

PUHEÄÄNEN AIVOVASTEET JA NOPEA NIMEÄMINEN LUKUSUJUVUUDEN ENNUSTAJINA

- **Pitkittäistutkimus tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemisen taustatekijöistä dysleksiariskilapsilla ja tavallisilla lukijoilla**

Terhi Hokka
Pro gradu -tutkielma
Psykologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Huhtikuu 2020

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

HOKKA, TERHI: Puheäänien aiovasteet ja nopea nimeäminen lukusujuvuuden ennustajina

-Pitkittäistutkimus tekstin, sanalistan ja epäsanonjen lukemisen taustatekijöistä dysleksiariskilapsilla ja tavallisilla lukijoilla

Pro gradu -tutkielma, 23 s.

Ohjaaja: Kaisa Lohvansuu

Psykologia

Huhtikuu 2020

Tutkimus pohjautui Lapsen kielen kehitys (LKK) –projektiin, jonka tarkoituksena oli tunnistaa dysleksian riski- ja taustatekijöitä. Tavoitteena oli selvittää esikouluiässä mitatun nopean nimeämisen sekä ERP-puheäänivasteiden yhteyttä 14-vuotiaana mitattuun lukusujuvuuteen, toisin sanoen tekstin, epäsanonjen ja sanalistan lukemiseen. Aiovasteita mitattiin elektroenkefalografialla (EEG) vasemman ja oikean otsalohkon alueella F3- ja F4-kanavissa ja nopeaa nimeämistä sekä lukemista kognitiivisilla nimeämisen ja ääneen lukemisen testeillä. Keski-Suomen alueelta rekrytoidut tutkittavat jaettiin perinnöllisen dysleksiariskin perusteella riskiryhmään ($n = 37$) ja kontrolliryhmään ($n = 28$).

Hierarkkisen lineaarisen regressioanalyysin pohjalta havaittiin, että vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen ennustivat myöhempää lukusujuvuutta dysleksiariskilapsilla, mutta ei yhtä vahvasti tavallisilla lukijoilla. Samansuuntaisia tuloksia havaittiin oikean otsalohkon aktivaation ja nopean nimeämisen ollessa ennustajina. Sekä regressioanalyysin että korrelaatioiden perusteella nopea nimeäminen ennusti myöhempää lukusujuvuutta dysleksiariskilapsilla. Se ennusti erityisesti myöhempää oikeiden sanonjen lukemista, mutta myös epäsanonjen lukemista.

Ongelmat lukusujuvuudessa voivat heijastua yleiseen oppimiseen ja koulunkäyntiin, joten tuloksia on mahdollista hyödyntää mm. kehitettäessä interventioita hitaille lukijoille tai tuettaessa heitä varhaisvaiheen lukemaan oppimisessa. Tulokset tarjoavat myös mielenkiintoisia jatkotutkimusmahdollisuuksia. ERP-puheäänivasteiden osuus selittäjinä jäi tässä tutkimuksessa vähäiseksi, ja näin ollen esimerkiksi niiden tutkimukselle olisi lisätarvetta.

Avainsanat: aiovasteet, ERP, tapahtumasidonnainen jännitevaste, elektroenkefalografia, EEG, F3-kanava, F4-kanava, nopea nimeäminen, lukusujuvuus, LKK-projekti, dysleksia, hierarkkinen regressioanalyysi, korrelaatiokerroin, pitkittäistutkimus, tekstinluku, sanalistan lukeminen, epäsanonjen lukeminen.

Sisällysluettelo

JOHDANTO.....	1
Lukusujuvuuden taustatekijöitä.....	2
Aivovasteet puheääniin.....	3
Nopea nimeäminen.....	4
Tutkimuskysymykset ja hypoteesit.....	5
TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	6
Tutkittavat.....	6
Menetelmät ja muuttujat.....	7
Aineiston analysointi.....	8
TULOKSET.....	10
Korrelaatiotarkastelut.....	11
Nopea nimeäminen ja F3-kanava lukusujuvuuden ennustajina.....	12
Nopea nimeäminen ja F4-kanava lukusujuvuuden ennustajina.....	14
Aivovasteet ja nopea nimeäminen ryhmien välisessä lukusujuvuudessa.....	15
POHDINTA.....	16
LÄHTEET.....	21

JOHDANTO

Lukemisen vaikeuksien taustatekijöiden ymmärtäminen on tärkeää, jotta voidaan kehittää näyttöön perustuvia interventioita ja tarjota monipuolisempaa tutkimukseen perustuvaa tukea lukemisen vaikeuksien kanssa painiville lapsille ja nuorille (Ahonen, Aro, Aro, Lerkkanen, & Siiskonen, 2019). Lukutaidon vaikeudet voivat heijastua haitallisesti yleiseen oppimiseen ja koulunkäyntiin pitkälläkin aikavälillä, joten varhainen puuttuminen niihin on oleellista. Lukemisen pulmat ovat lisäksi varsin yleisiä. Niiden esiintyvyydestä on erilaisia arvioita, ja ne vaihtelevat diagnostisten kriteereiden perusteella. Esiintyvyyden on arvioitu olevan alle 10 % (Lyytinen, Erskine, Hämäläinen, Torppa, & Ronimus, 2015). Käypähoitosuosituksen (2019) mukaan esiintyvyys on 1-7 % välillä. Usein lieviä vaikeuksia esiintyy vakavia enemmän.

Dysleksian on osoitettu olevan perinnöllistä (Lyytinen, Aro, Eklund, Erskine, Guttorm, Laakso, & Torppa, 2004; Norton & Wolf, 2012; Stein, 2008). Geenit vaikuttavat aivojen kehitykseen, mikä puolestaan johtaa lukemisessa tarvittavien kognitiivisten taitojen erilaiseen kehittymiseen dyslektikoilla. Tavallisten lukijoiden ja dyslektikoiden välillä on havaittu aivokuvantamismenetelmien avulla eroja esimerkiksi vasemman ja oikean aivopuoliskon aktivaatiossa (Leppänen, Aro, Hämäläinen, & Vesterinen, 2006; Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003). Lapsilla eroja on löydetty mm. alemmasta etumaisesta aivopuoliskosta. Temple (2002) havaitsi dysleksialapsilla lisääntyneitä aktivaatiota vasemman otsalohkon alueella, ja Breznitz (2008) puolestaan löysi eroja aivopuoliskojen toiminnassa dyslektikoilla ja tavallisilla lukijoilla F3- ja F4-kanavien välillä suoritettaessa leksikaalista tehtävää. Lyytisen ym. (2008) mukaan dysleksialapsilla ja tavallisilla lukijoilla on eroja ERP-vasteissa; jo kuuden kuukauden iässä äänteiden erottelu tapahtui riskilapsilla oikealla ja tavallisilla lukijoilla vasemmalla aivopuoliskolla. Lisäksi vasemman aivopuolen aktivaatiossa on havaittu eroja dysleksialasten ja tavallisten lukijoiden välillä.

Dysleksia eli lukivaikeus on kehityksellinen oppimiseen liittyvä häiriö, jossa lukeminen ja sanojen tunnistaminen on hidasta ja epätarkkaa (Lyon ym., 2003; Lyytinen ym., 2004). Siinä esiintyy myös vaikeutta sanojen tavutuksessa ja dekodauksessa. Dysleksia ei johdu neurologisesta vammasta tai sairaudesta eikä älyllisestä kehitysvammasta tai autismista (Käypähoitosuositus, 2019). Lyytinen kollegoineen (2004) havaitsi dysleksian olevan yhteydessä lukusujuvuuteen. Dysleksia ilmenee myös kirjoittamisen vaikeutena, mutta tässä tutkielmassa tarkastelu rajattiin lukemisen pulmiin. Lukutaito

puolestaan voidaan jakaa lukutarkkuuteen ja lukusujuvuuteen. Eklund, Torppa, Aro, Leppänen ja Lyytinen (2015) havaitsivat lukutarkkuudessa ilmenneiden erojen tasoittuvan dyslektikoilla, dysleksiariskissä olevilla ja tavallisilla lukijoilla 2. ja 3. luokalta 8. luokalle siirryttäessä, jolloin myös dyslektikot saavuttivat 90 % lukutarkkuuden, jota pidetään riittävänä osuutena.

