

PUHEEN HAVAINTO, KUULOJÄRJESTELMÄ JA AIVOJEN RYTMIT DYSLEKSIASSA

Jarmo A. Hämäläinen, Jyväskylän yliopisto

Paavo H. T. Leppänen, Jyväskylän yliopisto

Dysleksia on kehityksellinen pulma lukemaan ja kirjoittamaan oppimisessa ja lukutaidon sujuvoitumisessa. Dysleksiaan liittyy myös muita pulmia esimerkiksi äänne- eli fonologisessa tietoisuudessa, kielellisessä muistissa, kyvyssä nimetä nopeasti tuttuja asioita ja kuulohavainnossa. Tämä katsausartikkeli keskittyy kuulohavainnon ja dysleksian välisiin yhteyksiin. Kuulotiedon käsitelyyn liittyvät pulmat ja lukihäiriö ovat olleet vilkkaan keskustelun aiheena jo pitkään johtuen melko ristiriitaisista löydöksistä. Meta-analyysi kuitenkin osoittaa, että jopa puolella heikoista lukijoista saattaa olla pulmaa äänen keston ja nousuaikojen havaitsemisessa sekä vähäisemmässä määrin taa-juuksien havainnossa. Vastaavasti äänen voimakkuuden havainnossa pulmia ei juurikaan esiinny. Kuulojärjestelmässä esiintyvien pulmien taustalla oleva mekanismi on edelleen selvittämättä. Uusi näkökulma mahdolliseen mekanismiin on auennut aivojen rytmien kautta. Aivojen aktiivisuus seuraa puheen tavutason rytmiä ja siten muokkaa aikaikkunoita, joissa havaitseminen on erityisen tarkkaa. Henkilöillä, joilla on dysleksia, aivojen aktivaatio saattaa seurata puhetta ja puheen rytmiä eri tavalla kuin tyyppillisillä lukijoilla ja siten olla yhtenä tekijänä puheen havaitsemisen ja fonologisten pulmien taustalla.

Avainsanat: aivot, dysleksia, kuulohavainto, puhe

PUHEEN HAVAINTO, KUULOJÄRJESTELMÄ JA AIVOJEN RYTMIT DYSLEKSIASSA

Outi Tuomainen (2012) aloitti artikkelillaan keskustelun mielenkiintoisesta aiheesta: mikä aiheuttaa pulmia puhutun ja kirjoitetun kielen taidoissa. Puhutun kielen pulmista käytetään termiä kielellinen erityisvaikeus (specific language impairment, SLI) ja kirjoitetun kielen

pulmista lukihäiriö tai dysleksia. Molemmat pulmat rajoittuvat kielellisen kognitiivisen toiminnan alueille muiden toimintojen ollessa ikätasoisia (Bishop & Snowling, 2004). Tämä artikkeli täydentää Tuomaisen (2012) artikkelia puheessa esiintyvien rytmien näkökulmasta ja vastaa dysleksian osalta hänen artikkelinsa lopussa esitettyihin kysymyksiin. Nuo kysymykset olivat: minkälaisissa äänten piirteissä lukihäiriön tai SLI:n omaavilla henkilöillä on pulmia sekä kuinka monella heistä on pulmia kuulohavainnossa.

Puheenhavainto on keskeisessä asemassa kielen kehityksessä. Lukihäiriön yhteydessä puheenhavainnon on ajateltu liittyvän ään-teistä muodostuviin elämän aikana syntyviin muistijälkiin ja vaikeuksiin yhdistää näitä

Yhteystiedot:

Jarmo A. Hämäläinen, Paavo H. T. Leppänen

Psykologian laitos

Jyväskylän yliopisto

PL 35

40014 Jyväskylän yliopisto

jarmo.a.hamalainen@jyu.fi

muistijalkia kirjaimiin. Siten kuulohavainnon ja puheen havaitsemisen pulmat voivat olla yksi lukihäiriön taustalla olevista tekijöistä. Tämän vuoksi myös puheenhavaintoon pohjautuva harjoittelu saattaa vaikuttaa lukutaidon kehittymiseen (esim. Tallal ym., 1996; Goswami, 2011).

KUINKA USEIN KUULOHAVAINNON POIKKEAVUUKSIA ESIINTYY LUKIHÄIRIÖN YHTEYDESSÄ?

