Lukujen kirjoittaminen aritmeettisen sujuvuuden ennustajana 1. luokalta 3. luokalle

Alisa Salminen

Erityispedagogiikan pro gradu -tutkielma
Kevätlukukausi 2022
Kasvatustieteiden laitos
Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Salminen, Alisa, 2022. Lukujen kirjoittaminen aritmeettisen sujuvuuden ennustajana 1. luokalta 3. luokalle. Erityispedagogiikan pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Kasvatustieteiden laitos. 68 sivua.

Aritmeettisia taitoja ennakoi joukko numeerisia perustaitoja. Käsitys taustalla vallitsevista taidoista on kuitenkin toistaiseksi puutteellinen. Tässä pitkittäistutkimuksessa tavoitteena on tutkia peruslaskutaitoa selittävien tekijöiden osuutta melko vähän tutkitun, mutta teoreettisesti mielenkiintoisen numeerisen perustaidon osalta. Tarkoituksena oli selvittää, ennustaako 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen aritmeettista sujuvuutta 3. luokalla. Lisäksi tutkittiin kielellisen työmuistin, kielellisen ja visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin sekä fonologisen prosessoinnin yhteyttä lukujen kirjoittamiseen.

Tutkimuksen aineisto oli osa Lasten luku- ja laskusujuvuushankkeen (FLARE) aineistoa. Tutkittavia oli 200, joista tyttöjä 103 ja poikia 97. Analyysimenetelmänä tutkimuksessa käytettiin lineaarista ja hierarkkista regressioanalyysiä.

Tulosten perusteella lukujen kirjoittamiseen on vahvimmin yhteydessä kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi. Lisäksi lukujen kirjoittaminen selitti aritmeettisia taitoja tilastollisesti merkitsevästi, kun lapsen ikä, perheen koulutustausta, kielellinen työmuisti, fonologinen prosessointi ja lukujen vertailu oli otettu huomioon.

Lukujen kirjoittamisen hallitseminen on oleellista myöhempien aritmeettisten taitojen kannalta. Tutkimus tarkentaa aikaisempaa käsitystä lukujen kirjoittamisesta yhtenä aritmetiikkaan liittyvänä osataitona, joka edellyttää kielellisiä taitoja. Lisäksi näyttää siltä, että työmuisti on merkittävä kognitiivinen taito fonologisen prosessoinnin lisäksi lukujen kirjoittamisen taustalla. Lukujen kirjoittaminen edellyttää samanaikaista mielessä pitämistä ja luvun manipulointia sekä kykyä täsmällisten kielellisten edustusten mielestä palauttamiseen.

Asiasanat: aritmeettiset taidot, lukujen kirjoittaminen, kognitiiviset taidot

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO

Sujuvan peruslaskutaidon saavuttaminen on alakoulun matematiikan yksi keskeinen tavoite alkuopetuksesta lähtien (POPS 2014, 234, 129). Sen tärkeyttä voidaan perustella matematiikan oppimisen kumulatiivisuudella, jossa myöhempiä taitoja varten tavoitellaan aritmeettisten perustaitojen vankkaa osaamista. Heikot perustaidot aiheuttavat hankaluuksia myöhempien matematiikan taitojen oppimisessa (Gunderson ym., 2018; Dowker, 2005, 26), mutta voivat myös heijastua pidemmälle lapsen tulevaisuuteen. Aritmeettisten taitojen kehityksestä on tehty huomattavasti vähemmän tutkimusta kuin lukemisen kehityksestä (Dowker, 2005, 2), mistä johtuen ymmärrys aritmeettisten taitojen taustalla vaikuttavista tekijöistä on puutteellinen (Göbel ym., 2014a).

Painavia syitä matematiikan taitojen tutkimiselle kuitenkin löytyy. On havaittu, että heikko laskutaito voi johtaa haasteisiin työelämässä sijoittumisessa ja hyvän tulotason saavuttamisessa jopa heikkoa lukutaitoa vahvemmin (Dowker 2005, 12–13). Perusteita löytyy myös työelämää lähempää, sillä peruslaskutaito on oleellisen tärkeä ajatellen myös lapsen sujuvaa etenemistä koulupolulla. Erot aritmeettisissa taidoissa voivat olla monen asian summa, ja taustatekijöissä on löydettävissä heterogeenisyyttä. Taitojen kehitykseen vaikuttavat yksilölliset tekijät, kuten neuraaliset erot. Ympäristöön liittyviä tekijöitä ovat kulttuuriset ja kielelliset lähtökohdat. (Dowker, 2005, 1.)

Lapsen kannalta laskutaidon sujuvuutta voidaan pitää tärkeänä, sillä se vapauttaa kognitiivisia resursseja laskun vaativampiin vaiheisiin. Kognitiivisia resursseja tarvitaan esimerkiksi proseduraalista osaamista edellyttäviin laskuihin (Koponen ym. 2007), mistä yhtenä esimerkkinä toimii allekkainlasku. Peruslaskutaidon on osoitettu heijastuvan myös sanallisiin laskuihin (Fuchs ym., 2006). Kyse ei ole ainoastaan taidoista, vaan myös oppimiseen liittyvistä tunteista. Heikko laskutaito voi olla hedelmällistä maaperää matematiikka-ahdistukselle. Tuoreiden tutkimusten mukaan puutteelliset taidot ennustavat ahdistusta matematiikkaa kohtaan (Sorvo ym., 2019; Gunderson ym., 2018), mikä ymmärrettävästi hankaloittaa oppimista. Näin ollen sujuvan peruslaskutaidon varmistaminen on panostamisen arvoinen.

Ennen varsinaista laskutaitoa kehittyy varhaisia numeerisia taitoja, jotka toimivat indikaattoreina myöhemmille aritmeettisille taidoille. Tiedetään, että ainakin lukujen suuruusvertailu ennustaa myöhempiä taitoja (esim. Schneider ym., 2017). Lisäksi aritmeettisia taitoja on selitetty lukujonotaidoilla ja nopealla nimeämisellä (Koponen ym., 2016; Koponen ym., 2013).

Tässä tutkimuksessa pyritään lisäämään tietoa aritmeettisen sujuvuuden taustalla vaikuttavista tekijöistä yhden numeerisen perustaidon osalta. Lukujen kirjoittaminen on herättänyt tutkijoiden kiinnostuksen aritmeettisten taitojen ennustajana. Tutkimuksista käy ilmi, että lukujen kirjoittamisen ja aritmeettisten taitojen välillä on havaittu myönteinen yhteys (Imbo ym., 2014; van der Ven ym., 2017; Moeller ym., 2011). Tutkimusta tarvitaan kuitenkin lisää, erityisesti siksi, että edellä mainittujen tutkimusten (Imbo ym., 2014; van der Ven ym., 2017; Moeller ym., 2011) tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa suomenkieliseen kontekstiin lukusanojen käänteisyyden vuoksi. Näin voidaan kirkastaa ymmärrystä siitä, selittyykö lukujen kirjoittamisen ja aritmetiikan suhde kielen ominaispiirteillä. Yksittäisistä tutkimuksista raportoidut tulokset viittaavat siihen, että lukujen kirjoittaminen olisi tärkeä taito kielestä riippumatta (Clayton ym., 2020; Habermann ym., 2020; Malone ym., 2019; Malone ym., 2021), mikä motivoi tämän tutkimuksen tekemistä.

Lisäksi kolmoiskoodimallin (*Triple code model*) (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) nojalla on muodostunut vahva käsitys numerosymbolien hallitsemisen merkityksestä aritmeettisille taidoille (Malone ym., 2021; Göbel ym., 2014a; Steiner ym., 2021), mutta empiiristä tutkimusta erityisesti lasten osalta tarvitaan lisää. Kolmoiskoodimalli (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) sallii myös asettaa oletuksen, että lukujen kirjoittaminen olisi tärkeä taito myöhemmän aritmeettisen osaamisen kannalta. Olettaen, että perusnumeeriset taidot selittävät myöhempää menestymistä aritmetiikassa, on tärkeää pyrkiä rakentamaan ymmärrystä siitä, mitä tekijöitä aritmeettisten taitojen taustalla on. Tiedon lisääntymisestä on hyötyä tunnistaessa ja tukiessa lapsia, joilla on haasteita peruslaskutaidon omaksumisessa.

Aritmeettisen peruslaskutaidon lisäksi tässä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita lukujen kirjoittamisesta itsessään. Lukujen kirjoittamiseen on liitetty kognitiivisena taitona toistuvasti työmuistiresurssit (Camos, 2008; Zuber ym., 2009; Pixner ym., 2011; Clayton ym., 2020; Moura ym., 2013). Kattavampi selitys lukujen kirjoittamiselle kuitenkin puuttuu yhä. Eräs potentiaalinen taustataito on fonologiset resurssit, joiden merkitys on tuotu esiin teoreettisesti (Barrouillet ym., 2004), mutta viime vuosina myös empiirisesti (Lopes-Silva ym., 2014; Lopes-Silva ym., 2016; Teixeira & Moura ym., 2020). Työmuistin ja fonologisen tietoisuuden lisäksi tässä tutkimuksessa otetaan huomioon lyhytkestoiset muistit, jotta lukujen kirjoittamisen taustalla olevien taitojen merkittävyyttä voi suhteuttaa toisiinsa. Selvittääkseen lukujen kirjoittamisen osuutta aritmeettisten taitojen ennustajana ja lukujen kirjoittamisen taustalla vaikuttavia kognitiivisia taitoja, on aiempaan tutkimuskirjallisuuteen nojautuen muodostettu kaksi tutkimuskysymystä. Ensimmäisessä kysymyksessä selvitetään lukujen kirjoittamiseen yhteydessä olevia kognitiivisia taitoja ja toinen kysymys käsittelee lukujen kirjoittamista aritmeettisten taitojen ennustajana.

1.1 Aritmeettiset taidot ja niiden kehittyminen

Matematiikka perustuu monille perusnumeerisille taidoille, joista osa on synnynnäisiä ja osa opittuja. Matemaattisten kykyjen kehittyminen alkaa jo paljon ennen kuin lapsi pystyy oppimaan päättelyn tai kielen avulla (Butterworth, 2005), eli lapsen matemaattiset taidot ovat tyypillisesti kypsyneet jo useita vuosia ennen koulun aloittamista ja aritmeettisen laskutaidon formaalia opetusta. Alle vuoden ikäisiä vauvoja tutkittaessa on havaittu, että heillä on kyky herkistyä pienille lukumäärille siten, että kahden ja kolmen erottaminen toisistaan onnistuu (Starkey & Cooper, 1980). Kyky erotella ja tunnistaa pieniä lukumääriä nopeasti ilman laskemista tunnetaan subitisaationa (Kaufmann ym., 1949), joka ei siis edellytä kielellisiä kykyjä vaan perustuu näköhavaintoihin.

Lukujen luetteleminen on useimpien lasten kohdalla ensimmäinen avoimesti nähtävissä oleva matematiikassa olennainen taito, vaikka alkuvaiheessa lapsi ei välttämättä ymmärrä sen merkitystä, vaan luettelee lukusanoja lorunomaisesti yhdessä pötkössä (Sarnecka ym., 2015, 291; Fuson, 1992, 248–249). Lapsi voi aloittaa lukujen luettelemisen harjoittelun jo parivuotiaana ja taito harjaantuu aina kouluikään asti (Butterworth, 2005). Lorunomaisesta luettelusta edetään tiettyjen periaatteiden omaksumiseen. Käyttääkseen luettelutaitoa lukumäärän määrittämisessä, eli laskemisessa, lapsen täytyy ensinnäkin osata sanoa lukusanat oikeassa järjestyksessä, ja kohdistaa laskemisen ele ja lukusana esineeseen samanaikaisesti, eli ymmärtää yksi-yhteen vastaavuus. Oikean lukumäärään päätymisen taustalla on kardinaalisuusperiaate, eli ymmärrys siitä, että viimeiseksi sanottu lukusana edustaa laskettujen esineiden lukumäärää. (Gelman & Gallistel, 1978, 77–80.) Lisäksi laskettavien esineiden järjestys voi olla mikä tahansa ja se on valittavissa aina uudelleen (Gelman & Gallistel, 1978, 82).

Useimmilla lapsilla laskeminen muodostaa pohjan koulussa opittavalle aritmetiikan perustaidoille, joka käsittää yhteen- ja vähennyslaskun sekä kerto- ja jakolaskun hallitsemisen (Butterworth, 2005). Ensimmäisenä kehittyy yhteen- ja vähennyslaskutaito, jotka toimivat kerto- ja jakolaskutaidon pohjana (Butterworth, 2005). Aritmeettisten taitojen kehitystä voi havainnollistaa laskustrategioiden kautta, sillä tyypillisesti niitä otetaan käyttöön tietyssä järjestyksessä. Karkeasti voidaan tiivistää, että tyypillisesti alkuvaiheessa nojataan luettelemalla laskemiseen ja harjoittelun myötä siirrytään yhä vahvemmin käyttämään suoraan muistista hakemista tai siihen perustuvia laskustrategioita (Lemaire & Siegler, 1995). Samanaikaisesti lapsi voi kuitenkin käyttää useampia strategioita (Lemaire & Siegler, 1995; Butterworth, 2005; Dehaene, 1992). Tavallisesti strategioiden omaksuminen ja poisjättäminen perustuu niiden tehokkuuteen, mikä taas lisää aritmeettista sujuvuutta (Lemaire & Siegler, 1995).

Esimerkiksi yhteenlaskustrategioiden kehityksessä on hahmotettavissa useita eri kehitysvaiheita. Ensin lasketaan kaikki ykkösestä alkaen (*counting all*)

(Carpenter & Moser, 1982, 14), jolloin laskettaessa yhteen 3 ja 4 esinettä, lapsi laskee ensin kolme esinettä, sitten aloittaa alusta neljän esineen laskemisen, ja lopulta laskee kaikki yhteen aloittaen yhdestä ja päätyen seitsemään. Kaksi seuraavaa strategiaa nopeuttavat selvästi laskemista. Toisessa lapsi aloittaa laskemisen ensimmäisestä esitetystä luvusta (*counting on from first*), ja kolmannessa aloitetaan laskeminen suuremmasta luvusta (*counting on from larger*). (Carpenter & Moser 1982, 15.) Aritmetiikkaan liittyy olennaisesti kommutatiivisuuden periaatteen ymmärtäminen, mikä näkyy siten, että lapsi ymmärtää yhteenlaskun (esim. 6 + 8 ja 8 + 6) ja kertolaskun (esim. 7 × 5 ja 5 × 7) antavan saman tuloksen, vaikka laskettavien järjestyksen vaihtaisi (Butterworth, 2005).

Tyypillisesti näiden vaiheiden jälkeen siirrytään palauttamaan helppojen laskujen (esim. 4 + 5, 3 × 2, 8 - 6 ja 10 : 5) vastaukset suoraan muistista, jolloin puhutaan aritmeettisten faktojen osaamisesta (Butterworth, 2005). Ratkaistessaan laskun vastauksen palauttamalla sen pitkäaikaisesta muistista lapsi osoittaa, että vastauksen ja kyseisen laskun välillä on vahvistunut yhteys (Geary, 2015, 773). Aritmeettisten faktojen mieleen palauttamista helppojen laskujen ratkaisemisessa lapset osaavat käyttää viimeistään keskimäärin noin 9-vuotiaana (Cirino ym., 2007), joitakin faktoja myös noin 7-vuotiaana (Butterworth, 2005). Vaihtoehtoiset strategiat ovat tosin edelleen käytettävissä, mikäli laskun vastausta ei pystytä palauttamaan mielestä sen harvinaisuuden tai monimutkaisuuden takia (Dehaene & Cohen, 1995). Lisäksi voidaan käyttää hyödyksi dekompositiota, jossa ratkaisu löydetään palauttamalla osavastaukset mieleen ja sitten lisäämällä loput (esim. 8 + 9 = ?, 8 + 8 = 16, 16 + 1 = 17). Toinen tapa hyödyntää dekompositio-strategiaa on käyttää laskun käänteistä operaatiota, jolloin voi ratkaista esimerkiksi vähennyslaskun yhteenlaskun kautta. (Geary, 2015, 773.) Dekompositio-strategian taustalla on ymmärrys komplementaarisuudesta. Toisin sanoen täytyy ymmärtää yhteen- ja vähennyslaskun yhteys (jos 5 + 3 =8, siten 8 – 5 = 3, ja 8 – 3 = 5) (Butterworth, 2005). Kertolaskujen laskemisen ajatellaan yleisesti perustuvan vastauksen suoraan palauttamiseen pitkäaikaisesta muistista (Roussel ym., 2002; Cooney ym., 1988; Lemaire & Siegler, 1995) ja jakolaskun ymmärtäminen perustuu kertolaskuun, sillä se on sen käänteinen operaatio (Gelman & Gallistel, 1978, 239).

Moninumeroisilla luvuilla laskettaessa (esim. 24 + 58, 451 + 74) suurin osa vastauksista ei automatisoidu, vaan on käytettävä vaiheittain laskemista. Laskettaessa moninumeroisilla luvuilla proseduraalisen tiedon rooli korostuu, sillä se tukee useamman vaiheen sisältävien laskuoperaatioiden ratkaisemista (Dowker, 2005, 3; Rittle-Johnson & Alibali, 1999), esimerkiksi lainaamista ja allekkain kertomista (Butterworth, 2005). Toinen edellytys moninumeroisilla luvuilla laskemisessa on paikka-arvon ymmärtäminen ja kymmenjärjestelmän hallitseminen (Fuson & Kwon, 1992; Nuerk ym., 2015, 129), sillä ne sisältävät kymmenylityksiä. Toisaalta konseptuaalisen tiedon kymmenjärjestelmän sisäistämisestä ja proseduraalisen tiedon laskuvaiheita koskien on havaittu kehittyvän myös rinnakkain toisiaan ruokkien (Rittle-Johnson & Alibali, 1999).

Aritmeettisen peruslaskutaidon merkityksestä vallitsee yleinen konsensus (National Research Council, 2001, 181), sillä sen on osoitettu heijastuvan myönteisesti myöhempien taitojen omaksumiseen (Hecht ym., 2001). Sujuvan moninumeroisilla luvuilla laskemisen pohjalla on pienemmällä lukualueella automatisoituneet laskujen vastaukset (Koponen ym., 2007). Fuchs ja muut (2006) osoittivat, että aritmeettinen peruslaskutaito heijastuu myönteisesti vaiheittaista laskemista vaativiin tehtäviin ja sanallisiin laskuihin. Heikosti hallussa oleva peruslaskutaito puolestaan näkyy virheinä myöhemmässä vaiheessa ja vie lisäksi kognitiivisia resursseja, joita proseduraalinen suorittaminen vaatisi (Fuchs ym., 2006; Koponen ym., 2007). Siirtyminen yksinumeroisesta aritmetiikasta moninumeroisilla luvuilla laskemiseen havainnollistaa hyvin matematiikan oppimisen hierarkkista luonnetta.