Tässä tutkielmassa valittiin tarkasteltavaksi kiinnostuksen kohteeksi lukusujuvuus, jonka Torppa, Eklund, van Bergen ja Lyytinen (2015) havaitsivat olevan heikompaa dyslektikoilla kuin tavallisilla lukijoilla 8. luokalla. Eklundin ym. (2015) mukaan lukusujuvuus oli dyslektikoilla myös selkeästi hitaampaa kuin tavallisilla lukijoilla luettaessa epäsanvoja, tuttuja sanoja sekä yhtenäistä tekstiä. Näitä kolmea lukusujuvuutta mittaavaa osa-aluetta (tekstin, sanalistan ja epäsanvojen lukeminen) käytettiin myös tässä tutkielmassa tarkasteltaessa *lukusujuvuutta*. Wolfen ja Katzir-Cohenin (2001) mukaan lukusujuvuutta määriteltäessä kriteerinä on usein lukunopeus, jonka mittarina on esimerkiksi minuutissa luettujen sanojen määrä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin lukutaitoa nuorilla, joilla on perinnöllinen dysleksiariski sekä tavallisia lukijoita, joilla vastaavaa riskiä ei ole. Tarkastelun kohteena oli ERP-puheäänivasteiden ja nopean nimeämisen yhteys lukusujuvuuteen. Kiinnostuksen kohteena olivat erot lukusujuvuuden eri osa-alueilla 8. luokalla, kun lukusujuvuutta selitettiin 6,5 vuoden iässä mitatuilla puheäänivasteilla ja nopealla nimeämisellä.

Lukusujuvuuden taustatekijöitä

Lukusujuvuuden taustalta on löydetty monia kognitiivisia tekijöitä sekä eroja heikkojen ja nopeiden lukijoiden aivotoiminnassa. Dyslektikoilla on havaittu vaikeuksia puheäänien prosessoinnissa verrattuna tavallisiin lukijoihin (Hämäläinen, Guttorm, Richardson, Alku, Lyytinen, & Leppänen, 2013), mitä on tutkittu esimerkiksi elektroenkefalografialla (EEG). ERP-puheäänivasteet ja nopean nimeämisen taito valittiin tässä tutkimuksessa tarkasteltaviksi lukusujuvuuden taustatekijöiksi aikaisemman tutkimuksen perusteella (esim. Lohvansuu, Hämäläinen, Ervast, Lyytinen, & Leppänen, 2018). Sekä ERP-vasteita että nopeaa nimeämistä on tutkittu paljon esimerkiksi Lapsen kielen kehitys (LKK) –projektissa. ERP-vasteita puheääniin on tutkittu em. projektissa vastasyntyneestä lähtien, ja Guttorm, Leppänen, Poikkeus, Eklund, Lyytinen ja Lyytinen (2005) ovat todenneet niiden toimivan luotettavana ennustajana myöhemmälle lukutaidolle dysleksiariskissä olevilla. Puolakanaho, Ahonen, Aro, Eklund, Leppänen, Poikkeus ja Lyytinen (2008) tutkivat puolestaan varhaisten esikielellisten taitojen, mm. nopean

nimeämisen, yhteyttä sekä lukutarkkuuteen että lukusujuvuuteen. Lukusujuvuuden taustatekijöille ei kuitenkaan löydetty yhtä vahvoja yhteyksiä kuin lukutarkkuuden.

Lohvansuu ym. (2018) havaitsi 5,5 vuoden iässä mitatun nopean nimeämisen toimivan välittävänä tekijänä kuuden kuukauden iässä mitattujen ERP-puheäänivasteiden ja 14 vuoden iässä mitatun lukusujuvuuden välillä. Koska lasten kielen ja aivojen kehitys on nopeaa ennen kouluikää, ja siten aivovasteet puheääniin muuttuvat huomattavasti vauvaiästä esikouluikään mennessä, on kiinnostavaa tutkia myös esikouluikässä mitattujen ERP-puheäänivasteiden ja nopean nimeämisen samanaikaista yhteyttä lukusujuvuuteen ja sen eri osa-alueisiin (tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemiseen). Tästä ei ole vielä aiempaa tutkimusta. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan lisää aikaisempaa tutkimusta ERP-vasteiden ja nopean nimeämisen yhteydestä lukusujuvuuteen.

Aivovasteet puheääniin

Seuraavaksi määritellään käsitteet *ERP-vaste* ja vasteiden mittaamiseen käytettävä *EEG-menetelmä* sekä *ERP-vasteet puheääniin*. Lisäksi esitellään aikaisempaa tutkimusta ERP-puheäänivasteiden yhteydestä lukusujuvuuteen. ERP-vasteet (eng. event-related potentials) eli tapahtumasidonnaiset jännitevasteet ovat jännitevaihteluita EEG-aivosähkökäyrässä (Degerman, Salmi, Alho, & Rinne, 2006; Luck, 2014). EEG eli elektroenkefalografia on menetelmä, jolla mitataan aivojen sähköistä toimintaa pään pinnalle asetettavien elektrodien avulla. Sen avulla mitataan postsynaptisia potentiaaleja eli aktivaatiota useiden vastaanottavien hermosolujen dendriiteissä. Aivosähkökäyrän taajuuskaistat vaihtelevat henkilön aivoaktivaation mukaan. EEG:llä on hyvä ajallinen tarkkuus ja sillä on mahdollista saada millisekunnin tarkkuudella tietoa aivojen sähköisestä aktivaatiosta.

ERP-puheäänivasteilla tarkoitetaan jännitepiikkejä, jotka syntyvät aivojen sähköisen jännitevaihtelun yhteydessä puheäänien eroihin reagoitaessa (Degerman ym., 2006; Paavilainen, 2016). EEG:llä mitataan saman ärsykkeen aiheuttamaa aivokuoren aktivaatiota useita kertoja, jolloin saadaan useita mittaustuloksia. Nämä mittaustulokset keskiarvoistetaan, jolloin EEG-käyrästä saadaan suodatettua pois ylimääräinen kohina. Jäljelle jäävästä EEG-käyrästä erotetaan ERP-vasteet. Ponton, Eggermont, Kwong ja Don (2000) tutkivat ERP-vasteiden kehittymistä ja havaitsivat kaksi keskeistä jännitepiikkiä ääniärsykkeen alkamisen jälkeen. Ensimmäinen näistä havaittiin 100 ms ääniärsykkeen alkamisen jälkeen (P100), joka on suuri positiivinen jännitepiikki aivosähkökäyrässä. Toinen vaste, suuri negatiivinen piikki (N250), havaittiin 250 ms kuluttua ääniärsykkeen alkamisen jälkeen. Tässä

tutkimuksessa valittiin tarkasteltavaksi N250-vasteet vasemmalla ja oikealla otsalohkon alueella, eli F3- ja F4-kanavilla.

ERP-puheäänivasteiden on myös todettu olevan yhteydessä myöhempään lukutaitoon. Lohvansuu, Hämäläinen, Tanskanen, Ervast, Heikkinen, Lyytinen ja Leppänen (2014) havaitsivat dysleksiariskilasten ja tavallisten lukijoiden ERP-vasteissa aikaikkunassa N250 merkittäviä eroja tutkittaessa vasteiden yhteyttä lukemiseen. ERP-puheäänivasteita on tutkittu jo vastasyntyneillä, ja niiden havaittiin olevan yhteydessä myöhemmin kouluiässä lukunopeuteen ja lukusujuvuuteen (Leppänen, Hämäläinen, Salminen, Eklund, Guttorm, Lohvansuu, Puolakanaho, & Lyytinen, 2010; Leppänen, Hämäläinen, Guttorm, Eklund, Salminen, & Tanskanen, 2012) sekä 14-vuotiaana lukunopeuteen (Lohvansuu ym., 2018). Hämäläinen ym. (2013) puolestaan havaitsi 6,5 vuoden iässä mitattujen ERP-vasteiden (N250) olevan yhteydessä kouluiässä mitattuun lukusujuvuuteen, mutta voimakkaammin lukutarkkuuteen. Puheäänivasteet olivat riskilapsilla suuremmat kuin tavallisilla lukijoilla esikouluiässä, erityisesti vasemman aivopuoliskon alueella.

Nopea nimeäminen

Seuraavaksi määritellään *nopea nimeäminen* ja esitellään aiempaa tutkimusta sen yhteydestä lukusujuvuuteen. *Nopea nimeäminen* viittasi tässä tutkimuksessa taitoon, jota mitattiin nopean nimeämisen testillä, jossa lasta pyydettiin nimeämään ääneen mahdollisimman nopeasti hänelle osoitettuja tuttujen esineiden kuvia. Nimeämisen kohteena voivat olla myös numerot, kirjaimet tai värit (Araujo, Reis, Petersson, & Faisca, 2014; Denckla & Rudel, 1976). Nortonin ja Wolfin (2012) mukaan lapsilla lukutaitoa ennusti parhaiten tuttujen esineiden tai värien nimeäminen, koska ne olivat lapsen kehitys huomioon ottaen parhaiten opittu. Numerot ja kirjaimet opitaan verraten myöhemmin. Englanninkielisessä kirjallisuudessa nopeasta nimeämisestä käytetään lyhennettä RAN eli rapid automatized naming (Norton & Wolf, 2012), mutta käytössä on vaihtelevia synonyymisia termejä sekä suomeksi että englanniksi (Salmi, 2008).