Aloitamme kuvaamalla ensin äänten peruspiirteisiin liittyviä löydöksiä. Meta-analyysimme kuulohavainnon poikkeavuuksista dysleksian yhteydessä osoitti, että kaikkien äänten piirteiden havaitseminen ei ole pulmallista henkilöille, joilla on dysleksia ja että kaikilla lukipulmaisilla ei ole kuulohavainnon poikkeavuuksia (Hämäläinen, Salminen & Leppänen, 2013). Meta-analyysissa tarkasteltiin äänen taajuuden (korkeuden), keston, intensiteetin (voimakkuuden), tauon ja nousujan havaitsemista sekä amplitudi- (eli äänen intensiteetin muutosten) ja taajuusmodulaation havaitsemista äänessä. Tutkimuksia, joissa dysleksia oli selkeästi diagnosoitu ja tutkittavia oli tarpeeksi ryhmätason analyysihin, oli kaikkiaan 61. Meta-analyysi osoitti, että

vain kahdessa tutkimuksessa kuudestatoista äänen intensiteetin käsittely oli ollut heikompaa henkilöillä, joilla on dysleksia verrattuna verrokkeihin. Lisäksi näissä 16 tutkimuksessa verrokki- ja lukihäiriöryhmien keskiarvot olivat 0,5 keskihajonnan päässä toisistaan (eli efektikoko Cohenin d oli 0,5). Efektikoon 0,5 sanotaan yleisesti olevan keskisuuri. Samaa luokkaa oli ero myös äänen sisällä esiintyvän tauon havaitsemisessa, vaikka siinä useampi tutkimus oli löytänyt ryhmäeroja (kolme tutkimusta kymmenestä) (katso Taulukko 1). Selvästi enemmän ryhmäeroja löydettiin kyvyssä havaita pieniä äänen taajuuksien eroja ja muutoksia taajuus- ja amplitudimodulaatioissa. Selkeimmät ja suurimmat erot olivat äänen keston ja nousujan havaitsemisessa, mikä oli suurimmassa osassa tutkimuksia heikompaa henkilöillä, joilla on dysleksia kuin verrokeilla, ja ryhmäeron koko (Cohenin d) oli 0,8–0,9 keskihajontaa eli selvästi suurempi kuin äänen intensiteetin tai tauon havaitsemiselle. Yli 0,7 efektikoot luokitellaan yleisesti suuriksi. Ryhmäeron koosta voidaan arvioida, että nousujan ja keston erottelutehtävissä n. 50 % dysleksia-ryhmän ja verrokkien vastausjakaumista on päällekkäin. Tämä tarkoittaa, että noin puolella lukivaikeuden omaavista henkilöistä on heikentynyt kyky erotella kes-toja ja/tai nousuaikoja toisistaan.

Taulukko 1. Meta-analyysin yhteenveto ääntenpiirteiden havaitsemisesta tyypillisten lukijoiden ja lukivaikeuden omaavien välillä.

| | Intensiteetti | Tauko | Taajuus | Taajuus-modulaatio | Amplitudi-modulaatio | Kesto | Nousuaika |
|----------------------|---------------|-------|---------|--------------------|----------------------|-------|-----------|
| Efektikoko | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 0,8 |
| Ryhmäero | 13 % | 30 % | 76 % | 92 % | 75 % | 75 % | 100 % |
| Tutkimuksia yhteensä | 16 | 10 | 25 | 13 | 8 | 12 | 11 |

Huom. Efektikoko on ryhmäkoolla painotettu Cohenin d (yhdistetyllä varianssilla). Ryhmäerovi kertoo kuinka monta prosenttia kaikista tutkimuksista löysi ryhmäeron.

Meta-analyysin perustella näyttää siltä, että henkilöillä, joilla on dysleksia, on suurempia vaikeuksia havaita äänten kestoja ja nousu-aikoja kuin äänen intensiteettiä tai lyhyitä taukoja äänissä. Meta-analyysin tulokset siis antavat vastauksen Tuomaisen (2012) esittämiin kysymyksiin dysleksian yhteydessä: erityisiä pulmia esiintyy keston ja nousuajan, mutta myös pienten taajuuserojen havainnossa enimmänsä puolella henkilöistä, joilla on lukihäiriö. Toisaalta on syytä huomauttaa, että meta-analyysissa oli mukana vain aikuisilta ja kouluikäisiltä lapsilta mitattuja aineistoja. Varhaiskehityksessä saattaa kuitenkin tapahtua ympäristön ja geeniperimän yhteisvaikutuksesta muutoksia, jotka hämärtävät kuulohavainnon ja kielen kehityksen välistä suhdetta. Esimerkiksi on mahdollista, että varhaiskehityksessä näkyvä yhteys kuullun erottelusta myöhempisiin kielellisiin taitoihin ei enää näy niin hyvin myöhemmällä iällä, koska kuulojärjestelmä on muokkautunut ympäristön vaikutuksesta ja tehtävissä suoriutumiseen vaikuttaa enenevässä määrin kehittyvät kognitiiviset taidot ja prosessit.

