

Kaisa Kanerva
Minna Kyttälä

Varhaisten matemaattisten taitojen harjoittaminen: matematiikkaspesifiä vai yleistä kognitiivista harjoitusta?

Lasten matemaattiset taidot alkavat kehittyä jo ennen kouluopetuksen alkua, ja kehitys etenee vaihteittain. Yksilöiden välisiä eroja matemaattisissa taidoissa ennustavat sekä spesifit matemaattiset taidot että yleiset kognitiiviset resurssit, kuten työmuisti. Tiedetään, että lasten varhaisia matemaattisia taitoja voidaan tukea erilaisten matemaattisten harjoitusohjelmien avulla. Työmuisti on tehtävässä tarvittavan tiedon lyhytaikaisesta varastoinnista ja muokkaamisesta vastaava muistijärjestelmän osa, ja sitä voidaan pitää matemaattisen suoriutumisen taustalla olevana tiedonkäsittelyresurssina. On todettu, että työmuistitehtävissä suoriutuminen on yhteydessä matemaattisiin taitoihin ja että matematiikan oppimisen vaikeuteen saattaa liittyä työmuistin heikkoutta.

Kymmenen viime vuoden aikana tutkijat ovat kiinnostuneet mahdollisuudesta vahvistaa työmuistin toimintaa harjoituksen avulla. Tutkimuksissa on todettu, että työmuistiharjoitus vahvistaa lasten ja aikuisten suoriutumista erilaisissa työmuistitehtävissä. Siirtovaikutuksia koulutaitoihin, kuten matematiikan taitoihin, ei

ole yhtä vahvasti pystytty todentamaan, ja alle kouluikäisten lasten työmuistiharjoituksen vaikutuksia on tutkittu vain vähän. Tähän teoreettiseen katsaukseen on koottu tuloksia tutkimuksista, joissa on pyritty vaikuttamaan pienten lasten matemaattisten taitojen kehitykseen joko varhaisia matemaattisia taitoja tai työmuistia harjoittamalla.

Tutkimusten tulokset osoittavat, että alle kouluikäisten lasten matemaattisten taitojen harjoittaminen parantaa matemaattista suoriutumista. Tutkimusten vähäisen määrän vuoksi tietoa työmuistiharjoittelun vaikutuksista on niukemmin. Lisäksi suurin osa tutkimuksista on keskittynyt kouluikäisiin lapsiin, ei alle kouluikäisiin. Lisää tutkimustietoa siis tarvitaan työmuistiharjoituksen siirtovaikutusten todentamiseksi alle kouluikäisillä lapsilla.

Asiasanat: varhaiset matemaattiset taidot, työmuisti, interventio, siirtovaikutus

Lapset oppivat matemaattisia taitoja, kuten esimerkiksi esineiden määrään liittyviä käsitteitä sekä lukumäärien laskemista, jo varhain, ennen varsinaisen matematiikan kouluopetuksen alkua (Resnick, 1998). Matemaattiset tehtävät asettavat lapsen tiedonkäsittelyjärjestelmälle hyvin erilaisia vaatimuksia riippuen matematiikan osa-alueesta (esimerkiksi lukumäärien laskeminen, aritmeettiset tehtävät, geometria), lapsen iästä ja tehtävien vaikeusasteesta. Erilaisissa matemaattisissa tehtävissä suoriutuminen vaatii sekä spesifejä matemaattisia taitoja että yleisiä kognitiivisia resursseja, kuten esimerkiksi työmuistia.

Lasten matemaattisten taitojen erot kouluiän kynnyksellä herättävät kysymyksen, voiko varhaisia matemaattisia taitoja harjoittaa. Matemaattisia taitoja on perinteisesti harjoitettu vahvistamalla spesifejä matemaattisia taitoja erilaisten harjoitusohjelmien avulla. Viime vuosina on tutkijoilla kuitenkin herännyt kiinnostus siihen, voiko myös matemaattisten taitojen taustalla olevia yleisiä kognitiivisia resursseja, kuten työmuistia, harjoittaa.

