implant recipients. *Trends in Amplification*, 11, 193–205. Retrieved from <http://tia.sagepub.com>
- Fu, Q.-J. & Galvin, J.J., III (2008). Maximizing cochlear implant patients' performance with advanced speech training procedures. *Hearing Research*, 242, 198–208. doi:10.1016/j.heares.2007.11.010
- Fu, Q.-J., Nogaki, G., & Galvin, J.J., III (2005). Auditory training with spectrally shifted speech: Implications for cochlear implant patient auditory rehabilitation. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 6, 180–189.

- Fu, Q.-J. & Shannon, R.V. (1999). Effect of acoustic dynamic range on phoneme recognition in quiet and noise by cochlear implant users. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, L65–L70.
- Fu, Q.-J. & Shannon, R.V. (2000). Effect of stimulation rate on phoneme recognition by Nucleus-22 cochlear implant listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107, 589–597.
- Garnham, C., O’Driscoll, M., Ramsden, R., & Saeed S. (2002). Speech understanding in noise with a Med-El COMBI40+ cochlear implant using reduced channel sets. *Ear & Hearing*, 23, 540–552. doi: 10.1097/01.AUD.0000042224.42442.A5
- Gifford, R.H. & Revit, L.J. (2010). Speech perception for adult cochlear implant recipients in a realistic background noise: Effectiveness of preprocessing strategies and external options for improving speech recognition in noise. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21, 441–451. doi: 10.3766/jaaa.21.7.3
- Giraud, A.-L., Price, C.J., Graham, J.M., & Frackowiak, R.S.J. (2001). Functional plasticity of language-related brain areas after cochlear implantation. *Brain*, 124, 1307–1316.
- Gomaa, N.A., Rubinstein, J.T., Lowder, M.W., Tyler, R.S., & Gantz, B.J. (2003). Residual speech perception and cochlear implant performance in postlingually deafened adults. *Ear & Hearing*, 24, 539–544.
- Green, K.M.J., Bhatt, Y.M., Mawman, D.J., O’Driscoll, M.P., Saeed, S.R., Ramsden, R.T., & Green, M.W. (2007). Predictors of audiological outcome following cochlear implantation in adults. *Cochlear Implants International*, 8, 1–11. doi: 10.1002/cii.326
- Green, K.M.J., Ramsden, R.T., Julyan, P.J., & Hastings, D.E.L. (2008). Cortical plasticity in the first year after cochlear implantation. *Cochlear Implants International*, 9, 103–117. doi: 10.1002/cii.358
- Greenwood, D.D. (1990). A cochlear frequency-position function for several species—29 years later. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 2592–2605.
- Halle, M., Hughes, G.W., & Radley, J.-P.A. (1957). Acoustic properties of stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 29, 107–116.
- Hagerman, B. (1982). Sentences for testing speech intelligibility in noise. *Scandinavian Audiology*, 11, 79–87.
- Harnsberger, J.D., Svirsky, M.A., Kaiser, A.R., Pisoni, D.B., Wright, R., & Meyer, T.A. (2001). Perceptual “vowel spaces” of cochlear implant users: Implications for the study of auditory adaptation to spectral shift. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 2135–2145.
- Helms, J., Müller, J., Schön, F., Moser, L., Arnold, W., Janssen, T., ..., Hochmair-Desoyer, I. (1997). Evaluation of performance with the Combi 40 cochlear implant in adults: A multicentric clinical study. *Journal of Oto-Rhino-Laryngology and its Related Specialties*, 59, 23–35.
- Heydebrand, G., Mauze, E., Tye-Murray, N., Binzer, S., & Skinner, M. (2005). The efficacy of a structured group therapy intervention in improving communication and coping skills for adult cochlear implant recipients. *International Journal of Audiology*, 44, 272–280. doi: 10.1080/14992020500060404
- Higgins, K.M., Chen, J.M., Nedzelski, D.B., Shipp, D.B., & McIlmoyle, L.D. (2002). A matched-pair comparison of two cochlear implant systems. *Journal of Otolaryngology*, 31, 97–105.
- Hirsh, I.J., Davis, H., Silverman, S.R., Reynolds, E.G., Eldert, E., & Benson, R.W. (1952). Development of materials for speech audiometry. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 17, 321–337.
- Hochmair-Desoyer, I.J. & Hochmair, E.S. (1980). An eight-channel scala tympani electrode for auditory prostheses. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 27, 44–50.
- Hochmair, I., Nopp, P., Jolly, C., Schmidt, M., Schösser, H., Garnham, C., & Anderson, I. (2006). MED-EL Cochlear implants: State of the art and a glimpse into the future. *Trends in Amplification*, 10, 201–19.
- Holma, T., Laitakari, K., Sorri, M., & Winblad, I. (1997). New speech-in-noise test in different types of hearing impairment. *Acta Otolaryngologica*, (Suppl 529), 71–73.
- Iivonen, A. & Laukkanen, A.-M. (1993). Explanations for the qualitative variation of Finnish vowels. Teoksessa A. Iivonen & M. Lehtihalmes (toim), *Studies in Logopedics and Phonetics* 4, (s. 29–54). Publications of the Department of Phonetics, University of Helsinki,