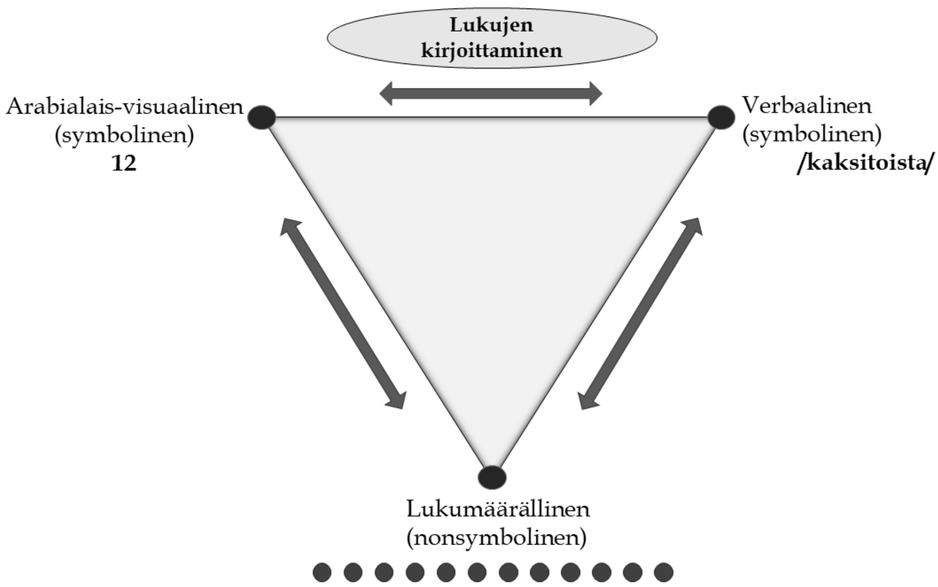
Lisäksi heikko sujuvuus aritmeettisissa taidoissa saattaa edesauttaa matematiikka-ahdistuksen syntymistä. Taitojen ja ahdistuksen yhteyden tutkimiseen on hiljattain ruvettu panostamaan ja on raportoitu tuloksia siitä kuinka heikot taidot voivat ennakoida ahdistusta matematiikkaa kohtaan (Sorvo ym., 2019; Gunderson ym., 2018). Pahimmillaan voi muodostua kielteinen noidankehä, jossa heikot taidot tuottavat ahdistusta ja toisaalta matematiikkaa kohtaan syntynyt ahdistus vaikuttaa taidolliseen suoriutumiseen kielteisesti (Carey ym., 2016).

1.2 Numeeriset perustaidot ja aritmetiikka

Numeerisia perusprosesseja kuvaavan kolmoiskoodimallin mukaan (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) numeerinen prosessointi sisältää kolme erilaista esitysmuotoa. Muodoista kaksi on symbolisia, eli arabialais-visuaaliset ja verbaaliset, ja kolmas on suuruutta, eli lukujen määrällistä merkitystä koskeva esitysmuoto (kuvio 1). Määrällistä merkitystä koskeva muoto tarjoaa semanttisen pohjan lukujen symboleille (Dehaene & Cohen, 1995; Dehaene, 1992). Aritmetiikassa laskuoperaatiot esitetään tavallisesti visuaalisella koodilla (arabialaisin numeroin ja laskutoimitusta koskevalla symbolilla), joka käännetään ja vastaus haetaan verbaalisessa muodossa ja tuotetaan joko verbaalisesti tai käännetään takaisin visuaaliseen (kirjoitetaan luku) muotoon (Dehaene & Cohen, 1995). Lapsen täytyy siis osata linkittää erilaiset koodit yhteen kunkin luvun kohdalla pystyäkseen ratkaisemaan laskun.

Kuvio 1

Kolmoiskoodimalli (mukailtu Dehaene 1992)



Tähän asti numeerista prosessointia kuvaamaan kehitetyt mallit, kuten kirjallisuudessa runsaasti painoarvoa kerryttänyt kolmoiskoodimalli (Dehaene, 1992), pohjautuvat pääosin aikuisilla ja aikuisaivovauriopotilailla tehtyihin tutkimushavaintoihin (Cohen ym., 1994; Dehaene & Cohen, 1995). Ne tarjoavat kuitenkin näkökulman myös kehitykselliseen numeerisen prosessoinnin tarkasteluun. Mallin on osoitettu olevan relevantti viitekehys aritmeettisia taitoja ja niiden kehittymistä tutkittaessa. Lukumäärän linkittäminen visuaaliseen ja verbaalisen muotoon (Malone ym., 2019) sekä päinvastoin symbolisesti esitetyn luvun sijoittamisen lukujonoon (Lyons ym., 2014) on havaittu selittävän aritmeettista suoriutumista ensimmäisinä kouluvuosina. Toisaalta ainoastaan symbolisten numeeristen taitojen osaamisen on pitkittäistutkimuksissa (Malone ym., 2021; Göbel ym., 2014a; Steiner ym., 2021) osoitettu ennustavan myöhempiä aritmeettisia taitoja ensimmäisinä kouluvuosina. Symbolista numeerista osaamista on tutkittu monipuolisesti niin lukujen kirjoittamisen ja lukemisen (Malone ym., 2021; Habermann ym., 2020), lukujen tunnistamisen (Malone ym., 2021; Kuzmina ym., 2019; Habermann ym., 2020) ja nimeämisen (Xenidou-Dervou ym., 2015) sekä vastaavuuden vahvistamisen kautta (Steiner ym., 2021). Yhteyttä symbolisten vastaavuuksien hallitsemisessa ja aritmetiikassa menestymisessä ei ole kuitenkaan aina saatu esiin (Malone ym., 2019), mutta toisin kuin useimmissa tutkimuksissa (Malone ym., 2021; Steiner ym., 2021; Xenidou-Dervou ym., 2015; Kuzmina ym., 2019; Habermann ym., 2020), Malonen ja muiden (2019) tutkimuksessa on käytetty arabialaisten numeroiden ja niitä vastaavien lukusanojen sijaan merkityksettömiä verbaalisia ja visuaalisia symbolipareja. Kokoavasti voi todeta, että lukumäärän yhdistäminen sitä vastaavaan symboliin (lukusanoihin ja numeroihin) on ensimmäinen vaihe luvun symbolisten esitysmuotojen hallitsemiselle. Symbolisten lukujen hallinta on puolestaan edellytys symbolisen aritmetiikan oppimiselle.

Kolmoiskoodimallin yksi keskeinen oletus on, että kaikki kolme esitysmuotoa voivat aktivoida numeerisen prosessoinnin. Luvun verbaalinen ja visuaalinen muoto voidaan palauttaa mieleen vastineeksi lukumäärälle ja päinvastoin. (Dehaene & Cohen, 1995.) Lisäksi malli toimii ilman lukumäärän osallistamista prosessointiin ainoastaan symbolisten koodien välillä (Dehaene & Cohen, 1995), mikä on tärkeää sujuvassa lukujen kirjoittamisessa.

Aritmeettisten taitojen kehittyminen nojaa aiemmin kehittyviin numeerisiin taitoihin, joiden on havaittu ennustavan aritmeettista osaamista kouluiässä. Tutkimuksissa on nostettu esiin lukujonotaidot ja nopea nimeäminen yleisinä oppimisvalmiuksina (Koponen ym., 2016; Koponen ym., 2013) spatiaalisen hahmottamisen ja kielellisten taitojen, erityisesti kirjainten osaamisen, lisäksi (Zhang ym., 2014).

Eniten on kuitenkin tutkittu lukujen ja määrien vertailutaitojen yhteyttä aritmetiikan taitoihin. Lukujen, eli käytännössä numeroiden, suuruusvertailun suhteen vallitsee yksimielisyys niiden yhteydestä myöhempiin matematiikan taitoihin (Xenidou-Dervou, 2017; Caviola ym., 2020; Schneider ym., 2017; Fazio ym., 2014; Toll ym., 2015; De Smedt ym., 2013) kun taas nonsymbolisen, eli määrien, vertailun merkittävyydestä myöhempien taitojen kannalta raportoidut tulokset ovat ristiriitaisia. Lukujen suuruusvertailua mitataan tavallisesti tehtävillä, joissa lapsen pitää päättää kumpi esitetyistä numeroista on suurempi (Caviola ym., 2020; Schneider ym., 2017). Vertailun tärkeyttä voidaan selittää sillä, että arabialaiset numerot nähdessään lapsen täytyy osata yhdistää se sitä vastaavaan lukumäärään osatakseen päätellä, kumpi on suurempi luku (Dehaene & Cohen, 1995; Sowinski ym., 2015). Lukujen suuruusvertailu ei siis tapahdu symbolisella tasolla, vaan lukumäärien tasolla (Dehaene, 1992). Aritmeettisten taitojen ennustajana se eroaa transkoodauksesta siten, että se ei vaadi kielellisiä kykyjä toisin kuin transkoodaaminen. Lukujen suuruusvertailun katsotaan selittävän aritmeettisia taitoja nonsymbolista paremmin, sillä myös myöhemmässä matematiikassa asiat esitetään tavallisesti symbolisessa muodossa (Schneider ym., 2107). Lukujen kirjoittamista ja symbolista aritmetiikkaa puolestaan yhdistää se, että molemmissa on keskeistä symbolisten esitysmuotojen yhdistäminen.

Nonsymbolista suuruusvertailua mitataan tavallisesti tehtävillä, joissa lapsen täytyy arvioida, kummassa ryhmässä olevien esineiden (esim. pisteiden) lukumäärä on suurempi (Caviola ym., 2020; Schneider ym., 2017). Kolmoiskoodimallin näkökulmasta kyse on siis luvun lukumäärällistä merkitystä koskevien muotojen vertailusta. Tutkimuskirjallisuuden perusteella käsitys nonsymbolisen vertailun merkityksestä ei ole johdonmukainen, sillä raportoidut yhteydet ovat olleet vaatimattomia (Szücs ym., 2014; Halberda ym., 2012) tai olemattomia (Caviola ym., 2020). Toisaalta nonsymbolinen vertailun heijastuminen myöhempiin matematiikan taitoihin on liitetty alle kouluikäisiin lapsiin, jotka eivät ole vielä saaneet formaalia matematiikan opetusta (Fazio ym., 2014).

Verbaalisen ja visuaalisen esitysmuodon yhdistämistä edellyttävien taitojen yhteyttä aritmetiikkaan on tutkittu vähemmän. Yksi keskeinen numeerinen perustaito, lukujen kirjoittaminen ja sen yhteys aritmetiikan taitoihin, vaatii lisää tutkimusta johdonmukaisen näkemyksen syntymiseksi. Lukujen kirjoittamisen ja aritmeettisten taitojen yhteydestä on kuitenkin saatu kannustavia tuloksia (Imbo ym., 2014; van der Ven ym., 2017; Moeller ym., 2011). Imbon ja muiden (2014) tutkimuksessa havaittiin yhteys 1. luokan lukujen kirjoittamisen ja 3. luokan korkeampien matematiikan arvosanojen välillä. Moeller ja muut (2011) osoittivat pitkittäistutkimuksessaan 1. luokalla mitatun lukujen kirjoittamisen ennustavan yhteenlaskutaitoja 3. luokalla. Lisäksi van der Ven ja muut (2017) raportoivat transkoodauksen selittävän visuospatiaalisen työmuistin ja yhteenlaskutaitojen yhteyttä. Edellä mainituissa tutkimuksissa (Imbo ym., 2014; van der Ven ym., 2017; Moeller ym., 2011) on kuitenkin tarkasteltu pääasiassa inversiokieliä eli kieliä, joissa kaksinumeroiset luvut lausutaan päinvastoin kuin kirjoitetaan. Esimerkiksi saksan kielessä luku 24 sanotaan ”vierundzwanzig”, eli ”neljä ja kaksikymmentä”. Suomen kielessä lukusanat eivät ole käänteisiä (lukuun ottamatta lukuja 12–19), vaan kaksinumeroiset luvut lausutaan samoin kuin kirjoitetaan.

Matematiikan taitoja tutkittaessa on perusteltua ottaa opetuksen kieli huomioon. Kielellä on merkitystä laajemmin matematiikan taitojen oppimisessa esimerkiksi symbolisessa aritmetiikassa kouluopetuksen alettua (Xenidou-Dervou ym., 2015; Göbel ym., 2014b), mutta myös myöhemmin moninumeroisilla luvuilla laskettaessa (Fuson & Kwon, 1992). Lukujen kirjoittamisen osalta tutkimuksissa on saatu selville, että inversiokielissä tehdään enemmän inversiovirheitä niiden kirjoittamisessa kuin kielissä, joissa tätä ominaisuutta ei ole (Pixner ym., 2011; Moeller ym., 2015; Zuber ym., 2009; van der Ven ym., 2017; Imbo ym., 2014; Krinzinger ym., 2011) ja transkoodaus on verrattain hitaampaa (Poncin ym., 2020). Lukusanojen inversio haastaa oppijoita lukujen kirjoittamisen suhteen ja voi heijastua kielteisesti myös aritmeettisiin taitoihin.

Aritmetiikassa lukusanojen käänteisyyden on havaittu hidastavan laskemista (Göbel ym., 2014b). Ensin visuaalinen laskulauseke (esim. 17 + 6) käännetään verbaaliseen muotoon ja kun ratkaisu on löytynyt verbaalisessa muodossa, käännetään se vielä visuaaliseen muotoon (Dehaene & Cohen, 1995). Vastauksen ollessa 23, joutuu esimerkiksi saksankielinen manipuloimaan verbaalista vastausta (dreiundzwandig) saadakseen kirjoitettua sen oikein päin (Göbel ym., 2014b).

Tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että lukujen kirjoittaminen saattaa vaikuttaa myöhempään matemaattiseen osaamiseen myös niissä kielissä, joissa lukusanat lausutaan samoin kuin kirjoitetaan. Kielissä, joissa inversio on pienemmässä roolissa, lukujen kirjoittamisen ja aritmeettisten taitojen välillä on havaittu samanaikainen yhteys (Clayton ym., 2020; Malone ym., 2019). Lisäksi lukujen kirjoittamista on tutkittu yhtenä tekijänä osana symbolisten numeeristen taitojen osaamista kuvaavaa muuttujaa lupaavin tuloksin pitkittäisasetelmassa (Habermann ym., 2020; Malone ym., 2021). Yksittäisten tutkimusten perusteella ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöksiä lukujen kirjoittamisen osallisuudesta myöhempiin matematiikan taitoihin, ja lisäksi sen osuutta selvittääkseen lukujen kirjoittamista on tutkittava omana muuttujanaan.

Tutkimusten kielellisen yksipuolisuuden takia on ehdotettu, että yhteys lukujen kirjoittamisen ja aritmetiikan välillä perustuu lukusanojen käänteisyyteen (Clayton ym., 2020), sillä se aiheuttaa enemmän inversiovirheitä lukujen kirjoittamisessa (Moeller ym., 2015). Voidakseen varmistua siitä, että lukujen kirjoittaminen ei selitä aritmeettista suoriutumista vain inversiokielissä, tarvitaan kielellisesti monipuolisempaa tutkimusta (esim. suomeksi). Näin saadaan uudenlaista ymmärrystä lukujen kirjoittaminen roolista aritmeettisten taitojen kehittymisen kannalta lukusanojen käänteisyydestä riippumatta.

1.3 Lukujen kirjoittaminen

Lukujen kirjoittamisella tarkoitetaan puhutun lukusanan kirjoittamista arabialaisin numeroin. Kirjallisuudessa se on usein yhtenä osana laajempaa transkoodauksen taitoa (*transcoding*), millä tarkoitetaan symbolisessa muodossa olevan numeerisen koodin muuntamista toiseen symboliseen muotoon. Esimerkiksi kirjoitetun numeron lukeminen ääneen on visuaalisen koodin muuttamista puhutuksi ja päinvastoin. (Zuber ym., 2009.) Lukujen kirjoittamisessa taas on kyse verbaalisen koodin muuntamisesta visuaaliseen muotoon (kuvio 1). Toiston välttämiseksi tässä tutkielmassa käytetään sekä lukujen kirjoittamista, että transkoodausta, kun tarkoitetaan puhutun luvun kirjoittamista arabialaisin numeroin.

Käyttämämme arabialainen numerojärjestelmä on melko yksinkertainen, sillä se koostuu vain kymmenestä numerosta (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). Ykkösten lisäksi kymmenet voidaan ilmaista juuri niitä kuvaavilla sanoilla. (Imbo ym., 2014.) Tämä ei kuitenkaan koske kaikkia kieliä, ja esimerkiksi suomi ja englanti poikkeavat tässä asiassa toisistaan. Englanniksi 50 on fifty, kun taas suomeksi se on rakentunut syntaktisesti, viisikymmentä. Lisäksi esimerkiksi lukumäärille *sata* ja *tuhat* on omat sanansa niin suomessa kuin englannissa. Useimmissa kielijärjestelmissä numeroita koskeva leksikko, eli kielen sanasto, on kuitenkin rajallinen kaikkien lukumäärien ilmaisemiseen, jolloin kymmentä suuremmat lukumäärät ilmaistaan hyödyntäen lukujen syntaksia, eli niiden keskinäistä järjestystä, luvun sisällä (Barrouillet ym., 2004). Pääasiassa moninumeroiset luvut voidaan muodostaa kahden säännön avulla, joista toinen perustuu yhteenlaskuun (*additive rules*) (esim. ”239” ”kaksisataakolmekymmentäyhdeksän”) ja kertolaskuun (*multiplicative rules*) (”300” ”kolme sataa”) (Barrouillet ym., 2004; Clayton ym., 2020). Luvun paikka kertoo siis luvun arvon kyseisessä luvussa. Lukujen paikan merkitys perustuu kymmenjärjestelmään, jonka keskeinen idea on, että kymmenen ykköstä muodostaa yhden kymmenen, kymmenen kymmentä puolestaan yhden sadan ja niin edelleen (Miura ym., 1993). Lukujen kirjoittaminen onnistuu joko pitkäaikaisesta muistista palauttamalla tai transkoodaussääntöihin turvautumalla, vaikka ei lukujen määrällistä merkitystä ymmärtäisikään (Dehaene & Cohen, 1995; Barrouillet ym., 2004).

Yleisesti numeerisia prosesseja koskevat mallit voidaan jakaa semanttisiin (ks. esim. McCloskey, 1992) ja asemanttisiin malleihin. Aiemmin mainittu kolmoiskoodimalli on lukujen kirjoittamisen näkökulmasta asemanttinen malli, sillä se esittää lukujen kirjoittamisen olevan mahdollinen pelkästään symbolisella tasolla ilman että lukujen määriin liittyvää merkitystä käsitellään (Dehaene & Cohen, 1995).

