

**DYNAAMISTEN AISTIÄRSYKKEIDEN HAVAITSEMISKYVYN
YHTEYS KOULUIKÄISTEN LASTEN LUKUTAIDON JA
DYSLEKSIARISKIIN**

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Psykologian laitos
P.O. Box
40001 Jyväskylä

Sirkku Laine
Pro gradu –tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Psykologian laitos
Kevät 2002

TIIVISTELMÄ

Dynaamisten aistiärsykkeiden havaitsemiskyvyn yhteys kouluikäisten lasten lukutaitoon ja dysleksiarisktiin

Tekijä: Sirkku Laine

Ohjaaja: professori Heikki Lyytinen

Psykologian pro gradu –tutkielma

Jyväskylän yliopisto, psykologian laitos

Kevät 2002

39 sivua

Dysleksian magnosellulaariteorian mukaan dynaaminen visuaalinen ja auditiivinen prosessointikyky ovat yhteydessä lukutaitoon. Yhteyttä on tähän mennessä tutkittu lähinnä englanninkielisissä maissa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin dynaamisten havaintoprosessien yhteyttä ortografialtaan säännönmukaisen suomen kielen lukemiseen. Dynaamisten aistiärsykkeiden havaitsemiskykyä tutkittiin tietokonepohjaisin testein. Tutkimus koostui kahdesta osasta. Ensimmäisessä tarkasteltiin visuaalisen yhdenmukaisen eli koherentin liikkeen sekä auditiivisen 2 Hz taajuus- ja 20 Hz voimakkuusmuuntelun havaitsemisen yhteyttä lukutaitoon 10-11 –vuotiaiden koululaisten keskuudessa (n = 21). Heikkojen lukijoiden ryhmässä 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky oli suuntaa-antavasti heikompi kuin kontrollilukijoiden ryhmässä. 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky oli myös yhteydessä lukutaitoon ($r = -0.432$, $p < 0.05$). Koherentin liikkeen havaitseminen oli ei-merkittävästi yhteydessä ortografiseen prosessointiin ($r = -0.372$). Tämä osuus oli jatkoa Vesterisen (2000) pro gradu –tutkielmalle, jonka joitakin muuttujia tarkasteltiin myös tässä tutkimuksessa. Tutkimuksen toisessa osassa selvitettiin 2 Hz taajuus- ja 20 Hz voimakkuusmuuntelun havaitsemisen yhteyttä yksittäisen sanan lukutaitoon, lukemisen sujuvuuteen, kirjainten nimeämiseen, fonologiseen prosessointiin ja perinnölliseen dysleksiarisktiin Jyväskylän dysleksiapitkittäistutkimukseen (JLD) osallistuvien 7-vuotiaiden keskuudessa (n = 54). Dysleksiariskiryhmässä 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky oli keskimäärin merkittävästi heikompi kuin kontrolliryhmässä ($p = 0.000$). 20 Hz voimakkuusmuuntelun erottelukyky oli yhteydessä yksittäisten sanojen lukutaitoon ($r = -0.272$, $p < 0.05$), mutta sen ja 2 Hz taajuusmuuntelun yhteydet muihin muuttujiin vaihtelivat dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä eivätkä koko aineistoa tarkasteltaessa olleet merkittäviä. Koherentin liikkeen sekä taajuus- ja voimakkuusmuuntelun havaitsemiskyvyn merkitys suomen kielellä lukemaan oppimisessa sekä fonologisessa ja ortografisessa prosessoinnissa kaipaavat lisätutkimusta. Magnosellulaariteorian lisätutkimus saattaa antaa mahdollisuuksia lukivaikkeuksien yksilöllisten mekanismien ymmärtämiseen ja kuntoutukseen.

Avainsanat: koherentti liike, taajuusmuuntelu, voimakkuusmuuntelu, magnosellulaariteoria

ABSTRACT

Dynamic sensory sensitivity and its relationship with reading skills and dyslexia risk among school-aged children

Author: Sirkku Laine

Supervisor: professor Heikki Lyytinen

Master of Psychology thesis

University of Jyväskylä, Department of Psychology

Spring term 2002

39 pages

The magnocellular theory of dyslexia suggests a relationship between dynamic visual and auditive processes and reading ability. Most research on magnocellular theory has been conducted in English-speaking countries. In this study, relationship between dynamic sensory processes and reading in orthographically regular Finnish was investigated. Sensitivity to dynamic stimuli was studied using computer-based tests. The study consisted of two parts. In the first part, detecting visual coherent motion, auditory 2 Hz frequency modulation (FM) and 20 Hz amplitude modulation (AM) was studied among 10-11 year-old school children ($n = 21$). Poor readers were indicatively ($p < 0.10$) less sensitive to 2 Hz FM than control readers. Sensitivity to 2 Hz FM correlated with reading skills ($r = -0.432$, $p < 0.05$). Sensitivity to coherent motion correlated non-significantly ($r = -0.372$) with orthographic processing. The first part of the study continued Vesterinen's (2000) study, and some variables of that study were also compared with the results obtained in this study. In the second part, sensitivity to 2 Hz FM and 20 Hz AM were studied in relation to single word reading, reading fluency, naming letters, phonological processing and genetic risk of dyslexia among 7-year-old children ($n=54$) participating Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia (JLD). Children with genetic dyslexia risk were significantly ($p = 0.000$) less sensitive to 2 Hz FM than the control group. Sensitivity to 20 Hz AM correlated ($r = -0.272$, $p < 0.05$) with single word reading. However, correlations of both FM and AM sensitivity with other variables varied within dyslexia and control groups, and were not significant within the whole data. The role of detecting coherent motion and frequency and amplitude modulation in phonological, orthographic and reading processes of Finnish language deserves further research. Research on magnocellular theory may provide further knowledge in understanding individual mechanisms of dyslexia and its rehabilitation.

Key words: coherent motion, frequency modulation, amplitude modulation, magnocellular theory

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1. Johdanto | 1 |
| 2. Menetelmät/Pohjanlampi | 9 |
| 2.1. Koehenkilöt | 9 |
| 2.2. Koherentin liikkeen havaitsemiskyvyn mittaus | 10 |
| 2.3. Audittiivisen muuntelun erottelukyvyn mittaus | 11 |
| 2.4. Lukutaito ja ei-kielellinen suoritustaso | 11 |
| 3. Tulokset/Pohjanlampi | 13 |
| 4. Pohdinta/Pohjanlampi | 17 |
| 5. Menetelmät/JLD | 19 |
| 5.1. Koehenkilöt | 19 |
| 5.2. Audittiivisen muuntelun erottelukyvyn mittaus | 19 |
| 5.3. Lukutaito ja fonologinen prosessointi | 20 |
| 5.4. Tarkkaavuus ja ei-kielellinen suoritustaso | 20 |
| 6. Tulokset/JLD | 22 |
| 7. Pohdinta/JLD | 29 |
| 8. Yleinen pohdinta | 31 |
| 9. Lähteet | 35 |

1. JOHDANTO

Dysleksian on alun perin katsottu johtuvan lähinnä visuaalisista ongelmista (ks. Lovegrove, Garzia & Nicholson, 1990; Stein, Talcott & Walsh, 2000; Stein & Walsh, 1997). Sittenkin etenkin fonologisten taitojen on kuitenkin katsottu olevan yhteydessä lukutaidon kehittymiseen, myös kausaalisesti (Aro, 2001; Wagner & Torgesen, 1987). Fonologisten taitojen on todettu olevan yhteydessä lukutaitoon erityisesti lukemisen varhaisessa vaiheessa (suomen kielessä esim. Lyytinen, Aro & Holopainen, valmisteilla) mutta myös aikuisuudessa (esim. Witton ym., 1998). Fonologisten taitojen puutteiden on katsottu liittyvän lukemisen vaikeuksiin, mutta monilla dyslektikoilla tällaisia puutteita ei kuitenkaan ole (Evans, 1998; Talcott ym., 1998; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi) eivätkä ne selitä kaikkia dyslektikkojen kokemia ongelmia (Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997). Fonologinen prosessointi ei myöskään yksin riitä englannin kielen epäsäännöllisten ja poikkeussanojen tunnistukseen (Talcott ym., 2000a). Fonologisen tietoisuuden lisäksi myös ortografinen koodaustaito ennustaa lukutaitoa osin fonologisista taidoista erillisenä (Talcott ym., 2000a). Ortografisten ja fonologisten taitojen on todettu periytyvän ainakin osittain erikseen (Olson, Forsberg, Wise & Rack, 1994; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi).

Viime vuosina on tutkittu myös visuaalisten ja auditiivisten aistiärsykkeiden prosessoinnin merkitystä lukemiselle. Joidenkin visuaalisten vaikeuksien tiedetään korreloivan dysleksian kanssa (Evans, Drasdo & Richards, 1996; Evans, 1998; Garzia & Nicholson, 1990). Osalla dyslektikoista on myös todettu esiintyvän lukemisessaan useampia fiksaatioita ja etenkin regressioita kuin normaalilukijoilla (Evans, 1998). Eden, Stein, Wood & Wood (1994) raportoivat dyslektikkojen vaikeuksista ei-kielellisissä okulomotorisissa tehtävissä. Monien dyslektikkojen kokemien visuaalisten vaikeuksien voikin katsoa liittyvän lukemiseen ilman että ne olisivat yhteydessä fonologiseen prosessointiin (Iles, Walsh & Richardson, 2000). Varhaisen visuaalisen prosessoinnin vaikeuksien dyslektikoilla ajatellaan liittyvän etenkin visuaalisen magnosellulaarijärjestelmän puutteelliseen toimintaan.

Visuaalisessa prosessoinnissa on havaittu kaksi rinnakkaista, osittain erillään toimivaa järjestelmää, magnosellulaarinen (M; myös dorsaaliväylä tai *transient system*) ja

parvosellulaarinen (P; ventraaliväylä tai *sustained system*) (Cornelissen, Hansen, Hutton, Evangelinou & Stein, 1998a; Hansen, Stein, Orde, Winter & Talcott, 2001; Livingstone & Hubel, 1987; Livingstone, Rosen, Drislane & Galaburda, 1991; Stein & Talcott, 1999; Talcott ym., 1998). Nämä erottuvat toisistaan verkkokalvon gangliosolujen tasolta ylemmille visuokortikaalisille alueille asti, vaikka sekoittuvat jonkin verran korteksilla: suuret M-gangliosolut sijaitsevat tasaisesti verkkokalvon alueella ja P-solut tiheästi fovean alueella; verkkokalvolta magnosellulaarinen väylä etenee talamuksen lateraalisen polvitumakkeen (*lateral geniculate nucleus*, LGN) magnokerrosten kautta *posterior parietal cortexille* (PPC) (Cornelissen ym., 1998a; Hansen ym., 2001; Lehmkuhle, Garzia, Turner, Hash & Baro, 1993; Livingstone & Hubel, 1987; Stein & Walsh, 1997; Talcott ym., 1998). M-järjestelmä prosessoii mm. nopeita, epätarkkoja ja liikkuvia ärsykeitä, sijaintia, syvyyttä ja kuvio/tausta -suhteita etenkin perifeerisessä näkökentässä sekä reagoi alhaisessa valaistuksessa ja pieniin kontrasteihin, kun taas P-järjestelmä on hitaampi ja keskittyy tarkkojen yksityiskohtien ja värin prosessointiin erityisesti sentraalisessa visuaalisessa kentässä (Evans ym., 1996; Evans, 1998; Garzia & Nicholson, 1990; Hansen ym., 2001; Livingstone & Hubel, 1987; Livingstone ym., 1991; Lovegrove, Garzia & Nicholson, 1990; Stein & Talcott, 1999; Talcott ym., 1998; Williams & LeCluyse, 1990). Williams, LeCluyse ja Rock-Facheux (1992) ovat esittäneet, että siinä missä parvojärjestelmän vauriot voi havaita huonontuneena "testinäkönä", magnojärjestelmän vauriot ovat vaikeammin havaittavia ja vaikeuttavat monimutkaisempia prosesseja - kuten lukemista (ks. Stein & Talcott, 1999).

Visuaalisen magnosellulaarijärjestelmän päätehtävä on vaikuttaa silmien ja raajojen liikkeisiin (Stein & Talcott, 1999; Talcott ym., 2000a). PPC, M-väylän "pääteasema", vastaa tahdonalaisista silmänliikkeistä (Stein & Talcott, 1999) ja on tärkeä visuospatiaaliselle tarkkaavuudelle sekä perifeeriselle näölle (Iles ym., 2000; Stein & Walsh, 1997; Steinman, Steinman & Garzia, 1998). PPC:n vauriot aiheuttavatkin lukemisen ongelmia (Stein & Walsh, 1997). M-järjestelmän tehtävänä lukemisen aikana on pitää yllä vakaita binokulaarisia fiksaatioita sekä valikoivaa tarkkaavuutta, ohjata sakkadeja ja antaa tietoa kirjainten sijainnista suhteessa toisiinsa (Cornelissen ym., 1998a; Evans ym., 1996; Garzia & Nicholson, 1990; Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997; Steinman ym., 1998; Talcott ym., 1998; Talcott ym., 2000a). Sillä on siis tärkeä rooli silmänliikkeitä vaativissa lukemistehtävissä (Garzia & Nicholson, 1990). On

esitetty, että visuaalisen tarkkaavuuden päätehtävä olisi siirtää tarkkaavuutta fiksaatiopisteestä parafoveaaliseen alueeseen fiksaation oikealle puolelle, jotta sakkadi voi tapahtua (Steinman ym., 1998). Steinmanin ym. mukaan dyslektikkojen tarkkaavuus suuntautuu kapeammalle alueelle ja ohjaa visuaalista prosessointia normaalia vähemmän; dyslektikoilla tarkkaavuuden suuntaaminen myös ehkäistyy huomattavalla alueella fovean ja lähiperiferian välillä (ks. myös Geiger & Lettvin, 1987). Toisaalta perifeerinen näkö häiritsee dyslektikkojen lukemista, eivätkä inhibitoriset prosessit toimi kuten normaaleilla lukijoilla (Geiger & Lettvin, 1987; Stein & Walsh, 1997; Williams & LeCluyse, 1990). On mahdollista, että puutteellinen M-järjestelmän toiminta häiritseekin sentraalisen ja perifeerisen prosessoinnin tasapainoa fiksaatioiden aikana (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler & Stein, 1995).