- Series B: Phonetics, Logopedics and Speech Communication 5.
- ISO8253-3, (1996). *Acoustics—Audiometric test methods—Part 3: Speech audiometry*. International Organization for Standardization, Geneva.
- Iverson, P., Smith, C.A., & Ewans, B.G. (2006). Vowel recognition via cochlear implants and noise vocoders: Effects of formant movement and duration. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120, 3998–4006.
- James, C.J., Skinner, M.W., Martin, L.F.A., Holden, L.K., Galvin, K.L., & Holden, T.A. (2003). An investigation of input level range for the Nucleus 24 cochlear implant system: speech perception performance, program preference, and loudness comfort ratings. *Ear & Hearing*, 24, 157–174.
- Jauhainen, T. (1974). *An experimental study of the auditory perception of isolated bi-syllable Finnish words*. Academic Dissertation, University of Helsinki, Helsinki.
- Kent, R. (1997). *The speech sciences*. Clifton Park, NY: Thomson Delmar Learning.
- Kiefer, J., Hohl, S., Stürzebecher, E., Pfennigdorff, T., & Gstöettner, W. (2001). Comparison of speech recognition with different speech coding strategies (SPEAK, CIS, and ACE) and their relationship to telemetric measures of compound action potentials in the Nucleus CI24M cochlear implant system. *Audiology*, 40, 32–42.
- Kiefer, J., von Ilberg, C., Rupprecht, V., Hubner-Egner, J., & Knecht, R. (2000). Optimized speech understanding with the continuous interleaved sampling speech coding strategy in patients with cochlear implants: Effect of variations in stimulation rate and number of channels. *Annals of Otolaryngology & Laryngology*, 109, 1009–1020.
- Kiukaanniemi, H. & Määttä, T. (1980). Speech discrimination and hearing loss sloping to high frequencies. *Scandinavian Audiology*, 9, 235–242.
- Kollmeier, B. & Wesselkamp, M. (1997). Development and evaluation of a German sentence test for objective and subjective speech intelligibility assessment. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 2412–2421.
- Kuczaj, S.A. (1999). The world of words: Thoughts on the development of a lexicon. Teoksessa M. Barrett (toim.), *The development of language* (s. 188–159). Hove: Psychology Press.
- Laitakari, K. (1996). Speech recognition in noise: Development of a computerized test and preparation of test material. *Scandinavian Audiology*, 25, 29–34.
- Lee, J.S., Lee, D.S., Oh, S.H., Kim, C.S., Kim, J.-W., Hwang, C.H., ...Lee, M.C. (2003). PET evidence of neuroplasticity in adult auditory cortex of postlingual deafness. *The Journal of Nuclear Medicine*, 44, 1435–1439.
- Lidén, G. & Fant, G. (1954). Swedish word material for speech audiometry and articulation tests. *Acta Oto-Laryngologica*, (Suppl 116), 189–204.
- Lieberman, A.M. (1957). Some results of research on speech perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 29, 117–123.
- Lieberman, A.M. & Mattingly, I.G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1–36.
- Loizou, P.C., Stickney, G., Mishra, L., & Assmann, P. (2003). Comparison of speech processing strategies used in the Clarion implant processor. *Ear & Hearing*, 24, 12–19.
- Lonka, E. (1993). *Aikuinen huonokuuloinen ja huulioluvun oppiminen—huuliolukumennetelmän seurantatutkimus*. Licentiate study in Logopedics, University of Helsinki.
- Lonka, E., Kujala, T., Lehtokoski, A., Johansson, R., Rimmanen, S., Alho, K., & Näätänen, R. (2004). The mismatch negativity (MMN) brain response as an index of speech perception recovery in cochlear-implant recipients. *Audiology & Neuro-Otology*, 9, 160–162. doi: 10.1159/000077265.
- Luce, P.A. & Pisoni, D.B. (1998). Recognizing spoken words: The neighborhood activation model. *Ear & Hearing*, 19, 1–36.
- Ludvigsen, C. (1974). Construction and evaluation of an audio-visual test (the Helen-test). *Scandinavian Audiology*, (Suppl 4), 67–82.
- Marslen-Wilson, W.D. (1980). The temporal structure of language understanding. *Cognition*, 8, 1–71.
- McClelland, J.L. & Elman, J.L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, 18, 1–86.
- Mok, M., Grayden, D., Dowell, R.C., & Lawrence, D. (2006). Speech perception for adults who