LUKIHÄIRIÖ, KUULOHAVAINTO JA VARHAISKEHITYS

Esimerkkejä varhaiskehityksessä tapahtuvista muutoksista kuulohavainnon ja kielellisten taitojen yhteyksistä on saatu Lapsen Kielen Kehitys-projektin viimeaikaisista tutkimustuloksista (Hämäläinen ym., 2011, 2013a; Lyytinen ym., 2008; Leppänen ym., 2010, 2011, 2012). Näissä tutkimuksissa mitattiin EEG:hen (elektroenkefalografia) eli aivosähkökäyrään perustuvia kuulouerotteluvasteita (aivojen reaktioita ääniärsyksiin) vastasyntyneenä ja esikouluiässä lapsilta, joilla on suvussa esiintyvä riski dysleksiaan ja lapsilta, joilla tällaista riskiä ei ole. Lasten lukutaitoa testattiin toisen luokan lopussa, ja ryhmät jaettiin testien perusteella lukipulmisiin ja

tyypillisesti lukeviin lapsiin. Vastasyntyneenä mitatut aivojen reaktiot äänen korkeuden muutokseen erosivat verrokkiryhmän tyypillisten lukijoiden ja riskiryhmän lukipulmaisten välillä (Leppänen ym., 2010). Eroja esiintyi myös verrokkivauvojen ja tyypilliseksi lukijoiksi tulevien riskivauvojen välillä. Kuuloerottelun erilaisuus oli siis yhteydessä suvussa esiintyvään dysleksiariskiin, eikä pelkästään lukihäiriön ilmenemiseen. Tästä huolimatta korrelaatiot vastasyntyneiden erotteluvasteista kouluiän lukutaitoon selittivät noin 8–20 % lukutaidon vaihtelusta mittarista riippuen.

Esikouluiässä juuri ennen koulun aloittamista tilanne oli erilainen. Tässä iässä mitatut aivojen reaktiot kestoaltaan vaihteleviin puheääniin ja vastaaviin ei-puheääniin erosivat kouluiässä lukipulmaisten ryhmän ja molempien (riski- ja verrokkiryhmän) tyypillisten lukijoiden ryhmien välillä (Hämäläinen ym., 2013a). Myös tässä iässä kuulovasteiden ja kouluiän lukutaidon välillä oli merkitsevä korrelaatio (7–12 % vaihtelusta selittyi kuulovasteilla). Kuuden vuoden kuluessa oli kuulojärjestelmässä tapahtunut muutoksia, jotka näyttivät ryhmätasolla liittyvän joko lukihäiriön riskiin tai lukihäiriöön riippuen siitä, missä iässä mittaus oli tehty. Näitä havaintoja tukevia löydöksiä on saatu myös muissa tutkimuksissa. Alankomaissa tehdyssä pitkittäistutkimuksessa havaittiin varhaisiän (3,4-vuotiailla) kuulovasteiden eroavan dysleksia-riskiryhmän ja verrokkiryhmän välillä riippumatta kouluiän lukihäiriön ilmenemisestä (Plakas ym., 2013). Kuulovasteiden liittymistä suvussa esiintyvään dysleksiariskiin tukee myös tutkimus, jossa tarkasteltiin lapsia, joilla on dysleksia, heidän tyypillisesti lukevia sisarusiaan ja tyypillisesti lukevia verrokkilapsia. Tutkimuksessa löydettiin kouluiässä mitatuissa kuulovasteissa eroa verrokkilasten ja lukihäiriön omaavien lasten välillä (Neuhoff ym., 2012). Samanlainen ero löydettiin myös dysleksialasten sisarusten ja verrokki-

lasten välillä huolimatta siitä, että sisarusten lukutaito oli normaalilla tasolla (Neuhoff ym., 2012). Havaintoa dysleksiariskin merkityksestä kuulohavaintoon tukevat myös tutkimukset, joissa on tarkasteltu lukihäiriöön liittyviä geenejä: kuulovasteiden on myös havaittu olevan poikkeavat henkilöillä, joilla on harvinainen variantti dysleksiaan liittyvissä geeneissä (Czamara ym., 2012; Roeske ym., 2011). Poikkeava aivovaste liittyy siis sekä suvussa esiintyvään lukivaikeusriskiin että dysleksiaan liittyviin geeneihin. Nämä löydökset viittaisivat siihen, että kuulovasteet ovat yhteydessä dysleksiariskiin ja dysleksiaan liittyviin geeneihin, mutta kuulovasteiden ja lukihäiriön välinen suhde ei ole yksiselitteinen. On siis mahdollista, että varhaisiässä mitatut kuulovasteet heijastavat dysleksiaan liittyvien geenien aiheuttamia muutoksia kuulojärjestelmässä. Myöhemmällä iällä ainakin osa lapsista kompensoi näitä muutoksia todennäköisesti ympäristön tuella, jolloin kouluikässä tai juuri ennen koulun alkamista mitatut kuulovasteet eroavatkin enää lukihäiriön omaavien lasten ja tyypillisesti lukevien välillä.

MILLÄ MEKANISMILLA KUULOHAVAINTO VOI VAIKUTTAA LUKIHÄIRIÖN KEHITTYMISEEN?