Arviolta 60-75 % henkilöistä, joilla on ongelmia lukemisessa tai lukemaan oppimisessa, on myös havaittu hitautta nopeassa nimeämisessä (Norton & Wolf, 2012). Araujon ym. (2014) meta-analyysin mukaan nopea nimeäminen oli yhteydessä sanojen lukemiseen, tekstin lukemiseen, epäsanon lukemiseen ja luetun ymmärtämiseen. Voimakkaimmat yhteydet havaittiin nimeämisnopeuden ja oikeiden sanojen sekä nimeämisnopeuden ja oikean tekstin lukemisen välillä. Nopea nimeäminen on

yhdistetty useissa tutkimuksissa sekä lukusujuvuuteen että lukutarkkuuteen. Araujo ym. (2014) havaitsi, että nopea nimeäminen oli yhteydessä näihin molempiin, mutta hieman voimakkaammin lukusujuvuuteen. LKK-projektin aineistoilla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu nopean nimeämisen ennustavan myöhempää lukusujuvuutta (Lyytinen ym., 2015). Myös Kairaluoma, Torppa, Westerholm, Ahonen ja Aro (2012) löysivät yhteyttä nopean nimeämisen ja lukunopeuden välillä nuorilta.

Salmi (2008) totesi, että heikoilla lukijoilla oli nopeita lukijoita enemmän nopeusongelmia suhteessa tekemiinsä nimeämisvirheisiin. Näin ollen heidän nimeämisongelmansa oli hitaus. Nortonin ja Wolfin (2012) mukaan nopean nimeämisen testissä saadut pisteet olivat enemmän yhteydessä lukutaitoon kuin testiin käytetyn ajan. Nopean nimeämisen testiin käytetyn ajan voi ajatella ottavan huomioon myös lukemiseen liittyvät virheet, jolloin sitä voi käyttää lukusujuvuuden arviointiin. Nortonin ja Wolfin (2012) mukaan nopea nimeäminen ennusti lukutaitoa vain hitailla lukijoilla, mutta ei tavallisilla tai nopeammilla lukijoilla.

Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Kiinnostus lukutaidon taustalla oleviin tekijöihin sekä erot dysleksiariskissä olevien ja tavallisten lukijoiden aivovasteissa ohjasi tutkimuskysymysten valinnassa, ja näin ollen tämän tutkielman ensimmäiseksi tutkimuskysymykseksi muodostui, *miten ERP-puheäänivasteet ja nopean nimeämisen taito (6,5-vuotiaana) selittävät nuoren myöhempää (8. luokan) lukusujuvuutta tekstiä, sanalistan sanoja ja epäsanvoja luettaessa dysleksia- ja verrokkiryhmissä*. Toisena tutkimuskysymyksenä oli, *onko lukusujuvuuden mittaamiseen käytettävillä osa-alueilla (tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukeminen) eroja, kun niitä selitetään ERP-puheäänivasteilla ja nopealla nimeämisellä*. Kolmantena kysymyksenä tarkasteltiin, *onko dysleksiariskiryhmän ja tavallisten lukijoiden välillä eroja lukusujuvuuden eri osa-alueilla (tekstin, sanalistan sanojen ja epäsanojen lukemisessa), kun niitä selitetään ERP-puheäänivasteilla ja nopealla nimeämisellä*.

Hypoteesina oli, että nopea nimeäminen on yhteydessä myöhempään lukusujuvuuteen (Puolakanaho ym., 2008; Lohvansuu ym., 2018) ja toimii ennustajana erityisesti heikoilla lukijoilla (Araujo ym., 2014; Kairaluoma ym., 2012; Norton & Wolf, 2012). Lisäksi oletettiin, että nopea nimeäminen ennustaa voimakkaammin oikeiden sanojen lukusujuvuuden vaihtelua kuin epäsanojen, mutta sen oletettiin olevan yhteydessä myös epäsanojen lukemiseen (Araujo ym., 2014).

Puheäänivasteiden odotettiin myös olevan yhteydessä lukusujuvuuteen, erityisesti vasemman otsalohkon alueella (Hämäläinen ym., 2013; Lohvansuu ym., 2014; Temple, 2002). Hypoteesina oli, että dysleksiariskiryhmän ja kontrolliryhmän välillä on eroja lukusujuvuudessa (esim. Eklund ym., 2015). Kuitenkaan sille, miten erot realisoituvat eri lukusujuvuuden osa-alueiden (tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemisen) välillä, ei asetettu hypoteesia.

TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Tutkittavat

Tämän pro gradu -tutkielman aineistona käytettiin LKK-projektin yhteydessä kerättyä pitkittäisaineistoa. Projektin tarkoituksena on tunnistaa dysleksiaan liittyviä riski- ja taustatekijöitä (Lyytinen ym., 2015). Tutkittavat perheet rekrytoitiin mukaan Keski-Suomen alueelta ja heidät jaettiin dysleksiariski- ja verrokkiryhmiin (Lyytinen ym., 2004). Dysleksiariskissä olevat lapset valittiin LKK-tutkimukseen perinnöllisen lukivaikeusriskin perusteella (Lyytinen ym., 2004; Puolakanaho ym., 2008). Tämä tarkoittaa, että ainakin toisella vanhemmista ja lisäksi ainakin yhdellä lapsen lähisukulaisella on todettu lukivaikeus. Verrokkiryhmässä puolestaan lasten vanhemmilla tai heidän lähisuvussa ei ollut todettu vaikeuksia lukemisessa eikä kirjoittamisessa. Vanhempien koulutustausta vakioitiin ja tutkittavat lapset olivat syntyessään kehitykseltään normaaleja. Lapsilla ei raportoitu fyysisiä tai kognitiivisia poikkeavuuksia.

Aineiston kerääminen aloitettiin vuosina 1993-1995, jolloin perheiden vauvat olivat vastasyntyneitä. Alun perin 9368 vastasyntyneestä valittiin lopullisen tutkimuksen riskiryhmään 117 lasta ja verrokkiryhmään 105 lasta. Seurannassa tutkittavien määrä on pysynyt korkeana. Esimerkiksi 6,5 vuoden iässä riskiryhmässä oli 107 lasta ja verrokkiryhmässä 93 lasta ($N = 200$). Tähän tutkimukseen valittiin mukaan kaikki ne lapset, joilta mitattiin ERP-vasteet puheääniin 6,5 vuoden ikäisenä. Samojen lasten nopeaa nimeämistä tutkittiin 6,5 vuoden iässä ja lukusujuvuutta 14-vuotiaana (8. luokalla). Yhteensä

tutkittavana oli 37 riskilasta ja 28 verrokkilasta ($N = 65$). Tutkittavista 25 oli tyttöjä ja 40 poikia. Dysleksiariskiryhmässä poikien osuus oli 54 % (20 poikaa) ja kontrolliryhmässä 71 % (20 poikaa).

Menetelmät ja muuttujat

Tutkimuksen menetelminä käytettiin EEG:tä mittaamaan ERP-puheäänivasteita sekä kognitiivisia testejä, joilla mitattiin nopeaa nimeämistä ja lukusujuvuutta (tekstin, epäsanon ja sanalistan lukemista). Seuraavaksi käsitellään tämän tutkimuksen muuttujia ja niiden taustalla olevia mittareita. Riippuvina muuttujina oli tekstin, epäsanon ja sanalistan lukeminen. Riippumattomina muuttujina käytettiin nopeaa nimeämistä ja ERP-puheäänivasteita, joista tähän tutkielmaan tarkasteltavaksi valittiin F3- ja F4-kanavat.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat ERP-puheäänivasteet mitattiin osana LKK-projektia tutkittavien lasten ollessa esikouluikäisiä (6,5-vuotiaita). Aineiston kerääminen suoritettiin EEG:llä käyttämällä kansainvälistä 10-20 elektrodien kiinnitysjärjestelmää Ag/AgCl-elektrodeilla (Hämäläinen ym., 2013). Ärsykkeinä toimivat kolme kestoltaan eripituista puheääntä. Lyhyt /ata/ (kesto 300 ms) sekä kaksi pidempää versiota (kestot 360 ms ja 460 ms) muodostettiin epäsanasta /ata/ lisäämällä pidempi tauko hiljaisuutta tavujen väliin, jolloin havainto konsonantin pituudesta muuttuu lyhyestä pitkäksi (Hämäläinen ym., 2013; Lohvansuu ym., 2018; Richardson, Leppänen, Leiwo, & Lyytinen, 2003). Nämä puheärsykkeet esitettiin koehenkilöille oddball-paradigmassa, jossa lyhyt /ata/ esiintyi toistuvana vakioärsykkeenä (80 %) ja /atta/-epäsanana kaksi eripituista variaatiota esiintyivät poikkeavina ärsykkeinä (10 % kumpikin).