Sen sijaan suosituin yksinomaan lukujen kirjoittamista selittävä asemanttinen malli on ADAPT, jonka lyhenne viittaa sanoihin asemantic, developmental ja procedural. Käytännössä malli tarjoaa siis asemanttisen, kehityksellisen ja proseduraalisen näkökulman lukujen kirjoittamiseen (Barrouillet ym., 2004). ADAPT-malli (Barrouillet ym., 2004) ja kolmoiskoodimalli (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) lähestyvät lukujen kirjoittamista samalla tavalla, eli esittävät prosessoinnin luvun kuulemisesta kirjoittamiseen tapahtuvan asemanttisesti. Se tarkoittaa, että kirjoittaakseen jonkin luvun lapsen ei tarvitse ymmärtää sen merkitystä, eli yhdistää sitä mielessään konkreettiseen lukumäärään. Transkoodaamisessa käytetään siis reittiä suoraan verbaalisesta koodista (”kaksikymmentäneljä”) visuaaliseen koodiin (24) jättäen luvun semantiikka pois.

Yksi- ja kaksinumeroisten lukujen kohtaamisen yleisyys arjessa erottaa ne moninumeroisten lukujen kirjoittamisesta. Keskeinen ADAPT-malliin liittyvä oletus on, että toistuvasti kohdatut luvut tallentuvat pitkäaikaiseen muistiin, josta ne pystytään yhä enenevissä määrin palauttamaan mieleen leksikaalisesti, eli kokonaisina yksikköinä (Barrouillet ym., 2004). Tämä pätee kuitenkin tavallisesti vain yksi- ja kaksinumeroisiin lukuihin sekä poikkeuksellisen usein esiintyviin moninumeroisiin (esim. vuosiluku) lukuihin (Barrouillet ym., 2004), vaikka myös vastakkaisia havaintoja on tehty kaksinumeroisten lukujen proseduraalisesta prosessoinnista leksikaalisen sijaan (Steiner ym., 2021).

Tiivistetysti lukujen kirjoittaminen toimii pitkäaikaisen- ja työmuistin yhteistyönä. Kuullessaan yksi- tai kaksinumeroisen luvun sen verbaalisessa muodossa, se viedään ensin fonologiseen silmukkaan säilöön. Seuraavaksi palautetaan pitkäaikaisesta muistista luvun visuaalinen edustus, jota säilötään fonologisessa muistissa, kunnes se saadaan kirjoitettua. (Barrouillet ym., 2004.) Kolme- ja neljänumeroiset tai sitä suuremmat luvut eivät tyypillisesti esiinny niin tiheään, että niiden visuaalinen muoto pystyttäisiin palauttamaan muistista suoraan. Toissijaisena strategiana turvaudutaan proseduraalisiin sääntöihin, eli tiivistettynä luvun verbaalisen muodon hajottamiseen ja jäsentämiseen leksikaalisten jakajien avulla luvun visuaalisen muodon rakentamiseksi. (Barrouillet ym., 2004.) Barrouilletin ja muiden (2004) mukaan kirjoitettaessa esimerkiksi lukua 300 176 (”kolmesataatuhattasataseitsemänkymmentäkuusi”), ensin hajotetaan luku siitä löytyvän ”tuhannen” avulla. Sitten tarkistetaan, löytyykö pitkäaikaisesta muistista visuaalista vastinetta ”tuhannen” molemmilla puolilla oleville luvuille ”kolmesataa” ja ”sataseitsemänkymmentäkuusi”. Hajotettujen lukujen visuaaliset vastineet (300 ja 176) viedään säilöttäväksi lyhytkestoiseen kielelliseen muistiin siksi aikaa, kunnes kaikki kokonaisesta luvusta hajotetut osat on tuotu sinne pitkäaikaisesta muistista. Lopuksi kokonainen luku muodostetaan täyttämällä tyhjät kohdat hajotetuilla luvuilla. Luvun verbaalisessa muodossa esiintyvien leksikaalisten jakajien (”sata”, ”tuhat”) avulla päätellään luvun kehysten koko.

Ideana pitkäaikaisen- ja työmuistin yhteistyönä toteutuvassa lukujen kirjoittamisessa on, että lukua voi hajottaa niin pieniin yksiköihin, kunnes verbaaliselle muodolle löytyy visuaalinen vastine pitkäaikaisesta muistista. ADAPT-malliin (Barrouillet ym., 2004) liittyy kuitenkin oletus, että toistuvat kokemukset lukujen kanssa kasvattavat mentaalileksikon, eli yksilön sanavaraston, kokoa. Tällöin yhä harvinaisimpien (tavallisesti moninumeroisten) lukujen mieleen palauttaminen tehostuu ainakin osittain, sillä suuret luvut koostuvat aina pienemmistä luvuista. (Barrouillet ym., 2004.) Niin suoraan pitkäaikaisesta muistista palauttamiseen kuin jäsentämiseen perustuva lukujen kirjoittaminen on asemanttista.

Semanttisissa malleissa (Ks. esim. McCloskey, 1992) luvun kirjoittaminen edellyttää sen lukumäärällistä ymmärtämistä (Barrouillet ym., 2004). Toisin sanoen lukua kirjoittaessa ei haeta suoraan pitkäaikaisesta muistista visuaalista vastinetta verbaaliselle luvulle, vaan siinä välissä kuvitellaan sen lukumäärällinen merkitys. Semanttisen reitin käyttäminen on yhdistetty matemaattisilta taidoiltaan heikkojen lasten transkoodaussuoritukseen (van Loosbroek ym., 2009), mutta sen käyttämisestä on havaintoja myös taidoiltaan tyypillisillä, mutta ainoastaan lukujen kirjoittamisessa heikosti suoriutuneiden lasten joukossa (Imbo ym., 2014).

Tässä tutkimuksessa ei ole eroteltu lapsia aritmeettisilta taidoiltaan, joten tutkielmassa nojaudutaan kolmoiskoodimallin (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) ja ADAPT-mallin (Barrouillet ym., 2004) tarjoamaan asemanttiseen viitekehykseen lukujen kirjoittamisessa. Tutkimukset (Barrouillet ym., 2004; Moura ym., 2013; van Loosbroek ym., 2009) viittaavat sujuvan transkoodauksen vaativan tarvittaessa proseduraalisten sääntöjen osaamista. On siis syytä olettaa, että ainakin suurin osa tutkittavista palauttaa luvut pitkäaikaisesta muistista ja kykenee soveltamaan proseduraalisia sääntöjä lukujen kirjoittamisessa.

Tämän tutkimuksen kannalta asemanttisuutta keskeisempää on kuitenkin työmuistin keskeinen rooli ADAPT-mallissa. ADAPT-mallin mukaan työmuisti mahdollistaa samanaikaisesti proseduraalisten sääntöjen soveltamisen ja pitkäaikaisesta muistista palauttamisen, mikä on saanut vahvistusta useista tutkimuksista (Camos, 2008; Moura ym., 2013; Pixner ym., 2011; Zuber ym., 2009). Tämän takia työmuistin osallisuus lukujen kirjoittamisessa on huomioitu myös tässä tutkimuksessa.

1.4 Lukujen kirjoittaminen ja työmuisti

Numeeriset taidot eivät kehity irrallaan muista kognitiivisista toiminnoista, vaan esimerkiksi työmuisti on useasti yhdistetty matematiikan taitoihin, vaikka yhteyden voimakkuus vaihtelee työmuistin yksiköiden ja eri matematiikan taitojen välillä (Peng ym., 2016; Raghubar ym., 2010; Friso-van den Bos ym., 2013). Vaikka työmuistin on todettu olevan vahvemmin yhteydessä matematiikan taitoihin yleisesti mitattuna (Friso-van den Bos ym., 2013), on viitteitä sen roolin tärkeydestä myös tarkemmin rajatuissa ja yksittäisissä numeerisissa taidoissa, kuten lukujen kirjoittamisessa (esim. Camos, 2008).

Työmuistia on mallinnettu monin tavoin. Tässä tutkimuksessa muistitoimintojen teoreettisena viitekehyksenä käytetään Baddeleyn monikomponenttimallia, joka on tutkituin työmuistimalli erityisesti aritmeettisten taitojen yhteydessä. Monikomponenttimalli kuvaa työmuistin toimintoja, lyhytaikaista tiedon säilyttämistä ja sen manipulointia (Baddeley, 2012). Tiedon aktiivisesta prosessoinnista vastaavat kaksi alasysteemiä, fonologinen silmukka ja visuospatiaalinen luonnoslehtiö, joista fonologinen silmukka vastaa kielellisestä tiedosta ja visuospatiaalinen luonnoslehtiö visuaalisesta ja spatiaalisesta tiedosta (Baddeley, 2002). Lisäksi näissä yksiköissä tapahtuu tiedon lyhytaikainen ja passiivinen säilöminen (*short term memory*) (Baddeley, 2012). Tässä tutkielmassa näistä termeistä käytetään käsitteitä visuospatiaalinen ja kielellinen lyhytkestoinen muisti.

Kolmas yksikkö, ja mahdollisesti tärkein (Baddeley, 1996, 2002), on keskusyksikkö, jonka tehtävänä on kontrolloida ja säädellä alasysteemien toimintoja silloin, kun edellytetään lyhytkestoisesssa muistissa olevan tiedon aktiivista käsittelyä (Baddeley, 2012). Myöhemmin alkuperäiseen työmuistimalliin on lisätty neljäs komponentti, episodinen puskuri, jonka tehtävänä on yhdistää eri työmuistiyksiköistä tulevaa tietoa (Baddeley, 2000; Baddeley ym., 2011). Lisäksi se yhdistää työmuistin ja pitkäaikaisen muistin toisiinsa (Baddeley, 2012). Baddeleyn monikomponenttimallin käyttäminen tässä tutkimuksessa mahdollistaa hienojakoisen tarkastelun lyhytkestoisen muistin ja työmuistin yhteydestä lukujen kirjoittamiseen, mikä on aiempien tutkimusten kirjavien havaintojen takia perusteltua (Zuber ym., 2009; Pixner ym., 2011; Simmons ym., 2012).

Tavallisesti lyhytkestoista muistia mitattaessa tehtävänä on esimerkiksi sanasarjan toistaminen, mutta työmuistin kapasiteettia mitattaessa tarkoitetaan informaation samanaikaista käsittelyä (esim. sanasarjan toistaminen takaperin), mihin tarvitaan passiivisen säilömisen lisäksi keskusyksikön resursseja. Työmuistin käyttöä vaativat tehtävät ovat siis kognitiivisesti kuormittavampia kuin pelkkää lyhytkestoista muistia vaativat tehtävät.

Ensimmäisenä työmuistin kapasiteetin yhteyttä lukujen kirjoittamiseen lapsilla tutki Camos (2008), joka havaitsi suuremman työmuistikapasiteetin omaavien 7-vuotiaiden lasten suoriutuvan paremmin lukujen kirjoittamisesta kuin pienemmän kapasiteetin omaavien lasten. Sittemmin tieto on tarkentunut tutkimuksilla, joissa on otettu huomioon sekä kielellinen ja visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, että työmuistin rooli lukujen kirjoittamisessa (Zuber ym., 2009; Pixner ym., 2011; Simmons ym., 2012). Lisäksi tutkimusta on tehty niin inversiokielillä, kuin kielillä, joissa lukusanojen inversio on huomattavasti vähäisempää.

Tuoreempien tutkimusten tulokset tukevat Camosin (2008) havaintoja työmuistin tärkeästä roolista lukujen kirjoittamisessa. Useissa tutkimuksissa työmuistilla on keskeinen rooli lukujen kirjoittamisessa siten, että suurempi kapasiteetti ennusti pienempää virhemäärää (Zuber ym., 2009; Pixner ym., 2011; Clayton ym., 2020; Moura ym., 2013), mutta kaikissa tutkimuksissa työmuistin ei ole havaittu selittävän lukujen kirjoittamista (Simmons ym., 2012). Ristiriitainen tulos saattaa johtua Simmonsin ja muiden (2012) tutkimuksen otoskoon pienuudesta, mikä voi vaikuttaa merkitsevien yhteyksien esiin saamiseen. Lisäksi on tehty vertailevaa tutkimusta työmuistin merkityksestä kielten välillä, jotka eroavat toisistaan inversio-ominaisuuden suhteen. Eräässä tutkimuksessa sekä ranskan- että hollanninkieliset lapset luokiteltiin todennäköisemmin taitavaksi lukujen kirjoittajaksi, mikäli heidän työmuistinsa resurssit olivat paremmat (Imbo ym., 2014), mutta lukujen kirjoittamisessa tyypillisesti ja heikosti suoriutuvat erottaa myös transkoodaussääntöjen hallitseminen (Moura ym., 2013). Tutkimusten perusteella voi todeta, että työmuistin keskusyksikkö on merkittävässä roolissa lukujen kirjoittamisen kannalta kielestä riippumatta, mutta se ei selitä aukottomasti eroja taitavien ja heikkojen suoriutujien välillä.

Toisin kuin keskusyksikön suhteen, työmuistin visuospatiaalisen yksikön merkityksen osalta ei vallitse samankaltaista yksimielisyyttä. Yksittäisessä tutkimuksessa visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin on todettu selittävän lukujen kirjoittamista (Simmons ym., 2012). Toisin kuin edellä mainituissa tutkimuksissa Simmons ym., 2012), visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin roolia ei ole johdonmukaisesti havaittu Pixnerin ja muiden (2011) ja Imbon ja muiden (2014) tutkimuksissa. Myöskään kielellisen lyhytkestoisen muistin roolia ei ole havaittu useissa tutkimuksissa (Zuber ym., 2009; Pixner ym., 2011; Simmons ym., 2012). Tavallisesti tutkimuksissa eritellään työmuisti sekä kielellinen ja visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, kuten tässäkin tutkimuksessa. Joissakin tutkimuksissa on kuitenkin analysoitu vielä erikseen työmuistin yhteyttä kielellisillä ja visuaalisilla tehtävillä mitattuna eri tekijöihin. Kielellisen työmuistin on havaittu tukevan yleisesti matemaattisten taitojen kehittymistä alakouluikäisillä (Caviola ym., 2020), mutta selittävän myös pelkkää lukujen kirjoittamista (Imbo ym., 2014; Moura ym., 2013). Tulokset (Caviola ym., 2020; Imbo ym., 2014; Moura ym., 2013) osoittavat työmuistin vahvan roolin, vaikka sitä on mitattu rajatummin. Lyhytkestoisen muistin rooli on tutkimusten perusteella puolestaan toistaiseksi heiveröinen.

ADAPT-mallin valossa tarkasteltuna ristiriitaiset tutkimustulokset koskien työmuistin alasysteemien merkitystä ovat mielenkiintoisia, sillä sen mukaan kielellisen lyhytkestoisen muistin ja työmuistin resurssit ovat välttämättömiä lukujen kirjoittamisessa (Barrouillet ym., 2004). Toisaalta työmuistin käsitettä oli käytetty eri tutkimuksissa eri tavalla, mikä voi selittää ristiriitaisia tutkimustuloksia. Myös Baddeleyn ja muiden mukaan (2011) työmuistin käsitettä käytetään tutkimuskirjallisuudessa hyvin laveasti, mutta keskeistä siinä on tiedon samanaikainen säilöminen ja manipulointi suorittaessa jotakin kompleksia tehtävää.

1.5 Fonologisen prosessoinnin yhteys matematiikan taitoihin ja lukujen kirjoittamiseen

Fonologisen prosessoinnin kyvyt on perinteisesti liitetty kielellistä osaamista vaativiin taitoihin. Vahvana lukutaidon ennustajana pidetään fonologista tietoisuutta (Wagner ym., 1997), jonka rooli korostuu erityisesti ortografialtaan säännönmukaisissa kielissä lukemaan oppimisen alkuvaiheessa (Leppänen ym.,2006). Lisäksi aritmetiikan taitojen ja lukemisen on osoitettu olevan yhteydessä toisiinsa fonologisen prosessoinnin selittäessä kytköstä (Hecht ym., 2001), minkä takia on mielekästä tutkia fonologisen prosessoinnin roolia myös numeerisen perustaidon, lukujen kirjoittamisen, taustalla. Fonologisen prosessoinnin ja matematiikan suhteesta ei ole vielä muodostunut yhtä vankkaa teoreettista pohjaa, ja sen yhteydestä lukujen kirjoittamiseen tutkimus on vieläkin niukempaa.

Fonologinen prosessointi voidaan jakaa kolmeen eri ulottuvuuteen. Fonologinen tietoisuus perustuu kykyyn erotella ja manipuloida kielen merkityksellisiä yksiköitä, eli äänteitä (Krajewski & Schneider, 2009). Toinen ulottuvuus taas liittyy sanan palauttamiseen pitkäaikaisesta muistista, ja sitä mitataan tavallisesti nopean nimeämisen testillä tai epäsanojen ja sanojen erottelukyvyllä (Wagner & Torgesen, 1987). Kolmas ulottuvuus perustuu kykyyn pitää kielellisiä yksiköitä lyhytaikaisesti muistissa, jolloin puhutaan kielellisen työmuistin kapasiteetista (Wagner & Torgesen, 1987). Työmuistia tarkasteltiin laajemmin edellisessä kappaleessa. Tässä tutkimuksessa fonologisen prosessoinnin mittarina käytetään fonologista tietoisuutta, sillä sen on havaittu selittävän pitkäaikaisemmin yksilöllisiä eroja myöhemmissä matemaattisissa taidoissa alakoulussa, kun taas nopean nimeämisen ja kielellisen työmuistin rooli on rajoittuneempi (Hecht ym., 2001). Tulosta voi selittää fonologisen tietoisuuden tehtävillä, jotka tyypillisesti vaativat myös työmuistiresursseja, jotka taas ovat matematiikan kannalta välttämättömiä (Friso-van den Bos ym., 2013; Hecht ym., 2001). Toisaalta työmuistiresurssit eivät ole välttämättä niin olennaisia yksinumeroisessa aritmetiikassa (De Smedt ym., 2010).

Tutkimustieto on osoittanut fonologisen prosessoinnin ja aritmetiikan olevan yhteydessä toisiinsa. Tarkemmin tarkasteltuna on saatu selville, että fonologinen tietoisuus selittää aritmeettista sujuvuutta yksinkertaisilla laskuilla mitattuna, mutta ei niinkään moninumeroista aritmetiikkaa (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021). Yhteyden on esitetty perustuvan tarkkoihin kielellisiin edustuksiin pitkäaikaisessa muistissa, mihin sekä yksinkertaisten laskutoimitusten vastaukset että fonologisen tietoisuuden tehtävät perustuvat (De Smedt ym., 2010), mikä on linjassa myös kolmoiskoodimallin (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) näkemyksen kanssa yksinkertaisen aritmetiikan laskemisesta. Mitä tarkempia edustukset ovat, sitä tehokkaammin ja täsmällisemmin pystytään palauttamaan mieleen aritmeettinen fakta (De Smedt ym., 2010).