Lovegroven ym. (1990) tutkimuksissa löytyi lieviä mutta pysyviä eroja dyslektikkojen ja kontrollihenkilöiden välillä tehtävissä, jotka vaativat visuaalisen magnojärjestelmän toimintaa. Dyslektikkoryhmästä 75% osoitti tällaisia visuaalisen prosessoinnin häiriöitä, jotka edelsivät ja ennustivat myöhempää lukutaitoa. Parvosellulaarijärjestelmää aktivoivissa tehtävissä ei eroja dyslektikkojen ja kontrollihenkilöiden välillä ollut. Puutteellinen magnosellulaarijärjestelmän toiminta dyslektikoilla on havaittu myös VEP-tutkimuksin (Brannan, Solan, Ficarra & Ong, 1998; Lehmkuhle ym., 1993; Livingstone ym. 1991; May, Lovegrove, Martin & Nelson, 1991). Anatomiset tutkimukset ovat osoittaneet dyslektikkojen LGN:n magno-kerrostumien olevan normaalia pienempiä ja vähemmän järjestyneitä; parvo-kerrostumissa ei sitä vastoin ollut eroja dyslektikkojen ja kontrollihenkilöiden välillä (Livingstone ym., 1991).

Visuaalisen magnosellulaarijärjestelmän toimintaa on myös tutkittu kykyä havaita koherenttia eli yhdenmukaista liikettä. Tätä on tutkittu tietokonepohjaisin testein, joissa näyttöruudulla liikkuvista pisteistä muodostetusta ärsykkeestä on havaittava yhdenmukaisen liikkeen olemassaolo tai suunta (Vesterinen, 2000). Osa pisteistä liikkuu keskenään yhdenmukaisesti ja loput toisistaan riippumattomasti. Yhdenmukaisesti liikkuvien pisteiden määrää vähennetään testin aikana, jolloin koherentin liikkeen havaitsemiskynnykseksi saadaan se vähimmäismäärä (%), jonka koehenkilö tarvitsee yhdenmukaisen liikkeen havaitakseen. Dyslektikkojen on todettu menestyvän koherentin liikkeen havaitsemisen testeissä kontrollihenkilöitä heikommin, eli heidän havaitsemiskynnyksensä on korkeampi (Hansen ym., 2001; Talcott ym., 1998;

Talcott, Hansen, Assoku & Stein, 2000b). Staattisissa spatiaalisissa testeissä sen sijaan ei ole havaittu dyslektikkojen menestyvän kontrollihenkilöitä heikommin (Hansen ym., 2001; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi). Samankaltainen dissosiaatio liikkuvan ja staattisen ärsykkeen havaitsemisen suhteen on havaittu myös fMRI-menetelmällä (Eden ym., 1996). Koherentin liikkeen havaitsemisen on todettu selittävän yksittäisten sanojen ortografista lukutaitoa 10-vuotiailla lapsilla (Talcott ym., 2000a) ja ennustavan tarkkaa kirjaimen sijainnin koodausta (Cornelissen ym., 1998b). Koherentin liikkeen havaitsemisen ja ortografisen koodauksen yhteys ei ole tarkkaan tunnettu, mutta on esitetty, että se voisi toimia joko suoraan tai epäsuoraan, esim. visuaalisen tarkkaavuuden kautta (Cornelissen ym., 1998b; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi). Dyslektikot, joilla ilmeni koherentin liikkeen havaitsemisen vaikeutta, reagoivat hitaammin sarjallisen visuaalisen haun tehtävässä, mikä saattaa kertoa visuaalisen tarkkaavuuden mekanismien ongelmista (Iles ym., 2000). Cornelissenin ym. (1998a) mukaan koherentin liikkeen havaitseminen ja fonologinen tietoisuus selittivät itsenäisinä tekijöinä yksittäisten sanojen lukutaitoa. Koherentin liikkeen havaitsemisen on todettu kuitenkin olevan yhteydessä myös epäsanon lukemiseen (fonologisia taitoja mittaava tehtävä) sekä dyslektikoilla että kontrollihenkilöillä (Talcott ym., 1998; Talcott ym., 2000a), mikä voisi kertoa eri ongelmien taustalla olevasta yhteisestä tekijästä.

Vaikkei auditiivisessa järjestelmässä ole yhtä selkeästi tunnistettavaa magnosolujen alasyteemiä kuin visuaalisessa prosessoinnissa (ks. myös Menell, McAnally & Stein, 1999), vallitsee siinä todennäköisesti samankaltainen työnjako kuin on kuvattu olevan visuaalisessa prosessoinnissa; visuaalista liikettä vastaa akustisten taajuuden ja voimakkuuden muutosten analyysi, jonka prosessoinnissa suurikokoiset hermosolut ovat erityisen tärkeitä (Stein & Walsh, 1997; Talcott ym., 2000a; Witton ym., 1998). Äänteiden erottelu sisältää nopeaa auditiivista "liikettä" ja vaatii täsmällistä taajuusanalyysia (Stein & Walsh, 1997; Talcott ym., 2000a; Witton ym., 1998). On esitetty (Mody, Studdert-Kennedy & Brady, 1997; Studdert-Kennedy & Mody, 1995), että puheen ja ei-kielellisten ärsykkeiden havaitsemisen prosessit olisivat toisistaan erillisiä dyslektikkojen osoittaessa vaikeuksia nimenomaan kielellisessä havaitsemisessa yleisen auditiivisen sijaan. Dyslektisten samoin kuin dysfaattisten lasten on kuitenkin todettu kokevan vaikeuksia myös ei-kielellisten auditiivisten ärsykkeiden erottamisessa, jos ne esitetään nopeasti (Tallal, 1980). Tallal ehdottaakin, että heikot fonologisen

prosessoinnin taidot voivat olla seurausta puutteellisesta nopeasti esitettyjen tai nopeasti muuttuvien akustisten ärsykkeiden prosessoinnista. Myös Galaburda, Menard ja Rosen (1994) esittävät, että dyslektikkojen fonologiset vaikeudet johtuisivat auditiivisen järjestelmän nopeita ajallisia muutoksia käsittelevän alasysteemin epänormaalista kehityksestä. Dyslektikko-aikuisilla on todettu vaikeuksia nopeiden äänijaksojen prosessoinnissa ja hitautta tietoisessa kuulohavainnossa, mikä saattaa vaikuttaa kuullun ymmärtämiseen (Hari & Kiesilä, 1996) sekä äänteiden havaitsemiseen ja äännetietoisuuden kehittymiseen ja sitä kautta lukemiseen (Helenius, Uutela & Hari, 1999). McAnallyn ja Steinin tutkimuksessa (1996) dyslektikot menestyivät kontrollihenkilöitä heikommin ei-kielellisten akustisten ärsykkeiden hienorakenteen havaitsemisessa, ja herätevasteet jäivät heillä näissä tehtävissä pienemmiksi kuin kontrollihenkilöillä.

Taajuusmuuntelun (*frequency modulation*, FM) sekä voimakkuusmuuntelun (*amplitude modulation*, AM) havaitsemista on tutkittu testein, joissa annetuista äänipareista on erotettava puhdas ja muunneltu ääni. Muuntelun aste ilmoitetaan hertsilukuna, josta ilmenee muunteluiden lukumäärä sekuntia kohden. Muuntelun syvyyttä eli vaihteluväliä kavennetaan testin aikana, kunnes saadaan arvio erottelukynnyksestä (Hz), jonka henkilö tarvitsee erottaakseen muunnellun äänen puhtaasta. Taajuusmuuntelun erottelukynnyksen yhteys fonologisiin taitoihin ja epäsanojen lukemiseen on todettu hitailla (2 ja 40 Hz) taajuusmuuntelun asteilla (Talcott ym., 1999; Talcott ym., 2000a; Witton ym., 1998). Dyslektikkojen erottelukynnys hitailla taajuusmuuntelun asteilla on todettu keskimäärin korkeammaksi kuin kontrollihenkilöillä (Witton ym., 1998). Ei-valikoiduilla lapsilla 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky osoittautui suurimmaksi yksittäiseksi ennustajaksi - ohi fonologisten ja ortografisten taitojen - luku- ja kirjoitustaidolle (Talcott ym., 2000a). Nopealla 240 Hz muunteluasteella ei vastaavaa yhteyttä ole löytynyt (Talcott ym., 1999; Talcott ym., 2000a; Witton ym., 1998). Mahdollisesti hitaat muunteluasteet prosessoidaan kortikaalisella tasolla ja ärsykkeen temporaaliset piirteet vaikuttavat sen havaitsemiseen, kun taas nopeat muunteluasteet prosessoidaan alemmilla tasoilla ärsykkeen spektraalisten piirteiden vaikuttaessa (Talcott ym., 1999; Talcott ym., 2000a; Witton ym., 1998). On myös esitetty, että hitaista muunteluasteista 2 Hz liittyisi enemmän tavujen prosessointiin ja 30-40 Hz muunteluasteet äänteiden prosessointiin (Talcott ym., 1999). Hitaiden

muunteluasteiden erottelukyvyn on esitetty vaikuttavan luku- ja kirjoitustaitoon puheäänteiden erottelemisen ja edelleen fonologisten representaatioiden kehittymisen kautta (Talcott ym., 1999). Myös voimakkuusmuuntelun havaitsemisen suhteen dyslektikkojen ja kontrollihenkilöiden on todettu eroavan useilla eri muunteluasteilla, ja voimakkuusmuuntelun havaitsemisen on todettu korreloivan sanojen ja epäsanojen lukemisen kanssa (Menell ym., 1999). Myös fysiologinen vaste voimakkuusmuunneltuun ärsykkeeseen jäi dyslektikoilla pienemmäksi kuin kontrollihenkilöillä (McAnally & Stein, 1997; Menell ym., 1999). On mahdollista, että taajuusmuuntelun tavoin myös heikompi voimakkuusmuuntelun erottelukyky voi vaikeuttaa dyslektikkojen puheen havaitsemista ja fonologisen tietoisuuden kehittymistä (McAnally & Stein, 1997; Menell ym., 1999). On myös mahdollista, että auditivisen prosessoinnin puutteet dyslektikoilla vaikuttavat auditivisen tarkkaavuuden mekanismeihin samoin kuin on todennäköistä visuaalisessa järjestelmässä (Stein & Walsh, 1997).

Dynaamisen visuaalisen ja auditivisen herkkyyden siis esitetään liittyvän keskeisesti hienorakenteisen ortografisen ja fonologisen prosessoinnin kehittymiseen ja sitä kautta lukemiseen (Talcott ym., 2000a). Toisaalta liikkuvan visuaalisen ja auditivisen ärsykkeen erottelukyvyn on havaittu olevan suoraan yhteydessä lukutaitoon. On ehdotettu dyslektikoilla olevan lievä, mutta johdonmukainen ja merkitsevä magnosellulaarisen prosessoinnin häiriö (Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997; Stein ym., 2000). Toisaalta on todettu, että näin yksinkertaisen teorian sovittaminen dysleksian huomattavaan heterogeenisyyteen voi olla hankalaa; osaa datasta voisi tulkita toisinkin (Cornelissen ym., 1995). Kaikki tutkimukset eivät myöskään ole onnistuneet saamaan em. kaltaisia tuloksia, mutta magnojärjestelmän toiminnan havainnointiin on tällöin saatettu käyttää vääränlaisia menetelmiä. Yksilöt eivät välttämättä myöskään ole heikompia kaikissa magnojärjestelmän toimintaa edellyttävissä tehtävissä vaan osassa niitä, kaikilla dyslektikoilla ei voi olettaa olevan puutteita magnojärjestelmän toiminnassa; lisäksi dysleksian eri alaryhmillä voi olla erilaisia vaikeuksia (Stein & Walsh, 1997; Stein ym., 2000). Visuaalisten, auditivisten ja motoristen vaikeuksien osuukien vaihtelevuus eri yksilöillä kertoo Steinin ja Talcottin (1999) mukaan vaurion epäyhtenäisyydestä ja yksilöllisyydestä. Toisaalta joissakin tutkimuksissa havaitut visuaalisten ja auditivisten testien yli 0.5 korrelaatiot puhuvat yhteisen nimittäjän puolesta (Stein & Talcott, 1999).

