

TEHOA KUULOHAAHMOTUKSEEN – NEUROKOGNITIIVISEEN TEORIAAN TUKEUTUVIA MENETELMIÄ

prof. Pirjo Korpilahti
Oulun yliopisto

Kuntoutusmenetelmät ja kuntoutumisesta käytettävä termistö peilaavat vallitsevia tieteenteoreettisia näkemyksiä. Kuntoutettavan ikä on keskeinen tekijä terapiamenetelmiä valittaessa. Lapsen neuraalisen järjestelmän plastisuus tukee ajatusta varhaiskuntoutuksen merkityksestä. Tässä kirjoituksessa käsittelen kuntoutusta lapsien parissa tehtävän terapiatyön kannalta. Lasten parissa työskentelevien logopedin terapiakeinoihin on kuulunut perinteisesti kielellisen kehityksen rikastuttamisohjelmia. Kyseiset kuntoutusohjelmat sisältävät ajatuksen kommunikaatiotaitojen kokonaisvaltaisuudesta ja ryhmäluonteesta. Kielelliset osataidot nähdään toisiinsa liittyvinä ja ainakin osittain kompensoituvina.

Tietokoneavusteinen kuntoutus on viime vuosina saanut keskeisen sijan puheterapeutin työskentelymuotona. Tämä on mahdollistanut hyvinkin spesifien kielen osa-alueiden intensiivisen harjoittamisen. Samalla harjoittelu on voitu siirtää osittain myös lapsen kotona tapahtuvaksi. Jotkut harjoitteluohjelmat lähtevät liikkeelle kuulohavaintojen elementaarisista yksiköistä, toiset puolestaan ovat selkeämmin kieleen sidottuja.

Miksi kuulohavaintojen täsmäkuntoutusta?

Poikkeavaan kielenkehitykseen sekä lukiongelmiin liittyy yleisesti auditiivisen prosessoinnin häiriöitä. Lapsen on vaikea keskittyä kuuntelemaan sekä noudattaa sanallisia ohjeita. Erityisen ongelmallisena pidetään nopean kuulotiedon käsittelyä (Tallal ym. 1985, 1993).

Lapsen kielen omaksumisessa on osataitoja, jotka edellyttävät toistuvuutta ja tarkkaavaisuuden harjoittelua, esim. kuunteluun/kuulohavainnon täsmällisyyteen harjaantuminen. Lapsen tulee oppia kiinnittämään huomionsa tarkoituksenmukaisiin ääniärsykkeisiin ja jättämään huomiotta ne ympäristön äänet, joilla ei ole kyseisessä tilanteessa merkitystä.

Ympäristömelu häiritsee kuuntelutilanteessa aivopuoliskojen työnjakoa, jolloin korostuvat heikkoon tarkkaavaisuuteen liittyvät häiriöpiirteet (Styrov ym. 1998). Kuulon sentraalisia ja sensitiivisyyteen liittyviä häiriöitä on vaikea tavoittaa tavallisin audiologisin tutkimusmenetelmin. Monilla tarkkaavaisuushäiriöisillä lapsilla aivokuoren kuuloalueet reagoivat poikkeuksellisen voimakkaasti ympäristön ääniin (Kilpeläinen 2000). Hypotai hypersensitiivisen kuulemisen häiriöt ovatkin tavallisia dysfaattisilla, autistisilla sekä oppimis- ja tarkkavaisuushäiriöisillä lapsilla. Poikkeamat kuulon sensitiivisyydessä tekevät lapsen levottomaksi ja vaikeuttavat esim. toimintaohjeiden noudattamista. Ne myös häiritsevät lyhytkestoisen muistin toimintaa sekä aisti-integraatiota ja aiheuttavat oppimisen ongelmia.