Varhaiset matemaattiset taidot ja niiden harjoittaminen

Varhaisiin, ennen kouluikää saavutettaviin matemaattisiin taitoihin voidaan lukea muun muassa alkeellisten loogis-matemaattisten periaatteiden hallinta (Smith, 2002): sarjoittaminen, vertailu, luokittelu ja yksi yhteen -suhteen hahmottaminen (Smith, 2002) sekä vaiheittain kehittyvät lukujono- ja laskemisen taidot (Fuson, 1988; Gelman & Gallistel, 1978; Resnick, 1989). Keskimäärin viiden vuoden iässä lapsi on lukujono- ja laskemistaidoissaan vaiheessa, jota kutsutaan tuloksen laskemisen vaiheeksi. Tällöin lapsi osaa luetella lukusanoja oikeassa järjestyksessä aloitta-

en lukusanasta yksi. Hän myös ymmärtää, että jokainen laskettava asia tai esine lasketaan vain yhden kerran ja että viimeinen lukusana kertoo, kuinka monta laskettavaa on yhteensä. Tuloksen laskemisen vaiheessa lapsi myös ymmärtää, että lukujonossa lukusanat ovat suuruusjärjestyksessä.

On todettu, että esikouluikäisten lasten varhaiset matemaattiset taidot ennustavat suoriutumista matemaattisissa tehtävissä kouluvuosina (Aunola ym., 2004; Duncan ym., 2007; Geary, 2007). Varhaisten matemaattisten taitojen on todettu olevan yksi parhaista koulukypsyyden ja myöhemmän koulumenestyksen ennustajista lukemiseen ja tarkkaavaisuuteen liittyvien taitojen lisäksi (Duncan ym., 2007).

Tutkimukset osoittavat, että spesifi varhaisten matemaattisten taitojen harjoittaminen on hyödyllistä (esim. Klein ym., 2008). Se tuottaa tutkimusten perusteella hyviä tuloksia sekä tyypillisesti kehittyneillä lapsilla että lapsilla, joilla on todettu matemaattisia oppimisvaikeuksia (Clements & Sarama, 2011; Kroesbergen & van Luit, 2003; Siegler & Ramani, 2008; Whyte & Bull, 2008). Esimerkiksi Klein ja hänen kollegansa (2008) havaitsivat tutkimuksessaan, että nelivuotiaat lapset edistyivät matemaattisissa taidoissa enemmän kuin verrokkit osallistuttuaan kahdesti viikossa lukukauden ajan ryhmäinterventioon (Pre-K Mathematics). Siegler ja Ramani (2008) osoittivat, että alle kouluikäisten, sosioekonomiselta taustaltaan heikkojen lasten varhaisia matemaattisia taitoja voidaan kehittää pelaamalla heidän kanssaan numeraalisia lautapelejä.

Whyte ja Bull (2008) tutkivat vastaavasti numeraalisten lautapeliä pelamisen vaikutusta matemaattisiin taitoihin ja totesivat jo neljän kertaviikkoisen, ryhmässä tapahtuvan harjoituksen vahvistaneen lasten numeeristen arviointien tekoa ja numeroiden ymmärtämystä. Varhaisia

matemaattisia taitoja kehittävä harjoitusohjelma vahvasti heikkojen päiväkotikäisten lasten matemaattisia taitoja niin, että koeryhmän lapset saavuttivat kahdesti viikossa järjestetyn noin kolmen kuukauden kestoisen ryhmäharjoittelun myötä vahvasti varhaisten matemaattisten taitojen testissä suoriutuneen ryhmän tason (de Rijt & van Luit, 1998). Tämä harjoitusvaikutus näkyi vielä seitsemän kuukauden kuluttua tehdyssä seuranta-arviossa. Eri-laiset matemaattiset interventiot näyttäsivät siis lupaavilta menetelmiltä kasvattaa päiväkotikäisten lasten varhaisia matemaattisia taitoja.