- use hearing aids in conjunction with cochlear implants in opposite ears. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49, 338–351.
- Moore, D.R. & Shannon, R.V. (2009). Beyond cochlear implants: Awakening the deafened brain. *Nature Neuroscience*, 12, 686–691. doi: 10.1038/nn.2326
- Munson, B., Donaldson, G.S., Allen, S.L., Col-lison, E.A., & Nelson, D.A. (2003). Patterns of phoneme perception errors by listeners with cochlear implants as a function of overall speech perception ability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 925–935.
- Määttä, T., Sorri, M., Huttunen, K., Välimaa, T., & Muhli, A. (2001). On the construction of a Finnish audiometric sentence test. *Scandinavian Audiology* 30 (Suppl. 52), 171–173.
- NICE (2009). *Cochlear implants for children and adults with severe to profound deafness*. NICE technology appraisal guidance 166. National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE), Lontoo, Iso-Britannia. Haettu 1.9.2010 verkkosivulta: <http://www.nice.org.uk/nicemedia/pdf/TA166Guidance.pdf>.
- Nilsson, M., Soli, S.D., & Sullivan, J. (1994). Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95, 1085–1099.
- Palva, T. (1952). *Finnish speech audiometry: Methods and clinical applications*. Academic dissertation, University of Turku, Turku.
- Peterson, G.E. & Barney, H.L. (1952). Control methods used in a study of the vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 24, 175–184.
- Pisoni, D.B. (1973). Auditory and phonetic memory codes in the discrimination of consonants and vowels. *Perception & Psychophysics*, 13, 253–260.
- Potts, L.G., Skinner, M.W., Litovsky, R.A., Strube, M.J., & Kuk, F. (2009). Recognition and localization of speech by adult cochlear implant recipients wearing a digital hearing aid in the non-implanted ear (bimodal hearing). *Journal of the American Academy of Audiology*, 20, 353–373. doi: 10.3766/jaaa.20.6.4
- Rihkanen, H. (1988). *Rehabilitation assessment of postlingually deaf adults using single-channel intracochlear implants or vibrotactile aids: A prospective clinical study*. Academic Dissertation, University of Helsinki, Helsinki.
- Rubinstein, J. T., Parkinson, W. S., Tyler, R. S., & Gantz, B. J. (1999). Residual speech recognition and cochlear implant performance: Effects of implantation criteria. *American Journal of Otolaryngology*, 20, 445–452.
- Ruffin, C.V., Tyler, R.S., Witt, S.A., Dunn, C.C., Gantz, B.J., & Rubinstein, J.T. (2007). Long-term performance of Clarion 1.0 cochlear implant users. *Laryngoscope*, 117, 1183–1190.
- Rød vik, A.K. (2008). Perception and confusion of speech sounds by adults with cochlear implant. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 22, 371–378. doi: 10.1080/02699200801919299
- Shannon, R.V., Fu, Q.-J., & Galvin, J., (2004). The number of spectral channels required for speech recognition depends on the difficulty of the listening situation. *Acta Otolaryngologica, Suppl.* 552, 50–54.
- Seligman, P. & McDermott, H. (1995). Architecture of the Spectra 22 speech processor. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 104 (Suppl 166), 139–141.
- Skinner, M.W., Arndt, P.L., & Staller, S.J., (2002). Nucleus 24 advanced encoder conversion study: Performance vs. preference. *Ear & Hearing*, 23, 2S–25S.
- Skinner, M.W., Clark, G.M., Whitford, L.A., Seligman, P.M., Staller, S.J., Shipp, D.B.,... Be-iter, A.L. (1994). Evaluation of a new spectral peak coding strategy for the Nucleus 22 channel cochlear implant system. *American Journal of Otolaryngology*, 15 (Suppl 2), 15–27.
- Spahr, A.J. & Dorman, M.F. (2004). Performance of subjects fit with the Advanced Bionics CII and Nucleus 3G cochlear implant devices. *Archives of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 130, 624–628.
- Spahr, A.J., Dorman, M.F., & Loisel le, L.H. (2007). Performance of patients using different cochlear implant systems: Effects of input dynamic range. *Ear & Hearing*, 28, 260–275.
- Stacey, P. (2007). *Studies of auditory training to improve speech perception by adult cochlear-implant users*. Academic Dissertation. The University of York, United Kingdom.
- Stacey, P. & Summerfield, Q. (2007). Comparison of word-, sentence-, and phoneme-based train-