Puheen vastaanotto ei perustu ainoastaan akustis-foneettiseen informaatioon. Havainnoinnissa tarvitaan myös kuullun muokkaamista ja tietoaineksen tulkintaa. Tulkinnan perustana on havaintojen tarkkuus ja kielen hallinta. Luonnollisessa puhetilanteessa vaihtelu äänteiden formanttirakenteessa on huomattavan suurta. Vaihtelu liittyy sekä puhujien välisiin että äänneympäristön aikaansaamiin spektrimuutoksiin. Lapsen omaksuman äännejärjestelmän tulee siis sallia tietty akustinen vaihtelu, ilman että puheen vastaanotto siitä kärsii. Lapsen varttuessa saavat mentaalisen kuulemisen lainalaisuudet kuullun ymmärtämisessä yhä suuremman merkityksen.

Kuulohavainnot ja niihin liittyvät muistijäljet ovat tarkentuneet kielen yksikköjen tasolle jo keskosina syntyvillä lapsilla (Cheour-Luhtanen ym. 1996; Cheour ym. 1998). Varhaisina kehitysvuosina geneettiset tekijät vaikuttavat hermosolujen rakenteeseen, dendriittien syntyyn ja hermoverkkojen järjestäytymiseen. Keskushermoston synaptisten yhteyksien määrä on maksimissaan 5 – 6 vuoden iässä, jonka jälkeen toimivien yhteyksien säilyminen ja uudelleen organisoituminen määräytyy neuronien aktiivisuuden perusteella (Courchesne 1990; Huttenlocher 1994). Aivoalueiden rakenteellinen ja toiminnallinen erikoistuminen merkitsee siis paitsi kasvua, myös neuraalisten yhteyksien karsiutumista.

Sentraalisen kuulemisen perusprosesseja ja ongelmia on viimeaikoina selvitetty käyttäen neurofunktionaalisia tutkimusmenetelmiä. Herätevasteiden (ERPs, event related potentials) ja erityisesti poikkeavuusnegatiivisuusvasteen (MMN, mismatch negativity) avulla voidaan seurata hyvin elementaarisia kuuloprosesseja, tai vaihtoehtoisesti rakentaa koeasetelma siten, että tarkastelun kohteena ovat kognitiiviset kuulotapahtumat (esim. tapahtumasidonnaiset aiovasteet P3, N400 tai LDN, late discriminative negativity, ks. Korpilahti ym. 2001). MMN-vaste ilmentää kuuloerotellun tarkkuutta esitietoisten havaintojen tasolla. Sen syntyyn vaikuttavat myös säilömuisti sekä kuulon harjoittaminen (Kraus ym. 1995; Näätänen 1995). Perinteiset, kielikäyttäytymistä arvioivat tutkimusmenetelmät perustuvat pitkiin prosessiketjuihin. Ne myös edellyttävät lapselta hyvää yhteistyökykyä ja toimintaohjeiden ymmärtämistä. MMN-tutkimusten huomattavana etuna

voidaankin pitää sitä, että tutkimus on helppo suorittaa pienillekin lapsille, ilman vaativia toimintaohjeita tai tutkittavan yhteistyökykyä.

Kuulohavaintojen jäsentymättömyys ja sensorisen muistin ongelmat ovat tyypillisiä monille kielihäiriöisille lapsille. Tehokas havainnointi edellyttää kuulotiedon nopeatempoista johtumista hermoradoissa ja tarkkaa tallennusta myöhempää käsittelyä varten (Elliot & Hammer 1988; Tallal ym. 1993). Nopeutumista ääniärsykkeiden välisten taukojen havaitsemisessa on raportoitu tapahtuvan ainakin 6 vuoden ikään asti (Trehub 1993). Kielihäiriölapsilla havaitut MMN-vasteiden pitkät latenssit kuvaavat kuuloprosessien neuraalista hitautta (Korpilahti & Lang 1994; Korpilahti 1995; Tonnquist-Uhlén ym. 1996; Holopainen ym. 1997, 1998). Kielen oppimisen myötä tapahtuu havaintoprosessien automatisoitumista, jonka seurauksena puheen tallennus ei myöskään tapahdu yksittäisten foneemi- ja sillien perusteella, vaan tietoa integroivien aikaikkunoiden avulla (Winkler ym. 1998; Cheour ym. 2001; Korpilahti ym. 2001).