Työmuisti kognitiivisena tukijärjestelmänä

Matemaattiset tehtävät vaativat sekä tiedon ylläpitämistä että samanaikaista uuden informaation käsittelyä työmuistissa. Työmuistin rooli matematiikan varhaistaitojen erojen selittäjänä on noussut tärkeäksi tutkimusalueeksi viime vuosina (Alloway & Passolunghi, 2011; Kroesbergen ym., 2009; Passolunghi, Mammarella & Altoè, 2008). Työmuisti on kapasiteetiltaan rajallinen muistijärjestelmä, joka vastaa tiedon lyhytaikaisesta säilyttämisestä ja prosessoinnista (Baddeley, 1986; Baddeley, 2000). Työmuisti kontrolloi, säätelee ja ylläpitää aktiivisesti tehtävän kannalta merkityksellistä tietoa kognitiivisia tehtäviä suoritettaessa (Miyake & Shah, 1999).

Työmuistitehtävissä suoriutumisen on todettu olevan yhteydessä erityyppisissä matemaattisissa tehtävissä suoriutumiseen sekä lapsilla että aikuisilla silloinkin, kun muut kognitiiviset ja akateemiset tekijät on huomioitu (ks. Raghubar ym., 2010). Työmuistia voidaan siis pitää matemaattisen suoriutumisen taustalla olevana yleisenä resurssina, jonka lisäksi matemaattiseen suoriutumiseen vaikuttavat matemaattiset numeeriset kyvyt (Raghubar ym., 2010;

Kroesbergen ym., 2009). Työmuistia tarvitaan nimenomaan tilanteissa, joissa tehtävän kannalta oleellista tietoa tulee samanaikaisesti säilyttää ja muokata mielessä. Esimerkiksi päässälaskutehtävää laskettaessa tulee samanaikaisesti aktiivisesti pitää mielessä laskettavat luvut, suorittaa laskutoimitus sekä kontrolloida näiden prosessien osavaiheiden toteuttamista. Alle kouluikäisillä lapsilla jo sangen yksinkertainen lukujen luettelua vaativa lukujonotehtävä voi kuormittaa työmuistia voimakkaasti. Myös lukumäärien laskemisessa tiedon lyhytaikaista säilyttämistä ja prosessointia muistissa voidaan pitää keskeisenä: lapsen tulee pitää muistissa, mitkä esineet on laskettu, ja koordinoida osoittamiseen, lukujen luettelemiseen ja säilömuistista hakuun liittyviä prosesseja.

Lapset eroavat toisistaan työmuistin kapasiteetin suhteen. Yksilöiden väliset erot työmuistin kapasiteetissa liittyvät todennäköisesti pääasiassa kykyyn kontrolloida tarkkaavaisuutta tehtävän suorittamisen aikana (Engle, Kane & Tuholski, 1999; Engle, 1992). Työmuistin kapasiteetin heikkouden on todettu olevan yhteydessä oppimisvaikeuksiin, kuten lukivaikeuteen (Swanson, Howard & Saez, 2006) ja matematiikan oppimisvaikeuteen (Geary, Hoard, Nugent & Bailey, painossa; Kyttälä, 2008; Passolunghi & Siegel, 2004; Siegel & Ryan, 1989).

Jo alle kouluikäisten lasten työmuistivalmiuksien on todettu ennustavan myöhempää oppimiskykyä. Tutkimukset osoittavat, että alle kouluiässä mitattu työmuistikapasiteetti ennustaa paitsi matemaattista suoriutumista ennen kouluikää (Kyttälä, Aunio & Hautamäki, 2010; Kyttälä, Aunio, Lehto, Van Luit & Hautamäki, 2003), myös matemaattista suoriutumista myöhemmin kouluiässä (Krajewski & Schneider, 2009). Työmuistin kapasiteetti on yhteydessä lasten käyttämien laskustra-

tegioiden tarkoituksenmukaisuuteen. Esimerkiksi Barrouillet ja Lepine (2005) havaitsivat kolmas- ja neljäsluokkalaista lapsia tutkiessaan, että korkea työmuistin kapasiteetti oli yhteydessä lasten kykyyn ratkaista yhteenlaskuja palauttamalla tulos säilömuistista sekä vastausnopeuteen. Tutkimustulokset siis tukevat näkemystä siitä, että työmuisti on tärkeä matemaattista suoriutumista tukeva tiedonkäsittelyresurssi (Kroesbergen, Van de Rijt & Van Luit, 2007; Passolunghi, Vercelloni, & Schadee, 2007; Swanson & Kim, 2007).