EEG-aineiston keräämisen jälkeen keskiarvoistetulle datalle tehtiin temporaalinen pääkomponentti analyysi (tPCA), johon valittiin mukaan elektrodikanavat C3, C4, F3 ja F4, joilla nähtiin suurimmat vasteet (Hämäläinen ym., 2013). Tässä tutkielmassa tarkasteltavina elektrodikanavina olivat vasemman ja oikean frontaalikanavan elektrodit eli F3- ja F4-kanavat otsalohkon alueella. Kiinnostuksen kohteena olivat ERP-vasteet N250 eli negatiiviset piikit 250 ms puheärsykkeen alkamisen jälkeen.

Myös nopeaa nimeämistä mitattiin esikouluikäisissä (6,5-vuotiaana). Tutkittavaksi testiksi valittiin esineiden nimeäminen, sillä sen ajateltiin olevan tutuin ja helpoin tämän ikäisille lapsille (Norton & Wolf, 2012), mikä mahdollistaa luotettavamman tiedon saamisen nimeämisnopeudesta. Testissä mitattiin esineiden nimeämiseen käytettyä aikaa sekunteina. Testi vakioitiin Dencklan ja Rudelin (1976)

menetelmän mukaan, jossa koehenkilölle esitettiin tuttuja kuvia 6x5 taulukossa tarkoituksena nimetä osoitettuja kuvia mahdollisimman nopeasti (Puolakanaho ym., 2008).

Lukusujuvuutta mitattiin samoilta lapsilta 14-vuotiaana (8. luokalla) tarkastelemalla erikseen tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemiseen käytettyä aikaa (Eklund ym., 2015). Teksteinä olivat oikeista sanoista koostuva Tunturilappi-teksti (207 sanaa / 1591 kirjainta) ja epäsanosta koostuva Vinnittäjiä tenkoja -teksti (38 epäsanana / 277 kirjainta), jotka koehenkilö luki ääneen ilman aikapainetta tutkijan ottaessa aikaa. Sanalistan lukeminen oli osa Lukilasse-testiä, jossa koehenkilö luki mahdollisimman monta sanalistan sanaa ääneen yhden minuutin aikana (max. 105 sanaa). Mitta-asteikkona jokaisessa lukusujuvuutta mittaavassa testissä käytettiin luettujen kirjaimien lukumäärää sekunnissa. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin lukusujuvuusmuuttujia kutakin erikseen.

Aineiston analysointi

Aineiston analyysi koostui muuttujien kuvailevien tunnuslukujen, korrelaatiokertoimien ja hierarkkisten lineaaristen regressioanalyysien tarkasteluista. Aluksi tarkasteltiin muuttujien keskiarvoja ja -hajontoja sekä lukumääriä. Eri muuttujien keskiarvoja vertailtiin *t*-testein dysleksiariskiryhmän ja verrokkiryhmän välillä. Näin saatiin käsitys niiden keskeisimmistä ominaisuuksista kummassakin tutkittavassa ryhmässä. Seuraavaksi tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimia tarkoituksena kuvailla voimakkuuksia ja eroja selittävien ja selitettävien muuttujien välisissä yhteyksissä, eli ERP-vasteiden (F3- ja F4-kanavat) ja nopean nimeämisen yhteyksiä tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemisen välillä.

Pääpaino analyysissä oli muuttujien välisten yhteyksien tarkastelu hierarkkisten lineaaristen regressioanalyysien avulla, joissa selittäjinä olivat joko F3-kanava ja nopea nimeäminen tai vastaavasti F4-kanava ja nopea nimeäminen. Regressioanalyysit toteutettiin laittamalla malliin ensimmäisellä askelmalla F3 tai vastaavasti F4 sekä nopea nimeäminen toisella askelmalla. Selitettävinä muuttujina olivat lukusujuvuusmuuttujat eli tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukeminen, kukin yksitellen. Analyysit tehtiin erikseen riski- ja kontrolliryhmille. Yhteensä regressioanalyysijä tehtiin 6 kummallekin ryhmälle ja tarkasteltavana oli näin ollen 12 erillistä regressiomallia.

Regressioanalyysi valittiin analyysimenetelmäksi, koska haluttiin tutkia kahden muuttujan yhtäaikaista vaikutusta selitettäviin muuttujiin. Kaikki muuttujat olivat numeerisia, lukuun ottamatta ryhmämuuttujaa (riskiryhmä tai kontrolliryhmä), josta koodattiin dummy-muuttuja ryhmien välisiä interaktiotarkasteluja varten. Muuttujien väliset lineaarisuusoletukset olivat voimassa. Selittävästä

muuttujista F3- ja F4-kanavat korreloivat voimakkaasti ja tilastollisesti merkitsevästi keskenään: riskiryhmässä $r = 0,842$ ja kontrolliryhmässä $r = 0,796$ (taulukko 1), ja siksi näitä muuttujia tutkittiin eri regressiomalleissa. F3- ja F4-kanavat eivät korreloineet kumpikaan merkitsevästi nopean nimeämisen kanssa ja siksi se oli puolestaan selittäjänä kaikissa malleissa. Mallien multikollineaarisuutta tarkasteltaessa päädyttiin siihen, että se ei ole liian suurta; tolerance-arvot eivät olleet lähellä nollaa ja VIF-arvot jäivät alle viiden. Mallien hyvyttä lisäsi se, että residuaalit olivat normaalijakautuneet ja niiden sirontakuvioiden havaittiin homoskedastisuutta.

TAULUKKO 1. Korrelaatiot selittävien muuttujien välillä

		F3-kanava	F4-kanava	Nopea nimeäminen
F3-kanava	R	1		
	K	1		
F4-kanava	R	0,842***	1	
	K	0,796***	1	
Nopea nimeäminen	R	0,027	0,139	1
	K	0,072	-0,170	1

Huom. R = dysleksiariskiryhmä ja K = kontrolliryhmä

*** $p < ,001$

Lopuksi tutkittiin interaktiotarkasteluin ryhmien välisiä eroja tekstin, sanalistan ja epäsanonjen lukemisessa, kun eroja olivat selittämässä F3- tai F4-kanava ja nopea nimeäminen. Tässä käytettiin koko aineistoa ($N = 65$). Dysleksiariskiryhmän ja kontrolliryhmän välisiä eroja tutkittiin lisäämällä kaikkiin tarkasteltaviin regressiomalleihin kolme eri interaktioterminä (nopea nimeäminen x ryhmä; F3-kanava x ryhmä; F4-kanava x ryhmä) kukin yksitellen. Näiden avulla tarkasteltiin nopean nimeämisen ja ryhmän, F3-kanavan ja ryhmän sekä F4-kanavan ja ryhmän välisiä yhdysvaikutuksia selitettäessä tekstin, sanalistan ja epäsanonjen lukemista. Kaikki analyysit suoritettiin IBM SPSS Statistics -ohjelmalla (versio 26).

TULOKSET

Taulukossa 2 esitetään muuttujien lukumäärät, keskiarvot, keskihajonnat ja ryhmien välisten keskiarvojen vertailuun käytetyt *t*-testiarvot merkitsevyyksineen. Selitettävien lukusujuvuusmuuttujien (sanalistan, tekstin ja epäsanojen lukemisen) keskiarvot olivat dysleksiariskiryhmässä matalammat kuin kontrolliryhmässä. Tekstin lukemisen keskiarvoissa havaittiin tilastollisesti merkitsevää eroa riskiryhmän ($ka = 10,72$) ja kontrolliryhmän ($ka = 12,18$) välillä ($p = 0,011$). Riskiryhmässä tekstin lukeminen oli siis keskimäärin hitaampaa kuin kontrolliryhmässä. Tulokset olivat samansuuntaiset myös sanalistan ja epäsanojen lukemisen kohdalla, mutta niiden väliset erot keskiarvoissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Muuttujien keskiarvot (*ka*), keskihajonnat (*kh*), tutkittavien määrät (*n*) ja *t*-testisuureen arvot dysleksiariskiryhmässä ja kontrolliryhmässä

	riskiryhmä			kontrolliryhmä			<i>N</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>ka</i>	<i>kh</i>	<i>n</i>	<i>ka</i>	<i>kh</i>	<i>n</i>			
F3	-0,51	1,07	(37)	-0,08	0,99	(27)	64	-1,64	ns
F4	-0,73	1,04	(37)	-0,36	0,78	(27)	64	-1,55	ns
Nopea nimeäminen	72,90	24,02	(37)	65,62	16,10	(28)	65	1,39	ns
Sanalista	9,15	2,70	(36)	9,97	2,33	(24)	60	-1,21	ns
Tekstin luku	10,72	2,37	(36)	12,18	1,66	(24)	60	-2,62	,01
Epäsanojen luku	6,04	1,68	(36)	6,89	1,74	(23)	59	-1,86	ns

Huom. ns = ei merkitsevä

ERP-vasteiden keskiarvot olivat pienemmät riskiryhmässä kuin kontrolliryhmässä (taulukko 2), eli ERP-vasteet riskiryhmässä olivat keskimäärin voimakkaampia (μV) kuin kontrolliryhmän lapsilla. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Nopeaan nimeämiseen käytetty aika oli keskiarvojen perusteella vähäisempää kontrolliryhmässä ($ka = 65,62$) kuin dysleksiariskiryhmässä ($ka = 72,90$), myös hajonta oli vähäisempää kontrolliryhmässä. Toisin sanoen nimeäminen oli keskimäärin nopeampaa kontrolliryhmän lapsilla. On kuitenkin huomioitava, että ero ei tälläkään muuttujalla ollut merkitseviä ryhmien välillä.