Kaikissa tutkimuksissa ei ole löydetty merkittävää yhteyttä fonologisen tietoisuuden ja aritmeettisen sujuvuuden välillä (Amland ym., 2021). Ristiriitaisia tuloksia tutkimusten välillä (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021; Amland ym., 2021) voi selittää tutkittavien ikä, sillä nuoremmat lapset saattavat olla laskustrategioiden suhteen eri kehitysvaiheessa (Carpenter & Moser, 1982, 14) kuin mieleen palauttamiseen nojaavat vanhemmat lapset (Butterworth, 2005). Näyttää siltä, että nuoremmilla lapsilla laskusujuvuuden sijasta fonologinen tietoisuus liittyy aritmeettiseen tarkkuuteen (Yang & McBride, 2020) ja lukujonotaitojen omaksumiseen (Krajewski & Schneider, 2009; Koponen ym., 2013; Koponen ym., 2016). Kokoavasti voi todeta, että tutkimuksille (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021; Yang & McBride, 2020), joissa fonologisella tietoisuudella on keskeinen rooli, on yhteistä aritmetiikan mittaaminen pienillä luvuilla, joiden vastaukset ovat palautettavissa pitkäaikaisesta muistista aritmeettisina faktoina. Toisaalta mieleen palauttamisen käyttämistä ylivoimaisena strategiana on myös kyseenalaistettu (Thevenot ym., 2016).

Kirjallisuudesta löytyy perusteluja tutkia fonologisen tietoisuuden yhteyttä lukujen kirjoittamiseen. Ensinnäkin ADAPT-mallissa korostuu fonologisten resurssien merkitys lukujen kirjoittamisessa (Barrouillet ym., 2004), ja toiseksi tutkimustulokset tukevat näkemystä fonologisen tietoisuuden osallisuudesta erityisesti transkoodausprosessin käynnistäjänä (Lopes-Silva ym., 2014). Lisäksi sekä fonologista tietoisuutta mittaavissa tehtävissä että erityisesti moninumeroisten lukujen kirjoittamisessa voi olettaa merkityksellisten yksiköiden erottelukyvyn korostuvan. Krajewskin ja Schneiderin (2009) mukaan erottelukyky heijastuu myös lukujonotaitoihin, jolloin lapsi ymmärtää lukujonon ”viisikuusiseitsemän” sisältävän yksittäisen sarjan sijaan kolme eri lukua. Samaa ideaa voi mahdollisesti soveltaa fonologisen tietoisuuden ja erityisesti moninumeroisten lukujen kirjoittamisen väliseen yhteyteen. Esimerkiksi lukusanasta ”kolmesataayksitoista” tulee osata erotella merkitykselliset yksiköt siten, että lopputuloksena on kolme oikeaa numeroa oikeassa järjestyksessä.

Kun otetaan huomioon vielä fonologisen tietoisuuden ja pitkäaikaisesta muistista palautettavien aritmeettisten faktojen välinen yhteys (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021), on perusteltua tutkia juuri fonologisen tietoisuuden yhteyttä lukujen kirjoittamiseen, joka osittain myös perustuu automaattiseen muistista palauttamiseen. Toisaalta tutkijat ovat raportoineet myös nopean nimeämisen selittävän aritmeettista sujuvuutta (Yang ym., 2020; Koponen ym., 2016; Cui ym., 2017). Huomioitakoon, että Yang ja muut (2020) myöntävät fonologisen tietoisuuden vaatimattoman roolin johtuvan moninumeroisten lukujen käyttämisestä aritmetiikan sujuvuuden mittarina, jolloin laskemisessa on todennäköisemmin hyödynnetty proseduraalisia strategioita mieleen palauttamisen sijaan. Lisäksi nopea nimeäminen heijastaa kykyä palauttaa mieleen fonologista informaatiota visuaalisen tiedon pohjalta pitkäaikaisesta muistista (Koponen ym., 2016), kun lukujen kirjoittaminen perustuu kielellisen koodin prosessointiin (Dehaene & Cohen, 1995) fonologisen tietoisuuden tapaan.

Toisaalta fonologisen prosessoinnin roolia matemaattisten taitojen kannalta on lähestytty oppimisvaikeustutkimuksen kautta. Puutteet fonologisessa prosessoinnissa eivät aiheuta hankaluuksia vain teknisessä lukutaidossa (Puolakanaho ym., 2008; Rack ym., 1992; Provazza ym., 2019), vaan vaikeudet ulottuvat myös matematiikkaan. Aritmeettisten faktojen mieleen palauttamisen pulmat ovat yksi leimallinen piirre myös matemaattisessa oppimisvaikeudessa ja matematiikassa heikosti suoriutuvilla lapsilla (Vanbist ym., 2014; Geary, 2015, 777), vaikka sen ensisijaisuutta on myös haastettu tarjoamalla selitykseksi vaikeuksia vaiheittain laskemisessa (de Chambrier & Zesiger, 2018). Myös dysleksikoilla ja sen myötä fonologisten taitojen puutteita omaavilla lapsilla on havaittu aritmeettisten faktojen mieleen palauttamisen pulmaa matematiikan taidoissa (Simmons & Singleton, 2008; Vukovic ym., 2010; De Clercq-Quaegebeur ym., 2018).

Aritmeettisten faktojen mieleen palauttaminen ei ole sattumalta vaikeaa, sillä se edellyttää kielellisen koodin manipulointia, kuten lukeminenkin (Simmons & Singleton, 2008). Se voi selittää vaikeudet myös lukujen kirjoittamisessa. Matemaattisia oppimisvaikeuksia omaavilla lapsilla on havaittu olevan sitkeitä haasteita lukujen kirjoittamisessa erityisesti luvun syntaksin osalta (Moura ym., 2013), mutta myös yksinumeroisissa luvuissa (Loosbroek ym., 2009) ja pulmia on havaittu myös dysleksisillä alakoululaisilla (De Clercq-Quaegebeur ym., 2018; Teixeira & Moura, 2020).

Lukujen kirjoittamisen pulmia voi selittää ainakin kahdella tavalla. Heikompi, eli hitaampi ja virheellisempi transkoodaus niin pienten kuin syntaktisesti monimutkaisempien lukujen kohdalla voi selittyä puutteellisilla transkoodaussäännöillä (Loosbroek ym., 2009; Moura ym., 2013). Toisaalta hitaampaa lukujen kirjoittamista voi selittää myös kolmoiskoodimallin (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) avulla siten, että oppimisvaikeuksiset lapset vaikuttavat käyttävän semanttista reittiä lukujen kirjoittamisessa, kun taas tyypillisesti kehittyvillä painottuu asemanttinen reitti (Loosbroek ym., 2009). Oppimisvaikeuksiset lapset siis prosessoivat luvun sen verbaalisesta koodista lukumäärän kautta visuaaliseen koodiin. Taidoiltaan tyypillisesti kehittyvät lapset puolestaan kääntävät verbaalisen koodin suoraan visuaaliseksi koodiksi, mikä nopeuttaa lukujen kirjoittamista yhden vaiheen jäädessä pois. Lukujen kirjoittamisen sujuvuuden pulmat eivät ole yhdentekeviä aritmeettisten taitojen sujuvoitumisen kannalta. Faktojen tehokas mieleen palauttaminen edesauttaa myöhempien monimutkaisten laskutaitojen omaksumista (Hecht ym., 2001) ja lukujen kirjoittamisen voi osittain rinnastaa siihen.

Fonologisen prosessoinnin rooli nousee esille silloin kun siinä on puutteita. Sillä on selkeästi paikkansa kielellisiä taitoja vaativien matematiikan osa-alueiden hallitsemisessa. Toisaalta, vaikka matemaattisista oppimisvaikeuksista kärsivät suorituvat heikosti fonologista prosessointia vaativissa tehtävissä (Vanbinst ym., 2014), sen ei katsota olevan dyskalkulian perimmäinen syy. Toisin kuin dysleksian, dyskalkulian syntyä selitetään muiden kognitiivisten kykyjen puutteilla (Landerl ym., 2004; Landerl ym., 2009; Peters ym., 2020), kuten heikkouksilla kielellisissä ja spatiaalisissa taidoissa (Peters ym., 2020) tai numerokäsitteen hankaluuksilla (Butterworth, 2005). Toisaalta fonologisen prosessoinnin on ehdotettu olevan selitys dysleksian ja dyskalkulian korkealle komorbiditeetille (Lopes-Silva ym., 2016).

Fonologisen tietoisuuden yhteydestä lukujen kirjoittamiseen on vain yksittäisiä tutkimustuloksia. Otoskooltaan laajemmissa, satoja tutkittavia kattaneissa, tutkimuksissa fonologinen tietoisuus selitti lukujen kirjoittamista yksinään (Lopes-Silva ym., 2016) ja jaetusti kielellisen työmuistin kanssa (Lopes-Silva ym., 2014), mutta myös suppeammassa tutkimuksessa havaittiin fonologisen tietoisuuden kontribuutio lukujen kirjoittamiseen (Teixeira & Moura, 2020). Nämä tutkimukset antavat viitteitä siitä, että fonologisen tietoisuuden ja lukujen kirjoittamisen välistä yhteyttä on mielekästä tutkia.

Tässä tutkimuksessa selvitetään fonologisen tietoisuuden yhteyttä kaksi- ja kolminumeroisiin lukuihin. Lopes-Silvan ja muiden (2014) raportoima fonologisen tietoisuuden ja kielellisen työmuistin jakama yhteys lukujen kirjoittamiseen voi selittyä sillä, että analyysiin sisällytettiin 1–4 numeroisia lukuja. Tätä näkemystä tukee toisen tutkimuksen (Imbo ym., 2014) tulos kielellisen työmuistin ja virhemäärän yhteydestä pääasiassa kolminumeroisten lukujen transkoodaamisessa. Isommat luvut vaativat enemmän transkoodaussääntöjen osaamista, ja ne taas ovat ainakin osittain työmuistin kapasiteetista riippuvaisia (Camos, 2008; Barrouillet ym., 2004), vaikka esiin on nostettu myös fonologisen tietoisuuden merkitys suurempien lukujen kirjoittamisessa (Teixeira & Moura, 2020).

Tutkimusten perusteella (Lopes-Silva ym., 2014; Imbo ym., 2014) voi tehdä varovaisen tulkinnan kielellisen työmuistin roolista suurempien lukujen kirjoittamisessa. Tämän vuoksi voi myös asettaa oletuksen, että tämä tutkimus vahvistaa kielellisen työmuistin roolia lukujen kirjoittamisessa. ADAPT-mallin mukaan pienemmät luvut palautetaan suoraan pitkäaikaisesta muistista (Barrouillet ym., 2004), joten lisäksi tämän tutkimuksen avulla voidaan saada suhteellisen uutta tietoa fonologisen tietoisuuden osuudesta transkoodauksessa.

1.6 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää, missä määrin lukujen kirjoittaminen selittää aritmeettista sujuvuutta. Lisäksi tutkitaan lukujen kirjoittamiseen yhteydessä olevia kognitiivisia taustataitoja. Tutkimuskirjallisuudessa esiintuotujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että ainakin kielellinen työmuisti selittää lukujen kirjoittamista tilastollisesti merkitsevästi. Lisäksi fonologisen prosessoinnilla uskotaan olevan vahva rooli lukujen kirjoittamisessa, sillä 7-vuotiaiden voidaan olettaa palauttavan joitakin lukuja pitkäaikaisesta muistista faktatiedon tapaan, jossa fonologiset resurssit ovat käytössä. Lyhytkestoisten muistien osalta tutkimustulokset ovat kirjavia, joten niiden perusteella selkeitä hypoteeseja on haastava asettaa. Voidaan kuitenkin olettaa, että niillä on jonkinasteinen yhteys lukujen kirjoittamiseen, vaikka merkitseviä yhteyksiä ei saataisi esille.

Lukujen kirjoittamisen ja aritmetiikan suhteen oletetaan myötäilevän aiempia tutkimustuloksia, sillä kannustavia löydöksiä lukujen kirjoittamisen roolista on havaittu inversiokielten lisäksi myös niissä kielissä, joissa ei ole lukusanojen inversiota. Erityisesti pitkittäistutkimusten (Habermann ym., 2020; Malone ym., 2021) perusteella voi olettaa, että lukujen kirjoittamisen merkitys tulisi esiin myös pitkittäisasetelmassa. Tutkimuskysymyksiksi muodostettiin seuraavat:

1. Missä määrin kielellinen ja visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, kielellinen työmuisti sekä fonologinen prosessointi ovat yhteydessä lukujen kirjoittamiseen?

2. Millä tavoin 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen ennustaa aritmeettista sujuvuutta 3. luokalla kun lapsen ikä, perheen koulutustausta, lukujen vertailu sekä kognitiiviset taustatekijät (kielellinen työmuisti, kielellinen ja visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, fonologinen prosessointi) on kontrolloitu?

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Tutkimuskonteksti ja tutkittavat

Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto on osa Lasten luku- ja laskutaidon sujuvuus-hankkeen (FLARE, Fluency Arithmetic REading) aineistoa. FLARE-hanke oli kaksivuotinen pitkittäistutkimus, jonka tavoitteena oli saada tietoa lasten luku- ja laskusujuvuuden kehityksestä alakoulussa sekä niihin liittyvien haasteiden päällekkäisyydestä. Hanke oli Suomen akatemian rahoittama tutkimushanke (277340), jonka vastuullisena johtajana toimi professori Mikko Aro. Hankkeen aineistonkeruu toteutettiin vuosina 2016–2018 kuudessa koulussa kolmen eri kunnan alueella Keski-Suomessa.

Tutkimuksessa hyödynnettiin aineiston osaa, jolloin oppilaat olivat 1. ja 3. luokalla. FLARE-hankkeeseen osallistui 207 oppilasta. Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten aineistosta poistettiin ne oppilaat, joilta puuttui tiedot ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä käytetyistä mittauksista. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen otoskoko oli näin ollen 200 oppilasta. Toisessa tutkimuskysymyksessä aineiston koko säilytettiin alkuperäisenä (*N* = 207). Oppilaiden keski-ikä oli ensimmäisen luokan keväällä (maalis-huhtikuu) 7,73 vuotta (kh 0,29). Kaikkien tutkittavien äidinkieli oli suomi. Perheen ylin koulutus oli jakautunut niin, että kahdella prosentilla perheistä ei ollut peruskoulun jälkeistä jatkotutkintoa, 34 %:lla oli ammatillinen tutkinto, 11 %:lla oli ylioppilastutkinto, 11 %:lla oli opistotutkinto, 21 %:lla oli ammattikorkeakoulututkinto, 18 %:lla yliopistotutkinto ja 3 %:lla oli yliopistollinen jatkotutkinto.

FLARE-hankkeen toteuttamisessa noudatettiin tutkimuseettisiä periaatteita ja sen tekemiseen pyydettiin Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto, joka noudattaa Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (TENK, 2019) ohjeistusta. Tutkimukseen osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen ja tutkittavien vanhemmilta pyydettiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta. Lisäksi osallistumisen pystyi keskeyttämään missä tahansa tutkimuksen vaiheessa. Tämän tutkimuksen aikana tutkimusaineistoa käsiteltiin hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti ja sitä säilytettiin asianmukaisesti tutkittavien yksityisyydestä huolehtien.

2.2 Tutkimusaineiston keruu

Aineistonkeruun toteuttivat tehtävään koulutetut tutkimusavustajat. Testit teetettiin joko yksilö- (lyhytkestoiset muistit, työmuisti ja fonologinen prosessointi) tai ryhmätestauksin (aritmeettiset taidot, lukujen kirjoittaminen). Yksilötestit toteutettiin kahden kesken oppilaan kanssa erillisessä tilassa ja ryhmämittauksissa jokainen oppilas teki itsenäisesti tehtävät lomakkeelle luokkahuoneessa. Yksilötestaukset nauhoitettiin oikeellisuuden tarkistamista ja myöhempää pisteytystä varten. Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto on kerätty hankkeen kahden eri mittauspisteen aikana. Ensimmäisessä mittauspisteessä, ensimmäisen luokan keväällä, mitattiin kielellinen ja visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, kielellinen työmuisti, fonologinen prosessointi, lukujen kirjoittaminen ja lukujen vertailu. Toinen mittauspiste oli kolmannen luokan keväällä, jolloin mitattiin aritmeettiset taidot. Seuraavaksi esitellään tutkimuksessa käytetyt mittarit.

Kielellinen lyhytkestoinen muisti. Lyhytkestoista muistia mitattiin WISC-IV-patteristoon kuuluvilla numerosarjatehtävillä (Wechsler, 2010) sekä sanasarjatehtävillä (Koponen & Aro, 2016). Ensimmäisessä tehtävässä lapselle lueteltiin ääneen sarja yksinumeroisia lukuja, joka hänen täytyi toistaa. Toistettavaksi tuli aina kaksi saman mittaista sarjaa. Ensimmäisessä sarjassa oli kaksi numeroa ja numeroiden määrä sarjoissa kasvoi yhdeksään asti. Toistettavaksi tuli 16 numerosarjaa, ja maksimipistemäärä oli 16. Katkaisurajana toimi kahden saman mittaisen sarjan epäonnistuminen. Sanasarjat-muistitehtävässä lapsen täytyi toistaa sarja sanoja etuperin. Lapsen tuli toistaa aina kaksi saman mittaista sarjaa. Ensimmäisessä kahdessa sarjassa sanamäärä oli kaksi, ja sitten sanamäärä kasvoi aina yhdellä. Viimeisessä sarjassa oli seitsemän sanaa. Yhteensä toistettavia sanasarjoja oli siis 12, ja maksimipistemäärä oli 12. Katkaisurajana toimi molempien saman yksikön sarjojen epäonnistuminen. Näiden kahden lyhytkestoista muistia mittaavien tehtävien välinen korrelaatio oli .52, jota voidaan pitää kohtuullisena (Metsämuuronen, 2011, 371).

Visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti. Visuospatiaalista lyhytkestoista muistia mitattiin Corsi-testillä (1972). Ensin lapsi seurasi tietokoneen näytöllä välähtäviä, keskenään samanlaisia, palikoita, joista muodostui sarja. Tämän jälkeen hänen piti klikata hiirellä palikoita samassa järjestyksessä. Ennen varsinaista tehtävän suorittamista lapselle näytettiin esimerkki, minkä jälkeen tehtiin kaksi harjoituskierrosta, joista tietokone antoi palautteen. Palkkien määrä sarjoissa kasvoi tehtävän edetessä kahdesta palkista kahdeksaan palkkiin. Kutakin sarjaa oli kaksi kappaletta. Maksimipistemäärä oli 14. Katkaisurajana käytettiin molempien saman mittaisten sarjojen menemistä väärin.

Kielellinen työmuisti. Kielellistä työmuistia mitattiin kahdella eri tehtävällä. Ensimmäisessä tehtävässä lapsen täytyi toistaa ääneen lueteltu sarja lukuja, mutta takaperin (Wechsler, 2010). Neljä ensimmäistä sarjaa olivat kahden luvun sarjoja. Lukujen määrä sarjoissa kasvoi niin, että viimeisessä sarjassa oli kahdeksan lukua. Toistettavia sarjoja oli yhteensä 16 ja maksimipistemäärä oli 16 pistettä. Toisessa tehtävässä lapsen täytyi vastaavasti toistaa kuulemansa sarja sanoja takaperin (Koponen & Aro, 2016), mutta muuten tehtävä vastasi kielellisen lyhytkestoisen muistin tehtävää. Maksimipistemäärä oli 12. Näiden kahden kielellistä työmuistia mittaavien tehtävien välinen korrelaatio oli .47, jota voidaan pitää kohtuullisena (Metsämuuronen, 2011, 371).