Yllä kuvatut löydökset jättävät auki kysymyksen, minkä mekanismin kautta kuulohavainnon pulmat mahdollisesti vaikuttavat lukutaitoon tai kognitiivisiin taitoihin, jotka edeltävät lukemaan oppimista. Viimeaikaiset tutkimukset ovat tuoneet uusia teoreettisia ajatuksia havaintomekanismien suhteesta kielellisiin pulmiin. Goswami (2011) esittää, että puheenhavaitsemiseen liittyvät rytmit aivoissa ovat poikkeavia henkilöillä, joilla on fonologisia ja kielellisiä pulmia (katso Taulukko 2 aivojen ja puheen rytmeistä). Erityisesti tavutason elementteihin liittyvien puheen hitaiden rytmien havaitseminen olisi poikkeavaa. Toisaalta on syytä huomata, että muut tutkimukset ovat löytäneet poikkeavuutta myös nopeiden rytmien seuraamisessa, jotka puolestaan saattavat liittyä puheen yksittäisten äänneiden eli foneemitason elementteihin (Lehongre, Ramus, Vielliermet, Schwartz & Giraud, 2012).

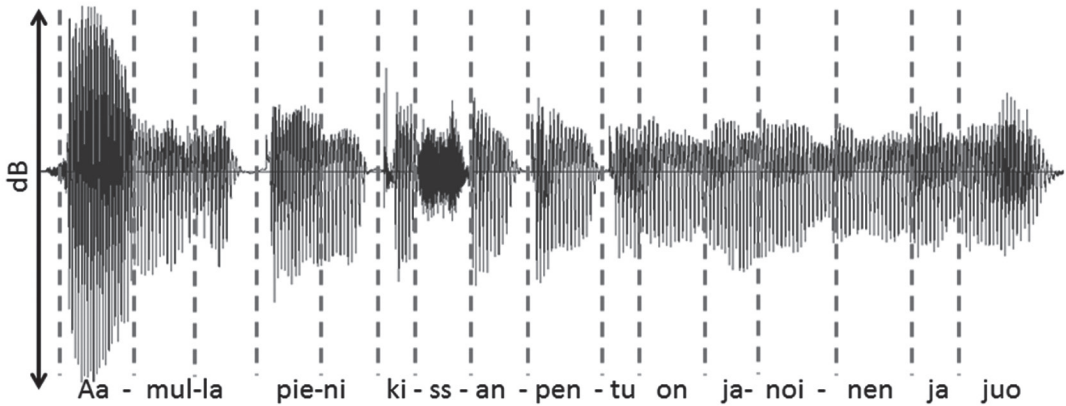
Taulukko 2. Yhteenveto aivoissa ja puheessa esiintyvistä rytmeistä. Tarkat rajat puheessa esiintyvillä rytmeillä vaihtelevat puhujan ja kielen mukaan. Tässä esitetty jako on arvio.

| Rytmin taajuus | Aivoissa esiintyvä rytmi | Puheessa esiintyvä rytmi |
|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 – 3,5 Hz | Delta | Painotetut tavut, lausetaso |
| 4 – 7,5 Hz | Theeta | Tavut |
| 8 – 12 Hz | Alfa | Tavut ja foneemit |
| 13 – 30 Hz | Beeta | Foneemit |
| Yli 30 Hz | Gamma | Foneemit ja foneemien elementit |

Goswamin esittämä hypoteesi pohjautuu aiempaan tutkimukseen aivojen aktiivisuuden rytmittymisestä ärsykkeisiin ja puheen havainnosta tavu- ja foneemitasoilla. Aivojen aktiivisuuden rytmittyminen ulkoisiin ärsykkeisiin ja rytmittymisen vaikutus havaitsemiseen on löydetty eläintutkimuksissa. Niissä osoitettiin, että aivojen rytmittyminen ärsykkeeseen luo aikaikkunoita, joissa hermosolut ovat hyvin reagoivassa tilassa ja aikaikkunoita, joissa hermosolujen reagoivuus ulkoisiin ärsykkeisiin on vähentynyt (Lakatos ym., 2005). Kun uusi ärsyke esiintyy aikaikkunalla, jolla hermosolut ovat valmiina reagoimaan, eläinten reaktioajat ovat nopeampia verrattuna tilanteeseen, jossa ärsyke esiintyy aikaikkunalla, jolla hermosolujen reagoivuus on laskenut (Lakatos ym., 2005; Lakatos, Karmos, Mehta, Ulbert & Schroeder, 2008). Vastaavia tuloksia on saatu myös ihmisillä EEG-tutkimuksissa, jossa havaittiin hitaan (2 Hz) aivorytmien vaiheen vaikuttavan reaktioaikanopeuteen (Stefanics ym., 2010) ja vähän nopeamman theeta-rytmien (4–7,5 Hz) vaiheen vaikuttavan sekä reaktioaikanopeuteen että havaintotarkkuuteen (Ng, Schroeder & Kayser, 2012). Näiden aivorytmien vaiheen ajateltiin tutkimuksissa liittyvän hermosolujen reagoivuuteen liittyviin aikaikkunoihin samalla tapaa kuin eläintutkimuksissa. Tällainen aivoaktiivisuuden rytmittymisen ja havainnon välinen yhteys ilmenee todennäköisesti vain hitailla delta (1–3,5 Hz) ja theeta (4–7,5 Hz) taajuuksaistoilla.