MMN-vasteiden vaikeudesta (alhaiset amplitudiarvot) on vaikeampi vetää suoria johtopäätöksiä kuin vasteen aktivoitumiseen kuluva ajasta. Ongelmallista tulkintaa on erityisesti käytettäessä kielellisiä ärsykeitä. Koska MMN-vasteen amplitudi kuvaa kuulohavaintoihin liittyvän neuraalisen aktivaation määrää, on se sidoksissa lapsen kielelliskognitiiviseen tasoon. Prosessi, joka vaatii suurta neuraalista energiaa toteutuakseen 4-vuotiaalla, saattaa myöhemmällä iällä paikantua hyvin tarkkarajaisesti ja rekisteröityä herätevasteissa aiempaa huomattavasti vaimeampana. Oppimisvaiheessa olevat kuuloprosessit edellyttävät suurempaa aktivaatiotasoa kuin samat havaintotapahtumat kielellisen automatisoitumisen jälkeen.

Neurokognitiiviseen teoriaan tukeutuvia kuntoutusmenetelmiä

Neuraalisten rakenteiden erikoistuminen ei tapahdu ilman funktionaalista tukea. Terapiatyössä keskeinen kysymys onkin, missä määrin ja millä keinoin voimme aktivoida tai palauttaa normaalin kielenomaksumisen edellytyksiä? Kielellisten taitojen vakiintumisikä n. 4-vuotiaana, ovat maksimissaan sekä korteksin uloimman kerroksen että kielen semantiikan kannalta keskeisten aivoalueiden kehitys. Samanaikaisesti tapahtuu muutoksia aivoalueiden aineenvaihdunnassa ja sähköisissä toiminnoissa. Kehitysprosesseilla on oma aikataulunsa, joka asettaa kuntoutuksen ajoittumiselle tietyt kehykset. Niinpä kielihäiriölapsen terapiassa keskeistä onkin terapian riittävän varhainen ajoittuminen. Lapsen kehityksessä voidaan myös havaita erityisen heikkoja osa-alueita, joiden normalisoitumista voimme tukea täsmäkuntoutuksen keinoin.

Kielihäiriöiset lapset hyötyvät intensiivisistä kuulohavainnointia harjoittavista ohjelmista. Merzenich ym. (1996) raportoivat muutaman kuukauden tehoharjoittelun saavan aikaan jopa yli vuotta vastaavan tasonmuutoksen äännetietoisuudessa, puheen ymmärtämisessä ja tuotossa. Tutkimusraportit ovat myös osoittaneet, että sentraalista kuulojärjestelmää voidaan muokata täsmäkuntoutuksen keinoin (ks. esim. Kraus ym. 1995).

Kuntoutusesimerkki

ADT (Auditory Discrimination Training) on musiikkiterapian erityinen sovellus. Se pyrkii muokkaamaan lapsen kuulohavaintoja ja sensorista kuulojärjestelmää siten, että havainnointi tapahtuisi tarkoituksenmukaisesti, erityisesti puheen äänielementtien osalta (Johansen 1989, 1994). Musiikin voidaan selittää aktivoivan biokemiallisesti kuuloradaston sentraalisia yhteyksiä (Taylor 1997). ADT-harjoittelulla pyritään myös vahvistamaan kuulemisen oikeakorvaisuutta (REA, right ear advantage, ks. esim. Brown ym. 1999), jonka tiedetään liittyvän erityisesti kielen ja nopeiden ääniärsykkeiden havaitsemiseen. Luonteeltaan ADT on puheterapeuttiseen kuntoutukseen valmistavaa ja sitä täydentävää. Harjoittelu etenee yksilöllisesti suodatettujen ja muokattujen, synteettiseen musiikkiin perustuvien ääninauhojen avulla (harjoittelun aikana 2-5 ääninauhaa/asiakas). Päivittäiset n. 10 minuutin kuuntelutuokiot jatkuvat yksilöstä riippuen 6 – 9 kuukauden jakson. Pitkä harjoittelu-aika on ymmärrettävissä sitä taustaa vasten, että kuntoutuksella pyritään muokkaamaan vallitsevaa kuulemisen tapaa ja jäsentämään tehokkaammaksi kuuloradaston toimintaa.