On esitetty, että visuaalisen ja auditiivisen järjestelmän puutteellisen toiminnan taustalla dyslektikoilla voisi olla vaurio, joka vaikuttaisi kaikkeen ajalliseen prosessointiin kaikissa sensorisissa, sensorimotorisessa ja motorisessa systeemissä (Eden ym., 1996; Stein & Walsh, 1997). Edenin ym. (1996) mukaan tämä vaurio voisi ilmetä fonologisen tietoisuuden, nopean nimeämisen, nopean visuaalisen prosessoinnin tai liikkeen havaitsemisen häiriöinä. Dyslektikoilla on tyypillisesti myös motorisia vaikeuksia (Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997). Nämä voisivat Steinin ja Walshin mukaan selittyä sillä, että M-järjestelmä kulkee myös motoriikassa tärkeisiin pikkuaivoihin, joten mahdollinen vaurio ulottuisi myös sinne. M-vaurion mahdolliseksi syiksi Stein ja Walsh ovat esittäneet varhaisen kehityksen häiriötä tai perinnöllistä mekanismia, esim. geneettistä yhteyttä ihmisen leukosyyttiantigeenialueeseen (*human leukocyte antigen*, HLA) kuudennessa kromosomissa. Dysleksiassa ilmenevät lukemisen ja kirjoittamisen vaikeudet olisivat täten vain osa yleisempää kehitysneurologista poikkeavuutta (Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997).

Suurin osa neuropsykologisesta dysleksia-tutkimuksesta perustuu englanninkielisillä tehtyihin tutkimuksiin. Useat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että lukutaidon kehittyminen ja lukemiongelmien ominaispiirteet ovat enemmän yhteydessä kielikontekstiin kuin aiemmin on ajateltu (Lyytinen ym., valmisteilla; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi). Suomen kieli poikkeaa englannista siten, että siinä on lähes täydellinen kirjainmerkki-äänne –vastaavuus; lisäksi sanat ovat pitkiä, mikä kuormittaa työmuistia (Aro, 2001; Lyytinen ym.). On esitetty (Talcott ym.), että fonologisen tietoisuuden puutteet saattavat olla lukivaikeuksien kannalta vähemmän merkittäviä ortografialtaan säännömukaisemmissa kielissä, ja että näissä kielissä lukemisen ongelmat liittyisivät useammin sujuvuuteen. Talcottin ym. mukaan on tärkeää tutkia monen kielen lukivaikeuksien etiologiaa, jotta nähtäisiin yhteisten tekijöiden vaikutus verrattuna niihin, jotka ovat tyypillisiä tietyille ortografialle. Norjalaisilla lapsilla tehty tutkimus osoitti, että huonot lukijat menestyivät merkitsevästi hyviä lukijoita heikommin 2 Hz taajuusmuuntelun ja koherentin liikkeen erottelussa - tulokset olivat siis samansuuntaiset kuin englanninkielisillä (Talcott ym.).

Tässä tutkimuksessa halutaan selvittää, ovatko magnosellulaarisesti säädellyt prosessit yhteydessä lukutaitoon suomenkielisillä lapsilla, kuten aiemmin on havaittu olevan englannin- ja norjankielisillä. Tutkimus jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäinen

eli Pohjanlammen osuus on jatkoa Vesterisen (2000) pro gradu -työlle, jossa selvitettiin dynaamisen visuaalisen ja auditiivisen prosessoinnin yhteyttä yksittäisten sanojen lukutaitoon 9- ja 10-vuotiaiden koululaisten keskuudessa. Vesterisen tutkimuksessa 40 Hz taajuusmuuntelun erottelukynnys oli yhteydessä lukutaitoon ja erotteli parhaimpia ja heikoimpia lukijoita toisistaan 10-vuotiaiden ryhmässä. Muiden dynaamisten aistiärsykkeiden (koherentti liike ja 2 Hz taajuusmuuntelu) havaitsemiskyvyn ja lukutaidon välillä ei havaittu yhteyttä. Koherentin liikkeen testi tehtiin olosuhteissa, joissa valaistus ja katseluetäisyys eivät olleet kontrolloituja; ulkvalo pääsi tutkimustilaan. Tässä tutkimuksessa Vesterisen otoksesta on valikoitu pienempi otos, ja halutaan selvittää, onko koherentin liikkeen havaitsemiskyky yhteydessä lukutaitoon, kun valaistus ja katseluetäisyys ovat kontrolloituja. Koherentin liikkeen havaitsemiskyvyn yhteyttä etenkin ortografiseen prosessointiin selvitetään. Tutkitaan myös, ovatko 2 Hz taajuusmuuntelun ja 20 Hz voimakkuusmuuntelun havaitsemiskyky yhteydessä lukutaitoon. Selvitetään, eroavatko heikot ja hyvät lukijat toisistaan näissä magnojärjestelmän toimintaa mittaavissa testeissä. Vanhoja ja uusia testituloksia verrataan.

Tutkimuksen toisessa osuudessa tutkitaan 1-luokkalaisia perinnöllisen dysleksiariskin omaavia lapsia ja samanikäisiä kontrollihenkilöitä. Aikaisemmat tutkimusraportit ovat perustuneet huonoiksi lukijoiksi tai dyslektikoiksi todettujen vertailuun. Tässä osuudessa selvitetään, osoittavatko 7-vuotiaat lukemisen varhaisessa vaiheessa olevat perinnöllisen dysleksiariskin omaavat lapset puutteellista magnosellulaarisen prosessoinnin toimintaa eli eroavatko he kontrollilapsista 2 Hz taajuus- ja 20 Hz voimakkuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen. Lisäksi tutkitaan, ovatko em. erottelukyvyt yhteydessä fonologiseen prosessointiin (tässä tutkimuksessa tehtäviin, jotka eivät vaadi lukutaitoa). Yhteyttä tutkitaan myös yksittäisten sanojen lukutaitoon sekä lukemisen sujuvuuteen, jota mitataan lukunopeudella. Mahdollista yhteyttä nopeaan nimeämiseen selvitetään yksittäisten kirjainten nimeämisnopeudella.

2. MENETELMÄT/POHJANLAMPI

2.1. Koehenkilöt

Tutkimuksen ensimmäisen osan koehenkilöt valittiin Vesterisen (2000) pro gradu -aineiston pohjalta Pohjanlammen ala-asteen 4- ja 5-luokkalaisista. Koeryhmä valittiin siten, että neljän Vesterisen käyttämän lukutaitotestin (ks. tämän luvun kohta "lukutaito ja ei-kielellinen päättely") normitettujen z-arvojen keskiarvosta muodostettiin lukutaitoa kuvaava summamuuttuja, jonka perusteella otoksesta poimittiin 14 heikointa lukijaa (lukutaito välillä $-0.80 < z < -2.40$). Ei-kielellistä päättelykykyä osoittava Raven-testipistemäärä oli vähintään keskitasoinen. Kontrollihenkilöt ($n = 14$) valittiin Raven-pistemäärän perusteella vastaamaan koeryhmää; lukutaito-summamuuttujan tuli heidän kohdallaan olla vähintään keskitasoinen (se oli ryhmässä välillä $0.35 < z < 1.98$). Kirjallinen lupa tutkimukseen osallistumisesta saatiin yhteensä 21 lapsen vanhemmalta, joista 9 oli koe- ja 12 kontrolliryhmässä (taulukko 1). Koe- ja kontrolliryhmän lukutaidon, Raven-pistemäärän sekä iän keskiarvot ja -hajonnat on esitetty taulukossa 2. Koe- ja kontrollihenkilöt jakautuivat tasaisesti eri rinnakkaisluokkien kesken. Tutkimukset suoritettiin helmikuussa 2001. Koherentin liikkeen sekä taajuus- ja voimakkuusmuuntehun testeihin meni ohjeineen yhteensä alle puoli tuntia.

TAULUKKO 1. Koe- ja kontrolliryhmän jakautuminen luokkatasoinen sekä sukupuoliryhmittäin.

| | Koeryhmä | | Kontrolliryhmä | | Yhteensä |
|----------|----------|-------|----------------|-------|----------|
| | Tytöt | Pojat | Tytöt | Pojat | |
| 4. lk | 2 | 1 | 3 | - | 6 |
| 5. lk | 4 | 2 | 3 | 6 | 15 |
| Yhteensä | 6 | 3 | 6 | 6 | 21 |

2.2. Koherentin liikkeen havaitsemiskyvyn mittaus

Mittauksessa käytettiin Motion Detection (double panel) Program -ohjelmaa (v. 1.60, 22/2/96, Peter Hansen). Tietokoneen näyttöruudulla (27cm x 19cm) esitettiin mustalla taustalla kaksi 8,5cm x 13 cm paneelia, joissa kummassakin liikkui 150 valkoista pistettä. Toisessa paneelissa kaikki pisteet liikkuivat toisistaan riippumattomasti ja toisessa osa pisteistä liikkui keskenään yhdensuuntaisesti eli koherentisti. Koherentti liike oli aina horisontaalista. Yhtä paneeliparia näytettiin ruudulla aina 1162 ms ajan. Yhden pisteen esitysaika oli 116 ms. Koehenkilöt nojasivat leukatukeen, jonka etäisyys näyttöruudusta oli vakioitu 50 cm etäisyydelle. Koehenkilön tehtävänä oli sormella osoittaa sitä paneelia, jossa pisteet liikkuivat koherentisti. Tutkija painoi vastaavia näppäimiä näppäimistöllä. Koherentin liikkeen erottelukyky määritettiin saman proseduurin kautta kuin Vesterisen pro gradussa (2000). Erottelukynnyksellä tarkoitetaan sitä yhdenmukaisesti liikkuvien pisteiden prosentuaalista osuutta, jonka koehenkilö tarvitsee erottaakseen koherentin liikkeen olemassaolon. Myös tässä tutkimuksessa testi käytiin läpi kaksi kertaa kunkin koehenkilön kohdalla ja tulokseksi otettiin näiden kahden mittauskerran keskiarvo.

Koherentin liikkeen testit on usein tehty pimennetyssä huoneessa, jossa ainoa valonlähde on tietokoneen näyttöruutu (Talcott ym., 2000a; Talcott ym., 2000b; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi; Witton ym., 1998). Cornelissen ym. (1995; 1998a; 1998b) ovat saaneet vastaavia tuloksia myös loisteputkien valossa eli huoneen valaistuksen ollessa n. 700 lx – lukemisen kannalta normaalissa valaistuksessa. Eroavuuksia testikäytännöissä on myös siinä, onko näyttöruudun keskelle paneelien väliin sijoitettu fiksaatoristi, johon koehenkilöitä on pyydetty kohdistamaan katseensa (Talcott ym., 2000b; Witton ym., 1998), vai onko koehenkilöitä pyydetty katsomaan erikseen kumpaakin paneelia ilman fiksaatoristin sijoittamista testiin (Cornelissen ym., 1998a, 1998b; Talcott ym., 2000a; Talcott ym., lähetetty julkaistavaksi). Tässä tutkimuksessa käytettiin fiksaatoristia, jonka avulla koherentin liikkeen havaitsemisen ajateltiin prosessoituvan enemmän perifeerisessä näkökentässä, jossa magnosoluja on enemmän. Mittaushuone oli pimennetty niin että ainoa valo tuli tietokoneen näytöltä (valon määrä 1 Lx).

2.3. Auditiivisen muuntelun erottelukyvyn mittaus

Auditiivisen muuntelun erottelukyvyn mittaus suoritettiin tietokoneella käyttäen Auditory Modulation Detection -ohjelmaa. Koehenkilöille esitettiin kuulokkeiden (Sennheiser HD 45011) kautta 65 dB voimakkuudella äänipareja, joista toinen oli puhdas 500 Hz ja toinen muunneltu ääni. Kuvaruudulla äänipareja esittivät papukaijat, ja koehenkilöiden tuli osoittaa sitä papukaijaa, joka esitti muunnellun äänen. Tehtävää harjoiteltiin 5 ääniparin verran. Taajuusmuuntelun ja voimakkuusmuuntelun erottelukyvut mitattiin erikseen, järjestyksessä taajuusmuuntelu edelsi voimakkuusmuuntelua. Erottelukyky tarkoittaa sitä muuntelun syvyyttä eli vaihteluväliä (Hz), jonka koehenkilö tarvitsee erottaakseen muunnellun äänen puhtaasta. Taajuusmuuntelu koetaan ”aaltoilevana” äänenä ja voimakkuusmuuntelu ”pirisevänä”. Erottelukynnyksen arvioimiseksi käytettiin Kaernbachin porrastusta, jossa jokainen väärä vastaus lisää muuntelun syvyyttä 3 dB ja oikea pienentää 1 dB verran. Erottelukynnyksen estimaatti saatiin kunkin koehenkilön kohdalla 8 suunnanmuutoksen kyseisellä porrastusasteikolla jälkeen (vain 6 viimeistä otettiin laskuihin). Tämä ohjelma erosi siis Vesterisen käytössä olleesta, jossa jokaiselle koehenkilölle esitettiin vakioidusti 60 ääniparia. Taajuusmuuntelussa muunteluaste oli 2 Hz ja aloitussyvyys 6 Hz, voimakkuusmuuntelussa muunteluaste oli 20 Hz ja aloitussyvyys 0,2 Hz. *Catch trials* –ääniparit kontrolloivat sitä, miten hyvin lapsi keskittyi tehtävään. Ne ovat äänipareja, joissa muuntelun syvyys vastaa aloitussyvyyttä, ja ilmaantuivat n. viiden ääniparin välein. Tässä tutkimuksessa niiden tarkoituksena oli antaa informaatiota keskittymisestä mahdollisten poikkeavien havaintoarvojen kohdalla.