Löydökset liittyvät puheen havaitsemiseen painotettujen ja painottamattomien tavujen kautta. Tavupaino vaihtelee noin 2 kertaa sekunnissa (2–3 Hz taajuudella) ja tavut esiin-

tyvät noin 4–7 kertaa sekunnissa (4–7 Hz taajuudella) puhujasta ja kielestä riippuen. Sana- ja tavurakenne puolestaan muokkaavat puheen voimakkuuden vaihteluita (Kuva 1), ja aivot seuraavat tätä puheesta tapahtuvaa äänen voimakkuuden vaihtelua suhteellisen tarkasti. Useassa EEG-tutkimuksessa on havaittu puheesta mitatun aiovasteen ja puheen verohokäyrän välillä viivästetty korrelaatio: aivot seuraavat puheen verohokäyrää noin 80 ms viiveellä (Abrams, Nicol, Zecker & Kraus, 2008; 2009; Aiken & Picton, 2008). Lisäksi magnetoenkefalografia (MEG)-tutkimuksissa on havaittu, että aivojen kyky seurata puheen verohokäyrää on yhteydessä siihen, kuinka hyvin puheesta saadaan selvää (Ahissar ym., 2001; Luo & Poeppel, 2007; Peelle, Gross & Davies, 2012). Mitä ymmärrettävämpää kuultu puhe oli, sitä paremmin vasen kuuloaivokuori seurasi äänisignaalia (Peelle ym., 2012). Aivojen rytmien aktiivisuus muuttuu erityisesti sellaisten puhe-elementtien mukaan, jotka muuttavat äänen voimakkuutta selvästi, kuten klusiilien yhteydessä esiintyvät tauot ja painotettujen tavujen suurempi äänen voimakkuus (Doelling, Arnal, Ghitza & Poeppel, 2014). Mielenkiintoisessa tutkimuksessa suoraan kuuloaivokuoren pinnalta mitatusta EEG:stä pystyttiin rekonstruoimaan puhe hämmästyttävän hyvin. Tässä EEG:n perusteella muodostetussa signaalissa puheen yleinen rakenne oli kuultavissa, vaikkakaan foneemien hienorakenne ei ollut enää selkeä (Pasley ym., 2012). Tämä tutkimus osoittaa, kuinka tarkasti aivomme seuraavat puhesignaalin fyysisiä piirteitä ja antaa viitteitä siitä, että fyysiset piirteet saattavat olla tärkeitä myös puheen ymmärtämiselle.



Kuva 1. Esimerkki puheesta esiintyvistä äänen voimakkuuden vaihteluista sekä sana- ja taurajoista oskillogrammissa. Pystyviivat kuvaavat arvioita puheen taurajoista.

Myös dysleksian yhteydessä on tehty tutkimuksia siitä, miten tavutason aikaikkunalla esiintyviä tapahtumia havaitaan äänivirrasta. Leong, Hämäläinen, Soltesz ja Goswami (2011) havaitsivat, että aikuisilla, joilla on dysleksia, on pulmia tunnistaa painollisia tavuja pitkissä, neljätaivuisissa sanoissa ja painollisten tavujen tunnistaminen sanoista oli yhteydessä lukutaitoon, fonologisiin taitoihin, nopeaan nimeämiseen ja kielelliseen lyhytkestoiseen muistiin. Painotettujen tavujen tunnistamispulmat olivat myös yhteydessä äänten nousuaikojen havaitsemiseen antaen viitteitä siitä, että pulman taustalla saattaa olla myös äänten piirteiden erottelun ongelmaa. Lisäksi MEG-tutkimuksessa havaittiin, että aikuisilla, joilla on dysleksia, aivovasteet eivät seuraa hitaita, 2 Hz taajuudella, esiintyviä äänen voimakkuuden muutoksia yhtä tehokkaasti kuin tyypillisesti lukevien aivovasteet (Hämäläinen, Rupp, Soltesz, Szucs & Goswami, 2012). Vaikuttaa siis siltä, että englantia äidinkielenään puhuvilla aikuisilla, joilla on dysleksia, on ongelmia havaita tavutason rytmejä. Lapsilla, joilla on lukipulmia, on taas havaittu ongelmia hahmottaa taurakenteita niin sanotussa DeeDee -tehtävässä

(Goswami, Gerson & Astruc, 2010; Goswami ym., 2013). Tehtävässä tutun fraasin kaikki tavut on korvattu tavulla Dee, joka säilyttää alkuperäisen fraasin tavupainon (ja keston). Tutkittavat yrittävät päätellä kuullun taurakenteen perusteella alkuperäisen sanonnan tai fraasin esitetystä vaihtoehdoista. Tällaisessa tehtävässä lapset, joilla on lukipulmia, eivät ole yhtä hyviä tunnistamaan oikeaa vastausta tyypillisesti lukeviin verrattuna (Goswami ym., 2010, 2013). Tutkimukset näyttävät, että myös dysleksian omaavilla lapsilla on pulmia tavutason elementtien käsittelyssä.