Korpilahden työryhmän kuntoutuskokeiluun osallistui Espoon Kilon erityiskoulun ala-asteen dysfasialuokkien oppilaita (DYS-ryhmä, N=14) ja heidän terveitä ikäverrokkejaan (N=13). Kielihäiriöiset lapset ohjautuivat vanhempien päätöksen perusteella kahteen alaryhmään. A-ryhmä (N=8) sai normaalia koulun puitteissa tapahtuvaa erityisopetusta ja B (ADT-kuntoutusryhmä, N=6) osallistui lisäksi kuntoutuskokeiluun (alustavat raportit Korpilahti ym. 2000; Korpilahti 2001).

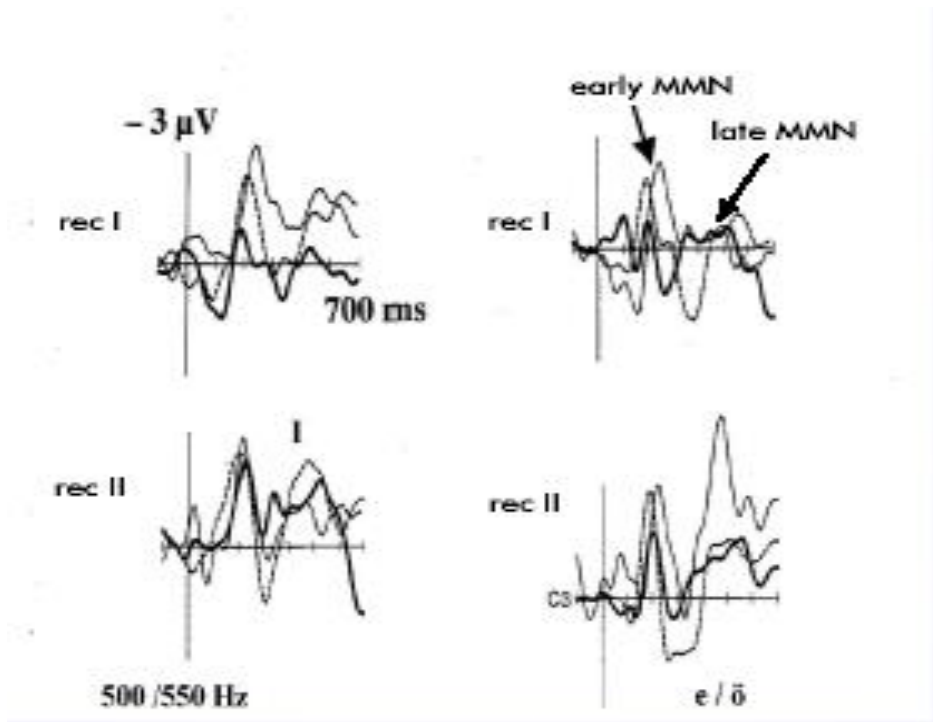
Muutoksia kuulotiedon käsittelyssä mitattiin ERP-rekisteröintien ja erityisesti MMN-vasteiden avulla. Ensimmäinen rekisteröinti toteutettiin ennen kuntoutuksen aloittamista. Toinen rekisteröinti tehtiin kaikille kielihäiriöisille ja verrokeille n. 9 kk:n kuluttua. Ärsykkeenä käytettiin 200 ms:n mittaisia siniääniä: 500/550 Hz ja 2000/2200 Hz. Ärsykkeet oli valittu siten, että ne vastasivat tutkimuksessa käytettyjen semisynteettisten vokaalien *e/ö* 1. ja 2. formanttia. Em. vokaalit edustivat MMN-rekisteröinnissä yksinkertaista verbaalista ärsyketyyppiä ja tavut *ta/ka* kompleksista kielellistä ärsyketyyppiä. Vokaali- ja tavuärsykkeet oli saatu TKK:n kylmälaboratoriosta. Poikkeavana ärsykkeenä em. rekisteröinneissä esiintyi ärsykeparien jälkimmäinen jäsen, satunnaistettuna 10%:n todennäköisyydellä.