Fonologinen prosessointi. Fonologista prosessointia mitattiin tavu- ja äännetehtävällä (Aro 2016), joka mittasi tarkemmin fonologista tietoisuutta. Ennen varsinaisia tehtäviä lapsen kanssa tehtiin harjoituskierros. Fonologisen tietoisuuden tehtävässä oppilaalle luettiin ääneen kaksi- tai kolmitavuinen sana, minkä jälkeen lasta pyydettiin toistamaan sana ääneen poistettuaan siitä pyydetyn tavun tai äänteen. Tehtäviä oli yhteensä 15, ja oikeasta vastauksesta sai yhden pisteen. Pistemääräksi tuli oikeiden vastausten määrä. Fonologista prosessointia mittaavan tehtävän Cronbachin alfa oli .88.

Lukujen kirjoittaminen. Lukujen kirjoittamista mitattiin siten, että lapsen tuli kirjoittaa kymmenen ääneen sanottua lukua käsin lomakkeeseen arabialaisin numeroin. Kirjoitettavissa luvuissa oli kolme kaksinumeroista ja seitsemän kolminumeroista lukua (19, 78, 50, 130, 104, 157, 116, 212, 310, 406). Yhdestä oikein kirjoitetusta luvusta sai yhden pisteen, jolloin maksimipistemääräksi tuli 10. Lukujen kirjoittamista mittaavan tehtävän Cronbachin alfa oli .79.

Lukujen vertailu. Lukujen suuruusvertailua mitattiin tietokoneella tehdyllä Lukujen vertailu -tehtävällä (Koponen, 2015). Näytölle ilmaantui kaksi arabialaista numeroa, joista oppilaan piti mahdollisimman nopeasti hiirellä klikkaamalla valita suurempi luku. Tehtävässä käytetyt numerot olivat kahden ja yhdeksän välillä. Tehtäviä oli yhteensä 48, ja oikein menneestä tehtävästä sai yhden pisteen. Tehtävän aikarajana oli 30 sekuntia.

Aritmeettiset taidot. Aritmeettista sujuvuutta mitattiin kolmannen luokan keväällä aritmetiikkatestillä (Aunola & Räsänen, 2007). Tehtävät sisälsivät pääasiassa yhteen- ja vähennyslaskuja yksi- ja moninumeroisilla luvuilla. Tehtäviä oli yhteensä 30 ja niiden vaikeusaste kasvoi vähitellen. Tehtävässä oli kolmen minuutin aikaraja ja oppilaan tuli laskea niin monta tehtävää kuin siinä ajassa ehti. Jokaisesta oikein ratkaistusta laskusta sai pisteen. Kokonaispistemäärä jaettiin tehtävän aikarajalla (3 min).

Perheen koulutustausta. Tutkittavien vanhemmat vastasivat koulutustaustaansa koskevaan kysymykseen osana kyselyä, joka lähetettiin tutkittavien vanhemmille 1. luokan keväällä. Koulutustaustaa mitattiin seitsemänportaisella asteikolla, jossa 1 = ei jatkotutkintoa, 2 = ammatillinen tutkinto, 3 = ylioppilastutkinto, 4 = opistotutkinto, 5 = ammattikorkeakoulututkinto, 6 = yliopisto/korkeakoulututkinto ja 7 = yliopistollinen jatkotutkinto. Mittana käytettiin vanhempien korkeinta merkittyä koulutusta.

2.3 Aineiston analyysi

Aineisto analysoitiin SPSS 26 -ohjelmalla. Ennen analyysien suorittamista tarkasteltiin regressioanalyysin oletuksia. Jotta regressioanalyysin tuloksia olisi mielekästä tulkita, otoskoon täytyy olla tarpeeksi suuri suhteessa riippumattomiin muuttujiin (Tabachnick & Fidell, 2014, 159). Riittävän suuren otoskoon laskemiseen on kaksi vaihtoehtoa riippuen, kuinka regressioanalyysia aikoo käyttää. Ensimmäinen, useiden muuttujien korrelaatioita varten oleva yhtälö on $N \geq 50 + 8m$, jossa m tarkoittaa riippumattomien muuttujien määrää. Yksittäisten muuttujien osalta voidaan käyttää yhtälöä $N \geq 104 + m$. Otoskoon riittävyys määräytyy suuremman lopputuloksen perusteella, kun on laskettu molemmilla yhtälöillä. (Tabachnick & Fidell, 2014, 159.) Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä on neljä riippumatonta muuttujaa ja toisessa kuusi. Yksittäisten muuttujien kaavan osoittama otoksen vähimmäiskoko on 110 ($N \geq 104 + 6 = 110$), ja toisella kaavalla laskettuna 98 ($N \geq 50 + 8 \times 6 = 98$). Otoskoon tulisi siis olla vähintään 110. Tämän tutkimuksen otoskoko (N = 192–200) on täten riittävä.

Jäännöksiä katsomalla voidaan tarkastaa regressioanalyysiin sisältyvät oletukset normaalijakautuneisuudesta, lineaarisuudesta ja jäännösten homoskedastisuudesta (Tabachnick & Fidell, 2014, 161). Jäännösten jakauma oli hieman oikealle vino, mutta karkeasti arvioituna noudatti normaalijakaumaa. Sirontakuvion tarkastelu paljasti, että selittävien ja selitettävän muuttujan välinen yhteys ei ollut täysin lineaarinen, mutta kyseessä ei ollut kuitenkaan käyräviivainen yhteys. Korrelaatiot vaihtelivat heikosta kohtalaiseen (Metsämuuronen, 2011, 371). Kohtalaisten yhteyksien takia lineaarisuusoletuksen voi kuitenkin tulkita toteutuneen. Regressiosuoraa tarkasteltaessa huomattiin, että jäännökset eivät asetu tarkasti suoralle, vaan sen läheisyyteen noudattaen regressiosuoran suuntaa. Jäännösten tulisi olla homoskedastisesti jakautuneita (Tabachnick & Fidell, 2014, 163), mutta jäännöksissä oli havaittavissa heteroskedastisuutta. Jäännösten heteroskedastisuus voi johtua joidenkin muuttujien vinoudesta (Tabachnick & Fidell, 2014, 163), mikä oli tässä tapauksessa totta. Fonologinen prosessointi ja lukujen kirjoittaminen eivät noudattaneet normaalijakaumaa toisin kuin muut muuttujat.

Lisäksi regressioanalyysin oletuksiin kuuluu varmistaa, ettei muuttujissa ole poikkeavia havaintoja vääristämässä aineiston tuloksia (Tabachnick & Fidell, 2014, 160). Selittävissä muuttujissa tai selitettävässä muuttujassa ei havaittu poikkeavia havaintoja. Myös multikollineaarisuus voi vaikuttaa kielteisesti analyysin tuloksiin (Field, 2013, 324), mutta multikollineaarisuutta ei ollut havaittavissa muuttujien välisissä korrelaatioissa. Multikollineaarisuuden voi tarkistaa myös analyysin yhteydessä VIF-arvoja tulkitsemalla (Field, 2013, 325), mikä tässä tapauksessa lisäksi tehtiin. Oletus jäännöstermien riippumattomuudesta voidaan testata Durbin-Watsonin testillä (Tabachnick & Fidell, 2014, 164; Field, 2013, 311), jonka tulos tulisi olla mahdollisimman lähellä kahta, mikä osoittaisi, ettei jäännösten välillä ole korrelaatiota (Field, 2013, 311). Durbin-Watsonin testin tulokseksi saatiin 1.033, mikä Fieldin (2013, 311) mukaan viittaa jäännösten väliseen positiiviseen korrelaatioon. Arvo on siis toivottua matalampi ja täytyy ottaa huomioon tuloksia tulkitessa. Jäännösten keskinäinen korrelointi voi vääristää analyysin tilastollista merkitsevyyttä (Field, 2013, 311).

Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten aineistosta poistettiin ne oppilaat, joilta puuttui tiedot lähes kaikista mittauksista. Lisäksi ne mittaukset, joista oli tiedot, eivät olleet ensimmäisen tutkimuskysymyksen kannalta olennaisia. Näin otoskooksi tuli 199–200 oppilasta. Ennen varsinaista analyysia muistia mittaavien tehtävien johdonmukaisuutta tarkasteltiin Cronbachin alfojen avulla, joka on yleisesti käytössä oleva reliabiliteetin mitta (Metsämuuronen, 2011, 544). Koska Cronbachin alfan arvo on vain suuntaa antava, laskettiin alfoille lisäksi luottamusvälit. Populaatiossa alfojen todelliset arvot sijoittuvat ala- ja ylärajojen väliin (Metsämuuronen, 2011, 549–550.) Lyhytkestoista muistia mittaavien tehtävien Cronbachin alfan todellinen arvo sijoittuu todennäköisesti ala- ja ylärajojen väliin $\alpha = .694$, 95 %:n luottamusväli [.628-.753]. Kielellistä työmuistia mittaavien tehtävien Cronbachin alfa sijoittuu myös 95 %:n todennäköisyydellä ala- ja ylärajojen väliin $\alpha = .551$, 95 %:n luottamusväli [.454-.637].

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamisessa analyysimenetelmäksi valittiin lineaarinen regressioanalyysi. Selitettävänä muuttujana oli 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen ja selittävinä muuttujina visuospatiaalinen ja kielellinen lyhytkestoinen muisti, kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi. Muuttujien välisiä yhteyksiä ja niiden voimakkuuksia tarkasteltiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen avulla. Osa korrelaatioista oli melko suuria, eli .40–.60 välillä (Metsämuuronen, 2011, 371), mutta myös heikompia yhteyksiä löytyi. Koska kaikki muuttujat eivät olleet normaalisti jakautuneita, on myös mediaanit raportoitu, sillä mediaani on keskiarvoa kuvaavampi tunnusluku vinoille muuttujille. Lisäksi Pearsonin korrelaatioita verrattiin Spearmanin järjestyskorrelaatioihin lukujen kirjoittamisen ja fonologisen prosessoinnin osalta, mutta ne olivat suuruusluokaltaan samoja.

Lineaarinen regressioanalyysi toteutettiin ensin ilman bootstrap-menetelmää. Koska jäännökset eivät olleet täysin normaalisti jakautuneet ja jäännöksissä oli havaittavissa heteroskedastisuutta, toistettiin analyysi vielä tarkaksi luonnehditun bootstrap Bca-menetelmän avulla (Efron & Tibshirani, 1993, 187) 1000 havainnolla ja 95 %:n luottamustasolla. Lisäksi Durbin-Watsonin testin tulos viittasi jäännösten väliseen korrelointiin. Selittävään muuttujaan ei liity oletuksia jakauman laadusta, vaikka normaalijakautuneisuus olisikin optimaalisin lähtökohta (Tabachnick & Fidell, 2014, 162), mitä fonologinen prosessointi tässä tapauksessa ollut. Bootstrap-testin käyttäminen oli perusteltua tilanteessa, jossa lineaarisen regressioanalyysin oletukset eivät toteutuneet (Field, 2013, 198–199).

Bootstrap-testin tuloksista voitiin nähdä, että muuttujien standardoidut regressiokertoimet ja p-arvot olivat samoja kuin regressioanalyysissa. Lineaarisen regressioanalyysin tulokset voitiin näin ollen tulkita ilman bootstrap-menettelyyn tukeutumista. Lisäksi tarkistettiin muuttujien multikollineaarisuus analyysin teon yhteydessä toleransseja tulkitsemalla, joiden ei tulisi olla lähellä nollaa. Toleranssit olivat lähellä kymmentä, ja lisäksi muuttujien VIF-arvot, jotka ovat toleranssien vastalukuja, olivat lähellä yhtä. (Metsämuuronen, 2011, 729.) Multikollineaarisuusongelmaa ei näin ollen ollut.

Regressiomallina käytettiin pakotettua mallia, eli selittävät muuttujat asetettiin malliin yhdellä askelmalla (Metsämuuronen, 2011, 726). Taustalla ei ollut oletusta, että jokin muuttuja olisi selittänyt erityisen vahvasti lukujen kirjoittamista. Tutkimusongelmana ei myöskään ollut saada selville minkään yksittäisen muuttujan vaikutusta lukujen kirjoittamiseen, vaan kohdella kaikkia muuttujia tasapuolisesti.

Toisessa tutkimuskysymyksessä analyysi suoritettiin hierarkkisella regressioanalyysillä. Hierarkkisen regressioanalyysin oletukset vastaavat lineaarisen regressioanalyysin oletuksia. Jäännöksiä tarkasteltiin normaalisuuden, lineaarisuuden ja jäännösten homoskedastisuuden varmistamiseksi. Jäännökset noudattivat normaalijakaumaa. Lisäksi sirontakuviosta voitiin karkeasti arvioituna tulkita, että muuttujien välillä oli lineaarinen yhteys. Jäännökset olivat asettuneet regressiosuoralle, joten homoskedastisuusoletus toteutui. Jäännösten riippumattomuus varmistettiin Durbin-Watsonin testillä, jonka tulos oli 2.190. Tuloksen ollessa lähellä kahta voitiin päätellä, ettei jäännösten välillä ole korrelaatiota eikä se näin ollen vääristä analyysin tilastollista merkitsevyyttä (Field, 2013, 311).

Perheen koulutustausta-muuttujalle tehtiin muuttujamuunnos. Se muutettiin välimatka-asteikollisesta muuttujasta järjestysasteikolliseksi 4-luokkaiseksi muuttujaksi. Muuttujan arvot muutettiin siten, että ”ei jatkotutkintoa” sai arvon 1, ”ammatillinen tutkinto” ja ”ylioppilastutkinto” saivat arvon 2, ”opistotutkinto” ja ”ammattikorkeakoulututkinto” saivat arvon 3 sekä ”yliopistotutkinto” ja ”yliopistollinen jatkotutkinto” saivat arvon 4. Uusi koulutustausta-muuttuja näytti normaalisti jakautuneelta.

Muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin sekä Pearsonin tulomomenttikorrelaatiolla, että Spearmanin järjestyskorrelaation avulla, sillä lukujen kirjoittaminen ja fonologinen prosessointi eivät olleet normaalisti jakautuneita. Pearsonin korrelaatiot eivät kuitenkaan juuri eronneet Spearmanin järjestyskorrelaatioista, joten raportoidut korrelaatiot ovat Pearsonin korrelaatioita. Osa korrelaatioista oli melko suuria, eli .40–.60, (Metsämuuronen, 2011, 371), mutta myös tätä heikompia yhteyksiä löytyi.

Kahdessa muuttujassa, lapsen iässä ja lukujen vertailussa oli regressioanalyysin oletusten vastaisesti poikkeavia havaintoja. Outlierien ongelmallisuutta arvioitiin tarkemmin laskemalla niille Cookin etäisyys, jonka avulla voi arvioida yksittäisen havainnon vaikutusta mallin hyvyyteen (Field, 2013, 306). Cookin etäisyyden arvot olivat selkeästi alle yhden. Cookin etäisyyden arvojen ei suositella olevan yli yhden (Cook & Weisberg, 1982, Fieldin, 2013, s. 306 mukaan), joten poikkeavia havaintoja ei tämän perusteella tarvitse poistaa aineistosta. Lisäksi tarkasteltiin standardoituja jäännöksiä havaintokohtaisesti, jotta liian suuret jäännökset tulisivat ilmi. Minkään havainnon jäännös ei ollut suurempi kuin 3, jota pidetään rajana liian suurelle jäännökselle (Metsämuuronen, 2011, 741). Jäännösten keskiarvo oli .041 (kh .993), joten mallin avulla pystytään siis ennustamaan kaikkien havaintojen arvoja. Lopullisessa analyysissa outlier-tapauksia ei poistettu muuttujista, joten lopullinen analyysi tehtiin alkuperäisillä muuttujilla.

Korrelaatioiden perusteella muuttujien välillä ei ollut havaittavissa multikollineaarisuutta, mutta asia varmistettiin vielä VIF-arvoista analyysin teon yhteydessä. VIF-arvot olivat lähellä arvoa yksi, joten multikollineaarisuusongelmaa ei ollut (Metsämuuronen 2011, 729). Toisessa tutkimuskysymyksessä alkuperäisestä aineistosta ($N = 207$) ei poistettu oppilaita, mutta lopulliseksi otoskooksi tuli 192–200 havaintoa kadon vuoksi. Määrä on riittävä riippumattomiin muuttujiin nähden. Oppilailta puuttui tietoja lähinnä satunnaisesti, mutta muutamalta oppilaalta puuttui tiedot lähes kaikista mittauksista lukuun ottamatta aritmeettisia taitoja ja lukujen vertailua. Oppilaita ei poistettu aineistosta, sillä tiedot aritmeettisista taidoista ja lukujen vertailusta olivat olennaisia tutkimusongelman kannalta. Sattumanvarainen kato aineistossa ei lähtökohtaisesti vääristä tulosten oikeellisuutta, sillä se ei pysty ennustamaan tuloksia satunnaisuuden takia (Tabachnick & Fidell 2014, 96–97).

Toisessa kysymyksessä selitettävänä muuttujana oli 3. luokan aritmeettiset taidot ja selittävänä muuttujana 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen. Lisäksi lapsen ikä, perheen koulutustausta, lukujen vertailu ja ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä merkitsevästi lukujen kirjoittamiseen yhteydessä olleet kognitiiviset tekijät kontrolloitiin. Hierarkkisen regressioanalyysin idean mukaisesti selittävät muuttujat syötettiin malliin useammalla kuin yhdellä askelmalla (Tabachnick & Fidell, 2014, 173). Ensimmäisellä askelmalla selittäväksi muuttujaksi asetettiin lapsen ikä ja perheen koulutustausta, toisella askelmalla fonologinen prosessointi ja kielellinen työmuisti ja lukujen vertailu. Muuttujien järjestystä ohjasivat teoreettiset taustaoletukset (Tabachnick & Fidell, 2014, 179). Näin voitiin selvittää lukujen kirjoittamisen omavaikutus kontrolloimalla ensin muut tekijät, joiden oletettiin selittävän aritmeettisia taitoja tilastollisesti merkitsevästi.

Viimeisellä askelmalla malliin syötettiin lukujen kirjoittaminen, jonka oletettiin olevan vahva selittäjä aritmeettisille taidoille. Näin saatiin selville, kuinka suuri lukujen kirjoittamisen omavaikutus mallissa oli.