Korrelaatiotarkastelut

Nopea nimeäminen korreloi kaikkien selitettävien muuttujien kanssa tilastollisesti merkitsevästi dysleksiariskiryhmässä (taulukko 3). Tekstin lukeminen ja nopea nimeäminen ($r = -0,47$; $p = 0,004$; $n = 36$) samoin kuin sanalistan lukeminen ja nopea nimeäminen ($r = -0,44$; $p = 0,007$; $n = 36$) korreloivat keskenään hieman voimakkaammin kuin epäsanojen lukeminen ja nopea nimeäminen ($r = -0,34$; $p = 0,041$; $n = 36$). Nopea nimeäminen korreloi voimakkaammin tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemiseen kuin F3- ja F4-kanavat, jotka eivät korreloineet tilastollisesti merkitsevästi mihinkään selitettävistä muuttujista (tekstin, epäsanojen tai sanalistan lukeminen) dysleksiariskiryhmässä ja joiden väliset korrelaatiokertoimet jäivät taulukon 3 mukaan pieniksi.

TAULUKKO 3. Korrelaatiot dysleksiariskiryhmässä

	F3-kanava	F4-kanava	Nopea nimeäminen
Tekstin lukeminen	0,109 ns	0,012 ns	-0,470** $p = 0,004$
Epäsanojen lukeminen	0,223 ns	0,150 ns	-0,343* $p = 0,041$
Sanalistan lukeminen	0,034 ns	-0,046 ns	-0,440** $p = 0,007$

Huom. * $p < ,05$; ** $p < ,01$

Kontrolliryhmässä puolestaan tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot havaittiin ainoastaan F4-kanavan ja tekstin lukemisen välillä ($r = 0,474$; $p = 0,022$; $n = 23$) sekä epäsanojen lukemisen ja nopean nimeämisen välillä ($r = -0,435$; $p = 0,038$; $n = 23$) (taulukko 4). Näiden välillä havaittiin kohtalaista korrelaatiota. F4-kanavan ja tekstin lukemisen välinen korrelaatiokerroin oli positiivinen, kun taas epäsanojen lukemisen ja nopean nimeämisen välinen korrelaatiokerroin oli negatiivinen. Muiden muuttujien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita.

TAULUKKO 4. Korrelaatiot kontrolliryhmässä

	F3-kanava	F4-kanava	Nopea nimeäminen
Tekstin lukeminen	0,316 ns	0,474* $p = 0,022$	-0,174 ns
Epäsanojen lukeminen	0,119 ns	0,315 ns	-0,435* $p = 0,038$
Sanalistan lukeminen	0,284 ns	0,227 ns	0,084 ns

Huom. * $p < ,05$; ** $p < ,01$

Kontrolliryhmässä korrelaatiot olivat voimakkaampia F3-kanavan ja tekstin lukemisen sekä F3-kanavan ja sanalistan lukemisen välillä kuin riskiryhmässä. Riskiryhmässä puolestaan F3-kanavan ja epäsanojen lukemisen välinen korrelaatiokerroin oli suurempi. Korrelaatiokertoimet eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. F4-kanavan ja tekstin, epäsanojen sekä sanalistan lukemisen väliset korrelaatiot olivat kaikki voimakkaampia riskiryhmässä kuin kontrolliryhmässä. Myöskään nämä korrelaatiokertoimet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (pois lukien F4-kanavan ja tekstin lukemisen välinen korrelaatio kontrolliryhmässä). F4-kanavan ja sanalistan välinen korrelaatiokerroin oli negatiivinen riskiryhmässä, kun taas kaikissa muissa tapauksissa F3- ja F4-kanavien korrelaatiot lukusujuvuusmuuttujiin olivat positiivisia. Nopean nimeämisen ja lukusujuvuusmuuttujien väliset korrelaatiot olivat puolestaan negatiivisia molemmissa tarkasteltavissa ryhmissä, lukuun ottamatta sanalistan ja nopean nimeämisen välistä korrelaatiota kontrolliryhmässä.

Nopea nimeäminen ja F3-kanava lukusujuvuuden ennustajina

Hierarkkisella lineaarisella regressioanalyysillä tarkasteltaessa F3-kanavan aktivaatio ja nopea nimeäminen 6,5 vuoden iässä selittivät yhdessä tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemisen vaihtelua 14-vuotiaana tilastollisesti merkitsevästi dysleksiariskiryhmässä (taulukko 5). Regressiomalleilla voitiin selittää 24 % nuoren myöhemmästä tekstin lukusujuvuuden vaihtelusta ($F(1, 33) = 9,68, p = 0,004$), 17 % epäsanojen lukemisen ($F(1, 33) = 4,85, p = 0,035$) ja 20 % sanalistan lukemisen vaihtelusta ($F(1, 33) = 7,99, p = 0,008$) dysleksiariskiryhmässä.

TAULUKKO 5. Hierarkkisen regressioanalyysin tulokset F3-kanavan ja nopean nimeämisen yhteydestä tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemiseen dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä

		Selittäjinä F3 ja nopea nimeäminen				
		β (F3)	β (NN)	R^2	Adj R^2	p -arvo
Teksti	R	0,12	-0,47**	0,24**	0,19**	0,004**
	K	0,33	-0,20	ns	ns	ns
Sanalista	R	0,45	-0,44**	0,20**	0,15**	0,008**
	K	0,28	0,06	ns	ns	ns
Epäsanat	R	0,23	-0,35*	0,17*	0,12*	0,035*
	K	0,15	-0,45*	0,21*	0,13*	0,041*

Huom. β (F3) ja β (NN) = F3-kanavan ja nopean nimeämisen standardoidut regressiokertoimet.

R = dysleksiariskiryhmä ja K = kontrolliryhmä.

* $p < ,05$; ** $p < ,01$; ns = ei merkitsevä

Taulukko 5 osoittaa, että kontrolliryhmässä F3-kanavan aktivaatio ja nopea nimeäminen 6,5-vuotiaana selittivät 21 % epäsanojen lukemisen vaihtelusta 14 vuoden iässä ($F(1, 19) = 4,78, p = 0,041$). Vain epäsanaja selitettäessä regressiomalli oli tilastollisesti merkitsevä kontrolliryhmässä. Tekstin ja sanalistan sanojen lukemista selitettäessä mallit eivät olleet merkitseviä kontrolliryhmässä. Regressiomallien korjatut selitysasteet (Adj R^2), jotka ottavat huomioon mallin selittäjien määrän, olivat pienemmät kuin selitysosuudet (R^2) kummassakin tarkasteltavassa ryhmässä (taulukko 5).

Selittäjistä vain nopealla nimeämisellä oli tilastollisesti merkitsevää omavaikutusta dysleksiariskiryhmässä jokaisessa regressiomallissa, kun selittäjinä olivat F3 ja nopea nimeäminen. Nopeaan nimeämiseen käytetyn ajan väheneminen ennusti tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukusujuvuuden nopeutumista tilastollisesti merkitsevästi dysleksiariskiryhmässä. Myös kontrolliryhmässä havaittiin omavaikutusta nopealla nimeämisellä, mutta vain epäsanojen lukusujuvuuden vaihtelua selitettäessä (β -kerroin = -0,45, $p = 0,041$). Tekstin ja sanalistan lukusujuvuuden vaihtelua selitettäessä nopealla nimeämisellä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä omavaikutuksia kontrolliryhmässä. F3-kanavalla ei myöskään havaittu merkitsevää omavaikutusta kontrolliryhmässä missään tarkastelun kohteena olevista malleista. Sama tulos saatiin dysleksiariskiryhmässä.

Nopea nimeäminen ja F4-kanava lukusujuvuuden ennustajina

Taulukko 6 osoittaa, että F4-kanavan aktivaatio ja nopea nimeäminen ennustivat tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemista dysleksiariskiryhmässä samansuuntaisesti kuin F3-kanavan aktivaatio ja nopea nimeäminen (vrt. taulukko 5).