Lasten kielellisistä taidoista kerättiin tietoa seuraavien testien avulla: Bostonin Nimentätesti, NEPSU-testin Kielelliset käsitteet –osio, Lausetesti (kuullun lausetasoinen ymmärtäminen) ja Sama-Eri -testi (vokaalien ja konsonanttien tavutasoinen kuuloerottelu). Vanhemmilta ja opettajilta koottiin lisäksi tietoja kyselylomakkeella liittyen lapsen keskittymiskykyyn, käyttäytymisen säätelyyn, luki-taitoihin, sensomotoriikkaan, kuuloreaktioihin ja kielen varhaiskehitykseen. Kielihäiriölapsistä muodostetut osaryhmä eivät eronneet tilastollisesti toisistaan logopedisten testien tai kyselylomakkeilla koottujen kehitystietojen osalta. Tarkemmat tulokset logopedisistä mittauksista ja vanhempien/opettajien antamista arvioinneista raportoidaan muussa yhteydessä.

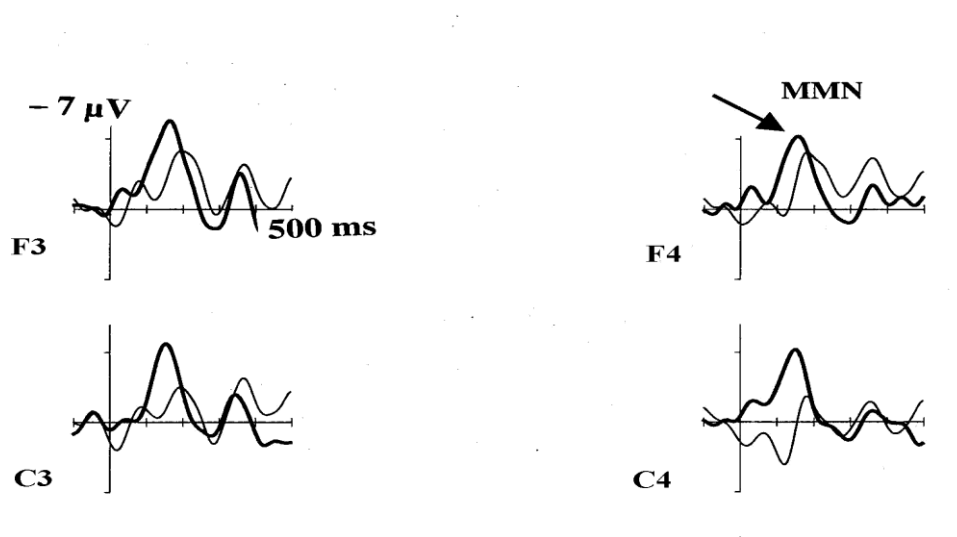
Alkutilanteessa todettiin kielihäiriöisten lasten (N=14) MMN-vasteiden olevan huomattavasti hitaampia (latenssit keskimäärin 30 ms pidemmät) kuin verrokeilla (N=13), erityisesti puheen keskeisillä taajuuksilla (2000/2200 Hz). Vasteet olivat pinta-ala –jakaumaltaan laakeita. Kielihäiriöisillä lapsilla MMN-vasteille oli myös tyypillistä erilainen hemisfäärien työnjako kuin verrokeilla. Terveillä lapsilla ärsykkeet voitiin asettaa niiden aikaansaamien MMN-vasteiden aktivoitumisen perusteella seuraavaan järjestykseen: tavut *ta/ka* (suurin havaintoarvo/voimakkain MMN-vaste), 2000/2200 Hz, vokaalit *e/ö* ja viimein kuuloreaktio 500/550 Hz ääneparin erolle. Kielihäiriöisillä lapsilla poikkeavuudet eivät liittyneet niinkään kuuloaivokuoren aktivoitumiseen, vaan MMN-vasteen edellyttämän muisti- ja erotteluprosessin heikkouteen. Dysfasia-ryhmällä MMN-vaste jäi vaimeaksi, erityisesti vokaaliärsykkeillä, jotka erosivat toisistaan 2. formantin osalta.