2.4. Lukutaito ja ei-kielellinen suoritustaso

Koska lukutaitotestien uusimiseen ei ollut mahdollisuutta, käytettiin paitsi ryhmäjaossa myös korrelaatiotarkastelussa Vesterisen (2000) aineiston neljää lukutaitomuuttujaa. Näihin kuului kolme kynä-paperi –tehtävää Nevalan (1999) Sanaketjutestistöstä: Etsi hölyn pölyt (epäsanat), Erotta sanat toisistaan ja Etsi kirjoitusvirheet. Neljäs oli yksittäisten sanojen lukunopeuden arvioimiseen käytetty Ortotesti-tietokoneohjelma. Näiden testien katsotaan mittaavan ennen kaikkea sanan tunnistamisen kykyä ja

yksittäisten sanojen lukutaitoa (Vesterinen). Kaikki testit ovat myös aikarajoitteisia. Ortotestissä oli näytetty yksittäisiä sanoja lyhentäen näyttöaikaa 200 ms:sta alaspäin, jolloin 9-vuotiaiden keskiarvoksi riittävään sanantunnistukseen oli saatu 84,8 ms ja 10-vuotiaiden 54,5 ms (Vesterinen). Olsonin ym. (1994) mukaan alle 100 ms esitysaika mittaa parhaiten ortografista koodausta, vaikkakin pelkän ortografisen koodauksen mittaaminen on vaikeaa: myös fonologinen prosessointi voi tapahtua hyvin nopeasti. Olsonin mukaan ikonimuisti voi myös "pitkittää" ärsykkeen esitysaikaa, mikä Vesterisen tutkimuksessa kuitenkin oli estetty ärsykkeen maskaamisella. Tässä tutkimuksessa näistä neljästä testistä Ortotestin ajateltiin siis kuvaavan parhaiten ortografista prosessointia, kun taas kolmessa kynä-paperi –testissä fonologiselle prosessoinnille jää suurempi osuus.

Ei-kielellinen suoritustaso Vesterisen pro gradussa oli arvioitu Ravenin *The Coloured Progressive Matrices* –testinä (Raven, 1956), joka oli suoritettu ryhmätestinä.

3. TULOKSET/POHJANLAMPI

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, eroaako heikkojen lukijoiden ryhmä kontrollilukijoiden ryhmästä koherentin liikkeen ja auditiviisen muuntelun erottelun suhteen, ja onko näillä erottelukyvyyillä yhteyttä lukutaitoon. Ennen tulosten tarkastelua aineistosta poistettiin poikkeavat havainnot, jotka lukutaitomuuttujien osalta olivat samat kuin Vesterisen pro gradu -työssä (poikkesivat yli 3 hajontayksikön verran otoksen keskiarvosta). Myös yksi poikkeava havaintoarvo taajuusmuuntelun osalta poistettiin, mitä tuki suurehko virheprosentti *catch trials* -äänipareissa. Tilastoanalyysit suoritettiin SPSS 8.0 for Windows -tietokoneohjelmalla.

Ryhmäeroja tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testeillä. Tarkasteluun otettiin mukaan myös koe- ja kontrolliryhmään valikoituneiden henkilöiden vuoden 2000 testitulokset (Vesterinen), jotka on merkitty tällä vuosiluvulla. Ryhmien keskiarvoerot on esitetty taulukossa 2. Heikot lukijat erosivat kontrolliryhmästä 40 Hz taajuusmuuntelun (vuodelta 2000) suhteen ($p = 0.026$) ja suuntaa-antavasti 2 Hz taajuusmuuntelun uuden mittauksen suhteen ($p = 0.072$). Muiden magno-muuttujien suhteen ryhmät eivät eronneet toisistaan.

Magno-muuttujien yhteyttä lukutaitoon tutkittiin myös korrelaatioiden avulla. Cornelissenin ym. (1998a) mukaan korrelaatiotarkastelut ovat mielekkäämpiä kuin ryhmien väliset keskiarvovertailut magno-testien ja lukutaidon välistä yhteyttä selvittäessä, sillä vaikka ryhmät usein eroavatkin toisistaan merkitsevästi, menevät niiden hajonnat huomattavasti päällekkäin; magnosellulaarisesti säädellyt prosessit ilmenevät siis jatkumona. Myös tämän tutkimuksen ryhmissä hajonnat menivät osin päällekkäin. Kumpikin ryhmä yhdistettynä kaikkien muuttujien jakaumat noudattivat myöskin normaalijakaumaa Kolmogorov-Smirnov -testin mukaan. Magno- ja lukutaitomuuttujien väliset korrelaatiot on esitetty taulukossa 3. Taulukkoon on otettu myös koehenkilöiden vuoden 2000 testitulokset (Vesterinen), jotka on merkitty tällä vuosiluvulla.

TAULUKKO 2. Voimakkuusmuuntelun (AM), taajuusmuuntelun (FM) ja koherentin liikkeen erottelukynnysten sekä lukutaidon, Ravenin ja iän ryhmäerot heikoilla lukijoilla (koeryhmä) ja kontrolliryhmällä. Vuoden 2000 tulokset (Vesterinen; merkitty vuosiluvulla) ovat mukana vertailussa.

| | Koeryhmä | | Kontrolliryhmä | | df | t | p |
|-------------------------|----------|-------|----------------|-------|----|---------|-------|
| | M | SD | M | SD | | | |
| 20 Hz AM | 0.050 | 0.011 | 0.045 | 0.012 | 19 | 1.024 | 0.319 |
| 2 Hz FM | 2.66 | 1.22 | 1.85 | 0.62 | 18 | 1.914 | 0.072 |
| Koherentti liike | 21.93 | 10.06 | 19.78 | 6.89 | 19 | 0.583 | 0.567 |
| Koherentti liike (2000) | 20.23 | 8.28 | 20.04 | 6.67 | 19 | 0.058 | 0.954 |
| 2 Hz FM (2000) | 3.31 | 1.56 | 3.15 | 0.97 | 19 | 0.289 | 0.775 |
| 40 Hz FM (2000) | 3.23 | 0.92 | 2.34 | 0.76 | 19 | 2.414 | 0.026 |
| Lukutaito (2000) | -1.32 | 0.48 | 0.83 | 0.45 | 19 | -10.560 | 0.000 |
| Raven (2000) | 31.33 | 3.16 | 31.42 | 2.61 | 19 | -0.066 | 0.948 |
| Ikä (kk) | 135.6 | 6.9 | 135.5 | 6.7 | 19 | 0.018 | 0.893 |

Voimakkaimmin magno-muuttujista lukutaitoon oli yhteydessä 40 Hz taajuusmuuntelu (vuodelta 2000) ($r = -0.462$, $p < 0.05$). Se korreloi merkitsevästi tai melkein merkitsevästi kaikkien kolmen kynä-paperi –lukutaitotestin kanssa sekä lievästi muttei merkitsevästi Ortotestin kanssa (ks. taulukko 3). 2 Hz taajuusmuuntelun uusi mittaus korreloi myös lukutaidon kanssa ($r = -0.432$, $p < 0.05$); osatehtävien kanssa se korreloi merkitsevästi tai melkein merkitsevästi Erotta sanat toisistaan –tehtävää lukuunottamatta. 20 Hz voimakkuusmuuntelu oli ei-merkitsevästi ($r = -0.337$) yhteydessä Etsi kirjoitusvirheet –tehtävään sekä melkein merkitsevästi ($r = -0.385$, $p < 0.05$) Raveniin. Koherentin liikkeen havaitsemisen uusi mittaus korreloi ei-merkitsevästi ($r = -0.372$) Ortotestin kanssa, mutta vanhalla koherentin liikkeen havaitsemisen mittauksella ja Ortotestillä ei korrelaatiota ilmennyt.

Koherentin liikkeen vanha ja uusi mittaus korreloivat merkitsevästi keskenään ($r = 0.582$, $p < 0.01$) samoin kuin 2 Hz taajuusmuuntelun vanha ja uusi mittaus ($r = 0.546$, $p < 0.01$). Merkitsevästi yhteydessä olivat myös 20 Hz voimakkuusmuuntelu ja 40 Hz taajuusmuuntelu ($r = 0.510$, $p < 0.01$). 20 Hz voimakkuusmuuntelu ja 40 Hz taajuusmuuntelu korreloivat lievemmin 2 Hz taajuusmuuntelun vanhan ja uuden

mittauksen kanssa (ks. taulukko 3). 40 Hz taajuusmuuntelu korreloi myös lievästi muttei merkitsevästi koherentin liikkeen vanhan sekä uuden mittauksen kanssa.

TAULUKKO 3. Magno- ja lukutaitomuuttujien väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet. Vuosiluvulla 2000 merkityt muuttujat ovat Vesterisen (2000) pro gradu -aineistosta. Ortotesti-muuttujan arvot on muutettu muiden lukutaitomuuttujien kanssa samansuuntaiseksi. Lukutaito = neljästä lukutaitomuuttujasta (Eisi hölyn põlyt, Erota sanat toisistaan, Eisi kirjoitusvirheet, Ortotesti) muodostettu keskiarvo.
* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ (1-suuntainen merkitsevyystaso).

| | 20 Hz AM | 2 Hz FM | Koherentti liike | 40 Hz FM (2000) | 2 Hz FM (2000) | 2 Hz FM (2000) | Koherentti liike (2000) | Eisi hölyn põlyt (2000) | Erota sanat toisistaan (2000) | Eisi kirjoitus- virheet (2000) | Ortotesti (2000) | Lukutaito (2000) | Raven (2000) |
|-------------------------------------|-------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|---------------------|---------------------|-----------------|
| 20 Hz AM | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Hz FM | 0.213 | | | | | | | | | | | | |
| Koherentti liike | -0.038 | 0.247 | | | | | | | | | | | |
| 40 Hz FM (2000) | 0.510** | 0.414* | 0.348 | | | | | | | | | | |
| 2 Hz FM (2000) | 0.426* | 0.546** | -0.080 | 0.356 | | | | | | | | | |
| Koherentti liike (2000) | -0.012 | 0.115 | 0.582** | 0.318 | -0.050 | | | | | | | | |
| Eisi hölyn põlyt (2000) | -0.272 | -0.466* | -0.063 | -0.504** | -0.266 | 0.091 | | | | | | | |
| Erota sanat toisistaan (2000) | -0.066 | -0.203 | -0.204 | -0.406* | -0.178 | -0.006 | 0.454* | | | | | | |
| Eisi kirjoitus- virheet (2000) | -0.337 | -0.570** | -0.115 | -0.632** | -0.239 | -0.227 | 0.648** | 0.383* | | | | | |
| Ortotesti (2000) | -0.089 | -0.408* | -0.372 | -0.313 | -0.329 | 0.144 | 0.629** | 0.657** | 0.302 | | | | |
| Lukutaito (2000) | -0.123 | -0.432* | -0.234 | -0.462* | -0.022 | -0.060 | 0.756** | 0.632** | 0.778** | 0.676** | | | |
| Raven (2000) | -0.385* | -0.071 | -0.110 | -0.386* | -0.256 | -0.247 | 0.397* | 0.214 | 0.075 | 0.290 | 0.031 | | |

4. POHDINTA/POHJANLAMPI

Tässä tutkimuksessa heikot lukijat erosivat kontrollilukijoista suuntaa-antavasti 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn uudessa mittauksessa. Ryhmät erosivat toisistaan myös vuonna 2000 mitatun 40 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen. Muissa magno-muuttujissa ryhmät eivät eronneet toisistaan. Mielenkiintoista on, etteivät ryhmät eronneet toisistaan vuoden 2000 tulosten 2 Hz taajuusmuuntelun havaitsemisessa, mutta uudemmassa testauksessa suuntaa-antava ero on nähtävissä. Uudempi testaus oli myös voimakkaammin yhteydessä lukutaitoon korrelaatiotarkastelussa. Vesterisen mukaan 2 Hz taajuusmuuntelun havaitsemiskyvyn erot eivät olleet merkitsevästi yhteydessä ikään verrattaessa 9- ja 10-vuotiaiden ikäryhmiä keskenään (Vesterinen, 2000). On kuitenkin mahdollista, että jonkinlaista eriytymistä on tapahtunut vuoden aikana. Talcottin ym. (1999) mukaan taajuusmuunteluherkkyys, toisin kuin voimakkuus-, kehittyy ainakin 10 vuoden ikään samanaikaisesti fonologisten taitojen ja lukutaidon kanssa. Tämä tutkimus jäi siltä osin puutteelliseksi, ettei lukutaidon uusintatestaamiseen saatu mahdollisuutta. Näin ollen vastaamatta jää kysymys, miten lukutaidon eri alueet olivat kehittyneet näillä lapsilla yhden vuoden aikana, ja olisiko magno-prosesseista löytynyt tätä kehitystä selittäviä tai tukevia tekijöitä. Myös 40 Hz taajuusmuuntelun uusintatestaaminen olisi ollut mielekästä.

Se, etteivät ryhmät juurikaan eronneet toisistaan muiden magno-muuttujien suhteen, selittyy mahdollisesti osin otoksen pienuudella ja etenkin sillä, ettei otoksessa juuri ollut todella huonoja lukijoita. Huonojen lukijoiden ryhmän lukutaidon normitetun arvon keskiarvo oli -1.32 . Englannissa tehdyissä tutkimuksissa koeryhmä on usein muodostunut henkilöistä, joilla on diagnosoitu dysleksia tai muuten suurempi ero lukutaidon ja yleisen älykkyyden välillä. On myös huomattava, ettei kontrolliryhmä muodostunut yksinomaan parhaista lukijoista, vaikka heitäkin oli otoksessa, vaan valinta suoritettiin Ravenin pistemäärän perusteella niin, että lukutaidon osalta valintakriteerinä oli vähintään keskitasoinen lukeminen (kontrolliryhmän lukutaidon k.a. 0.83). Lukutaidon väliset ryhmäerot eivät siis ehkä olleet riittäviä magno-muuttujien ryhmäerojen aikaansaamiseksi. Tästä huolimatta kuitenkin 40 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky osoittautui erilaiseksi ryhmien kesken. Myös korrelaatiotarkastelussa 40 Hz

taajuusmuuntelu oli vahvimmin yhteydessä lukutaitoon. On esitetty, että 40 Hz taajuusmuuntelun havaitsemiskyky olisi mahdollisesti yhteydessä etenkin äänteiden ja 2 Hz taajuusmuuntelu tavujen prosessointiin (Talcott ym., 1999). Ehkä 40 Hz taajuusmuuntelu vaatii tarkempaa ja hienojakoisempaa prosessointia kuin muut tämän tutkimuksen magno-muuttujat ja erottelee siksi parhaiten.