Matemaattisten taitojen ja työmuistin harjoittaminen

Mitä taitoja sitten on tehokkainta harjoittaa, jos päämääränä on kehittää lasten varhaisia matemaattisia valmiuksia? Työmuistin on osoitettu olevan tärkeä matemaattisen suoriutumisen ja matemaattisten taitojen kehittymisen taustaresurssi, mutta toistaiseksi on epäselvää, voidaanko työmuistia harjoittamalla saada aikaan positiivisia vaikutuksia myös matemaattisessa suoriutumisessa. Tehtävästä ja harjoitettavasta taidosta riippumatta intensiivinen kognitiivinen harjoitus voi vaikuttaa taitoon joko saamalla aikaan tehtäväkohtaisia vaikutuksia tai vaikuttamalla taidon taustalla olevaan yleiseen kognitiiviseen kykyyn, josta harjoitusvaikutukset yleistyvät (Nutley ym., 2011).

Yleisen kognitiivisen kyvyn, kuten työmuistin, osalta kiinnostavaa on, yleistyvätkö työmuistiharjoittelun vaikutukset myös matemaattisiin taitoihin, vai parantaako työmuistiharjoittelu ainoastaan työmuistitehtävissä suoriutumista. Erityisen kiinnostavaa tämä on niiden lasten näkökulmasta, joilla on heikko työmuisti ja heikot matemaattiset taidot ja joilla työmuistin harjoittamisen voisi ajatella vahvistavan oppimisen edellytyksiä myös laajemmin.

Tätä kautta keskeiseksi kysymykseksi nousee, tulisiko varhaisten matemaattisten taitojen harjoitusohjelmat suunnata spesifien matemaattisten taitojen harjaanuttamiseen vai voitaisiinko yleisten työmuistitoimintojen harjoittamisella saada vastaavia tuloksia. Edellä todettiin matemaattisten harjoitusohjelmien tuottaneen positiivisia tuloksia. Seuraavaksi esitellään tutkimustuloksia työmuisti-interventioista päiväkotij- ja kouluikäisillä lapsilla.

Tällä hetkellä mahdollisuuksia työmuistin harjoittamiseen tutkitaan sekä behavioraalisiin että aivotutkimusmenetelmin vilkkaasti (Klingberg, 2010; Olesen ym., 2004). Harjoitusvaikutuksia kognitiivisesta, työmuistiin ja tarkkaavaisuuteen liittyvästä harjoituksesta on osoitettu pienistä, yhdentoista kuukauden ikäisistä vauvoista (Wass ym., 2011) aina iäkkäisiin, 80-vuotiaisiin vanhuksiin (Jaeggi ym., 2008). Tutkimuksissa on pyritty selvittämään työmuistiharjoittelun positiivisia vaikutuksia: parantaako työmuistiharjoitus suoriutumista muissa työmuistitehtävissä kuin harjoitetuissa (spesifit siirtovaikutukset) ja voidaanko työmuistiharjoittelulla parantaa laajemmin kognitiivista suoriutumista, esimerkiksi lukutaitoa tai matemaattisia taitoja (yleistyneet siirtovaikutukset).

Työmuistiharjoittelua on verrattu lihaskuntoharjoitteluun: on ajateltu, että työmuisti on kuin hauislihas – sen kestävyys rajoilla tapahtuva harjoittelu kasvattaa sen kapasiteettia. Monet työmuistiharjoittelua koskevat tutkimukset lähtevät siitä oletuksesta, että harjoittelu vaikuttaa suhteellisen yleisiin kognitiivisiin mekanismeihin, kuten kykyyn ylläpitää ja muokata tietoa lyhytaikaisesti (esim. Klingberg ym., 2002; Holmes ym., 2009), tai tarkkaavaisuuden prosessointikapasiteettiin (Jaeggi ym., 2008).