Aivotutkimuksissa on myös löydetty viitteitä puhevirran seuraamiseen liittyvistä pulmista dysleksian yhteydessä. Eräissä EEG-tutkimuksissa havaittiin, että aivopuoliskojen välinen työnjako lauseessa esiintyvien voimakkuusvaihteluiden seuraamisessa oli erilainen, lähes päinvastainen, kuin tyypillisesti lukevilla lapsilla (Abrams ym., 2009). Ero löydettiin kuitenkin vain silloin, kun puhetta oli muutettu tavallista nopeammaksi.

Vaikuttaa kuitenkin siltä, että henkilöillä, joilla on dysleksia, on pulmia seurata myös nopeampia äänen voimakkuuden muutoksia kuin puhevirran tavupainotuksiin liittyvät

vaihtelut. Viitteitä näistä muista pulmista löydettiin MEG-tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin nopeampia, 20–100 Hz taajuuksilla tapahtuvia, voimakkuusmuutoksia kohinaäänessä (Lehongre ym., 2011). Tutkimuksessa havaittiin, että dysleksia-ryhmässä kuuloaivokuori seurasi heikommin 30 Hz taajuudella tapahtuvia muutoksia, mutta paremmin yli 40 Hz taajuudella tapahtuvia muutoksia kuin verrokkiryhmän kuuloaivokuori. Lisäksi eräässä EEG-tutkimuksessa löydettiin ryhmäero dyslektisten lukijoiden ja tyypillisesti lukevien välillä nopean, 20 Hz amplitudimodulaation seuraamisessa, mutta ei hitaamman, 4 Hz amplitudimodulaation seuraamisessa (Poelmans ym., 2012). Näiden tutkimusten perusteella eri taajuuksilla tapahtuvat voimakkuusmuutokset puheessa saattavat olla monimutkaisessa vuorovaikutussuhteessa toisiinsa ja vaikuttaa puheen havaitsemiseen tavalla, joka on vielä epäselvää.

Suurin osa aiemmasta tutkimuksesta on tehty englanninkielisissä ympäristöissä. Englanninkielessä tavupaino määräytyy monen eri tekijän perusteella (Fear ym., 1995). Äänten nousuaikojen havaitseminen vaikuttaa olevan yksi tekijä puheen havaitsemisessa erityisesti dysleksian yhteydessä ja liittyvän tavupainon havaitsemiseen painotetussa tavussa lisääntyneen energian vuoksi. Lisäksi intensiteetin muuttuminen äänen alussa saattaa vaikuttaa joidenkin foneemien havaitsemiseen (Goswami ym. 2011). On vielä epäselvää, miten tavupainojen havainto, nousuaikojen havaitseminen ja amplitudimodulaatiot tarkalleen ottaen ovat yhteydessä keskenään ja mikä on kieliympäristön vaikutus näiden välisiin yhteyksiin.

Eri taajuuskaistojen välistä vuorovaikutusta aivoissa on tutkittu eläimillä jo aiemmin. Niissä on todettu kuuloaivokuoren hitaan theeta-rytmin (4–7,5 Hz) vaiheen olevan yhteydessä nopean gamma-rytmin (yli 30 Hz)

voimakkuuteen (Lakatos ym., 2005). Vielä hitaammat delta-rytmit (1–3,5 Hz) vaikuttaisivat taas ohjaavan theeta-rytmejä (Lakatos ym., 2005). Lisäksi tarkkaavuudella vaikuttaa olevan tärkeä rooli aivorytmien osuudessa havaintomekanismeihin (Lakatos ym., 2009). On mahdollista, että dysleksiaan liittyvät puheen havaitsemisen pulmat selittyvät osin hitaiden aivorytmien vuorovaikutuksella aivoaktivaatioon, jota tarvitaan foneemien havaitsemisessa. Tämä puolestaan voisi vaikuttaa puheesta muodostuviin muistieduksiin ja siten fonologiseen prosessointiin. Tarkkaavuuden rooli näiden hitaiden aivorytmien vaihelukittumisessa puherytmiin on vielä täysin selvittämättä.

Kuulohavainnon pulmien taustalla olevan mekanismin selvittely dysleksian yhteydessä on vielä kesken. Lisäksi on epäselvää, millainen vaikutusmekanismi on kuulohavainnon pulmien, lukutaidon ja lukutaitoon liittyvien kognitiivisten prosessien kehittymisen välillä. Yllä kuvatut tutkimukset osoittavat, että kuulohavainnon pulmat edeltävät lukemaan oppimisen pulmia ja voivat siten toimia yhtenä taustatekijänä. Toisaalta aiemmin kuvatut löydökset antaisivat viitteitä myös siitä, että kuulohavainnon pulmat eivät yksistään riitä selittämään dysleksian esiintymistä ja siten niiden käyttö yksinään lukipulmien varhaisena merkinä on rajallinen. Aiemmassa kirjallisuudessa on pitkään ollut ajatus yhdestä syystä lukipulmien taustalla eli kausaalinen teoria kuulohavainnon pulmista dysleksian syntyyn (esim. Tallal et al., 1996; Goswami, 2011). Katsauksessa esitetyt tulokset kuitenkin viittaisivat toisenlaiseen teoreettiseen malliin. Onkin esitetty, että olisi monia erilaisia riskitekijöitä, jotka yhdessä vaikuttavat dysleksian ilmenemiseen (Pennington, 2006). Kuulohavainnon pulmat olisivat silloin yksi näistä riskitekijöistä.