- ing strategies in improving the perception of spectrally distorted speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 526–538.
- Stevens, K.N. (1980). Acoustic correlates of some phonetic categories. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68, 836–842.
- Suomi, K. (1980). *Voicing in English and Finnish. A typological comparison with an interlanguage study of the two languages in contact*. Publications of the Department of Finnish and General Linguistics of the University of Turku 10. University of Turku, Turku.
- Thai-Van, H., Veuillet, E., Norena, A., Guiraud, J., & Collet, L. (2010). Plasticity of tonotopic maps in humans: Influence of hearing loss, hearing aids and cochlear implants. *Acta Oto-Laryngologica*, 130, 333–337.
- Tuomainen, O. (2010). Puheen havaitsemisen behavioraaliset tutkimusmenetelmät. Teoksessa P. Korpilahti, O. Aaltonen, & M. Laine (toim.), *Kieli ja aivot*, s. (62–67). Helsinki: Art-Print Oy.
- Tyler, R.S., Parkinson A.J., Woodworth, G.G., Lowder, M.W., & Gantz, B.J. (1997). Performance over time of adult patients using the Ineraid or Nucleus cochlear implant. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 508–522.
- Van Den Bogaert, K., Govaerts, P.J., Schatteman, I., Brown, M.R., Caethoven, G., Offeciers, F.E... Van Camp, G. (2001). A second gene for otosclerosis, OTSC2, maps to chromosome 7q34-36. *American Journal of Human Genetics*, 68, 495–500.
- van Dijk, J.E., Olphen, A.F., Langereis, M.C., Mens, L.H.M., Brokx, J.P.L., & Smoorenburg, G.F. (1999). Predictors of cochlear implant performance. *Audiology*, 38, 109–116.
- Van Wieringen, A. & Wouters, J. (1999). Natural vowel and consonant recognition by Laura cochlear implantees. *Ear & Hearing*, 20, 89–103.
- Vermeire, K., Kleine Punte, A., & Van de Heyning, P. (2010). Better speech recognition in noise with the Fine Structure Processing coding strategy. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery*, 72, 305–311. doi: 10.1159/000319748
- Vitevitch, M.S., Luce, P.A., Pisoni, D.B., & Auer, E.T. (1999). Phonotactics, neighborhood activation and lexical access for spoken words. *Brain and Language*, 68, 306–311.
- Välimaa, T., Laitakari, J., Sivonen, V., Brotherus, L., & Sorri, M. (2010). Experimental frequency ranges and speech recognition in quiet and in noise by Finnish adult implant users. *Book of Abstracts, 11th International Conference on Cochlear Implants and Other Auditory Implantable Technologies, June 30–July 3, 2010, Stockholm, Sweden*, p. 255.
- Välimaa, T. & Löppönen, H. (2008). Comparison of the body-worn CIS-PRO+ and the behind-the-ear-worn TEMPO+ cochlear implant systems in Finnish-speaking adult CI users: any differences in results with experienced listeners? *Acta Oto-Laryngologica*, 128, 984–991. doi: 10.1080/00016480701793727.
- Välimaa, T., Määttä, T., Löppönen, H., & Sorri, M. (2002a). Phoneme recognition and confusions with multichannel cochlear implants: Vowels. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45, 1039–1054.
- Välimaa, T., Määttä, T., Löppönen, H., & Sorri, M. (2002b). Phoneme recognition and confusions with multichannel cochlear implants: Consonants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 45, 1055–1069.
- Välimaa, T. & Sorri, M. (2000). Speech perception after multichannel cochlear implantation in Finnish-speaking postlingually deafened adults. *Scandinavian Audiology*, 29, 276–283.
- Välimaa, T. & Sorri, M. (2001). Speech perception and functional benefit after cochlear implantation: A multicentre survey. *Scandinavian Audiology*, 30, 112–118.
- Välimaa, T., Sorri, M., Laitakari, J., Sivonen, V., & Muhli, A. (2010). Vowel confusion patterns in adults during initial four years of implant use. *Clinical Linguistics and Phonetics, Early Online November 12th, 2010*.
- Välimaa, T., Sorri, M., & Löppönen, H. (2005). Speech perception and auditory performance in Finnish adult cochlear implant users. *Cochlear Implants International*, 6, 49–66. doi: 10.1002/cii.247
- Wiik, K. (1965). Finnish and English vowels. *A comparison with special reference to the learning problems met by native speakers of Finnish learning English*. Academic Dissertation. Annales