3 TULOKSET

3.1 Muistin ja fonologisen prosessoinnin yhteys lukujen kirjoittamiseen

Tutkimusongelmana tarkasteltiin, missä määrin visuospatiaalinen ja kielellinen lyhytkestoinen muisti, kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi selittävät lukujen kirjoittamista. Muuttujien väliltä löytyi tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä ja muuttujien väliset korrelaatiot olivat positiivisia. Käytettyjen muuttujien keskinäiset korrelaatiot, keskiarvot, keskihajonnat ja mediaanit on esitetty taulukossa 1. Lukujen kirjoittamisen kanssa heikoiten korreloi visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti, kun taas fonologinen prosessointi ja kielellinen työmuisti korreloivat vahvasti lukujen kirjoittamisen kanssa. Regressionanalyysin tulokset ovat nähtävissä taulukossa 2. Tuloksista käy ilmi, että malli on tilastollisesti merkitsevä $F(4,194)=20{,}416$, $p<.001$. Visuospatiaalinen ja kielellinen lyhytkestoinen muisti, kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi selittivät lukujen kirjoittamisesta yhteensä 29,6 %. Tilastollisesti merkitsevät omavaikutukset olivat fonologisella prosessoinnilla ($p<.001$) ja kielellisellä työmuistilla ($p<.01$). Kielellinen lyhytkestoinen muisti tuli tilastollisesti merkitseväksi ($p<.05$) vain, kun mallista otettiin pois joko fonologinen prosessointi tai kielellinen työmuisti.

Taulukko 1

*Tutkimuksessa käytettyjen muuttujien keskinäiset korrelaatiot, keskiarvot (*KA*), keskihajonnat (*KH*) ja mediaanit (*MD*). (*N *= 199–200).*

Muuttujat	1.	2.	3.	4.	5.
1. Lukujen kirjoittaminen	-				
2. Visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti	.18*	-			
3. Kielellinen lyhytkestoinen muisti	.32**	.16*	-		
4. Kielellinen työmuisti	.39**	.24**	.43**	-	
5. Fonologinen prosessointi	.49**	.21**	.37**	.39**	-
n	200	199	200	200	200
KA	7.92	6.62	12.35	3.99	11.87
KH	2.83	2.25	2.53	.92	3.66
MD	10.00	7.00	12.00	4.00	13.00

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

Taulukko 2

*Lineaarisen regressioanalyysin tulokset visuospatiaalisen ja kielellisen lyhytkestoisen muistin, kielellisen työmuistin ja fonologisen prosessoinnin yhteyksistä lukujen kirjoittamiseen. (*N *= 199–200).*

	Lukujen kirjoittaminen
	β
Visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti	.036
Kielellinen lyhytkestoinen muisti	.089
Kielellinen työmuisti	.198**
Fonologinen prosessointi	.374**
R^2	.296**
Mallin sopivuus	F(4,194)= 20,416**

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

3.2 Lukujen kirjoittamisen yhteys aritmeettiseen sujuvuuteen

Toisessa tutkimuskysymyksessä haluttiin selvittää missä määrin 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen selittää aritmeettisia taitoja 3. luokalla, kun lapsen ikä ja perheen koulutustausta sekä lukujen vertailu ja kognitiiviset taustatekijät on kontrolloitu. Kognitiiviset taustatekijät valikoituivat ensimmäisen tutkimuskysymyksen perusteella. Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä lukujen kirjoittamiseen merkitsevästi yhteydessä olivat kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi, minkä takia niiden vaikutus aritmeettisiin taitoihin haluttiin kontrolloida toisessa tutkimuskysymyksessä.

Muuttujien välillä oli tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Muuttujien väliset korrelaatiot vaihtelivat heikosta kohtalaiseen ja pääasiassa yhteydet olivat positiivisia. Muuttujien keskinäiset korrelaatiot, keskiarvot- ja hajonnat ja mediaanit on esitetty taulukossa 3. Heikoimmin aritmeettisen sujuvuuden kanssa korreloi lapsen ikä ja perheen koulutustausta. Vahvimmat yhteydet löytyivät aritmeettisen sujuvuuden ja lukujen kirjoittamisen sekä aritmeettisen sujuvuuden ja lukujen vertailun väliltä. Hierarkkisen regressioanalyysiin tulokset ovat nähtävissä taulukosta 4. Tulokset osoittavat, että 1. luokalla mitattu lapsen ikä, perheen koulutustausta, kielellinen työmuisti, fonologinen prosessointi, lukujen vertailu ja lukujen kirjoittaminen selittivät yhteensä 41,9 % aritmeettisista taidoista 3. luokalla F(1,176)=18,554, p<.001. Ensimmäisellä askelmalla malliin syötetyt lapsen ikä ja perheen koulutustausta eivät selittäneet tilastollisesti merkitsevästi aritmeettisia taitoja (F(2,180)=2,668, p=.072). Malliin toisella askelmalla lisätyt fonologinen prosessointi, kielellinen työmuisti ja lukujen vertailu lisäsivät mallin selitysosuutta tilastollisesti merkitsevästi (selitysasteen lisäys 32,8 prosenttiyksikköä, F(3,177)=30,143, p<.001.). Toisella askelmalla fonologisen prosessoinnin, kielellisen työmuistin ja lukujen vertailun omavaikutus oli myönteinen ja tilastollisesti merkitsevä: mitä paremmin lapsi on suoriutunut 1. luokalla lukujen vertailussa sekä fonologisen prosessoinnin ja kielellisen työmuistin tehtävissä, sitä paremmat lapsen aritmeettiset taidot olivat 3. luokalla.

Kolmannella askelmalla malliin lisättiin lukujen kirjoittaminen. Lukujen kirjoittamisen lisääminen kasvatti mallin selitysastetta tilastollisesti merkitsevästi (selitysasteen lisäys 6,1 prosenttiyksikköä, F(1,176)=18,554 p< .001). Lukujen kirjoittamisen vaikutus oli myönteinen: mitä paremmin lapsi osasi kirjoittaa lukuja 1. luokalla, sitä paremmat hänen aritmeettiset taitonsa olivat 3. luokalla. Tulokset osoittivat myös, että lukujen kirjoittamisen malliin lisäämisen jälkeen fonologisella prosessoinnilla ja kielellisellä työmuistilla ei ollut enää tilastollisesti merkitsevää omavaikutusta aritmeettisiin taitoihin. Tämä antaa viitteitä siitä, että fonologinen prosessointi ja kielellinen työmuisti ovat välillisesti yhteydessä aritmeettisiin taitoihin lukujen kirjoittamisen kautta. Mitä paremmat fonologiset taidot ja kielellinen työmuisti lapsella on, sitä paremmin hän osaa kirjoittaa lukuja ja näin ollen sitä paremmat ovat myös hänen aritmeettiset taitonsa.

Taulukko 3

*Tutkimuksessa käytettyjen muuttujien keskinäiset korrelaatiot, keskiarvot (*KA*), keskihajonnat (*KH*) ja mediaanit (*MD*). (*N *= 192–200).*

Muuttujat	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1. Aritmeettinen sujuvuus	-						
2. Lukujen kirjoittaminen	.53**	-					
3. Lukujen vertailu	.49**	.41**	-				
4. Kielellinen työmuisti	.39**	.39**	.34*	-			
5. Fonologinen prosessointi	.42**	.49**	.28**	.39**	-		
6. Lapsen ikä	-.05	.03	.02	-.06	-.02	-	
7. Perheen koulutustausta	.17*	.02	.04	-.18	.14*	-.18*	-
n	197	200	199	200	200	200	192
KA	15.82	7.92	18.53	3.99	11.87	92.79	2.72
KH	5.24	2.83	4.14	.92	3.66	3.52	.81
MD	17.00	10.00	19.00	4.00	13.00	92.50	3.00

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

Taulukko 4

*Hierarkkisen regressioanalyysin tulokset lapsen iän, perheen koulutustaustan, lukujen vertailun, fonologisen prosessoinnin, kielellisen työmuistin ja lukujen kirjoittamisen yhteyksistä aritmeettisiin taitoihin (*N *= 192–200).*

Riippumattomat muuttujat	Ennustaa aritmeettista sujuvuutta		
	Askel 1	Askel 2	Askel 3
	β	β	β
Lapsen ikä	-.019	-.023	-.032
Perheen koulutustausta	.165	.102	.120
Lukujen vertailu		.367***	.289***
Fonologinen prosessointi		.233***	.122
Kielellinen työmuisti		.161**	.108
Lukujen kirjoittaminen			.307***
R^2	.029	.357	.419
ΔR^2	-	.328***	.061***

Huom. ***p < .001. β = standardoitu regressiokerroin, ΔR^2 = selitysasteen muutos

4 POHDINTA

4.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, missä määrin 1. luokalla mitattu lukujen kirjoittaminen selittää 3. luokan aritmeettisia taitoja. Tuloksista kävi ilmi, että lukujen kirjoittaminen selittää aritmeettisia taitoja tilastollisesti merkitsevästi, kun lapsen ikä, perheen koulutustausta, lukujen vertailu, fonologinen prosessointi ja kielellinen työmuisti huomioitiin. Tulokset vahvistavat aiempia, pääosin inversiorakenteista lukusanajärjestelmää koskevia, tutkimustuloksia lukujen kirjoittamisen hallitsemisen tärkeydestä aritmeettiselle osaamiselle (Imbo ym., 2014; van der Ven ym., 2017; Moeller ym., 2011). Samalla saatiin uutta tietoa lukujen kirjoittamisen merkityksestä myöhemmille aritmeettisille taidoille suomen kielessä, jossa lukusanojen inversiorakenne ei ole hallitseva. Näyttäisikin, että lukujen kirjoittamisen ja aritmeettisen suoriutumisen välistä yhteyttä ei selitä vain käänteisesti ilmaistut lukusanat, vaan se on itsessään tärkeä taito kielestä riippumatta. Tulokset myötäilevät tältä osin aiempia ei-inversiokielissä tehtyjä tutkimuksia (Malone ym., 2021; Habermann ym., 2020; Clayton ym., 2020).

Aiemmat tutkimukset (Malone ym., 2021; Habermann ym., 2020) ovat selvittäneet lukujen kirjoittamisen osuutta myöhempään aritmeettiseen osaamiseen yhdessä muiden symbolisia numeerisia taitoja vaativien tehtävien kanssa. Tämän tutkimuksen tulokset sekä vahvistavat näiden tutkimusten löydöksiä että tuovat uutta tietoa koskien erityisesti lukujen kirjoittamisen osuutta myöhemmässä aritmeettisessa suoriutumisessa. Aiemmassa tutkimuksessa (Clayton ym., 2020) todettiin lukujen kirjoittamisen selittävän aritmeettisia taitoja, mutta tämä tutkimus vie lukujen kirjoittamisen merkityksen vielä askeleen pidemmälle pitkittäisasetelman vuoksi. Näin ollen lukujen kirjoittaminen kestää yhä kriittisemmän ja tarkemman tarkastelun. Se antaa viitteitä siitä, että se voi olla yksi oleellisista numeerisista perustaidoista aritmeettisten taitojen taustalla. Mikäli lapsi hallitsee lukujen kirjoittamisen muiden perustaitojen ohella, sitä luottavaisemmin voi suhtautua hänen myöhempiin aritmeettisiin taitoihinsa. Toisaalta hankaluudet lukujen kirjoittamisessa voivat vihjata, että tulevaisuudessa myös peruslaskutaidon sujuvoituminen aiheuttaa haasteita.

Lisäksi on huomionarvoista, että lukujen kirjoittamisen yhteys aritmetiikkaan oli samaa suuruusluokkaa lukujen vertailun kanssa. Lukujen suuruusvertailun tiedetään olevan yksi tärkeimmistä perusnumeerisista taidoista (Xenidou-Dervou, 2017; Caviola ym., 2020; Schneider ym., 2017; Fazio ym., 2014; Toll ym., 2015; De Smedt ym., 2013), joten on yllättävää, että lukujen kirjoittamisesta raportoivat tutkimukset ovat melko harvassa. Tämän tutkimuksen perusteella niillä näyttäisi olevan oma erillinen, painoarvoltaan samansuuruinen merkitys myöhempien taitojen kannalta. Lopullisia johtopäätöksiä lukujen kirjoittamisen ja lukujen vertailun tasavahvuisuudesta tämä tutkielma ei salli vetää, koska lukujen kirjoittamista perusnumeerisena taitona aritmetiikan taustalla on toistaiseksi tutkittu huomattavasti lukujen vertailua vähemmän. Jatkon kannalta voi sen sijaan todeta, että lukujen kirjoittamista kannattaa edelleen tutkia omana tekijänään aritmeettisten taitojen ennustajia selvittäessä. Kolmoiskoodimallin (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) näkökulmasta tämä tutkimus antaa syytä olettaa, että luvun symbolisten esitysmuotojen vastaavuuksien hallitseminen on oleellinen taito myöhempää symbolista matematiikkaa ajatellen, kuten aiemmissa pitkittäistutkimuksissa on havaittu (Malone ym., 2021; Göbel ym., 2014a; Steiner ym., 2021). Se ei toisaalta vähennä lukujen suuruusvertailun merkitystä, vaan pikemmin voi lisätutkimuksen seurauksena tulla sen rinnalle. Lukujen suuruusvertailu ja lukujen kirjoittaminen eroavat toisistaan siten, että lukujen kirjoittaminen on kielellinen taito, toisin kuin lukujen suuruusvertailu (Dehaene, 1992). Mahdollisesti ne ovat kuitenkin yhtä tärkeitä.

Lisäksi tutkimuksessa haluttiin saada selville lukujen kirjoittamista selittäviä kognitiivisia taitoja. Havaittiin, että kielellinen työmuisti ja fonologinen prosessointi olivat mallin vahvimmat selittäjät ja samalla ainoat tilastollisesti merkitsevät silloin kun kaikki neljä muuttujaa olivat mallissa samaan aikaan. Työmuistin osalta tulokset eivät ole yllättäviä ottaen huomioon aiemmat tutkimustulokset (Imbo ym., 2014; Clayton ym., 2020; Camos, 2008; Pixner ym., 2011; Zuber ym., 2009; Moura ym., 2013) lukujen kirjoittamisen kannalta. Näin ollen tulokset lujittavat työmuistin asemaa lukujen kirjoittamisen kognitiivisena taustataitona. Vaikuttaa siis siltä, että osatakseen kirjoittaa 2–3 numeroisia lukuja lapsen täytyy osata samanaikaisesti pitää kuulemansa luku mielessä, kun hakee lukua tai osia siitä pitkäaikaisesta muistista kirjoittaakseen luvun sisältämät numerot lopuksi oikeassa järjestyksessä. Tämän tutkimuksen luvuista kolme oli kaksinumeroisia ja loput kolminumeroisia, joten sen perusteella voi tehdä tulkinnan työmuistin painoarvosta moninumeroisten lukujen kirjoittamisessa. Tämä tulkinta pohjautuu myös aiempiin tutkimuksiin, joissa on todettu työmuistiresurssien käytön korostuvan mitä syntaktisesti monimutkaisempi luku on kyseessä (Moura ym., 2013; Pixner ym., 2011).

Fonologisen prosessoinnin osalta tulokset ovat teoreettisesti tarkasteltuna odotuksenmukaisia (Barrouillet ym., 2004), mutta empiirisesti arvioituna melko uusia ja lisäksi kannustavia. Tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tutkimusten (Lopes-Silva ym., 2016; Lopes-Silva ym., 2014) kanssa, joissa fonologista tietoisuutta on lisäksi mitattu samalla tavalla. Tulokset ovat siten vertailukelpoisia. Tulokset olivat loogisia myös suhteessa Teixeiran ja Mouran (2020) raportoimien tulosten kanssa, joissa dysleksisten lasten haasteet lukujen kirjoittamisessa olivat yhdistettävissä fonologisten taitojen puutteisiin. Tämä tutkimus vahvisti osaltaan fonologisten kykyjen merkitystä, vaikka ei ottanutkaan kantaa dysleksisten lasten transkoodaukseen. Tutkimuksellinen pohja fonologisen prosessoinnin ja lukujen kirjoittamisen välisestä yhteydestä on tutkimusten vähäisyyteen vedoten vasta saatu aluilleen, mutta tämän tutkimuksen tulosten perusteella näytön kerryttämistä on aiheellista jatkaa.

Fonologinen tietoisuus toimii siis työmuistin lisäksi lukujen kirjoittamisen taustalla. Fonologisen tietoisuuden rooli lukujen kirjoittamisessa vastaa todennäköisesti sen roolia yksinkertaisissa aritmeettisissa laskuissa, joissa aritmeettiset faktat pystytään palauttamaan pitkäaikaisesta muistista täsmällisten kielellisten edustusten avulla (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021; Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995). Tässä tutkimuksessa 7-vuotiaiden lasten fonologisilla resursseilla oli merkittävä osuus lukujen kirjoittamisessa, vaikka aiemmissa tutkimuksissa on havaittu fonologisten resurssien korostuvan vasta vanhemmilla lapsilla yksinkertaisissa laskuissa (De Smedt ym., 2010; Greiner de Magalhaes ym., 2021). Ilmeisesti tässä tutkimuksessa 7-vuotiaat pystyivät palauttamaan ainakin joitakin lukuja pitkäaikaisesta muistista. Huomattakoon myös, että tässä tutkimuksessa mitattiin tarkkuutta, jonka on ehdotettu liittyvän erityisesti nuorten lasten fonologisiin resursseihin sujuvuuden sijaan (Yang & McBride, 2020). Fonologisten resurssien osalta tutkimuksen tuloksissa on havaittavissa yhtäläisyyksiä aiempiin fonologisen tietoisuuden merkitystä selvittäneisiin tutkimuksiin.

Toisaalta ADAPT-malliin nojautuen voidaan esittää, että fonologisen tietoisuuden merkitys painottuu erityisesti pieniin, aritmeettisen faktan tavoin, pitkäaikaisesta muistista palautettaviin lukuihin. Toisaalta fonologisella tietoisuudella voi olla käyttöä myös suurempien lukujen kirjoittamisessa, sillä suuret luvut koostuvat aina pienemmistä luvuista. (Barrouillet ym., 2004.) Tämän tutkimuksen perusteella on hankala erotella fonologisen tietoisuuden merkitystä täsmällisesti pienten tai isojen lukujen kannalta, mutta koska suurin osa tutkimuksessa käytetyistä luvuista oli kolminumeroisia, antaa se viitteitä fonologisen tietoisuuden merkityksestä suurempien lukujen kirjoittamisessa.

Fonologisen tietoisuuden merkitystä voi havainnollistaa myös kuvittelemalla, ettei fonologisia resursseja olisi käytössä. Se voisi aiheuttaa hankaluuksia erityisesti transkoodausprosessin käynnistymisessä (Lopes-Silva ym., 2014). Käytännössä siis fonologisen tietoisuuden voi ajatella herkistävän lasta kuulemalleen luvulle. Ensinnäkin siten, että esimerkiksi tiedostetaan luvun ”kaksisataaviisi” olevan eri luku kuin ”kahdeksansataaviisi”, jolloin kirjoitetun luvun oikeellisuus riippuu osittain siitä, että sen on aluksi ymmärtänyt kielellisesti täsmällisesti. Lisäksi hankaluuksia voi tuottaa yksittäisten numeroiden erottaminen moninumeroisesta luvusta, jolloin puhutaan kyvystä erotella merkityksellisiä yksiköitä kokonaisuudesta (Krajewski & Schneider, 2009). Fonologisen tietoisuuden voi ajatella herkistävän luvun hajottamiselle ja jäsentämiselle tarpeen mukaan, kuten ADAPT-mallin proseduraaliset säännöt edellyttävät (Barrouillet ym., 2004). Tällainen johtopäätös vaatii kuitenkin jatkotutkimuksia.