Koherentin liikkeen havaitsemiskyky ei juuri ollut yhteydessä näihin lukutaitomuuttujiin. Ortotestin kanssa tosin vallitsi lievä korrelaatio. Tämä antaa viitteitä visuaalisen magnosellulaarisen prosessoinnin mahdollisesta yhteydestä ortografiseen prosessointiin. Yhteyttä olisi hyvä tutkia enemmän. Koherentin liikkeen uudella mittauksella oli voimakkaampi korrelaatio Ortotestin kanssa kuin vanhalla. Todennäköisesti vanha mittaus ei antanut kovin luotettavaa tulosta. Vaikka valaistuksen määrällä (pimeä vs. valoisa tutkimustila) ei olisikaan kriittistä roolia magnosellulaarisen aktivaation ja koherentin liikkeen havaitsemisen kannalta, on todennäköisesti tärkeää pitää valaistus ja katseluetäisyys vakioituina. Koherentin liikkeen vanhan ja uuden mittauskerran välillä vallitsi kuitenkin merkitsevä korrelaatio, mikä kertoo ilmiön jonkinasteisesta pysyvyydestä, vaikka valaistusolosuhteet olivatkin erilaiset. Mahdollisesti uudempi testaus antoikin nimenomaan tarkempaa tietoa.

Pysyvyyttä vallitsi myös 2 Hz taajuusmuuntelun molemman mittauskerran välillä. Näillä testeillä ei ollut muuta eroa kuin ulkoasuun ja havaitsemiskyvyn arvioimisen laskutapaan liittyviä. Uusi testi oli laskutavaltaan joustavampi ja kesti lyhyemmän ajan. Muut magno-muuttujat korreloivat keskenään vaihtelevasti. Mielenkiintoista on se, että 20 Hz voimakkuus- ja 40 Hz taajuusmuuntelu olivat voimakkaasti yhteydessä keskenään. 20 Hz voimakkuusmuuntelun on esitetty mahdollisesti olevan yhteydessä etenkin äänteiden prosessointiin (Witton, Stein, Stoodley, Rosner & Talcott, painossa) 40 Hz taajuusmuuntelun tavoin. 20 Hz voimakkuusmuuntelu oli kuitenkin heikommin yhteydessä lukutaitomuuttujiin kuin 40 Hz taajuusmuuntelu. Voimakkuusmuuntelun rooli lukutaidossa vaatii lisää tutkimusta suomenkielisillä. Tätä voisi tutkia eri lukutaitomuuttujilla kuin tässä tutkimuksessa sekä useammilla muunteluasteilla.

5. MENETELMÄT/JLD

5.1. Koehenkilöt

Koehenkilöt (n=54) osallistuvat Jyväskylän dysleksiapitkittäistutkimukseen (*Jyväskylä Longitudinal study of Dyslexia, JLD*), joka seuraa geneettisen dysleksiariskin omaavien lasten sekä kontrolliryhmän kehitystä. Riskiryhmään valituilla lapsilla vähintään toisella vanhemmista on diagnosoitu dysleksia, ja tämän lisäksi yhdellä lähisukulaisella on vaikeuksia lukemisessaan (Lyytinen ym., valmisteilla). Taulukossa 4 on kuvattu koehenkilöiden jakautuminen riski-, kontrolli- ja sukupuoli-ryhmiin.

TAULUKKO 4. Tutkimukseen osallistuneiden lukumäärät sukupuoli- ja riski/kontrolliryhmittäin.

| | Tytöt | Pojat | Yhteensä |
|----------------|-------|-------|----------|
| Riskiryhmä | 18 | 18 | 36 |
| Kontrolliryhmä | 5 | 13 | 18 |
| Yhteensä | 23 | 31 | 54 |

Lapset kävivät tutkimuksen aikana peruskoulun ensimmäistä luokkaa. Taajuus- ja voimakkuusmuuntelun mittaukset suoritettiin tammi-maaliskussa 2001, jolloin lapset olivat keskimäärin 7.5 -vuotiaita, ja lukutaitotestaukset huhti- kesäkuussa 2001 eli ensimmäisen kouluvuoden lopussa.

5.2. Auditivisen muuntelun erottelukyvyn mittaus

Taajuus- ja voimakkuusmuuntelun erottelukyvyn mittaus suoritettiin samoin kuin Pohjanlammen osuudessa lukuunottamatta eri kuulokkeita, Boom Mic Headset For Digital, sekä sitä, että *catch trials* -ääniparit eivät olleet käytössä. Auditivisen muuntelun testit tehtiin pitkähkön lukutaitotestirupeaman lopuksi, minkä vuoksi voi olettaa lasten olleen jonkin verran väsyneitä. Toisaalta he pitivät testistä ja tekivät sitä mielellään. Kahteen muuntelutestiin meni ohjeineen aikaa n. 15 minuuttia.

5.3. Lukutaito ja fonologinen prosessointi

Fonologista prosessointia edusti summamuuttuja, joka yhdistettiin seuraavista Poskiparran, Niemen ja Lepolan (1994) fonologisen tietoisuuden osatehtävistä: äänneiden yhdistäminen, tavun poistaminen sanasta sekä sanan alkuäänteen poisto. Nämä tehtävät eivät vaadi luku- eivätkä kirjoitustaitoa.

Yksittäisten sanojen lukutaidon mittana käytettiin ryhmätestinä suoritettua Allu-sanantunnistustehtävää (tekninen lukutaito, TL2/B) (Lindeman, 1998). Siinä lapsen on neljästä samankaltaisesta sanasta liitettävä kulloiseenkin kuvaan merkitykseltään sopiva. Aikarajoitus on viisi minuuttia, jonka aikana lapsi suorittaa mahdollisimman monta osiota. Tuloksesi otettiin oikeiden vastausten lukumäärä, josta oli vähennetty virheiden lukumäärä.

Nopeassa kirjainten nimeämisessä käytettiin CW (*Cognitive Workshop*) -kirjainten lukemistehtävää, jossa lapsen piti nimetä mahdollisimman nopeasti ja tarkasti yksi kerrallaan esiintulevat kirjaimet. Nopeuden mittana oli vastausten keskiarvo. Tämän muuttujan tulokset käännettiin tilastoanalyysiin vastaamaan muiden lukutaitomuuttujien suuntaa.

Lukunopeuden mittana käytettiin CW –lukemistehtävää Tekstin lukeminen: “Jännittäviä matkoja”. Lapsi luki kolmen minuutin ajan kertomusta ääneen, ja lukunopeudeksi määritettiin sanojen lukumäärä/minuutti.

5.4. Tarkkaavuus ja ei-kielellinen suoritustaso

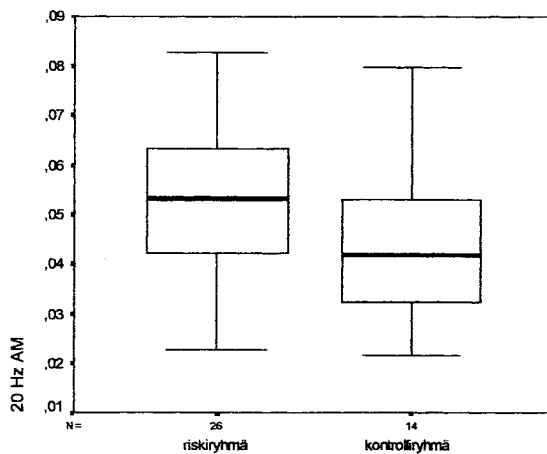
Tarkkaavuuden ylläpito tehtävän aikana ja ei-kielellinen suoritustaso otettiin kovariaateiksi taajuus- ja voimakkuusmuuntelun havaitsemiskyvyn ryhmäerojen tarkastelussa. Tarkkaavuuden mittana käytettiin testaajan arviota lapsen kyvystä olla tarkkaavainen tai keskittynyt koko testaustilanne huomioon ottaen. Arvio sisälsi kolme erillistä kohtaa: lyhytjänteisyys, väsyminen helposti tehtäviin sekä huomion kiinnittäminen herkästi ulkopuolisiin ärsykkeisiin. Näiden kohtien pisteet summattiin, jolloin aina pienempi pistemäärä kuvasi tarkkaavaisempaa käytöstä. Ei-kielellisen suoritustason

mittana käytettiin 5 vuoden iässä tutkittua WPPSI-R –suoritusosa-testitulosta (Wechsler, 1995).

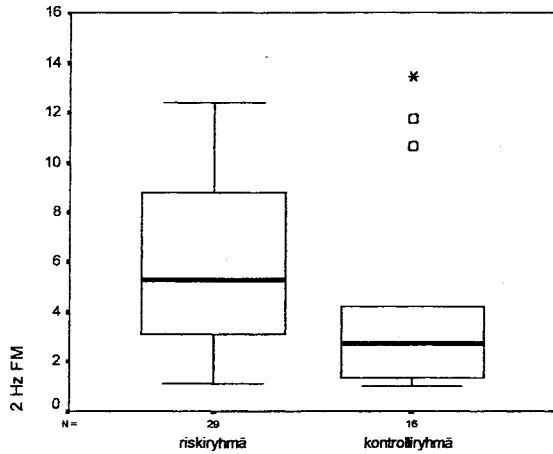
6. TULOKSET/JLD

Tulokset käsiteltiin SPSS 8.0 for Windows –tietokoneohjelmalla. Ennen tulosten käsittelyä aineistosta poistettiin kaksi poikkeavaa havaintoarvoa (yli 3 SD:n poikkeama koko aineiston keskiarvosta). Lisäksi kontrolliryhmästä poistettiin kolmen henkilön tulokset taajuusmuuntelu-osiossa, jotka poikkesivat huomattavasti muusta kontrolliryhmästä (ks. kuvio 2 ja pohdinta). Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja riippumattomien otosten t-testeillä. Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin niiden välisillä korrelaatioilla sekä regressioanalyysillä.

Yksisuuntaisessa varianssianalyysissä kovariaatteina olivat tarkkaavuus (testaajan arvio koko testitilanteen tarkkaavuudesta) sekä ei-kielellinen suoritustaso (WPPSI-R –suoritusosa 5 vuoden iässä). Kumpikaan kovariaatti ei vaikuttanut dysleksiariski- ja kontrolliryhmän välisiin eroihin taajuus- ja voimakkuusmuuntelun havaitsemiskyvyn suhteen (taulukko 5). Ryhmien välisiä eroja tutkittiin myös riippumattomien otosten t-testeillä, joiden tulokset on esitetty taulukossa 6. Kontrolliryhmän 20 Hz voimakkuusmuuntelun erottelukyvyn keskiarvo oli jonkin verran riskiryhmää tarkempi. Ryhmien välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää. Erittäin merkitsevästi ryhmät sen sijaan erosivat 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen ($p = 0.000$). Ryhmien väliset erot on havainnoillistettu myös kuvioissa 1 ja 2.



KUVIO 1. 20 Hz voimakkuusmuuntelun (20 Hz AM) erottelukyvykset (\pm Hz) dysleksiariski- ja kontrolliryhmässä. Vaaka-akseli kuvaa mediaania.



KUVIO 2. 2 Hz taajuusmuuntelun (2 Hz FM) erottelukynnykset (\pm Hz) dysleksiariski- ja kontrolliryhmässä. Vaaka-akseli kuvaa mediaania. Kuviossa näkyy myös kontrolliryhmän kolme poikkeavaa havaintoa, jotka poistettiin tilastanalyseista. Tähti kuvaa yli 2 SD:n ja ympyrä yli 1.5 SD:n poikkeamaa ryhmäkeskiarvosta.

TAULUKKO 5. Tarkkaavuuden ja ei-kielellisen suoritustason osuus 20 Hz voimakkuusmuuntelun (AM) sekä 2 Hz taajuusmuuntelun (FM) havaitsemisen ryhmäeroissa.

| | df | MS | F | p |
|---------------------|----|----------|--------|-------|
| 20 Hz AM | | | | |
| Tarkkaavuus | 1 | 0.000044 | 0.167 | 0.686 |
| WPPSI-R suoritusosa | 1 | 0.000018 | 0.066 | 0.799 |
| Ryhmä | 1 | 0.00042 | 1.571 | 0.219 |
| 2 Hz FM | | | | |
| Tarkkaavuus | 1 | 1.00 | 0.112 | 0.740 |
| WPPSI-R suoritusosa | 1 | 0.017 | 0.002 | 0.965 |
| Ryhmä | 1 | 103.90 | 11.626 | 0.002 |

TAULUKKO 6. 20 Hz voimakkuusmuuntelun (AM) ja 2 Hz taajuusmuuntelun (FM) erottelukynnysten erot dysleksiariski- sekä kontrolliryhmässä.

| | Riskiryhmä | | Kontrolliryhmä | | df | t | p |
|----------|------------|-------|----------------|-------|--------|-------|-------|
| | M | SD | M | SD | | | |
| 20 Hz AM | 0.052 | 0.016 | 0.044 | 0.017 | 38 | 1.546 | 0.130 |
| 2 Hz FM | 6.04 | 3.41 | 2.27 | 1.18 | 38.577 | 5.286 | 0.000 |

Taajuus- ja voimakkuusmuuntelun yhteyttä fonologiseen prosessointiin, nopeaan kirjainten nimeämiseen, yksittäisten sanojen lukutaitoon ja tekstin lukunopeuteen tutkittiin tarkastelemalla muuttujien välisiä korrelaatioita. Muuttujat noudattivat fonologisen prosessoinnin summamuuttujaa lukuunottamatta normaalijakaumaa. Viimemainittua koskevan jakaumaongelman vuoksi laskettiin myös Spearmanin korrelaatiokertoimet, jotka tukivat Pearsonin korrelaatiokertoimia. Tässä raportoidaan Pearsonin korrelaatiokertoimet (taulukko 7). Riski- ja kontrolliryhmille laskettiin korrelaatiokertoimet myös erikseen. Taulukossa 8 on esitetty riskiryhmän korrelaatiokertoimet ja taulukossa 9 kontrolliryhmän.