Kuntoutukseen osallistuneen ryhmän (Ryhmä B, ADT, N=6) neurofysiologinen reagoivuus sarjassa esiintyville poikkeaville ääniärsykkeille oli tutkimuksen alussa huomattavasti vaimeampi kuin muilla kielihäiriöisillä (Ryhmä A, N=8) tai terveillä verrokeilla (N=13)(ks. kuva1). Kuntoutuksen aikana sentraalinen reagoivuus parani erityisesti 500/550 Hz:n ja vokaalien *e/ö* aikaansaamien MMN-vasteiden perusteella tarkasteltuna.

Kuntoutustulosten tilastollinen analysointi on kesken, mutta muutamien ADT-kuntoutukseen osallistuneiden lasten kohdalla voitiin todeta huomattava muutos kuulotiedon käsittelyssä. Tämä näkyi sekä neurofysiologisina muutoksina ERP-reaktioissa että kielen oppimiseen liittyvänä aktivaationa (kuva 2).



Kuva 1. Keskiarvoistettu MMN-vaste ärsyketyypeille 500/550 Hz ja *e/ö*. (negatiivinen aaltomuoto n. 200 ms:n viiveellä ärsykkeen alusta). Rekisteröinti I tutkimuksen alussa, II n. 9 kk:n kuluttua, jolloin B-ryhmä oli käynyt läpi ADT-kuntoutuksen. Ryhmä A (N=8; ohut yhtenäinen viiva), Ryhmä B (N=6; paksu yhtenäinen viiva), Ryhmä Verrokkit (N=13; katkoviiva).



Kuva 2. ADT-kuntoutuskokeiluun osallistuneen, alkutilanteessa 9;9 -vuotiaan pojan MMN-vaste 2000/2200 Hz:n ääniärsykkeille. Paksu viiva kuvaa tilannetta ADT-jakson jälkeen. MMN-vaste (latenssi n. 180 ms) oli

voimistunut kaikissa analysoiduissa elektrodipaikoissa (F3 ja F4 frontaaliset, C3 ja C4 sentraaliset elektrodit).

OHJELMA	ADT
materiaali	ääninauhat (musiikki)
aistimodaliteetti	auditiiviset ärsykkeet
toiminnallinen taso	kohdennettu kuuntelu
päätavoite	tarkkaavaisuus, kuulohavaintojen muokkaaminen
kohderyhmä	keskittymättömät kieli- ja oppimis- häiriöiset
harjoittelun kesto, toteutus	10 min /X 6 –9 kk, päivittäin kotona

Taulukko 2. Artikkelissa kuvatun kuntoutusmenetelmän yhteenveto ja käyttötapa edellä raportoidussa tutkimuksessa.

Lopuksi

Nykyteknologia tarjoaa hyvät mahdollisuudet kielihäiriöiden tietokoneavusteiseen ja täsmäkuntoutukseen. Tärkeää on kuitenkin tuntea ne teoreettiset lähtökohdat, joihin harjoitusohjelmat perustuvat. Kielen osatoiminnot saattavat olla häiriytyneet hyvinkin yksilöllisesti. Tästä syystä harjoitusohjelma, joka sopii kehityksen tueksi tietylle lapselle, ei välttämättä saakaan aikaan harjoitustulosta jonkin toisen kieli- tai oppimishäiriöisen lapsen suoritteissa. Kielihäiriöiden heterogeenisuus tulee huomioida tarkoin kuntoutusmenetelmiä valittaessa. Harjoitteluohjelman käyttö on perusteltua, mikäli ko. taidot ovat puutteellisesti kehittyneet ja lapsella oletetaan olevan perusta, johon oppiminen voi kiinnittyä. Käytettäessä tietokoneohjelmia, tulisi ohjelman olla haasteellinen, mutta se ei saisi ylittää vaatimuksillaan lapsen jaksamiskynnystä. Mikäli lapsella on huomattavia keskittymisvaikeuksia, tulisi harjoittelua tukea terapeutin tai kotiharjoittelussa vanhempien toimesta.