F4-kanavan aktivaatio ja nopea nimeäminen 6,5-vuotiaana selittivät tilastollisesti merkitsevästi tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemisen vaihtelua 14-vuotiaana dysleksiariskiryhmässä (taulukko 6). Tarkasteltavat regressiomallit selittivät 23 % nuoren myöhemmästä tekstin lukusujuvuuden vaihtelusta ($F(1, 33) = 9,70, p = 0,004$), 19 % sanalistan lukusujuvuuden vaihtelusta ($F(1, 33) = 7,86, p = 0,008$) ja 16 % epäsanojen lukusujuvuuden vaihtelusta ($F(1, 33) = 5,30, p = 0,028$) dysleksiariskiryhmässä. Selittäjistä nopealla nimeämisellä oli tilastollisesti merkitsevää omavaikutusta kaikissa kolmessa mallissa. Nopeaan nimeämiseen käytetyn ajan väheneminen ennusti lukusujuvuuden lisääntymistä tekstiä, epäsanoina ja sanalistan sanoja luettaessa dysleksiariskiryhmässä, kun selittäjinä olivat F4-kanava ja nopea nimeäminen. Näin oli myös silloin, kun selittäjinä olivat F3-kanava ja nopea nimeäminen dysleksiariskiryhmässä. F4-kanavalla ei ollut merkitsevää omavaikutusta dysleksiariskiryhmässä selitettäessä tekstin, epäsanojen ja sanalistan sanojen lukemista.

TAULUKKO 6. Hierarkkisen regressioanalyysin tulokset F4-kanavan ja nopean nimeämisen yhteydestä tekstin, epäsanoinen ja sanalistan lukemiseen dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä

		Selittäjänä F4				
		β (F4)	β (NN)	R ²	AdjR ²	p-arvo
Tekstin luku	R	ns	-	ns	ns	ns
	K	0,47*	-	0,22*	0,19*	0,022*
		Selittäjinä F4 ja nopea nimeäminen				
		β (F4)	β (NN)	R ²	AdjR ²	p-arvo
Tekstin luku	R	0,08	-0,48**	0,23**	0,18**	0,004**
	K	0,46*	-0,10	ns	ns	ns
Sanalista	R	0,02	-0,44**	0,19**	0,15**	0,008**
	K	0,25	0,13	ns	ns	ns
Epäsanat	R	0,20	-0,37*	0,16*	0,11*	0,028*
	K	0,25	-0,39	ns	ns	ns

Huom. β (F4) ja β (NN) = F4-kanavan ja nopean nimeämisen standardoidut regressiokertoimet.

R = dysleksiariskiryhmä ja K = kontrolliryhmä.

* $p < ,05$; ** $p < ,01$; ns = ei merkitsevä

Analyysit suoritettiin hierarkkisella lineaarisella regressioanalyysillä laittamalla malliin selittäjäksi ensimmäisellä askelmalla F4-kanava ja toisella askelmalla nopea nimeäminen. Tarkasteltaessa F4-kanavan aktivaatiota ainoana selittäjänä (ks. taulukko 6), sen havaittiin selittävän 22 % tekstin lukemisen vaihtelusta kontrolliryhmässä ($F(1, 21) = 6,08, p = 0,022$). F4-kanava oli tilastollisesti merkitsevä regressiomallin ensimmäisellä askelmalla kontrolliryhmässä, ja kun malliin lisättiin toisella askelmalla nopea nimeäminen, se ei enää ollut merkitsevä, mutta F4-kanavan regressiokerroin oli. F4-kanavan ollessa ainoana selittäjänä, sen β -kerroin oli 0,47 tekstin lukemista selitettäessä. Tämä ilmaisee lisääntyvän aktivaation oikealla frontaalikanavalla ennustavan tekstin lukemiseen käytettävän ajan lisääntymistä kontrolliryhmässä. Epäsanoja ja sanalistan lukemista selitettäessä regressiomallit eivät yltäneet tilastollisesti merkitseviksi.

Aivovasteet ja nopea nimeäminen ryhmien välisessä lukusujuvuudessa

Nopean nimeämisen ja ryhmän välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevää yhteisvaihtelua selitettäessä sanalistan lukemista, kun mallin selittäjinä olivat interaktiotermi (ryhmä x nopea nimeäminen) lisäksi F4-kanava ja nopea nimeäminen. Tämä malli selitti sanalistan lukemisen vaihtelusta 19 % ($R^2 = 0,193$), ja se oli tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 54) = 4,20, p = 0,045$). Dysleksiariskiryhmässä nopean nimeämisen standardoitu β -kerroin oli -0,44 ($p = 0,008$), kun taas kontrolliryhmässä vastaava standardoitu β -kerroin oli 0,13 (ks. taulukko 6). Kontrolliryhmässä β -kerroin ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Tämän perusteella nopea nimeäminen ennusti sanalistan lukemisen vaihtelua eri tavalla dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä, kun sitä selitettiin F4-kanavan aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä.

Kun sanalistan lukemista selitettiin puolestaan F3-kanavalla, nopealla nimeämisellä sekä interaktiotermeillä (ryhmä x nopea nimeäminen), havaittiin suuntaa antavia tuloksia. Tämän mallin selitysosuus oli 20 % ($F(1, 54) = 3,76, p = 0,058$). Ero ei ollut ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,058$), vaikka p -arvo olikin lähellä merkitsevyyden rajaa 0,05. Tässä mallissa nopean nimeämisen standardoitu β -kerroin dysleksiariskiryhmässä oli -0,44 ($p = 0,008$) ja vastaavasti 0,06 kontrolliryhmässä (ks. taulukko 5). Kontrolliryhmän β -kerroin ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tämän mallin perusteella kuitenkin oletettiin, että nopea nimeäminen ennusti sanalistan lukemisen vaihtelua eri tavalla

dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä, kun sitä selitettiin F3-kanavan aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä.

Yhteisvaihtelua tarkasteltaessa tekstin lukemisen tai epäsanojen lukemisen välillä ei ollut ryhmien välisiä eroja, kun niitä selitettiin F3-kanavan aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä tai F4-kanavan aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä sekä tarkastelun kohteena olevilla interaktiotermeillä. Sanalistan lukemista selitettäessä ei myöskään havaittu ryhmien välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja F3-kanavan tai F4-kanavan aktivaatiossa.

POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten nopean nimeämisen taito ja aivovasteet puheääniin etuotsalohkon vasemmalla ja oikealla aivopuoliskon alueella ennustavat myöhempää lukusujuvuutta lapsilla, joilla on perinnöllinen dysleksiariski, ja tavallisilla lukijoilla. Tutkittavina lukusujuvuuden osa-alueina olivat tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukeminen.

Vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen yhdessä ennustivat nuoren myöhempää tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukusujuvuutta erityisesti dysleksiariskissä olevilla, mutta ei tavallisilla lukijoilla. Tämä tulos sai tukea aikaisemmasta tutkimuksesta vasemmanpuoleisen etuotsalohkon ja nopean nimeämisen yhteydestä 14-vuotiaana mitattuun lukusujuvuuteen (Lohvansuu ym., 2018). Tavallisilla lukijoilla vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen selittivät kuitenkin epäsanojen lukemista tilastollisesti merkitsevästi, mutta ei tekstin tai sanalistan lukemista. Epäsanojen lukeminen on keskimäärin hitaampaa kuin oikeiden sanojen lukeminen tavallisilla lukijoilla (esim. Kairaluoma ym., 2012), ja on mahdollista, että tämä näkyi myös, kun epäsanojen lukemista selitettiin aivovasteilla ja nopealla nimeämisellä.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että oikean otsalohkon aktivaation ja nopean nimeämisen samanaikainen yhteys tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemiseen oli dysleksiariskilapsilla samansuuntaista kuin vasemman otsalohkon ja nopean nimeämisen yhteys näihin. Koska aikaisempi tutkimus puoltaa vasemman otsalohkon yhteyttä lukusujuvuuteen dyslektikoilla tai dysleksiariskissä olevilla (esim. Hämäläinen ym., 2013; Lyytinen ym., 2008; Temple ym., 2002), tämä tulos ei saanut

tukea aikaisemmasta tutkimuksesta. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan vertailtu vasemman ja oikean otsalohkon eroja tilastollisin menetelmin, vaan tarkoituksena oli kuvailla erikseen niiden selitysvoimaa tekstin, sanalistan ja epäsanon lukemiseen. Muilla tilastomenetelmillä voitaisiin päästä luotettavammin aiemman tutkimuksen mukaisiin tuloksiin. On huomattava, että tässä tutkimuksessa oli selittäjänä myös nopea nimeäminen, joten tulokset eivät selittäneet pelkästään aivovasteiden osuutta tekstin, epäsanon ja sanalistan lukemisen vaihtelusta. Nopean nimeämisen on aiemmin havaittu toimivan välittävänä tekijänä puheäänivasteiden ja lukusujuvuuden välillä (Lohvansuu ym., 2018). Näyttäisikin siltä, että oikean otsalohkon aktivaation ja nopean nimeämisen ollessa selittäjinä, merkitsevät tulokset aiheutuivat osittain siitä, että malleissa oli selittäjänä nopea nimeäminen. Nopea nimeäminen on aiemman tutkimuksen mukaan hyvä ennustaja lukusujuvuudelle (Araujo ym., 2014) ja sen omavaikutus oli tässä tutkimuksessa merkitsevä dysleksiariskiryhmässä, kun taas aivovasteiden omavaikutukset eivät yltäneet merkitseviksi.