- Universitatis Turkuensis, Series B, 94. Turku: University of Turku.
- Wilson, B.S., Finley, C.C., Farmer, J.C. Jr., Lawson, D.T., Weber, B.A., Wolford, R.D., ...Schindler, R.A. (1988). Comparative studies of speech processing strategies for cochlear implants. *Laryngoscope*, 98, 1069–1077.
- Wilson, B.S., Finley, C.C., Lawson, D.T., Wolford, R.D., Eddington, D.K., & Rabinowitz, W.M. (1991). Better speech recognition with cochlear implants. *Nature*, 352, 236–238.
- Wilson, B.S., Schatzer, R., Lopez-Poveda, E.A., Sun, X., Lawson, D.T., & Wolford, R.D. (2005). Two new directions in speech processor design for cochlear implants. *Ear & Hearing*, 26 (Suppl. 4), 73S–81S.
- Wu, J.-L., Yang, H.-M., Lin, Y.-H., & Fu, Q.-J., (2007). Effects of computer-assisted speech training on Mandarin-speaking hearing impaired children. *Audiology Neurotology*, 12, 31–36.
- Ylinen, S., Alho, K., & Kujala, T. (2010). Puheen havaitsemisen aivoperusta. Teoksessa O. Aaltonen, R. Aulanko, A. Iivonen, A., Klippi, & M. Vainio (toim.), *Puhuva ihminen: Puhetieteiden perusteet*, (s. 244–260). Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Zierhofer, C.M., Hochmair-Desoyer, I.J., & Hochmair, E.S. (1995). Electronic design of a cochlear implant for multichannel high-rate pulsatile stimulation strategies. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 3, 112–116.
- Ziese, M., Stützel, A., von Specht, H., Begall, K., Freigang, B., Sroka, S., & Nopp P. (2000). Speech understanding with the CIS and the n-of-m strategy in the Med-El Combi40+ system. *Journal of Oto-Rhino-Laryngology and its Related Specialties*, 62, 321–329.
- Zwicker, E. & Terhardt, E. (1980). Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68, 1523–1525.

Lähdehuomautukset

- Välilmaa, T., Laitakari, J., Sivonen, V., & Sorri, M. Sentence and word recognition during initial four years by Finnish adult cochlear implant users. *Valmisteilla*¹.
- Välilmaa, T., Laitakari, J., Sivonen, V., & Sorri, M. Consonant recognition and confusion patterns in adults during initial four years of implant use: perception of spectral and temporal cues. *Valmisteilla*².

AUDITORY SPEECH PERCEPTION BY ADULT COCHLEAR IMPLANT USERS: A REVIEW

Taina Välilmaa, University of Oulu, Faculty of Humanities, Logopedics

The aim of this paper is to review recent research on auditory speech perception by adult cochlear implant users with special focus on the rehabilitation of Finnish-speaking implant users. Firstly, the fundamentals of speech perception, the design and functioning of cochlear implants and speech perception test methods are discussed. This is followed by a comparative review of sentence, word, vowel and consonant recognition by implant users speaking English, German, French or Finnish. The focus is on long-term rehabilitation in speech perception and subject-related and device-related factors affecting rehabilitation outcome. Finally, the effects of recent intensive auditory training studies are reviewed.

Keywords: Consonant recognition, hearing impairment, rehabilitation, sentence recognition, word recognition, vowel recognition.