Lapsen ikä saattaa asettaa rajoituksia harjoitusohjelman käytölle. Pienimpien lasten kohdalla harjoittelu edellyttää motivaation ylläpitoa esim. kuvien avulla. Isompien lasten kohdalla saattaa oman oppimispäiväkirjan pitäminen (esim. suoritus aika ja -taso, oikeiden vastausten määrä, muutos edelliseen harjoittelukertaan jne.) toimia harjoittelun motivointikeinona. Lasten tulee myös ymmärtää ohjelmassa käytetyt käsitteet ja vastaamistavan on oltava riittävän yksiselitteinen (esim. sama/eri -valinta, valintapainalluksen oikea ajoittuminen tms.).

Kuntoutumistulos ei muodostu ainoastaan muuttuvista pistemääristä tai nopeutuneesta suoritteesta. Keskeistä on oppimistapahtumaan vaikuttaminen, oppijasta itsestään lähtevä auditiivisen tarkkaavuuden suuntaaminen ja keskittymiskyvyn tehostuminen. Edellä kuvatut kuntoutuskokeilu kannustavat jatkamaan intensiiviterapian eri muotojen kehittämistä.

Lähteet

- Brown, C.P., Fitch, H. & Tallal, P. (1999). Sex and hemispheric differences for rapid auditory processing in normal adults. *Laterality*, 4(1), 39-50.
- Cheour-Luhtanen, M., Alho, K., Sainio, K., Rinne, T., Reinikainen, K., Pohjavuori, M., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O. & Näätänen, R. (1996). The ontogenetically earliest discriminative response of the human brain. *Psychophysiology*, 33, 478-481.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K. & Näätänen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience*, 1 (5), 351-353.
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O. & Lang, A.H. (2001). Mismatch negativity and late discriminative negativity in investigating speech perception and learning in children and infants. *Audiology & Neuro-Otology*, 6, 2-11.
- Courchesne, E. (1990). Chronology of postnatal human brain development: Event-related potential, positron emission tomography, myelinogenesis, and synaptogenesis studies. Teoksessa J.W. Rohrbaugh, R. Parasuraman & R.Jr. Johnson (toim.) *Event-related brain potentials* (ss. 210-241). New York: Oxford University Press.
- Elliot, L.L. & Hammer, M.A. (1988). Longitudinal changes in auditory discrimination in normal children and children with language-learning problems. *Journal of Speech and Hearing Research*, 53, 467-474.
- Holopainen, I., Korpilahti, P., Juottonen, K., Lang, A.H. & Sillanpää M (1997). Attenuated auditory event-related potential (Mismatch negativity) in children with developmental dysphasia. *Neuropediatrics*, 28, 253-256.
- Holopainen, I., Korpilahti, P., Juottonen, K., Lang, A.H. & Sillanpää, M. (1998). Abnormal frequency mismatch negativity (MMN) in mentally