Tutkimukset osoittavat, että työmuistiharjoittelu vaikuttaa suoriutumi-

seen työmuistitehtävissä, joita ei ole harjoitettu (Olesen ym., 2004; Westerberg & Klingberg, 2007; Turley-Ames & Whitfield, 2003). Harjoittelussa käytetään usein tietokoneella pelattavia muistipeliohjelmiä (esim. Cogmed), joita pelataan tutkimuksesta riippuen noin 15–20 minuuttia kerrallaan noin kymmenen harjoituskerran ajan. Keskeistä näyttäisi tutkimusten perusteella olevan se, että työmuistiharjoittelu kohdistuu tarkkaavaisuuden kontrollointiin – näin se koskee samoja neuraalisia mekanismeja kuin työmuistitehtävätkin (Klingberg, 2010). Työmuistiharjoituksen on aivotutkimuksissa osoitettu vaikuttavan aivojen prefrontaali- ja parietaalialueiden aktiivisuuteen, jotka ovat työmuistin toiminnasta vastaavia aivoalueita (Olesen ym., 2004; Dahlin ym., 2009; Westerberg & Klingberg, 2007).

Työmuisti kehittyy voimakkaasti ennen kouluikää ja varhaisina kouluvuosina (ks. tarkemmin esim. Davidson ym., 2006; Zelazo & Müller, 2002). Alle kouluikäisten kohdalla työmuistiharjoittelun vaikutusta on tutkittu hyvin vähän. Thorell ja hänen kollegansa (2009) havaitsivat päiväkotikäisten lasten kohdalla, että 15 minuuttia päivässä viiden viikon ajan tehty työmuistiharjoittelu vaikuttaa myönteisesti suoriutumiseen ei-harjoitetuissa spatiaalisissa ja kielellisissä työmuistitehtävissä ja että sillä on myös siirtovaikutus tarkkaavaisuuteen. Tutkijat havaitsivat myös, että visuaalis-spatiaalista harjoittelua käsittävä ohjelma aiheutti siirtovaikutusta myös kielelliseen työmuistiin (Thorell ym., 2009). Harjoituksella ei kuitenkaan havaittu olevan vaikutusta ongelmanratkaisuun eikä inhibitorisen kontrollin tehtäviin. Visuaalis-spatiaalisen työmuistin ja kielellisen työmuistin harjoitusvaikutukset vastaavat kouluikäisillä lapsilla havaittuja harjoitusvaikutuksia (Klingberg ym., 2002; 2005).

Työmuistiharjoittelun yleistyneitä

siirtovaikutuksia, esimerkiksi vaikutuksia älykkyyteen tai koulutaitoihin, on ollut hankalampi osoittaa. Työmuistin harjoittamisen on kuitenkin jossain määrin osoitettu saavan aikaan myönteisiä vaikutuksia myös muissa kuin työmuistitehtävissä (Jaeggi ym., 2008). Työmuistin harjoittamisen on joissakin tutkimuksissa osoitettu vahvistavan yleistä älykkyyttä (Jaeggi ym., 2008, Jaeggi ym., 2011), vaikkakin myös vastakkaisia tuloksia on saatu (Nutley ym., 2011). Myös koulutaitoihin, kuten matemaattisiin taitoihin ja lukemiseen, liittyviä varovaisen myönteisiä tuloksia on saatu sekä lapsilla (Witt, 2011) että aikuisilla (Chen & Morrison, 2010). Chen ja Morrison (2010) havaitsivat, että adaptiivinen työmuistiharjoittelu (monimutkaiset työmuistisiltatehtävät) vaikuttaa paitsi tehtävässä suoriutumiseen myös yleisen siirtovaikutuksen kautta luetunymmärtämiseen aikuisilla koehenkilöillä.

Työmuistin eksekutiivisten toimintojen (inhibitio, monitorointi ja yhtä-aikainen säilyttäminen ja prosessointi) harjoittelulla todettiin olevan vaikutusta paitsi työmuistitehtävissä suoriutumiseen, myös matemaattiseen suoriutumiseen 9–10-vuotiailla koululaisilla (Witt, 2011). Edellä kuvatussa tutkimuksessa harjoitusohjelmat keskittyivät erityisesti laskustrategioiden käyttämiseen. Harjoitusten todettiin edistäneen jo tuttujen strategioiden käyttöä, ei niinkään ottamaan käyttöön uusia strategioita. Lisäksi on ehdotettu, että työmuistiharjoituksen siirtovaikutukset voivat näkyä vasta jonkin ajan kuluttua harjoituksesta – välittömämmin vaikutukset näkyvät työmuistitehtävissä. Esimerkiksi Holmes ja hänen kollegansa (2009) tutkivat työmuistiharjoittelun vaikutusta erilaisiin koulutaitoihin ja havaitsivat, että kuuden kuukauden kuluttua harjoittelusta työmuistiharjoittelu vaikutti positiivisesti paitsi työmuistitaitoihin, myös matemaat-