Taulukko 7. Muuttujien väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet koko aineistossa (N = 45). Kirjainten nimeäminen –muuttujan arvot on käännetty vastaamaan muita lukutaitomuuttujia.

* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$ (1-suuntainen merkitsevyystaso).

| | 20 Hz AM | 2 Hz FM | Fonologinen prosessointi | Kirjainten nimeäminen | ALLU | Tekstin lukeminen |
|--------------------------|----------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|-------------------|
| 20 Hz AM | | | | | | |
| 2 Hz FM | 0.265 | | | | | |
| Fonologinen prosessointi | 0.007 | -0.250 | | | | |
| Kirjainten nimeäminen | 0.267 | -0.193 | 0.154 | | | |
| ALLU | -0.272* | -0.041 | 0.522** | 0.024 | | |
| Tekstin lukeminen | -0.121 | -0.016 | 0.456** | 0.160 | 0.829** | |

Taulukko 8. Muuttujien väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet riskiryhmässä (N = 29).

Kirjainten nimeäminen –muuttujan arvot on käännetty vastaamaan muita lukutaitomuuttujia.

* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$ (1-suuntainen merkitsevyystaso).

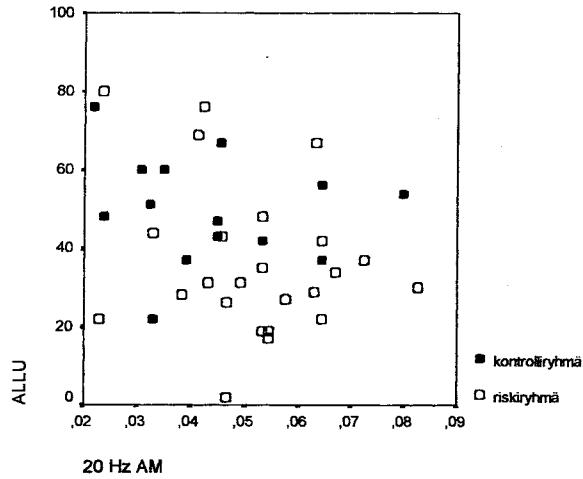
| | 20 Hz AM | 2 Hz FM | Fonologinen prosessointi | Kirjainten nimeäminen | ALLU | Tekstin lukeminen |
|--------------------------|----------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|-------------------|
| 20 Hz AM | | | | | | |
| 2 Hz FM | 0.219 | | | | | |
| Fonologinen prosessointi | 0.197 | -0.105 | | | | |
| Kirjainten nimeäminen | 0.208 | -0.337* | 0.185 | | | |
| ALLU | -0.237 | 0.276 | 0.484** | 0.027 | | |
| Tekstin lukeminen | -0.163 | 0.204 | 0.457** | 0.082 | 0.860** | |

TAULUKKO 9. Muuttujien väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet kontrolliryhmässä (N = 16). Kirjainten nimeäminen –muuttujan arvot on käännetty vastaamaan muita lukutaitomuuttujia. * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$ (1-suuntainen merkitsevyystaso).

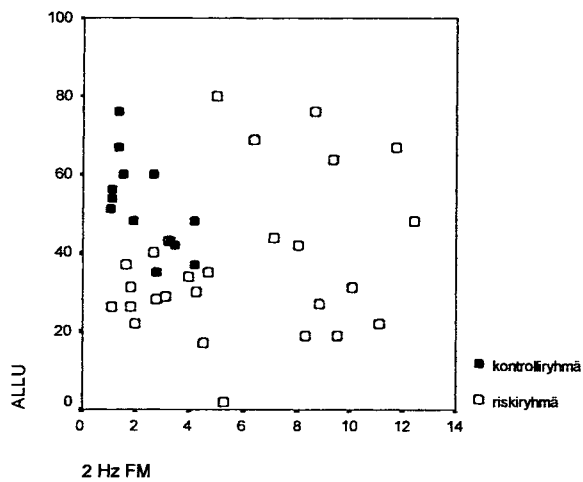
| | 20 Hz AM | 2 Hz FM | Fonologinen prosessointi | Kirjainten nimeäminen | ALLU | Tekstin lukeminen |
|--------------------------|----------|----------|--------------------------|-----------------------|---------|-------------------|
| 20 Hz AM | | | | | | |
| 2 Hz FM | 0.179 | | | | | |
| Fonologinen prosessointi | -0.339 | -0.459 | | | | |
| Kirjainten nimeäminen | 0.378 | 0.335 | 0.242 | | | |
| ALLU | -0.154 | -0.651** | 0.510* | 0.103 | | |
| Tekstin lukeminen | 0.035 | -0.498* | 0.499* | 0.392 | 0.758** | |

Koko aineistossa 20 Hz voimakkuusmuuntelun erottelukyky korreloi Allu-sanantunnistustehtävän kanssa ($r = -0.272$, $p < 0.05$). Muihin lukutaitomuuttujiin tai fonologiseen prosessointiin ei magno-muuttujilla ollut merkitsevää yhteyttä koko aineistoa tarkasteltaessa. Riskiryhmässä 2 Hz taajuusmuuntelun ja kirjainten nimeämisen välillä vallitsi korrelaatio ($r = -0.337$, $p < 0.05$). Kontrolliryhmässä sekä 20 Hz voimakkuusmuuntelu ($r = -0.339$) että 2 Hz taajuusmuuntelu ($r = -0.459$) korreloivat lievästi mutta eivät merkitsevästi fonologisen prosessoinnin kanssa. Kontrolliryhmässä 2 Hz taajuusmuuntelu korreloi myös tekstin lukemisen ($r = -0.498$, $p < 0.05$) ja Allu-sanantunnistustehtävän ($r = -0.651$, $p < 0.01$) kanssa. Taajuus- ja voimakkuusmuuntelun yhteyksiä fonologiseen prosessointiin ja lukutaitoon on esitetty myös hajontakuvioiden (kuviot 3-7).

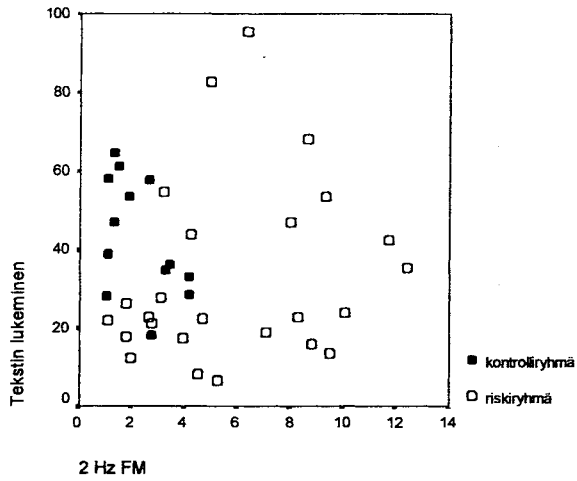
Lukutaidolle etsittiin myös parhaita selittäjiä regressioanalyttisesti. Selitettävänä muuttujana oli Allu-sanantunnistus. Selittävinä muuttujina tarkasteltiin fonologista prosessointia, riski- vs. kontrolliryhmää sekä 20 Hz voimakkuusmuuntelun ja 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukynnyksiä poistavan valinnan menetelmällä. Muuttujista ryhmä ja 2 Hz taajuusmuuntelu poistettiin ei-merkitsevinä. Regressiomallit on esitetty taulukossa 10. Tärkein selittäjä yksittäisen sanan lukutaidolle oli fonologinen prosessointi. Yhdessä fonologinen prosessointi ja 20 Hz voimakkuusmuuntelu selittivät n. 30 % lukutaidon vaihtelusta. Lisäksi tutkittiin, selittävätkö 20 Hz voimakkuus- ja 2 Hz taajuusmuuntelu fonologista prosessointia, mutta tulokset eivät olleet merkitseviä.



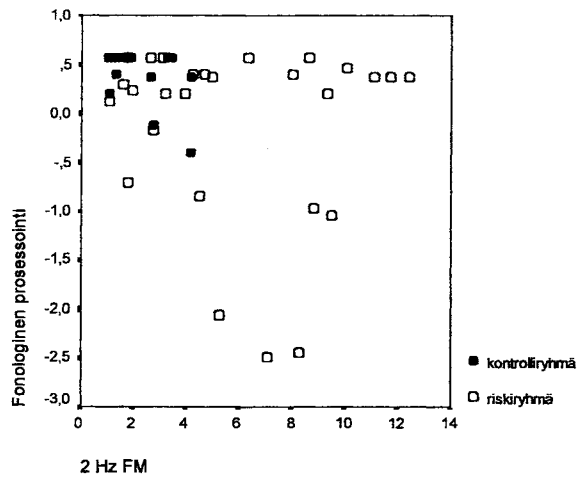
KUVIO 3. 20 Hz voimakkuusmuuntelun (20 Hz AM) erottelukynnyksen (\pm Hz) yhteys yksittäisen sanan lukutaitoon (ALLU) dysleksiariski- ja kontrolliryhmässä.



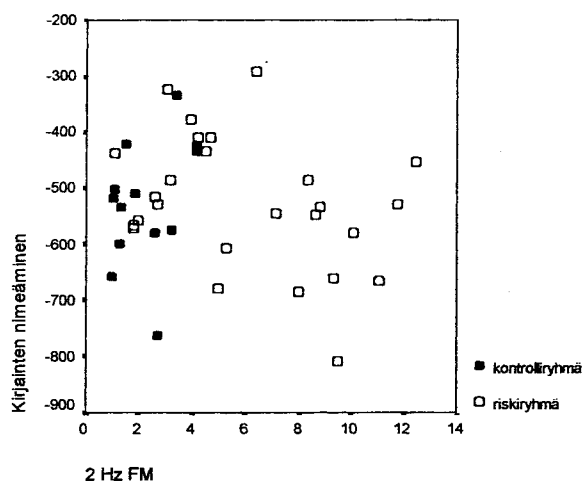
KUVIO 4. 2 Hz taajuusmuuntelun (2 Hz FM) erottelukynnyksen (\pm Hz) yhteys yksittäisen sanan lukutaitoon (ALLU) dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä.



KUVIO 5. 2 Hz taajuusmuuntelun (2 Hz FM) erottelukynnyksen (\pm Hz) yhteys lukunopeuteen sanoja/minuutti (tekstin lukeminen) dysleksiariski- ja kontrolliryhmässä.



KUVIO 6. 2 Hz taajuusmuuntelun (2 Hz FM) erottelukynnyksen (\pm Hz) yhteys fonologisen prosessoinnin summamuuttujaan.



KUVIO 7. 2 Hz taajuusmuuntelun (2 Hz FM) erottelukynnyksen (\pm Hz) yhteys nopeaan kirjainten nimeämiseen. Kirjainten nimeämiseen käytetty keskiarvoaika on muunnettu käänteiseksi, jolloin tulos on saatu samansuuntaiseksi muiden lukutaitomuuttujien ja fonologisen prosessoinnin summamuuttujan kanssa.

TAULUKKO 10. Fonologinen prosessointi, riski- vs. kontrolliryhmä, 20 Hz voimakkuusmuuntelun (AM) erottelukynnys ja 2 Hz taajuusmuuntelun (FM) erottelukynnys yksittäisen sanan lukutaidon (ALLU) selittäjinä. Malli 1: Fonologinen prosessointi, ryhmä, 20 Hz AM, 2 Hz FM. Malli 2: Fonologinen prosessointi, 20 Hz AM, 2 Hz FM. Malli 3: Fonologinen prosessointi, 20 Hz AM.

| | R ² | Sovitettu R ² | R ² muutos | F muutos | Standardoitu Beta-kerroin | t | p |
|--------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------|----------|---------------------------|--------|-------|
| Malli 1 | 0.422 | 0.350 | 0.422 | 5.836 | | | |
| Fonologinen prosessointi | | | | | 0.524 | 3.680 | 0.001 |
| Ryhmä | | | | | 0.252 | 1.549 | 0.131 |
| 20 Hz AM | | | | | -0.293 | -2.075 | 0.046 |
| 2 Hz FM | | | | | 0.298 | 1.852 | 0.073 |
| Malli 2 | 0.378 | 0.322 | -0.043 | 2.400 | | | |
| Fonologinen prosessointi | | | | | 0.571 | 4.014 | 0.000 |
| 20 Hz AM | | | | | -0.325 | -2.280 | 0.029 |
| 2 Hz FM | | | | | 0.187 | 1.271 | 0.212 |
| Malli 3 | 0.348 | 0.310 | -0.030 | 1.617 | | | |
| Fonologinen prosessointi | | | | | 0.523 | 3.780 | 0.001 |
| 20 Hz AM | | | | | -0.275 | -1.989 | 0.055 |

7. POHDINTA/JLD

Geneettinen dysleksiariskiryhmä ja kontrolliryhmä erosivat erittäin merkitsevästi toisistaan 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen ($p = 0.000$). Ryhmät erosivat jonkin verran, muttei merkitsevästi, myös 20 Hz voimakkuusmuuntelun suhteen. Nämä erot eivät johtuneet tarkkaavuudesta tai ei-kielellisestä suoritustasosta. Riskiryhmän varianssi 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen oli suurempi kuin kontrolliryhmän. Kontrolliryhmän tulokset sijoituivat riskiryhmää huomattavasti kapeammalle välille (1.01-4.16 Hz; vrt. riskiryhmän 1.09-12.41 Hz) lukuunottamatta kolmea kontrollihenkilöä, joiden erottelukynnykset olivat yli 10 Hz (ks. kuvio 2). Nämä kolme mukaanluettuna kontrolliryhmän erottelukynnyksen keskiarvo 2 Hz taajuusmuuntelussa olisi ollut 4.08 Hz. Nämä kolme poikkeavaa havaintoarvoa poistettiin kaikista analyyseistä, jotteivat tulokset rakentuisi liikaa niiden varaan. Nämä kolme kontrollihenkilöä menestyivät voimakkuusmuuntelun testissä muun kontrolliryhmän mukaisesti, mutta fonologiset taidot, kirjainten nimeäminen, sanantunnistus ja etenkin lukunopeus jäivät muusta kontrolliryhmästä. Heidän tarkkaavuuspistemääränsä olivat keskitasoa sekä omaan ryhmään että koko aineistoon verrattuna.