Tarkasteltavien aivovasteiden korrelaatiot tekstin, epäsanon ja sanalistan lukemiseen eivät myöskään olleet merkitseviä (lukuun ottamatta oikeanpuoleista otsalohkon aktivaatiota selitettäessä tekstin lukemista kontrolliryhmässä), joten niiden perusteella ei voida tehdä täysin luotettavia päätelmiä. Dysleksiariskissä olevilla vasemman otsalohkon aktivaatio sai kuitenkin viitteitä suurempana ennustajana kuin oikean otsalohkon aktivaatio tekstin, sanalistan ja epäsanon lukusujuvuuden vaihtelua selitettäessä. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitseviä, ja siksi tätä olisikin tarkoituksenmukaista tutkia tulevaisuudessa enemmän.

Oletus siitä, että nopea nimeäminen on yhteydessä myöhempään lukusujuvuuteen, erityisesti heikoilla lukijoilla, sai tukea tässä tutkimuksessa. Kairaluoma ym. (2012) havaitsi nopean nimeämisen selittävän tekstin, sanalistan ja epäsanon lukemista lukivaikeusryhmässä enemmän kuin tavallisilla lukijoilla. Lisäksi Araujo ym. (2014) sekä Norton & Wolf (2012) havaitsivat nopean nimeämisen ennustavan lukusujuvuutta heikoilla lukijoilla tavallisia lukijoita paremmin. Tässä tutkimuksessa nopea nimeäminen oli merkitsevä selittäjänä selitettäessä tekstin, epäsanon ja sanalistan lukemista dysleksiariskiryhmässä, kun taas kontrolliryhmässä se oli merkitsevä selittäjänä vain epäsanon selitettäessä yhdessä vasemman otsalohkon aktivaation kanssa. Myös nopean nimeämisen ja tekstin, sanalistan sekä epäsanon lukemisen väliset korrelaatiot olivat tilastollisesti merkitseviä dysleksiariskilapsilla.

Tutkimuksen toisena tavoitteena oli tarkastella eroja tekstin, sanalistan ja epäsanon lukemisen välillä selitettäessä niitä vasemman ja oikean otsalohkon aktivaatiolla sekä nopealla nimeämisellä. Dysleksiariskiryhmässä puheäänivasteet ja nopea nimeäminen yhdessä olivat vahvemmin yhteydessä oikeiden sanojen lukemisen kuin epäsanon lukemisen vaihteluun, mikä on havaittu aikaisemmissakin tutkimuksissa. Araujon ym. (2015) meta-analyysin mukaan nopea nimeäminen ennusti voimakkaammin

oikeiden sanojen ja tekstin lukemisen vaihtelua kuin epäsanojen lukusujuvuuden vaihtelua, mutta se oli yhteydessä myös epäsanojen lukemiseen, mikä havaittiin myös tässä tutkimuksessa. Vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen selittivät 24 % ja oikean otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen 23 % tekstin lukemisen vaihtelusta dysleksiariskiryhmässä. Vastaavat selitysosuudet olivat 20 % ja 19 % sanalistan lukemista selitettäessä sekä 17 % ja 16 % epäsanojen lukemista selitettäessä. Kaikki edellä mainitut prosenttiosuudet olivat tilastollisesti merkitseviä.

Tavallisilla lukijoilla vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen selittivät epäsanojen lukemista tilastollisesti merkitsevästi, mutta ei tekstin tai sanalistan lukemista. Oikean otsalohkon aktivaatio ainoana selittäjänä puolestaan ennusti tavallisilla lukijoilla merkitsevästi tekstinlukua, mutta nopea nimeäminen ei. Tämän perusteella lisääntynyt aktivaatio oikean otsalohkon alueella ennusti myöhemmin tekstin lukemisen hidastumista. Lyytisen ym. (2008) mukaan riskilapsilla äänneiden erottelu tapahtui oikealla aivopuoliskolla ja tavallisilla lukijoilla vasemmalla aivopuoliskolla, mikä saattaisi selittää osaltaan myös sitä, miksi oikean otsalohkon aktivaatio oli yhteydessä tekstin lukemisen hidastumiseen tavallisilla lukijoilla. Sanalistaa tai epäsanoja oikean otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen eivät kuitenkaan selittäneet tilastollisesti merkitsevästi.

Aikaisemman tutkimuksen mukaan riskilasten ja normaalisti lukevien lasten välillä on havaittu eroja lukusujuvuudessa (esim. Eklund ym., 2015) ja erikseen tekstin, epäsanojen ja sanalistan lukemisen välillä (Torppa ym., 2015), mutta tutkimusta ei kuitenkaan ole ryhmien välisistä eroista, joita selitetään otsalohkon aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä samanaikaisesti. Tutkittaessa riskilasten ja tavallisten lukijoiden välisiä eroja tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukusujuvuudessa, havaittiin, että nopea nimeäminen ennusti sanalistan lukemisen vaihtelua eri tavalla dysleksiariskilasten ja tavallisten lukijoiden välillä tilastollisesti merkitsevästi. Nopeaan nimeämiseen käytetyn ajan väheneminen ennusti parempaa myöhempää lukusujuvuutta sanalistan lukemisessa dysleksiariskilapsilla, mutta ei tavallisilla lukijoilla. Näin oli silloin, kun sanalistan lukemista selitettiin oikean otsalohkon aktivaatiolla ja nopealla nimeämisellä. Kun selittäjinä olivat vasemman otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen, ero nopean nimeämisen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta lähellä merkitsevyyden rajaa. Voidaankin olettaa, että myös näillä selittäjillä dysleksiariskilapsilla nopeaan nimeämiseen käytetyn ajan väheneminen ennustaisi nopeampaa sanalistan lukemista, ainakin suuntaa antavasti, mutta ei tavallisilla lukijoilla. Otsalohkon aktivaatiossa kummallakaan aivopuoliskolla ei puolestaan havaittu merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Lisäksi tässä tutkimuksessa havaittiin dysleksiariskilasten lukevan oikeaa tekstiä tilastollisesti merkitsevästi keskimäärin hitaammin kuin tavalliset lukijat. Myös sanalistaa ja epäsanoja luettaessa havaittiin dysleksiariskilasten lukevan keskimäärin hitaammin kuin kontrolliryhmän lasten, mutta nämä erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kairaluoma ym. (2012) löysi samanlaisia eroja tekstin,

sanalistan ja epäsanojen lukemisen välillä hitailla ja nopeammilla lukijoilla. On mahdollista, että tässä tutkimuksessa erot sanalistan ja epäsanojen lukemisen välillä eivät yltäneet pienen otoskoon vuoksi tilastollisesti merkitseviksi. Myös efektikokojen tarkastelu olisi voinut tuoda ei-merkitsevien tulosten välille enemmän eroja. Tässä tutkimuksessa pääpaino oli kuitenkin tarkasteluissa, joissa lukusujuvuuden taustatekijöinä olivat otsalohkon aktivaatio ja nopea nimeäminen, joten pelkkien keskiarvojen eroja ei tutkittu tarkemmin.

Tutkimuksen aineistona käytettiin LKK-projektin pitkittäisaineistoa (Lyytinen ym., 2004). Samojen koehenkilöiden tutkiminen eri ajankohtina lisäsi tulosten luotettavuutta. Aineistonkeruussa huomioitiin taustamuuttujia, kuten vanhempien koulutustausta ja tutkittavien fyysinen ja psyykinen kehitys. Käytettyjen mittareiden reliabiliteettia voidaan luonnehtia hyväksi. Ne perustuivat aiempaan tutkimukseen ja niiden avulla saadut aikaisemmat tutkimustulokset ovat yhteneväisiä keskenään. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemista, joista käytettiin käsitettä lukusujuvuus. Näillä kolmella muuttujalla voidaan myös mitata lukunopeutta, joka on jossain määrin sama asia kuin lukusujuvuus.