tisiin taitoihin kymmenvuotiailla lapsilla, joilla on heikko työmuistin kapasiteetti.

Aiemman tutkimuksen perusteella näyttäisi siis siltä, että työmuistin ydinprosessien harjoittaminen kehittää työmuistitoimintoja. Siirtovaikutuksista on vähemmän näyttöä. Tutkimuksissa ei ole myöskään systemaattisesti selvitetty, mitä työmuistin komponentteja voidaan harjoittaa ja minkä spesifien alakomponenttien harjoittaminen aiheuttaa siirtovaikutuksia alle kouluikäisten työmuistiin ja oppimiseen. Tutkimuksia on jonkin verran kritisoitu metodologisista ongelmista, jotka liittyvät muun muassa aktiivisen verrokkiryhmän puuttumiseen ja arvioissa käytettyjen testipatteristojen suppeuteen, minkä vuoksi niissä ei ole kontrolloitu ryhmien saaman huomion ja odotusten vaikutusta ja luotettavia johtopäätöksiä harjoitusvaikutuksista on ollut vaikea tehdä (Melby-Lervåg & Hulme, 2012; Morrison & Chein, 2011). Näiden haasteiden vuoksi työmuistiharjoittelun vaikutuksia on syytä pitää varovaisen positiivisinä.

Ryhmämuotoinen varhaisten matemaattisten taitojen vahvistaminen matematiikka- ja työmuisti-intervention avulla

Omassa tutkimuksessamme (Kyttälä, Kanerva, Kroesbergen, valmisteilla) vertasimme matemaattista harjoitusta ja työmuistiharjoitusta matematiikan taitojen vahvistajana viisivuotiailla päiväkotilapsilla. Lapsista muodostettiin kolme ryhmää: matematiikkainterventioyryhmä (N = 21), työmuisti-interventioyryhmä (N = 23) sekä passiivinen verrokkiryhmä (N = 17). Interventiot tehtiin 4–7 lapsen ryhmissä. Lapset osallistuivat neljän viikon ajan viikoittain kahteen 30 minuutin kestoiseen interventiotapaamiseen. Alku- ja loppumittauksissa selvitettiin lasten varhaiset matemaattiset taidot (Lukukäsitetesti, van

Luit, Van de Rijt & Aunio, 2006) ja tehtiin sarja kielellisiä ja visuaalis-spatiaalisia työmuistin ja lyhytkestoisen muistin tehtäviä.

Tutkimuksessa käytettiin kahta Utrechtin yliopistossa suunniteltua harjoittamisohjelmaa (Kroesbergen, Van 't Noordende & Kolkman, 2012), jotka käännettiin ja muokattiin sopimaan suomalaislapsille. Harjoitustuokioita pidettiin lasten päiväkodissa hoitopäivän aikana, ulkopuolisen ohjaajan johdolla. Tutkimuksessa käytetyt interventio-ohjelmat vaihtelivat sen suhteen, kuinka paljon niissä harjoitettiin matemaattisia taitoja ja työmuistitoimintoja.

Matematiikkainterventio koostui erilaisista pelinkaltaisista (mm. bingo, lautapelit) ryhmätehtävistä, joissa harjoitettiin lukujen luettelemista (1–10, myöhemmin 1–20), vastaavuutta, lukujen järjestämistä ja lukujanen ymmärtämistä. Esimerkiksi bingopelissä lapsilla oli edessään kortti, jossa oli pisteillä esitetty eri lukumääriä. Ryhmän vetäjä näytti kortin, jossa oli jokin luku, ja lapsi merkitsi korttiin, mikäli hänellä oli ruutu, jossa oli vastaava määrä pisteitä. Voittaja oli lapsi, joka sai ensimmäisenä merkittyä korttiinsa kaikki ruudut.