LÄHTEET

- Abrams, D. A., Nicol, T., Zecker, S. & Kraus, N. (2008). Right-Hemisphere Auditory Cortex Is Dominant for Coding Syllable Patterns in Speech. *Journal of Neuroscience*, 28, 3958–3965.
- Abrams, D. A., Nicol, T., Zecker, S. & Kraus, N. (2009). Abnormal Cortical Processing of the Syllable Rate of Speech in Poor Readers. *Journal of Neuroscience*, 29, 7686–7693.
- Ahissar, E., Nagarajan, S., Ahissar, M., Protopapas, A., Mahncke, H. & Merzenich, M. M. (2001). Speech comprehension is correlated with temporal response patterns recorded from auditory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 13367–13372.
- Aiken, S. J. & Picton, T. W. (2008). Human Cortical Responses to the Speech Envelope. *Ear & Hearing*, 29, 139–157.
- Bishop, D. V. M. & Snowling, M. J. (2004). Developmental Dyslexia and Specific Language Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin*, 130, 858–886.
- Czamura, D., Bruder, J., Becker, J., Bartling, J., Hoffmann, P., Ludwig, K. U., Müller-Myhsok, B. & Schulte-Körne, G. (2011). Association of a Rare Variant with Mismatch Negativity in a Region Between KIAA0319 and DCDC2 in Dyslexia. *Behavior Genetics*, 41, 110–119.
- Doelling, D. B., Arnal, L. H., Ghitza, O. & Pöppel, D. (2014). Acoustic landmarks drive delta–theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing. *Neuroimage*, 85, 761–768.
- Fear, B. D., Cutler, A. & Butterfield, S. (1995). The strong/weak syllable distinction in English. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 1893–1904.
- Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 3–10.
- Goswami, U., Fosker, T., Huss, M., Mead, N. & Szűcs, D. (2011). Rise time and formant transition duration in the discrimination of speech sounds: the Ba–Wa distinction in developmental dyslexia. *Developmental Science*, 14, 34–43.
- Goswami U., Gerson D. & Astruc L. (2010). Amplitude envelope perception, phonology and prosodic sensitivity in children with developmental dyslexia. *Reading and Writing*, 23, 995–1019.
- Goswami U., Mead, N., Fosker, T., Huss, M., Barnes, L. & Leong, V. (2013). Impaired perception of syllable stress in children with dyslexia: A longitudinal study. *Journal of Memory and Language*, 69, 1–17.
- Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Richardson, U., Alku, P., Lyytinen, H. & Leppänen, P. H. T. (2013a). Auditory event-related potentials measured in preschool predict later reading problems at school. *Developmental Neuropsychology*, 38, 550–566.
- Hämäläinen, J. A. & Leppänen, P. H. T. (2011). Kuulotiedon perusprosessoinnin ongelmat lukivaikeuden yhteydessä. *Psykologia*, 46, 124–126.
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K. & Leppänen, P. H. T. (2013b). Basic auditory processing deficits in dyslexia – systematic review of the behavioral, event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities*, 46, 413–427.
- Hämäläinen, J. A., Rupp, A., Soltezs, F., Szucs, D. & Goswami, U. (2012). Reduced phase locking to slow amplitude modulation in adults with dyslexia: An MEG study. *Neuroimage*, 59, 2952–2961.
- Lakatos, P., Shah, A. S., Knuth, K. H., Ulbert, I., Karmos, G. & Schroeder, C. E. (2005). An oscillatory hierarchy controlling neuronal excitability and stimulus processing in the auditory cortex. *Journal of Neurophysiology*, 94, 1904–1911.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A.D., Ulbert, I. & Schroeder, C.E. (2008). Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection. *Science*, 320, 110–113.
- Lakatos, P., O’Connel, M. N., Barczak A., Mills, A., Javitt, D. C. & Schroeder, C. E. (2009). The Leading Sense: Supramodal Control of Neurophysiological Context by Attention. *Neuron*, 64, 419–430.
- Lehongre, K., Ramus, F., Vielliermet, N., Schwartz, D. & Giraud, A-L. (2012). Altered Low-Gamma Sampling in Auditory Cortex Accounts for the Three Main Facets of Dyslexia. *Neuron*, 72, 1080–1090.
- Leong, V., Hämäläinen, J. A., Soltezs, F. & Goswami, U. (2011). Rise Time Perception and Detection of Syllable Stress in Adults with Developmental Dyslexia. *Journal of Memory and Language*, 64, 59–73.