Tilastomenetelminä tutkimuksessa käytettiin hierarkkista lineaarista regressioanalyysiä ja Pearsonin korrelaatiokertoimia. Nämä menetelmät ovat herkkiä poikkeaville arvoille, ja regressioanalyysi olettaa muuttujien välisen yhteyden lineaariseksi. Varsinkin puheäänivasteiden väliset korrelaatiot tekstin, sanalistan sekä epäsanojen lukemiseen olivat tässä tutkimuksessa pieniä. Niiden omavaikutukset regressiomalleissa jäivät vähäisiksi eivätkä ne yltäneet tilastollisesti merkitseviksi. Jos aineisto olisi ollut suurempi, tuloksista olisi saattanut saada paremmin esiin merkitsevyyksiä. Pieni aineisto vaikuttaa osaltaan tulosten yleistettävyyteen. Aineistossa oli myös enemmän poikia, joiden osuus koko aineistosta oli 61 %. Dysleksiariskiryhmässä sukupuoli oli jakautunut tasaisemmin, mutta kontrolliryhmässä poikien osuus oli 71 %. Esimerkiksi PISA 2018 –tutkimuksen mukaan poikien lukutaito oli keskimäärin heikompaa kuin tyttöjen. Poikien heikompi lukutaito ylipäättään saattaa jossain määrin selittää myös kontrolliryhmän keskimääräisen lukusujuvuuden hidastumista ja sitä kautta myös ryhmien välisen vertailun tuloksia.

PISA 2018 –tutkimuksessa todettiin lisäksi, että heikkojen lukijoiden määrä on Suomessa lisääntynyt ja erot oppijoiden välillä ovat suuria, mikä luo tarvetta lukutaidon tutkimukselle ja tukitoimien kehittämiseksi. Lukusujuvuuden taustatekijöitä olisi oleellista tutkia tulevaisuudessa vielä lisää. Tässä tutkimuksessa selittävinä muuttujina olivat nopea nimeäminen sekä ERP-puheäänivasteet. Erityisesti ERP-vasteita olisi mielenkiintoista tutkia lisää, koska niiden selitysosuudet jäivät verrattain pieniksi. Jatkossa olisi mielenkiintoista tutkia myös puheäänivasteita muilla aivokuoren alueilla tai muiden kognitiivisten tekijöiden vaikutusta tekstin, sanalistan ja epäsanojen lukemiseen.

Tässä tutkielmassa käsiteltiin dysleksiariskissä olevia lapsia ja heidän lukusujuvuuttaan, mutta tuloksien voidaan ajatella hyödyttävän myös muita hitaita lukijoita. On myös huomattava, että dysleksiariski ei automaattisesti tarkoita, että lapsi on hidas lukija tai myöhemmin dyslektikko. Riski kuitenkin lisää lukivaikeuden ilmaantumisen todennäköisyyttä perinnöllisyytensä vuoksi. Kun tiedetään, mitkä lukutaidon taustatekijät ennustavat myöhempää lukusujuvuutta, voidaan tukitoimia suunnitella ja kehittää näiden tietojen perusteella mahdollisesti jo varhaisessa vaiheessa.

LÄHTEET

- Ahonen, T., Aro, M., Aro, T., Lerkkanen, M., & Siiskonen T. (2019). Kehityksen yksilöllisyyden ymmärtäminen ja oppimisvaikeudet. Teoksessa T. Ahonen, M. Aro, T. Aro, M. Lerkkanen & T. Siiskonen (toim.), *Oppimisen vaikeudet*, (s. 22-39). Jyväskylä: Niilo Mäki -instituutti.
- Araujo, S., Reis, A., Petersson, K. M., & Faisca, L. (2014). Rapid Automatized Naming and Reading Performance: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Psychology*, *107*(3), 868-883.
- Breznitz, Z. (2008). The Origin of Dyslexia: The Asynchrony Phenomenon. Teoksessa G. Reid, A. Fawcett, F. Manis & L. Siegel (toim.), *The Sage Handbook of Dyslexia*, (s. 11-29). Los Angeles: Sage.
- Degerman, A., Salmi, J., Alho, K., & Rinne, T. (2006). Elektroenkefalografia (EEG). Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot. Kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s. 105-110). Turku: Turun yliopisto, kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976). Rapid “automatized” naming (R. A. N.): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, *14*, 471-479.
- Eklund, K., Torppa, M., Aro, M., Leppänen, P. H. T., & Lyytinen, H. (2015). Literacy Skill Development of Children With Familial Risk for Dyslexia Through Grades 2, 3, and 8. *Journal of Educational Psychology*, *107* (1), 126-140.
- Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A-M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, *41*, 291-303.
- Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Richardson, U., Alku, P., Lyytinen, H., & Leppänen, P.H. (2013). Auditory event-related potentials measured in kindergarten predict later reading problems at school age. *Developmental Neuropsychology*, *38*, 550-566.
- Kairaluoma, L., Torppa, M., Westerholm, J., Ahonen, T., & Aro, M. (2012) The nature of and factors related to reading difficulties among adolescents in a transparent orthography. *Scientific Studies of Reading*, *17*, 315-332.
- Kehityksellinen kielihäiriö (kielen kehityksen häiriö, lapset ja nuoret). Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Foniatri ry:n ja Suomen Lastenneurologisen Yhdistyksen asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2019 (viitattu 8.2.2020). Saatavilla internetissä: <https://www.kaypahoito.fi/hoi50085#K1>
- Leppänen, P. H. T., Aro, M., Hämäläinen, J., & Vesterinen, M. (2006). Dysleksia – kehityksellinen lukemisen vaikeus. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.), *Mieli ja aivot. Kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, (s. 380-389). Turku: Turun yliopisto, kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.

Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Salminen, H., Eklund, K., Guttorm, T. 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, A., 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. *Clinical Neurophysiology*, *42*, 35-41.

Lohvansuu, K., Hämäläinen, J., Ervast, L., Lyytinen, H., & Leppänen, P. H. T. (2018). Longitudinal interactions between brain and cognitive measures on reading development from 6 months to 14 years. *Neuropsychologia*, *108*, 6-12.

Lohvansuu, K., Hämäläinen, J., Tanskanen, A., Ervast, L., Heikkinen, E., Lyytinen, H., & Leppänen, P. H. T. (2014). Enhancement of brain event-related potentials to speech sounds is associated with compensated reading skills in dyslexic children with familial risk for dyslexia. *International Journal of Psychophysiology*, *94*, 298-310.

Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. 2. painos. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press 2014.

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *53*, 1-14.

Lyytinen, H., Erskine, J., Hämäläinen, J., Torppa, M., & Ronimus, M. (2015). Dyslexia – Early Identification and Prevention: Highlights from the Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia. *Current Developmental Disorders Report*, *2*(4), 330-338.

Lyytinen, H., Erskine, J., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., 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., Tolvanen, A., Torppa, M., & Viholainen, M. (2008). Early identification and prevention of dyslexia; Results from a prospective follow-up study of children at familial risk for dyslexia. Teoksessa G. Reid, A. Fawcett, F. Manis & L. Siegel (toim.), *The Sage Handbook of Dyslexia*, (s. 121-146). Los Angeles: Sage.

Lyytinen, H., Aro, M., Eklund, K., Erskine, J., Guttorm, T., Laakso, M.-L. & Torppa, M. (2004). The development of children at familial risk for dyslexia: Birth to early school age. *Annals of Dyslexia*, *54*(2), 184–220.

Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid Automated Naming (RAN) and Reading Fluency: Implications for Understanding and Treatment of Reading Disabilities. *Annual Review of Psychology*, *63*, 427-452.

Opetus- ja kulttuuriministeriö. (2019). PISA 2018: Suomi lukutaidossa parhaiden joukossa. [viitattu 17.3.2020]. Saatavissa: https://minedu.fi/artikkeli/-/asset_publisher/pisa-2018-suomi-lukutaidossa-parhaiden-joukossa

Paavilainen, P. (2016). *Toimivat aivot. Kognitiivisen neurotieteen perusteita*. Helsinki: Edita.

- Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: Evidence from multi-channel evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*, *111*, 220-236.
- Puolakanaho, A., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., Leppänen, P. H., Poikkeus, A. M., & Lyytinen, H. (2008). Developmental links of very early phonological and language skills to second grade reading outcomes: strong to accuracy but only minor to fluency. *Journal of Learning Disabilities*, *41*, 353-370.
- Richardson, U., Leppänen, P. H. T., Leiwo, M., & Lyytinen, H. (2003). Speech perception of infants with high familial risk for dyslexia differ at the age of 6 months. *Developmental Neuropsychology*, *23*, 385-397.
- Salmi, P. (2008). *Nimeäminen ja lukemisvaikeus: kehityksen ja kuntoutuksen näkökulma*. Väitöskirja. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Stein, J. (2008). The Neurobiological Basis of Dyslexia. Teoksessa G. Reid, A. Fawcett, F. Manis & L. Siegel (toim.), *The Sage Handbook of Dyslexia*, (s. 53-76). Los Angeles: Sage.
- Temple, E. (2002). Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current opinion in neurobiology*, *12*(2), 178-183.
- Torppa, M., Eklund, K., van Bergen, E., & Lyytinen, H. (2015). Late-Emerging and Resolving Dyslexia: A Follow-Up Study from Kindergarten to Grade 8. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *43*(7), 1389-1401.
- Wolf, M., & Katzir-Cohen T. (2001). Reading fluency and its intervention. *Scientific Studies of Reading*, *5*, 211-239.