Korrelaatiokertoimien käyttö osoittautui joiltakin osin hankalaksi tässä aineistossa. Edes riski- ja kontrolliryhmän tarkastelu erikseen ei tuonut esiin kovin selkeitä yhteyksiä magno- ja lukutaitomuuttujien välillä. Koko aineistossa 20 Hz voimakkuusmuuntelu korreloi negatiivisesti yksittäisen sanan lukutaidon kanssa. 2 Hz taajuusmuuntelulla ja fonologisella prosessoinnilla oli lievä muttei merkitsevä negatiivinen korrelaatio. Fonologinen prosessointi oli voimakkain yksittäisten sanojen lukutaidon selittäjä, mutta myös 20 Hz voimakkuusmuuntelu selitti sitä jonkin verran. Taajuus- ja voimakkuusmuuntelun yhteydet nopeaan kirjainten nimeämiseen, yksittäisten sanojen lukutaitoon ja tekstin lukemisen sujuvuuteen vaihtelivat riski- ja kontrolliryhmässä. 2 Hz taajuusmuuntelu oli yhteydessä nopeaan kirjainten nimeämiseen riski- muttei kontrolliryhmässä, kun taas kontrolliryhmässä se oli yhteydessä yksittäisten sanojen lukutaitoon ja tekstin lukemisen sujuvuuteen. Kontrolliryhmässä sekä taajuus- että voimakkuusmuuntelu olivat ei-merkitsevästi yhteydessä fonologiseen prosessointiin.

Korrelaatiokertoimien käyttöä hankaloitti mm. se, että riskiryhmässä oli pieni alaryhmä, joka sai suuria arvoja (yli 8 Hz) taajuusmuuntelun erottelukynnykseksi ja jonka luku- ja fonologiset taidot osoittautuivat silti hyviksi (ks. kuviot 3-7). Tämä ryhmä ei eronnut muusta riskiryhmästä tarkkaavuuspisteiden, kielellisen ja ei-kielellisen päättelyn, koulu- tai sukupuolijakauman suhteen. Osa suurista taajuusmuuntelu-arvoja saavista riskiryhmäläisistä sai toisaalta alhaisia tuloksia fonologisissa ja lukutaitotehtävissä. Tilannetta kannattaa seurata jatkotutkimuksissa.

Lisäksi ongelmallinen oli fonologisten taitojen summamuuttuja, joka ei erotellut tarpeeksi jakauman yläpäässä. Jakaumaan, poikkeaviin tapauksiin ja alaryhmiin liittyvät ongelmat todennäköisesti vähenevät, kun havaintoja saadaan kerättyä enemmän. On myös huomattava, että aineisto tässäkin osuudessa oli suhteellisen pieni, joten muutamat melkein merkitsevät korrelaatiot voisivat tulla merkitseviksi suuremmalla otoksella. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaankin käyttää alustavina ja suuntaa-antavina. Myös muita lukutaitomuuttujia kuin tässä tutkimuksessa käytettyjä voisi harkita. Esim. nopean nimeämisen mittana voisi käyttää muitakin ärsykeitä kuin kirjaimia ja yksittäisen nimeämisen sijaan sarjallista (ks. Saarenketo, 2000). Samoin fonologisen prosessoinnin ja auditiivisen muuntelun suhdetta olisi hyvä tutkia jatkossa enemmän: esim. voidaanko suuremmalla otoksella ja mahdollisesti eri muuttujilla selittää fonologista prosessointia voimakkuus- tai taajuusmuuntelun avulla, mikä tässä tutkimuksessa ei toteutunut.

Tämä tutkimus tukee oletusta magnosellulaarisen prosessointikyvyn perinnöllisestä taustamekanismista. JLD-pitkittäistutkimus antaa myös mahdollisuuden seurata samojen henkilöiden lukutaidon kehittymistä ja samalla magno-tekijöiden osuutta siinä. Toisaalta tässä tutkimuksessa dysleksiariski- ja kontrolliryhmä erosivat jo toisistaan fonologisen prosessoinnin ja yksittäisen sanan lukemisessa ensimmäisen luokan lopussa. Mielenkiintoista olisi tutkia magnosellulaarijärjestelmän toimintaa kouluikäistä nuoremmilla, jotta nähtäisiin, voidaanko sillä ennustaa tulevaa lukutaitoa.

8. YLEINEN POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätulokset voidaan tiivistää seuraavasti: Perinnöllisen dysleksiarisikin omaavien 1-luokkalaisten lasten 2 Hz taajuusmuuntelun erottelykyky oli ryhmävertailussa kontrollihenkilöitä huomattavasti heikompi. 20 Hz voimakkuusmuuntelun erottelukyvyyssä ei ryhmien välillä ollut nähtävissä merkittävää eroa. Kyseisten magno-muuttujien yhteys ensimmäisen luokan lopun fonologisen prosessoinnin, yksittäisten sanojen lukemisen, lukemisen sujuvuuden ja nopean nimeämisen taitoihin ei tämän tutkimuksen perusteella vielä tullut selkeäksi, vaikka jonkinasteisia yhteyksiä olikin nähtävissä koko aineistossa tai ryhmien sisällä. Neljäs- ja viidesluokkalaiset heikot lukijat erosivat kontroleista edelleen eniten 40 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen; muuttujan, jota ei tässä tutkimuksessa erikseen mitattu vaan tulos pohjautui Vesterisen (2000) pro gradu -työn mittauksiin. 40 Hz taajuusmuuntelun erottelukyky oli myös voimakkaimmin yhteydessä lukutaitoon. Myös 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn uudella mittauksella ja lukutaidolla oli nähtävissä yhteyttä, ja sen suhteen lukijaryhmät erosivat suuntaa-antavasti. Pienten otoskokojen ja jakaumaongelmien vuoksi tämän tutkimuksen tuloksia voidaan pitää alustavina ja suuntaa-antavina. Myöskään syy-seurausyhteyksistä ja ennustavuudesta ei tämän tutkimuksen perusteella voi vetää johtopäätöksiä.

Kummassakin osuudessa 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen ilmeni suuremmat erot heikkojen lukijoiden/dysleksiariskiryhmän ja kontrolliryhmän välillä kuin 20 Hz voimakkuusmuuntelun. 2 Hz taajuus- ja 20 Hz voimakkuusmuuntelun on todettu mahdollisesti edustavan fonologisen prosessoinnin eri osatekijöitä (Witton, painossa). Voimakkuusmuunteluherkkyiden osuus suomenkielisten lasten fonologisessa prosessoinnissa ja lukutaidossa jäi tämän tutkimuksen perusteella vielä melko avoimeksi, vaikka selittävää roolia ensiluokkalaisten lukutaidossa sillä olikin jonkin verran. Jatkotutkimusta tarvitaan myös muilla kuin 20 Hz muunteluasteilla sekä useammilla lukutaitomuuttujilla.

Taajuusmuunteluherkkyydellä näyttää tämän tutkimuksen perusteella olevan yhteyttä suomalaislasten lukutaitoon ja perinnölliseen dysleksiariskiin. Voimakkain yhteys lukutaitoon löytyi kuitenkin 40 Hz muunteluasteella eli tulokset perustuivat tältä

osin Vesterisen (2000) pro gradu –tutkielman aineistoon. 40 Hz taajuusmuuntelua ei tässä tutkimuksessa mitattu uudelleen Pohjanlammella eikä JLD:ssa. Jatkotutkimuksissa olisikin hyvä selvittää tarkemmin tämän muunteluasteen yhteyttä fonologiseen prosessointiin ja lukutaitoon sekä niiden kehitykseen. Myös 2 Hz taajuusmuuntelun erottelukyvyn suhteen heikot lukijat ja etenkin dysleksiariskiryhmä erosivat kontrolleista. Yhteys fonologisiin taitoihin ja lukutaitoon ei kuitenkaan ollut selkeä ja kaipaa jatkotutkimuksia.

Koherentin liikkeen havaitsemiskyvyn osalta tämän tutkimuksen tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että myös suomalaislapsilla koherentin liikkeen havaitsemiskyky voisi olla yhteydessä nimenomaan ortografiseen prosessointiin. Tätä yhteyttä ei tässä tutkimuksessa vielä tutkittu JLD-osuudessa, joten jatkotutkimuksissa olisikin aihetta selvittää koherentin liikkeen havaitsemista dysleksiariski- ja kontrolliryhmissä sekä yleensäkin suuremmalla otoksella kuin tässä tutkimuksessa. Koherentin liikkeen havaitseminen voisi mahdollisesti tuoda lisävaloa myös riskiryhmän sisäisiin ristiriitoihin 2 Hz taajuusmuuntelun ja lukutaidon välisen yhteyden suhteen. Auditiiivisen ja visuaalisen liikkeen havaitsemisherkkyudet voisivat yhdessä antaa informaatiota yhteyksistä lukemisen eri osa-alueihin ja ongelmakohtiin. Talcottin ym. (lähetetty julkaistavaksi) mukaanhan lukemisen ongelmat ortografisesti säännöllisemmissä kielissä voisivat liittyä nimenomaan sujuvuuteen, jolloin ortografisella koodauksella ja koherentin liikkeen havaitsemisella olisi tärkeä rooli. Tätä näkemystä voisi tukea sekin, että esim. suomen kielelle on ominaista hyvinkin pitkät sanat. Tällöin fiksaatioiden ylläpitäminen ja sujuva siirtäminen, joista visuaalinen magnojärjestelmä mahdollisesti vastaa, voisivat olla tärkeitä nimenomaan sujuvuuden kannalta. Tässä tutkimuksessa 2 Hz taajuusmuuntelu oli yhteydessä sujuvuuteen (lukunopeuteen) JLD-kontrolliryhmässä; mielenkiintoista olisi ottaa koherentti liike ja ortografinen prosessointi (esim. Ortotesti) tähän vertailuun mukaan.

Visuaalisen ja auditiiivisen tarkkaavuuden yhteyttä koherentin liikkeen sekä taajuus- ja voimakkuusmuuntelun havaitsemiseen olisi samoin mielenkiintoista tutkia. Yhteys on mahdollisesti moniselitteinen ja –suuntainen. Magnojärjestelmän on esitetty vaikuttavan havaitsemiseen ja lukemiseen jossain määrin nimenomaan tarkkaavuusmekanismien kautta. Tarkemmin voisi tutkia, minkätyyppisestä visuaalisesta ja auditiiivisestä tarkkaavuudesta on kysymys. Visuaalinen ja auditiiivinen tarkkaavuus

ovat tietenkin eri asioita kuin tarkkaavuushäiriö, joka myös esiintyy usein yhdessä dysleksian kanssa. Tässä yhteydessä tarkkaavuusongelmien olemuksen selvittäminen onkin todennäköisesti melko monimutkaista, mutta voi mahdollisesti auttaa ymmärtämään joitain lukemisen taustavaikeuksien erityispiirteistä. Myöskin tarkkaavuuden kontrollointia magno-tehtävien aikana sekä tässä tutkimuksessa käytettyjen tarkkaavuusmittareiden kelpoisuutta voi miettiä. Tässä tutkimuksessa käytettiin Pohjanlammen osuudessa *catch trials* –kontrolliäänipareja ja JLD-osuudessa testaajan arviota koko testaustilanteen aikaisesta tarkkaavuuden ylläpitämisestä. Pohjanlammen *catch trials* –osioissa vain harva sai nolasta poikkeavia lukuja, ja niitäkin hyödynnettiin tulosten kannalta vain yhden poikkeavan tapauksen kohdalla (kun henkilö sai poikkeavan korkean arvon sekä 2 Hz taajuusmuuntelussa että *catch trials*'eissa, hänen tuloksensa tämän muuttujan kohdalla poistettiin). *Catch trials*'eja voi arvioida paremmin, kun havaintoja on enemmän. JLD-tarkkaavuusarvio ei ollut lainkaan yhteydessä magno-testeissä suoriutumiseen. Tämän arvion luotettavuutta tämän tutkimuksen testien kannalta himmentää se, että arvio koski koko testaustilannetta, johon kuului lukuisia lukutaitotestauksia, ja magno-testit suoritettiin tämän parituntisen testirupeaman lopuksi. Tämän tyyppinen arvio voisi olla hyödyllinen tässä tapauksessa testikohtaisena. Yksi mahdollisuus auditiivisten muuntelutestien reliabiliteetin parantamiseksi on tietenkin myös tehdä sama testi kaksi kertaa eli samoin kuin tehtiin koherentin liikkeen kohdalla. Magno-testien tuloksia voisi jatkossa myös verrata erilaisiin auditiivista ja visuaalista tarkkaavuutta kartoittavien testien tuloksiin.