- retarded children and in children with developmental dysphasia. *Journal of Child Neurology*, 13(4), 178-183.
- Huttenlocher, P. (1994). Synaptogenesis in human cerebral cortex. Teoksessa G. Dawson & K.F. Fischer (toim.) *Human behavior and the developing brain* (ss. 137-152). New York: Guilford Press.
- Johansen, K. (1989). Ear-preference, auditory-dominance and reading problems. Teoksessa M. Hunter-Carsch (toim.) *The art of reading*. Oxford: Basil Blackwell Ltd.
- Johansen, K. (1994) Differential diagnosis and differentiated, neuropsychological treatment of dyslexia. Bundesverband Legasthenie e.V., 73-91.
- Karma, K. (1987). Eräiden lukemis- ja kirjoittamistaidon edellytysten tietokoneavusteinen harjoituskokeilu. Suomen logopedis-foniatriksen yhdistyksen julkaisuja, 20, 55-64.
- Karma, K. & Törmänen, M. (2001). Nonverbaalisten auditiivisten ja visuaalisten signaalien yhdistäminen lukemis- ja kirjoitusvaikeuksien sekä dysfasian diagnoosissa ja kuntoutuksessa. *NMI Bulletin*, 1/2001, 6-7.
- Kilpeläinen, R. (2000). Auditory event-related brain potentials in distractible vs. attentive children. Akateeminen väitöskirja. Kuopion yliopiston julkaisuja D. Lääketiede 199.
- Korpilahti, P. (1995). Auditory discrimination and memory functions in specific language impairment: A comprehensive study with neurophysiological and behavioural methods. *Scandinavian Journal of Logopedics and Phoniatics*, 20, 131-139.
- Korpilahti, P. (2000). Dysfasian neurofysiologinen perusta – uuden tiedon vaikutuksia terapiatyöhön. *Puheterapeutti* 3/2000, 4-7.
- Korpilahti, P. (2001). Apua täsmäkuntoutuksesta? Neurofysiologinen lähestymistapa kuuloerotteluvaikeuksiin ja niiden kuntoutukseen. *NMI Bulletin*, 1/2001, 7-8.
- Korpilahti, P. & Lang, A.H. (1994). Auditory ERP components and MMN in dysphasic children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91, 256-264.
- Korpilahti, P., Myllylä, A., Krause, C.M. & Lang, A.H. (2000). Neurofunctional correlates of auditory perception and training in SLI. *Book of Abstracts, 5th Nordic Congress for Logopedics and Phoniatics*, 13.
- Korpilahti, P., Krause, C.M., Holopainen, I. & Lang, A.H. (2001). Early and late mismatch negativity elicited by words and speech-like stimuli in children. *Brain and Language*, 76, 332-339.
- Korpilahti, P., Alopaeus-Laurinsalo, N. & Laurinsalo, V. (painossa, *Nordisk Tidsskrift For Spesialpedagogikk*). Neurofunctional correlates of auditory discrimination training in a language learning impaired boy .

- Kortelainen, A. (1999). Kuuloerottelutaitojen harjoittaminen 5-6 –vuotiailla kielihäiriöisillä lapsilla. Logopedian pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto.
- Kraus, N., McGee, T., Carrell, T.D. & Sharma, A. (1995). Neurophysiologic bases of speech discrimination. *Ear and Hearing*, 16, 19-37.
- Kujala, T. (2001). Äänten havaitseminen lukihäiriöissä mismatch negativity -vasteen heijastamana. *NMI Bulletin*, 1/2001, 8-9.
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M. & Näätänen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *PNAS*, 98(18), 10509-10514.
- Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, C.E., Miller, S.L. & Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language-impaired children ameliorated by training. *Science*, 271, 77-81.
- Näätänen, R. (1995). The mismatch negativity: A powerful tool for cognitive neuroscience. *Ear and Hearing*, 16, 6-18.
- Poskiparta, E., Niemi, P. & Lepola, J. (1994). Diagnostiset testit I: Lukeminen ja kirjoittaminen. Oppimisvaikeuksien tutkimuskeskus, Turun yliopisto.
- Styrov, J., Kujala, T. Ahvenainen, J., Tervaniemi, M., Alku, P., Ilmoniemi, R.J. & Näätänen, R. (1998) Background acoustic noise and the hemispheric lateralization of speech processing in the human brain: magnetic mismatch negativity study. *Neuroscience Letters*, 251, 141-144.
- Tallal, P., Stark, R. E. & Mellits, D. (1985). The relationship between auditory temporal analysis and receptive language development: Evidence from studies of developmental language disorder. *Neuropsychology*, 23, 527-534.
- Tallal, P., Miller, S. & Fitch, R.H. (1993). Neurobiological basis of speech. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 27–47.
- Taylor, D.B. (1997). Biomedical foundations of music as therapy (ss. 48-50). Ann Arbor, MI: Cushing-Mallory, Inc.
- Trehub, S.E. (1993). Temporal auditory processing in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 137-149.
- Tonnquist-Uhlén, I. (1996). Topography of auditory evoked cortical potentials in children with severe language impairment. *Scandinavian Audiology*, Supplement 44.
- Winkler, I., Czigler, I., Jaramillo, M., Paavilainen, P. & Näätänen, R. (1998). Temporal constraints of auditory event synthesis. Evidence from ERPs. *Neuroreport*, 9, 495-499.