Lyhytkestoiset muistit eivät nousseet tässä tutkimuksessa esiin merkitsevinä selittäjinä mikä ei ole järin yllättävää aiempiin tuloksiin verrattaessa. Tulokset ovat kuitenkin ristiriidassa Simmonsin ja muiden (2012) havaintojen kanssa, joissa lyhytkestoinen visuospatiaalinen muisti selitti lukujen kirjoittamista, mutta työmuisti ei. Eriäviä tuloksia voi selittää se, että Simmonsin ja muiden (2012) tutkimuksessa käytettiin 1–4 numeroisia lukuja, mutta tässä tutkimuksessa vain 2–3 numeroisia. Lisäksi tässä tutkimuksessa hajontaa lukujen kirjoittamisen oikeellisuudessa ei ollut kovinkaan paljon, toisin kuin Simmonsin ja muiden (2012) tutkimuksessa, joten visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin osuus saattoi jäädä sen vuoksi tässä tutkimuksessa piiloon. Lisäksi Zuber ja muut (2009) havaitsivat visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin selittävän transkoodausta. Toisaalta tutkimuksen (Zuber ym., 2009) pääpaino oli erilaisten virhetyyppien tutkimisessa. Lisäksi tutkimuksen kohteena oli inversiokieli, joten tulokset eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. On toisaalta yllättävää, että tässä tutkimuksessa visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti ei muodostunut merkitseväksi selittäjäksi lukujen kirjoittamiselle. Iän huomioon ottaen se olisi ollut odotuksenmukaista sen tiedon valossa, että nuoremmat lapset tukeutuvat enemmän visuospatiaalisiin resursseihin matematiikassa (van der Ven ym., 2017; Raghubar ym., 2010). Toisaalta kiinnitettäköön huomiota jälleen kielten välisiin eroihin, sillä tutkimuksessa (van der Ven ym., 2017) tutkittiin hollanninkielisiä lapsia, joita lukusanojen käänteisyys haastaa paljon enemmän kuin suomenkielisiä lapsia. Toisesta näkökulmasta katsottuna visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin näkymättömyys myötäilee aiempia tuloksia (Imbo ym., 2014; Pixner ym., 2011). Lyhytkestoisen kielellisen muistin osalta tässä tutkimuksessa päädyttiin samankaltaisiin tuloksiin kuin aiemmin raportoidut tulokset (Zuber ym., 2009; Simmons ym., 2012; Pixner ym., 2009). Tämä tutkimus antaa omalta osaltaan vahvistusta sille käsitykselle, että lukujen kirjoittamisen kannalta työmuisti on olennainen, mutta lyhytkestoisilla muisteilla ei näytä olevan samansuuruista painoarvoa.

Toisin sanoen olennaista ei näytä olevan se, mitä prosessoidaan, vaan miten prosessoidaan. Lukujen kirjoittaminen vaikuttaa edellyttävän samanaikaista mielessäpitämistä ja manipulointia unohtamatta fonologisen prosessoinnin resurssien käyttämistä. Tiivistäen voi ADAPT-malliin (Barrouillet ym., 2004) nojautuen ja Lopes-Silvan ja muiden (2014) tavoin esittää, että fonologisen tietoisuuden kyvyt korostuvat transkoodausprosessin alussa sen käynnistäjänä ja työmuisti taas myöhemmässä vaiheessa. Näillä kahdella voi olettaa olevan siis erilaiset roolit lukujen kirjoittamisen kognitiivisina taustataitoina. Tämä voi selittää ainakin osin sitä, miksi juuri nämä kaksi tekijää nousivat merkitseviksi selittäjäksi. Olisi ollut myös mahdollista, että ainoastaan fonologinen tietoisuus tai kielellinen työmuisti olisi selittänyt lukujen kirjoittamista, sillä fonologisen tietoisuuden ja kielellisen työmuistin käyttämät resurssit limittyvät osittain toistensa kanssa (Hecht ym., 2001). Siten niiden pitäminen täysin eri taitoina on toisaalta teennäistä. Tässä tutkimuksessa tulokseen voi vaikuttaa kielellisen työmuistin ja fonologisen tietoisuuden mittaaminen tarpeeksi erityyppisillä tehtävillä.

4.2 Tutkimuksen arviointi

Tämän tutkimuksen vahvuus on sen pitkittäistutkimusasetelma, sillä aikaisemmin lukujen kirjoittamista perusnumeerisena taitona aritmetiikan taustalla on tutkittu pitkittäistutkimuksilla niukasti. Lisäksi tämä tutkimus tuo esiin tuoreen näkökulman tutkimalla lukujen kirjoittamisen yhteyttä myöhempiin matematiikan taitoihin suomen kielessä. Aikaisemmat tutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet lukusanoiltaan käänteisiin kieliin, mikä ei ole täysin yleistettävissä suomenkielisiin oppijoihin.

Osa tutkimuksen rajoituksista liittyy siinä käytettyihin mittareihin, joista yksi on lukujen kirjoittamista mitannut tehtävä. Kyseinen mittari ei erotellut oppilaita kovin tarkasti, sillä mittarin jakauma oli vino ja keskiarvo lähellä maksimipistemäärää. Tehtävä oli siis useimmille helppo. Lisäksi vinosti jakautunut muuttuja ei vastaa parametrisen testin oletuksia. Tutkimuksen luotettavuutta lisää kuitenkin se, että oletuksiin liittyvät rajoitukset otettiin huomioon varmistamalla tulosten oikeellisuus käyttäen bootstrapping-menetelmää ja päättämällä tämän perusteella sopiva tilastollinen testi. Lisäksi lukujen kirjoittamista olisi kannattanut mitata joko yksinumeroisilla luvuilla tai suuremmilla luvuilla, jolloin olisi voitu keskittyä tutkimaan joko pienten tai suurten lukujen kirjoittamista. Nyt mittari sisälsi molempia lukuja, joten tulokset koskevat osittain pieniä ja suuria lukuja. Mittari oli myös tehtävämäärältään suppeampi verrattuna muiden tutkimusten (esim. Clayton ym., 2020; Imbo ym., 2014; Moeller ym., 2011) vastaaviin mittareihin, mikä voi heikentää sen luotettavuutta (Metsämuuronen, 2011, 68).

Tässä tutkimuksessa käytettiin myös laajalti käytössä olevia mittareita. Visuospatiaalista lyhytkestoista muistia mitattiin Corsin (1972) mittarilla. Lisäksi kielellistä lyhytkestoista muistia mitattiin vakiintuneessa käytössä olevalla Wechslerin (2010) numerosarjoilla. Kielellisen lyhytkestoisen muistin mittarissa oli tehtäviä, joissa ei ollut varianssia. Ihanteellista olisi, jos mittarin kaikki tehtävät olisivat erotelleet tutkittavia, jolloin myös sisäinen reliabiliteetti olisi ollut parempi. Toisaalta varianssin puuttuminen on tyypillistä katkaisurajaisille tehtäväsarjoille, joilla pyritään löytämään tutkittavan osaamistaso. Kyseisen mittarin Cronbachin alfa oli kuitenkin kohtuullinen (.694), jos nyrkkisääntönä pidetään .60 rajaa (Metsämuuronen, 2011, 467). Kielellisen työmuistin mittarin rajoitteena voidaan niin ikään pitää viittä tehtävää, joissa ei ollut varianssia. Kielellisen työmuistin Cronbachin alfan (.551) voidaan tulkita olevan hyväksyttävyyden alarajalla (Metsämuuronen, 2011, 467), eli parempi sisäinen reliabiliteetti olisi lisännyt mittarin luotettavuutta. Lisäksi aritmeettista sujuvuutta mitattiin Aunolan ja Räsäsen (2007) aritmetiikkatestillä. Etuna laajalti käytössä olevien mittareiden käyttämisessä on se, että tämän tutkimuksen tuloksia on helpompi verrata muihin samoja mittareita suosineisiin tutkimuksiin (Metsämuuronen, 2011, 67). Lisäksi se lisää tutkimuksen ulkoista reliabiliteettia, kun yleisesti käytössä olevat mittarit ovat useimpien saavutettavissa.

Tutkimuksen ulkoinen validiteetti (Metsämuuronen, 2011, 125) on kohtuullisen hyvä, mikä tarkoittaa, että tulokset ovat melko hyvin yleistettävissä perusjoukkoon, eli syntyperäisiin suomenkielisiin alakoululaisiin. Tutkimuksen vahvuudeksi voidaan katsoa, että aineisto oli kerätty eri kuntien alueelta. Yleistettävyys paranisi edelleen, mikäli aineisto olisi kerätty ympäri Suomea yhden maakunnan sijaan. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla kouluissa on useisiin eri kieliryhmiin kuuluvia oppilaita. Toisaalta eri kielten asettamat lähtökohdat lukujen kirjoittamiseen ja myöhempiin matematiikan taitoihin olisi otettava huomioon, sillä suomenkielisessä kontekstissa toteutetun tutkimuksen tuloksia ei voi täysin yleistää kaikkia kieliryhmiä edustaviin lapsiin. Sukupuolijakauman osalta tutkimus on edustava, sillä 97 oli poikia ja 103 oli tyttöjä. Lisäksi kokonaisotos on melko suuri (N = 200), joten tilastollisia merkitsevyyksiä on mielekästä tulkita.

4.3 Jatkotutkimusideat ja käytännön sovellukset

Jatkotutkimuksia ajatellen tästä tutkimuksesta voi ponnistaa useaan suuntaan. Ensinnäkin, jotta lukujen kirjoittamisen merkitys myöhemmille aritmeettisille taidoille kirkastuisi tulevaisuudessa, olisi sen roolia tutkittava myös jatkossa pitkittäistutkimuksin. Tutkimuksissa löydettyihin (Clayton ym., 2020; Imbo ym., 2014) samanaikaisiin yhteyksiin ei voida perustaa johtopäätöksiä lukujen kirjoittamisen osallisuudesta aritmetiikan taitoihin. Parhaan mahdollisuuden tutkia jonkin taidon osuutta myöhempien taitojen kannalta tarjoaa pitkittäisasetelmassa tehty interventiotutkimus (Butterworth & Bryant, 1990, Dowkerin 2005, s. 25–26 mukaan). Käytännössä lukujen kirjoittaminen voitaisiin sisällyttää harjoitteluohjelmiin muiden perusnumeeristen taitojen rinnalle. Tämän tutkimuksen perusteella ei siis voida vielä suoraan suositella lukujen kirjoittamisen harjoittelun korostamista opettajille aritmeettisia taitoja silmällä pitäen vaan ensin tarvitaan interventiotutkimuksia pitkittäisasetelmassa toteutettuna.

Mahdollisesti lisätutkimuksen seurauksena voisi olla, että lukujen kirjoittamisen roolia laajennettaisiin esi- ja alkuopetuksen opettajille suunnatussa Aunion ja Räsäsen mallissa (2016). Keskeisiä numeerisia perustaitoja kuvaavassa mallissa (Aunio & Räsänen, 2016) kaksi- ja moninumeroisten lukujen syntaksin osaamisen korostamiselle olisi tilaa. Tämä on yksi esimerkki opetusta hyödyttävästä tutkitun tiedon käytännön sovelluksesta. Aritmeettisten perustaitojen sujuvoittaminen on tärkeää, jotta vältetään hankaluudet myöhempien taitojen oppimisessa (Fuchs ym., 2006; Koponen ym., 2007), ja matematiikka-ahdistuksen syntyminen (Sorvo ym., 2019; Gunderson ym., 2018), mikä voi toimia motivaationa tulevien tutkimusten tekemistä ajatellen laajemmasta perspektiivistä tarkasteltuna. Tämä tutkimus tuo ketjun alkupäähän tietoa siitä, että lukujen kirjoittaminen on mahdollisesti tärkeä tekijä myöhempien taitojen kannalta ja yhteyden selvittämistä kannattaa jatkaa.

Lisäksi jatkossa olisi mielenkiintoista hyödyntää edelleen Baddeleyn (2012) työmuistimallia ja tutkia sen mahdollistamana hienojakoisemmin työmuistin eri komponenttien osallisuutta lukujen kirjoittamiseen, sillä eri työmuistikomponenttien arvellaan osallistuvan transkoodaukseen eri tavoin (Pixner ym., 2011) kuten yleisestikin matematiikan taitoihin (Peng ym., 2016; Raghubar ym., 2010; Friso-van den Bos ym., 2013). Tässä tutkimuksessa transkoodausta selitti kielellinen työmuisti, mutta koska se oli ainoa työmuistikomponentti, ei voida yksiselitteisesti sanoa sen olevan vahvempi selittäjä kuin visuaalisin tehtävin mitattu työmuisti tai näiden yhdistelmä. Tulevissa tutkimuksissa olisikin mielenkiintoista ottaa huomioon työmuistin rooli kielellisillä ja/tai visuaalisilla tehtävillä mitattuna, jotta saataisiin selville, onko jokin työmuistikomponentti luotettavammin yhteydessä lukujen kirjoittamiseen. Lisäksi lukujen suuruusluokan valintaan olisi syytä kiinnittää tarkempaa huomiota. Selkeyttä voisi tuoda pienten (1–2 numeroisten) ja suurten lukujen tutkiminen erikseen, sillä tavallisesti pienet luvut palautetaan pitkäaikaisesta muistista, mutta suurempiin lukuihin vaaditaan transkoodaussääntöjen osaamisen lisäksi työmuistin resursseja (Barrouillet ym., 2004), eli ne perustuvat osittain erilaisiin kognitiivisiin taitoihin. Pienten ja suurten lukujen tutkiminen erikseen antaisi myös lisää tietoa fonologisen prosessoinnin osuudesta transkoodauksessa. Tavallisesti se on yhdistetty suoraan pitkäaikaisesta muistista palautettaviin yksiköihin (Barrouillet ym., 2004; Dehaene & Cohen, 1995), joten sen merkityksen tutkiminen pienten lukujen yhteydessä mahdollisesti vahvistaisi tätä käsitystä. Myös aiemmat (Lopes-Silva ym., 2014; Lopes-Silva ym., 2016; Teixeira & Moura, 2020) tutkimukset ja tämä tutkielma kannustavat antamaan fonologiselle tietoisuudelle yhä enemmän painoarvoa lukujen kirjoittamisen taustataitoja selvitettäessä.

Työmuistin osuus lukujen kirjoittamisessa lienee kiistaton, mutta ei kaikenkattava, (Simmons ym., 2012; Moura ym., 2013), minkä takia on otettava huomioon myös muita potentiaalisia tekijöitä. Kolmas jatkotutkimusmahdollisuus koskee transkoodauksen sujuvuuden tutkimista. Tässä tutkimuksessa tutkittiin lukujen kirjoittamisen tarkkuutta ilman aikarajoitusta, mikä jättää piiloon lukujen kirjoittamisen sujuvan hallitsemisen. Sen vuoksi tämän tutkimuksen aineistolla on haasteellista tutkia heikkojen ja taitavien transkoodaajien aritmeettista suoriutumista, sillä suurin osa menestyi lukujen kirjoittamisen tehtävässä hyvin. Lukujen kirjoittamisen automatisoitumisen tasoa selvitettäessä tulisi tarkkuuden sijaan mitata sujuvuutta van Loosbroekin ja muiden (2009) tapaan. Hitaampi ja virheellisempi transkoodaus on yhdistetty semanttiseen prosessointiin (Imbo ym., 2014; van Loosbroek ym., 2009; Moura ym., 2013), mikä voi ennakoida matemaattisia oppimisvaikeuksia (van Loosbroek ym., 2009; Moura ym., 2013). Jatkotutkimuksessa voisi hyödyntää ADAPT-mallia (Barrouillet ym., 2004) viitekehyksenä eri tavalla sitoutumalla asemanttisuuden oletukseen toisin kuin tässä tutkimuksessa, jossa nojauduttiin työmuistiin ja fonologisiin resursseihin liittyviin lähtökohtiin. Heikompien ja taitavampien oppijoiden transkoodaustapojen tutkiminen suhteessa heidän aritmeettisiin taitoihinsa havainnollistaisi lukujen kirjoittamisen merkitystä aritmeettisille taidoille. Asetelma muistuttaa aiempien tutkimusten asetelmia (van Loosbroek ym., 2009; Moura ym., 2013) sillä erotuksella, että he tutkivat matemaattisia oppimisvaikeuksia omaavien lasten lukujen kirjoittamista. Edellä kuvattu tutkimusasetelma mahdollisesti vahvistaisi lukujen kirjoittamisen merkitystä aritmeettisille taidoille. Sujuvuuden tutkimisen lisäksi huomioon kannattaa ottaa transkoodaussääntöjen osaaminen. Sääntöjen hallitsemisen merkitys on nostettu esiin työmuistin resurssien ohella (Camos, 2008; Moura ym., 2013). Tässä tutkimuksessa työmuisti selitti yhdessä muiden tekijöiden kanssa lukujen kirjoittamisesta noin 30 %, joten selitettävää jäi vielä runsaasti.

Ensimmäinen jatkotutkimusidean taustalla on aritmeettisten perustaitojen sujuvuuden tutkimisen edistäminen, joten sen voi ajatella olevan tämän tutkimuksen lähtökohdista oleellisin tulevaisuuden tutkimusehdotus. Toisen jatkotutkimusehdotuksen tavoitteena on lukujen kirjoittamisen tutkiminen tarkemmin, eikä siitä ole välttämättä johdettavissa käytännön sovelluksia. Se kuitenkin sai kimmokkeensa tämän tutkimuksen tuloksista ja antaisi kuvailevaa tietoa lukujen kirjoittamisesta ilmiönä. Viimeinen jatkotutkimusidea, joka koskee lukujen kirjoittamisessa heikommin ja taitavasti suoriutuvien oppijoiden vertailua ja heidän aritmeettisten taitojen tutkimista, voi puolestaan tuoda hyödyllistä tietoa lukujen kirjoittamisen merkityksestä ensisijaisesti opettajille, jotka työskentelevät oppimisvaikeuksisten lasten kanssa.

Lähteet

Amland, T., Lervåg, A., & Melby-Lervåg, M. (2021). Comorbidity between math and reading problems: Is phonological processing a mutual factor? *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, 592. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.577304

Aro, M. (2016). Fonologinen tietoisuus. (julkaisematon).

Aunio, P., & Räsänen, P. (2016). Core numerical skills for learning mathematics in children aged five to eight years–a working model for educators. *European Early Childhood Education Research Journal*, *24*(5), 684-704. https://doi.org/10.1080/1350293X.2014.996424

Aunola, K., & Räsänen, P. (2007). Aritmetiikkatesti. Jyväskylän yliopisto.

Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49*(1), 5-28. https://doi.org/10.1080%2F713755608

Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology, 63*, 1-29. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422

Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist, 7*(2), 85-97. https://psycnet.apa.org/doi/10.1027/1016-9040.7.2.85

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417-423. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia, 49*(6), 1393-1400. https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042

Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P., & Seron, X. (2004). ADAPT: A developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to arabic numerals. *Psychological Review, 111*(2), 368.

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(1), 3-18. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x

Camos, V. (2008). Low working memory capacity impedes both efficiency and learning of number transcoding in children. *Journal of experimental child psychology*, *99*(1), 37-57. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.06.006

Carpenter, T. P. & Moser, J. M. (1982). The development of addition and substraction problem-solving skills. Teoksessa T. P. Carpenter, J. M. Moser & T. A. Romberg (toim.), *Addition and substraction: A cognitive perspective* (s. 9–24). Lawrence Erlbaum Associates.

Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szücs, D. (2016). The chicken or the egg? the direction of the relationship between mathematics anxiety and mathematics performance. *Frontiers in Psychology, 6*, 1987. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01987

Caviola, S., Colling, L. J., Mammarella, I. C., & Szűcs, D. (2020). Predictors of mathematics in primary school: Magnitude comparison, verbal and spatial working memory measures. *Developmental Science*, *23*(6), e12957. https://doi.org/10.1111/desc.12957

Cirino, P. T., Fletcher, J. M., Ewing-Cobbs, L., Barnes, M. A., & Fuchs, L. S. (2007). Cognitive arithmetic differences in learning difficulty groups and the role of behavioral inattention. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 25-35. https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.1540-5826.2007.00228.x

Clayton, F. J., Copper, C., Steiner, A. F., Banfi, C., Finke, S., Landerl, K., & Göbel, S. M. (2020). Two-digit number writing and arithmetic in year 1 children: Does number word inversion matter? *Cognitive Development, 56*, 100967. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2020.100967

Cooney, J. B., Swanson, H. L., & Ladd, S. F. (1988). Acquisition of mental multiplication skill: Evidence for the transition between counting and retrieval strategies. *Cognition and Instruction, 5*(4), 323-345. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0504_5

Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. Unpublished doctoral dissertation, McGill University, Montreal, QC.

Cui, J., Georgiou, G. K., Zhang, Y., Li, Y., Shu, H., & Zhou, X. (2017). Examining the relationship between rapid automatized naming and arithmetic fluency in chinese kindergarten children. *Journal of Experimental Child Psychology, 154*, 146-163. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.10.008

de Chambrier, A. F., & Zesiger, P. (2018). Is a fact retrieval deficit the main characteristic of children with mathematical learning disabilities?. *Acta Psychologica*, *190*, 95-102. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.07.007

De Clercq-Quaegebeur, M., Casalis, S., Vilette, B., Lemaitre, M., & Vallée, L. (2018). Arithmetic abilities in children with developmental dyslexia: Performance on french ZAREKI-R test. *Journal of Learning Disabilities, 51*(3), 236-249. https://doi.org/10.1177%2F0022219417690355

De Smedt, B., Noël, M. P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, *2*(2), 48-55. https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001

De Smedt, B., Taylor, J., Archibald, L., & Ansari, D. (2010). How is phonological processing related to individual differences in children’s arithmetic skills? *Developmental Science, 13*(3), 508-520. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00897.x

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition, 44*(1), 1-42. https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition, 1*(1), 83-120.

Dowker, A. (2015). Individual differences in arithmetical abilities: The componential nature of arithmetic. Teoksessa R. Cohen Kadosh & A. Dowker (toim.), *The Oxford handbook of Numerical Cognition* (s. 878-894). Oxford University Press.

Dowker, A. (2005). *Individual differences in arithmetic: Implications for psychology, neuroscience and education*. Psychology Press.

Efron, B., & Tibshirani, R. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall.

Fazio, L. K., Bailey, D. H., Thompson, C. A., & Siegler, R. S. (2014). Relations of different types of numerical magnitude representations to each other and to mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 123*, 53-72. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.01.013

Field, A., & Field, A. P. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: And sex and drugs and rock 'n' roll* (4. painos). Sage.

Friso-Van den Bos, I., Van der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational research review*, *10*, 29-44. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.05.003

Fuchs, L. S., Fuchs, D., Compton, D. L., Powell, S. R., Seethaler, P. M., Capizzi, A. M. & Fletcher, J. M. (2006). The cognitive correlates of third-grade skill in arithmetic, algorithmic computation, and arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology, 98*(1), 29-43. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-0663.98.1.29

Fuson, K.C. (1992). Research on whole number addition and substraction. Teoksessa, D. Grouws (toim.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (s.243-275). Information Age Publishing.

Fuson, K. C., & Kwon, Y. (1992). Korean children's understanding of multidigit addition and subtraction. *Child Development*, *63*(2), 491-506. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1992.tb01642.x

Geary, C. D. (2015). The classification and cognitive charasteristics of mathematical disabilities in children. Teoksessa R. Cohen Kadosh & A. Dowker (toim.), *The Oxford handbook of Numerical Cognition* (s. 767-786). Oxford University Press.

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.

Greiner de Magalhães, C., Mervis, C. B., & Cardoso-Martins, C. (2021). Cognitive predictors of arithmetic, reading, and spelling in Brazilian Portuguese-speaking children. *Reading and Writing*, *34*(1), 171-198. https://doi.org/10.1007/s11145-020-10062-0

Gunderson, E. A., Park, D., Maloney, E. A., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2018). Reciprocal relations among motivational frameworks, math anxiety, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development, 19*(1), 21-46. https://doi.org/10.1080/15248372.2017.1421538

Göbel, S. M., Moeller, K., Pixner, S., Kaufmann, L., & Nuerk, H. (2014b). Language affects symbolic arithmetic in children: The case of number word inversion. *Journal of Experimental Child Psychology, 119*, 17-25. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.10.001

Göbel, S. M., Watson, S. E., Lervåg, A., & Hulme, C. (2014a). Children's arithmetic development: It is number knowledge, not the approximate number sense, that counts. *Psychological science, 25*(3), 789-798. https://doi.org/10.1177%2F0956797613516471

Habermann, S., Donlan, C., Göbel, S. M., & Hulme, C. (2020). The critical role of arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology, 193*, 104794. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104794

Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*(28), 11116-11120. https://doi.org/10.1073/pnas.1200196109

Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*(2), 192-227. https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2586

Imbo, I., Vanden Bulcke, C., De Brauwer, J., & Fias, W. (2014). Sixty-four or four-and-sixty? the influence of language and working memory on children's number transcoding. *Frontiers in Psychology, 5*, 313. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00313

Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W., & Volkmann, J. (1949). The discrimination of visual number. *The American Journal of Psychology, 62*(4), 498-525. https://doi.org/1418556

National Research Council. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. J. Kilpatrick, J. Swafford, and B. Findell (toim.). Mathematics Learning Study Committee, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. National Academy Press.

Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Exploring the impact of phonological awareness, visual–spatial working memory, and preschool quantity–number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(4), 516-531. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.009

Krinzinger, H., Gregoire, J., Desoete, A., Kaufmann, L., Nuerk, H., & Willmes, K. (2011). Differential language effects on numerical skills in second grade. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 42*(4), 614-629. https://doi.org/10.1177%2F0022022111406252

Koponen, T. (2015). Lukujen vertailu tehtävä. (julkaisematon).

Koponen, T. & Aro, M. (2016). Sanasarjat muistitehtävä. (julkaisematon).

Koponen, T., Aunola, K., Ahonen, T., & Nurmi, J. E. (2007). Cognitive predictors of single-digit and procedural calculation skills and their covariation with reading skill. *Journal of experimental child psychology, 97*(3), 220-241. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.03.001

Koponen, T., Salmi, P., Eklund, K., & Aro, T. (2013). Counting and RAN: Predictors of arithmetic calculation and reading fluency. *Journal of Educational Psychology, 105*(1), 162. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0029285

Koponen, T., Salmi, P., Torppa, M., Eklund, K., Aro, T., Aro, M. & Nurmi, J. (2016). Counting and rapid naming predict the fluency of arithmetic and reading skills. *Contemporary Educational Psychology, 44-45*, 83-94. https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.cedpsych.2016.02.004

Kuzmina, Y., Ivanova, A., & Kaiky, D. (2019). The effect of phonological processing on mathematics performance in elementary school varies for boys and girls: Fixed-effects longitudinal analysis. *British Educational Research Journal, 45*(3), 640-661. https://doi.org/10.1002/berj.3518

Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(3), 309-324. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.03.006

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition, 93*(2), 99-125. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.004

Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(1), 83. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-3445.124.1.83

Leppanen, U., Nieme, P., Aunola, K., & Nurmi, J. (2006). Development of reading and spelling finnish from preschool to grade 1 and grade 2. *Scientific Studies of Reading, 10*(1), 3-30. https://doi.org/10.1207/s1532799xssr1001_2

Lopes-Silva, J. B., Moura, R., Júlio-Costa, A., Geraldi Haase, V., & Wood, G. (2014). Phonemic awareness as a pathway to number transcoding. *Frontiers in Psychology, 5*, 13. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00013

Lopes-Silva, J. B., Moura, R., Júlio-Costa, A., Wood, G., Salles, J. F., & Haase, V. G. (2016). What is specific and what is shared between numbers and words? *Frontiers in Psychology, 7*, 22. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00022

Lyons, I. M., Price, G. R., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). Numerical predictors of arithmetic success in grades 1–6. *Developmental Science, 17*(5), 714-726. https://doi.org/10.1111/desc.12152

Malone, S. A., Heron-Delaney, M., Burgoyne, K., & Hulme, C. (2019). Learning correspondences between magnitudes, symbols and words: Evidence for a triple code model of arithmetic development. *Cognition, 187*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.11.016

Malone, S. A., Pritchard, V. E., & Hulme, C. (2021). Separable effects of the approximate number system, symbolic number knowledge, and number ordering ability on early arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology, 208*, 105120. https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.jecp.2021.105120

McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition, 44*(1), 107-157. https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90052-J

Metsämuuronen, J. (2011). *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä : E-kirja opiskelijalaitos*. International Methelp, Booky.fi.

Miura, I. T., Okamoto, Y., Kim, C. C., Steere, M., & Fayol, M. (1993). First graders' cognitive representation of number and understanding of place value: Cross-national comparisons: France, japan, korea, sweden, and the united states. *Journal of Educational Psychology, 85*(1), 24. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-0663.85.1.24

Moeller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L., & Nuerk, H. (2011). Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—A longitudinal study on numerical development. *Research in Developmental Disabilities, 32*(5), 1837-1851. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.03.012

Moeller, K., Zuber, J., Olsen, N., Nuerk, H. C., & Willmes, K. (2015). Intransparent German number words complicate transcoding–a translingual comparison with Japanese. *Frontiers in Psychology*, *6*, 740. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00740

Moura, R., Wood, G., Pinheiro-Chagas, P., Lonnemann, J., Krinzinger, H., Willmes, K., & Haase, V. G. (2013). Transcoding abilities in typical and atypical mathematics achievers: The role of working memory and procedural and lexical competencies. *Journal of Experimental Child Psychology, 116*(3), 707-727. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.07.008

Nuerk, H-C., Moeller, K. & Willmes, K. (2015). Multi-digit number processing. Overview, conceptual clarifications and language differences. Teoksessa R. Cohen Kadosh & A. Dowker (toim.), *The Oxford handbook of Numerical Cognition* (s. 106-139). Oxford University Press.

Opetushallitus. (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. Opetushallitus.

Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology, 108*(4), 455. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/edu0000079

Peters, L., de Beeck, H. O., & De Smedt, B. (2020). Cognitive correlates of dyslexia, dyscalculia and comorbid dyslexia/dyscalculia: Effects of numerical magnitude processing and phonological processing. *Research in Developmental Disabilities, 107*, 103806. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103806

Pixner, S., Zuber, J., Heřmanová, V., Kaufmann, L., Nuerk, H. -., & Moeller, K. (2011). One language, two number-word systems and many problems: Numerical cognition in the czech language. *Research in Developmental Disabilities, 32*(6), 2683-2689. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.06.004

Provazza, S., Adams, A., Giofrè, D., & Roberts, D. J. (2019). Double trouble: Visual and phonological impairments in english dyslexic readers. *Frontiers in Psychology, 10*, 2725. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02725

Poncin, A., Van Rinsveld, A., & Schiltz, C. (2020). Units-first or tens-first: Does language matter when processing visually presented two-digit numbers? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 73*(5), 726-738. https://doi.org/10.1177%2F1747021819892165

Puolakanaho, A., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., Leppänen, P. H., Poikkeus, A. & 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*(4), 353-370. https://doi.org/10.1177%2F0022219407311747

Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly,* , 29-53. https://doi.org/747832

Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences, 20*(2), 110-122. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005

Rittle-Johnson, B., & Alibali, M. W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other?. *Journal of educational psychology*, *91*(1), 175. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-0663.91.1.175

Roussel, J., Fayol, M., & Barrouillet, P. (2002). Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between additive and multiplicative problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology, 14*(1), 61-104. https://doi.org/10.1080/09541440042000115

Sarnecka, B. W., Goldman, M., C. & Slusser, E., B. (2015). How counting leads to children`s first representations of exact, large numbers. Teoksessa R. C. Kadosh & A. Dowker (toim.),*The oxford handbook of numerical cognition* (s.291-309). Oxford University Press.

Schneider, M., Beeres, K., Coban, L., Merz, S., Susan Schmidt, S., Stricker, J., & De Smedt, B. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: A meta-analysis. *Developmental Science, 20*(3), e12372. https://doi.org/10.1111/desc.12372

Simmons, F. R., & Singleton, C. (2008). Do weak phonological representations impact on arithmetic development? A review of research into arithmetic and dyslexia. *Dyslexia*, *14*(2), 77-94. https://doi.org/10.1002/dys.341

Simmons, F. R., Willis, C., & Adams, A. (2012). Different components of working memory have different relationships with different mathematical skills. *Journal of Experimental Child Psychology, 111*(2), 139-155. http://dx.doi.org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.jecp.2011.08.011

Sorvo, R., Koponen, T., Viholainen, H., Aro, T., Räikkönen, E., Peura, P. & Aro, M. (2019). Development of math anxiety and its longitudinal relationships with arithmetic achievement among primary school children. *Learning and Individual Differences, 69*, 173-181. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.12.005

Sowinski, C., LeFevre, J., Skwarchuk, S., Kamawar, D., Bisanz, J., & Smith-Chant, B. (2015). Refining the quantitative pathway of the pathways to mathematics model. *Journal of Experimental Child Psychology, 131*, 73-93. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.11.004

Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210*(4473), 1033-1035. https://doi.org/10.1126/science.7434014

Steiner, A. F., Banfi, C., Finke, S., Kemény, F., Clayton, F. J., Göbel, S. M., & Landerl, K. (2021). Twenty-four or four-and-twenty: Language modulates cross-modal matching for multidigit numbers in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology, 202*, 104970. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104970

Szücs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2014). Cognitive components of a mathematical processing network in 9-year-old children. *Developmental Science, 17*(4), 506-524. https://doi.org/10.1111/desc.12144

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2014). *Using multivariate statistics* (6. painos). Pearson Education.

Teixeira, R. M., & Moura, R. (2020). Arabic number writing in children with developmental dyslexia. *Estudos De Psicologia (Campinas), 37. https://doi.org/10.1590/1982-0275202037e180179*

TENK: Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2019). Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakkoarviointi Suomessa. Haettu 23.2.2022 osoitteesta: https://tenk.fi/sites/default/files/2021-01/Ihmistieteiden_eettisen_ennakkoarvioinnin_ohje_2020.pdf

Thevenot, C., Barrouillet, P., Castel, C., & Uittenhove, K. (2016). Ten-year-old children strategies in mental addition: A counting model account. *Cognition, 146*, 48-57. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.003

Toll, S. W., Van Viersen, S., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. (2015). The development of (non-) symbolic comparison skills throughout kindergarten and their relations with basic mathematical skills. *Learning and Individual Differences, 38*, 10-17. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.12.006

van Loosbroek, E. (2009). When the mental number line involves a delay: The writing of numbers by children of different arithmetical abilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 102*(1), 26-39. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.07.003

Vanbinst, K., Ghesquiere, P., & De Smedt, B. (2014). Arithmetic strategy development and its domain-specific and domain-general cognitive correlates: A longitudinal study in children with persistent mathematical learning difficulties. *Research in Developmental Disabilities, 35*(11), 3001-3013. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.06.023

van der Ven, Sanne H. G., Klaiber, J. D., & van der Maas, Han L. J. (2017). "Four and twenty blackbirds": How transcoding ability mediates the relationship between visuospatial working memory and math in a language with inversion. *Educational Psychology, 37*(4), 487-505. http://dx.doi.org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/01443410.2016.1150421

Vukovic, R. K., Lesaux, N. K., & Siegel, L. S. (2010). The mathematics skills of children with reading difficulties. *Learning and Individual Differences, 20*(6), 639-643. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.08.004

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. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-2909.101.2.192

Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., Hecht, S. A., Barker, T. A., Burgess, S. R., Donahue, J., & Garon, T. (1997). Changing relations between phonological processing abilities and wordlevel reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. Developmental Psychology, 33, 468–479.

Wechsler, D. (2010). WISC–IV—Wechsler Intelligence Scale for Children–IV. NCS Pearson Ltd., Psykologien Kustannus.

Xenidou-Dervou, I., Gilmore, C., van der Schoot, M., & van Lieshout, Ernest C. D. M. (2015). The developmental onset of symbolic approximation: Beyond nonsymbolic representations, the language of numbers matters. *Frontiers in Psychology, 6,* 487. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00487

Xenidou-Dervou, I., Molenaar, D., Ansari, D., van der Schoot, M., & van Lieshout, E. C. (2017). Nonsymbolic and symbolic magnitude comparison skills as longitudinal predictors of mathematical achievement. *Learning and Instruction*, *50*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.11.001

Yang, X., & McBride, C. (2020). How do phonological processing abilities contribute to early chinese reading and mathematics? *Educational Psychology, 40*(7), 893-911. https://doi.org/10.1080/01443410.2020.1771679

Yang, X., McBride, C., Ho, C. S. H., & Chung, K. K. H. (2020). Longitudinal associations of phonological processing skills, Chinese word reading, and arithmetic. *Reading and Writing*, *33*(7), 1679-1699. https://doi.org/10.1007/s11145-019-09998-9

Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M., & Nurmi, J. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development, 85*(3), 1091-1107. https://doi.org/10.1111/cdev.12173

Zuber, J., Pixner, S., Moeller, K., & Nuerk, H. (2009). On the language specificity of basic number processing: Transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. *Journal of Experimental Child Psychology, 102*(1), 60-77. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.04.003