Se, onko kyseessä “pan-sensorinen” (Talcott ym., 1998) häiriö, joka vaikuttaa kaikkien aistikanavien ajallisen prosessoinnin taustalla, vaiko eriytyneempi problematiikka (esim. auditiivisen prosessoinnin häiriö vaikuttaa fonologiseen prosessointiin ja visuaalisen ortografiseen) onkin hankala kysymys, ja tulevaisuudessa varmasti enemmän tietoa on tästäkin aiheesta. Tässä tutkimuksessa auditiivinen prosessointi korreloi myös ortografiseen prosessointiin liittyvien tehtävien kanssa, ja visuaalinen ja auditiivinen prosessointi korreloivat joiltakin osin jonkin verran keskenään. Todennäköisesti kyseessä on kuitenkin yksilöllisesti muotoutuva prosessien kokonaisuus. Lukivaikeudet ilmenevät samoin hyvin yksilöllisesti. Magnosellulaariteoria ja siihen liittyvät tutkimukset voisivat mahdollisesti auttaa paikantamaan ongelmaa ja kartoittamaan yksilöllistä ongelmaprofiilia.

Magnosellulaariteorian laajempi tutkiminen avaa mahdollisuuksia myös kuntoutukseen. Havaitsemisen häiriöt ilmenevät nimittäin todennäköisesti jo ennen lukutaidon alkamista ja tarjoavat siten keinon tulevien riskitapausten ennustamiseen ja kuntoutustoimenpiteiden aloittamiseen ennen varsinaisten lukiongelmien ilmenemistä (Talcott ym., 1998; Talcott ym., 1999; Witton ym., 1998). Taajuusmuunteluherkkyiden plastisuudesta on myös näyttöä: on esitetty, että se kehittyisi varhaislapsuudesta ainakin 10 vuoden ikään samaan aikaan fonologisten taitojen ja lukutaidon kanssa, joten sen avulla voisi kuntouttaa lasten fonologisia taitoja (Talcott ym., 1999). Fonologisten taitojen katsotaan edeltävän lukutaitoa ja niitä on jo yleisesti pyritty kuntouttamaan lukutaidon edistämiseksi; yksin fonologisten taitojen kuntoutuksella ei kuitenkaan ole päästy selkeisiin tuloksiin (Aro, 2001). Varhain todettu auditiivisen magno-toiminnan vaje voisi mahdollisesti antaa suuntaviivoja kuntoutukseen, myös ei-kielellisten taitojen. Voisi ajatella, että musiikkiterapian alueella tämäntyyppisiä kuntoutusmuotoja olisi mahdollista kehittää. Dyslektikkojen mahdollista vaikeutta puheen havaitsemisessa on myös pyritty helpottamaan ajallisella venyttämällä – puheen hidastamisella – , mutta tähän mennessä tulokset ovat ristiriitaisia (McAnally, Hansen, Cornelissen & Stein, 1997; McAnally & Stein, 1996). On myös esitetty, että lukivaikeuksisten lasten visuaalinen ajallinen prosessointi pitäisi tutkia ja tarpeen mukaan kuntouttaa tai helpottaa sitä, vaikka optometrisin keinoin ei dysleksiaa tai fonologisia vaikeuksia tietenkään voi parantaa (Garzia & Nicholson, 1990; Evans, 1999). Tuloksia lukemisen helpottamisessa on saatu esim. kirjainkokoja suurentamalla ja kirjaimia erottelemalla; pysyviä tuloksia on saatu myös toisen silmän peittämisellä, joka kehittää näkevän silmän dominanssia ja binokulaarista vakautta, jos se toteutetaan sopivassa iässä (Stein, 1993; Stein & Talcott, 1999; Stein & Walsh, 1997). Magnosellulaariteoria saattaa näin avata mielenkiintoisia näkymiä lukivaikeuksien ymmärtämiseksi ja helpottamiseksi, mutta lisää tutkimusta tarvitaan sen yhteyksistä lukemiseen ja lukivaikeuksiin suomenkielisillä.

9. LÄHTEET

Aro, M. (2001). Näkökulmia lukemisvaikeuksien kuntoutukseen. Teoksessa Ahonen, T. & Aro, T. (toim.), *Oppimisvaikeudet. Kuntoutus ja opetus yksilöllisen kehityksen tukena* (s. 273-289). 2. painos. Juva: WS Bookwell Oy.

Brannan, J.R., Solan, H.A., Ficarra, A., & Ong, E. (1998). Effect of luminance on visual evoked potential amplitudes in normal and disabled readers. *Optometry and Vision Science*, 75(4), 279-283.

Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., & Fowler, S. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research*, 35(10), 1483-1494.

Cornelissen, P.L., Hansen, P.C., Hutton, J.L., Evangelinou, V. & Stein, J.F. (1998a). Magnocellular visual function and children's single word reading. *Vision Research*, 38 (3), 471-482.

Cornelissen, P.L., Hansen, P.C., Gilchrist, I.D., Cormack, F., Essex, J. & Frankish, C. (1998b). Coherent motion detection and letter position encoding. *Vision Research*, 38, 2181-2191.

Eden, G.F., Stein, J.F., Wood, H.M. & Wood, F.B. (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research*, 34 (10), 1345-1358.

Eden, G.F., VanMeter, J.W., Rumsey, J.M., Maisog, J.M., Woods, R.P., & Zeffiro, T.A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382, 66-69.

Evans, B.J.W. (1999). Do visual problems cause dyslexia? (Guest editorial) *Ophthalmic & Physiological Optics: the Journal of the British College of Ophthalmic Opticians*, 19 (4), 277-278.

Evans, B.J.W., Drasdo, N. & Richards, I.L. (1996). Dyslexia: the link with visual deficits. *Ophthalmic & Physiological Optics: the Journal of the British College of Ophthalmic Opticians*, 16 (1), 3-10.

Evans, B.J.W. (1998). The underachieving child. *Ophthalmic & Physiological Optics: the Journal of the British College of Ophthalmic Opticians*, 18 (2), 153-159.

Galaburda, A.M., Menard, M.T., & Rosen, G.D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91, 8010-8013.

- Garzia, R.P. & Nicholson, S.B. (1990). Visual function and reading disability: an optometric viewpoint. *Journal of the American Optometric Association*, 61, 88-97.
- Geiger, G. & Lettvin, M.D. (1987). Peripheral vision in persons with dyslexia. *New England Journal of Medicine*, 316, 1238-1243.
- Hansen, P.C., Stein, J.F., Orde, S.R., Winter, J.L., & Talcott, J.B. (2001). Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function? *NeuroReport*, 12(7), 1527-1530.
- Hari, R. & Kiesilä, P. (1996). Deficit of temporal auditory processing in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*, 205, 138-140.
- Helenius, P., Uutela, K., & Hari, R. (1999). Auditory stream segregation in dyslexic adults. *Brain*, 122, 907-913.
- Iles, J., Walsh, V., & Richardson, A. (2000). Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia*, 6, 163-177.
- Lehmkuhle, S., Garzia, R., Turner, L., Hash, T., & Baro, J.A. (1993). A defective visual pathway in children with reading disability. *New England Journal of Medicine*, 328, 989-996.
- Lindeman, J. (1998). *Ala-asteen lukutesti (ALLU)*. Turku: Oppimistutkimuksen keskus.
- Livingstone, M.S. & Hubel, D.H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience*, 7(11), 3416-3468.
- Livingstone, M.S., Rosen, G.D., Drislane, F.W. & Galaburda, A.M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88, 7943-7947.
- Lovegrove, W.J., Garzia, R.P. & Nicholson, S.B. (1990). Experimental evidence for a transient system deficit in specific reading disability. *Journal of the American Optometric Association*, 61, 137-146.
- Lyytinen, H., Aro, M. & Holopainen, L. (valmisteilla). *Dyslexia in highly orthographically regular Finnish*. Jyväskylän yliopiston psykologian laitos ja Niilo Mäki Instituutti.
- May, J.G., Lovegrove, W.J., Martin, F., & Nelson, P. (1991). Pattern-elicited visual evoked potentials in good and poor readers. *Clinical Vision Sciences*, 6(2), 131-136.
- McAnally, K.I., Hansen, P.C., Cornelissen, P.L. & Stein, J.F. (1997). Effect of time and frequency manipulation on syllable perception in developmental dyslexics. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 912-924.

- McAnally, K.I. & Stein, J.F. (1996). Auditory temporal coding in dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 263, 961-965.
- McAnally, K.I. & Stein, J.F. (1997). Scalp potentials evoked by amplitude-modulated tones in dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 939-945.
- Menell, P., McAnally, K.I. & Stein, J.F. (1999). Psychophysical sensitivity and physiological response to amplitude modulation in adult dyslexic listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 797-803.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: Auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology*, 64(2), 199-231.
- Nevala, J. (1999). *Sanaketjuestit lukutaidon arvioinnissa*. Jyväskylän yliopisto. Psykologian ammatillinen lisensiaatintutkimus.
- Olson, R., Forsberg, H., Wise, B., & Rack, J. (1994). Measurement of word recognition, orthographic, and phonological skills. Teoksessa Lyon, G.R. (toim.), *Frames of Reference for the Assessment of Learning Disabilities*. Paul H. Brookes Publishing Co. Baltimore, U.S.A.
- Poskiparta, E., Niemi, P. & Lepola, J. (1994). *Diagnostiset testit 1. Lukeminen ja kirjoittaminen*. Turku: Oppimistutkimuksen keskus.
- Raven, J.C. (1956). *Raven Progressive Matrices C*. Oxford Psychologists Press.
- Saarenketo, A.-R. (2000). *Nopea nimeäminen ja sen yhteys lukunopeuteen aikuisdyslektikoilla*. Jyväskylän yliopisto. Psykologian pro gradu -tutkielma.
- Stein, J.F. (1993). Visuospatial perception in disabled readers. Teoksessa Willows, D.M., Kruk, R.S. & Corcos, E. (toim.), *Visual Processes in Reading and Reading Disabilities*. London: Lawrence Erlbaum.
- Stein, J. & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20 (4), 147-152.
- Stein, J. & Talcott, J. (1999). Impaired neuronal timing in developmental dyslexia - the magnocellular hypothesis. *Dyslexia*, 5, 59-77.
- Stein, J., Talcott, J. & Walsh, V. (2000). Controversy about the visual magnocellular deficit in developmental dyslexics. *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (6), 209-211.
- Steinman, S.B., Steinman, B.A. & Garzia, R.P. (1998). Vision and attention. II: Is visual attention a mechanism through which a deficient magnocellular pathway might cause reading disability? *Optometry and Vision Science*, 75 (9), 674-681.

Studdert-Kennedy, M. & Mody, M. (1995). Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired: A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 508-514.

Talcott, J.B., Gram, A., Van Ingelgheim, M., Witton, C., Stein, J.F. & Toennesen, F.E. (submitted). Impaired sensitivity to dynamic stimuli in poor readers of a transparent orthography.

Talcott, J.B., Hansen, P.C., Willis-Owen, C., McKinnell, I.W., Richardson, A.J. & Stein, J.F. (1998). Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuro-Ophthalmology*, 20, 187-201.

Talcott, J.B., Witton, C., McClean, M., Hansen, P.C., Rees, A., Green, G.G.R. & Stein, J.F. (1999). Can sensitivity to auditory frequency modulation predict children's phonological and reading skills? *NeuroReport*, 10, 2045-2050.

Talcott, J.B., Witton, C., McLean, M.F., Hansen, P.C., Rees, A., Green, G.G.R. & Stein, J.F. (2000a). Dynamic sensory sensitivity and children's word decoding skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(6), 2952-2957.

Talcott, J.B., Hansen, P.C., Assoku, E.L., & Stein, J.F. (2000b). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38, 935-943.

Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.

Vesterinen, M. (2000). *Dynaamisen visuaalisen ja auditiivisen aistiärsyksen havaitsemiskyvyn yhteys lukutaitoon 9- ja 10-vuotiailla lapsilla*. Jyväskylän yliopisto. Psykologian pro gradu -tutkielma.

Wagner, R.K. & Torgesen, J.K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101(2), 192-212.

Wechsler, D. (1995). *Wechsler preschool and primary scale of intelligence – revised*. Sidcup, UK: The Psychological Corporation. Helsinki: Psykologien Kustannus Oy.

Williams, M.C. & LeCluyse, K. (1990). Perceptual consequences of a temporal processing deficit in reading disabled children. *Journal of the American Optometric Association*, 61, 111-121.

Williams, M.C., LeCluyse, K., & Rock-Faucheux, A. (1992). Effective interventions for reading disability. *Journal of the American Optometric Association*, 63(6), 411-417.

Witton, C., Stein, J.F., Stoodley, C.J., Rosner, B.S. & Talcott, J.B. (painossa). Separate influences of acoustic AM and FM sensitivity on the phonological decoding skills of impaired and normal readers. *Journal of Cognitive Neurosciences*.

Witton, C., Talcott, J.B., Hansen, P.C., Richardson, A.J., Griffiths, T.D., Rees, A., Stein, J.F. & Green, G.G.R. (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology*, 8, 791-797.