- Leppänen, P. H. T. & Hämäläinen, J. A. (2011). Puheen prosessoinnin poikkeavuus aivotoiminnallisissa ja behavioraalisissa mittauksissa - yhteydet dysleksian riskiin jo vauvana ja lukutaitoihin kouluikässä. *Psykologia*, 46, 118–123.
- Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., Guttorm, T. K., Eklund, K., Lohvansuu, K., Puolakanaho, A. & Lyytinen, H. (2010). Newborn brain event-related potentials revealing atypical processing of sound frequency and the subsequent association with later literacy skills in children with familial dyslexia. *Cortex*, 46, 1362–1376.
- Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Eklund, K. M., Salminen, H., Tanskanen, A., Torppa, M., Puolakanaho, A., Richardson, U., Pennala, R. & Lyytinen, H. (2012). Infant brain responses associated with reading-related skills before school and at school age. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 42, 35–41.
- Lyytinen, H., Erskine, J., Ahonen, T., Eklund, E., Guttorm, T., Hintikka, S., Hämäläinen, J., Ketonen, R., Laakso, M.-L., Leppänen, P. H. T., Lyytinen, P., Poikkeus, A.-M., Puolakanaho, A., Richardson, U., Salmi, P., Salminen, H., Torppa, M. & Viholainen, H. (2008). Early identification and prevention of dyslexia: Results from a prospective follow-up study of children at familial risk for dyslexia. *The SAGE Handbook of Dyslexia*. Eds. Reid, G., Fawcett, A., Manis, F., & Siegel, L. Sage, London.
- Ng, B. S. W., Schroeder, T. & Kayser, C. (2012). A Precluding But Not Ensuring Role of Entrained Low-Frequency Oscillations for Auditory Perception. *Journal of Neuroscience*, 32, 12268–12276.
- Pasley, B. N., David, S. V., Mesgarani, N., Flinker, A., Shamma, S. A., Crone, N. E., Knight, R. E. & Chang, E. F. (2012). Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex. *PLoS Biology*, 10(1): e1001251.
- Peelle J. E., Gross J. & Davies, M. H. (2013). Phase-Locked Responses to Speech in Human Auditory Cortex are Enhanced During Comprehension. *Cerebral Cortex*, 23, 1378–1387.
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101, 385–413.
- Plakas, A., van Zuijen, T., van Leeuwen, T., Thomson, J. M. & van der Leij, A. (2013). Impaired non-speech auditory processing at a pre-reading age is a risk-factor for dyslexia but not a predictor: An ERP study. *Cortex*, 49, 1034–1045.
- Poelmans, H., Luts, H., Vandermosten, M., Boets, B., Ghesquiere, P. & Wouters, J. (2012). Auditory Steady State Cortical Responses Indicate Deviant Phonemic-Rate Processing in Adults With Dyslexia. *Ear & Hearing*, 33, 134–143.
- Roeske, D., Ludwig, K. U., Neuhoff, N., Becker, J., Bartling, J., Bruder, J., Brockschmidt, F. F., Warnke, A., Remschmidt, H., Hoffmann, P., Müller-Myhsok, B., Nöthen, M. M. & Schulte-Körne, G. (2011). First genome-wide association scan on neurophysiological endophenotypes points to trans-regulation effects on SLC2A3 in dyslexic children. *Molecular Psychiatry*, 16, 97–107.
- Stefanics, G., Hangya, B., Hernadi, I., Winkler, I., Lakatos, P. & Ulbert, I. (2010). Phase Entrainment of Human Delta Oscillations Can Mediate the Effects of Expectation on Reaction Speed. *Journal of Neuroscience*, 30, 13578–13585.
- Tallal, P., Miller, S. L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S. S., Schreiner, C., Jenkins, W. M. & Merzenich, M. M. (1996). Language Comprehension in Language-Learning Impaired Children Improved with Acoustically Modified Speech. *Science*, 271, 81–84.
- Tuomainen, O. (2012). Kielenkehityksen erityisvaikeuteen ja dysleksiaan liittyvät kuulohavainnon käsittelyn poikkeamat. *Puhe ja kieli*, 2, 68–86.

SPEECH PERCEPTION, AUDITORY SYSTEM AND BRAIN RHYTHMS IN DYSLEXIA*Jarmo A. Hämäläinen, University of Jyväskylä**Paavo H. T. Leppänen, University of Jyväskylä*

Dyslexia is a difficulty in learning to read and write. Dyslexia has been linked to other problems such as in phonological awareness, verbal short-term memory, rapid naming and auditory perception. The current review focuses on linking auditory perception and dyslexia. The role of auditory deficits in dyslexia has been discussed for years due to somewhat conflicting findings. Meta-analysis of the literature, however, shows that 50% of individuals with dyslexia can have problems in perceiving sound durations and rise times, and in lesser extent in perceiving sound frequencies, whereas perception of sound intensity seems to be intact. The mechanisms behind these deficits in dyslexia are still open. One recent suggestion, called the temporal sampling framework, links these deficits to the oscillatory brain mechanisms. Synchronization of oscillatory brain activity to speech and auditory stimuli can create time windows of enhanced perception. Atypical oscillatory brain activity during speech perception leads to problems in speech perception and could thus be one causal factor for phonological processing problems and a risk factor for reading problems.

Keywords: auditory perception, brain, dyslexia, speech