Työmuisti-interventio koostui vastaavasti pelinkaltaisista (muistipelit, noppapelit) ryhmätehtävistä, joista kaikki vaativat tiedon säilyttämistä muistissa ja samalla perustuivat lukujen käsittelyyn. Esimerkiksi lukujanapelissä lapset heittivät noppaa ja heidän tuli painaa mieleensä, minkä luvun olivat saaneet. Vasta kun kaikki lapset olivat heittäneet noppaa, he liikkuiivat vuorollaan omalla pelilaudallaan niin monta askelta kuin oma noppa oli osoittanut. Työmuisti-intervention harjoitukset vaativat sekä tiedon passiivista varastointia että yhtäaikaista säilyttämistä ja prosessointitoimintoja ja olivat luonteeltaan kielellisiä. Pelit ja tehtävät vaihtelivat

harjoituskertojen välillä molemmissa interventoryhmissä.

Tutkimuksen tuloksina todettiin, että ryhmämuotoinen matematiikkaharjoitus edisti lasten lukujonotaitoja. Sen sijaan ryhmämuotoisella työmuistiharjoituksella ei ollut vaikutusta työmuistitehtävissä suoriutumiseen, eikä näin ollen siis myöskään siirtovaikutusta matemaattisissa tehtävissä suoriutumiseen. Tulokset antavat tukea aiemmille tutkimuksille, joiden mukaan spesifillä ryhmämuotoisella matemaattisella harjoituksella voidaan vahvistaa alle kouluikäisten lasten varhaisia matemaattisia taitoja. Matematiikkaryhmä edistyi muita ryhmiä enemmän matemaattisissa taidoissa, mikä osoittaa, että matemaattisia taitoja voidaan harjoittaa interventiolla, jossa lapset tekevät ryhmässä erilaisia laskemista vaativia harjoituksia ja vaikutus on nähtävissä jo ennen varsinaisen kouluopetuksen alkua. Tämä on merkittävää, koska varhaiset matemaattiset taidot ovat merkittävä koulukypsyyden ennustaja (Duncan ym., 2007) ja ennustavat myös myöhempiä matemaattisia taitoja (Krajewski & Schneider, 2009).

Tutkimuksessamme työmuistiharjoittelulla ei ollut vaikutusta työmuistitehtävissä suoriutumiseen eikä matemaattisiin taitoihin. Saattaa olla, ettei tutkimuksessa käytetty työmuistiharjoittelu ollut riittävän intensiivistä harjoitusvaikutusten aikaansaamiseksi. Ryhmämuotoisen harjoituksen intensiivisyyttä saattaa heikentää harjoituskertojen vähäisyyden lisäksi muun muassa se, että häiriötekijöitä on ryhmämuotoisessa harjoituksessa enemmän, ja se, että yksittäisen lapsen saama harjoitus jää vähäisemmäksi kuin yksilöharjoituksessa. Harjoitusohjelma ei myöskään ollut adaptiivinen, eli harjoitus ei mukautunut yksilöllisesti lapsen työmuistikapasiteettiin. On mahdollista, että työmuisti vaatii harjaantuakseen sen kapasiteetin ääri-

joilla tapahtuvaa harjoitusta.

Toisaalta Kroesbergen ja hänen kollegansa (2012) havaitsivat lähes samalaista harjoitusohjelmaa käyttäessään, että työmuistiharjoittelulla oli myönteisiä vaikutuksia työmuistitaitoihin ja lisäksi myös varhaisia matemaattisia taitoja mittaavissa tehtävissä suoriutumiseen. Yllättävää oli, että heidän tutkimuksessaan matematiikkaharjoitusta saaneet lapset edistyivät myös joissakin työmuistitehtävissä. On mahdollista, että matematiikan taitojen harjoittelu sisältää työmuistia kuormittavia osia, ja näin ollen työmuistin ja matemaattisten taitojen kehittyminen voinevat siis molemminpuolisesti vaikuttaa toisiinsa.

Johtopäätökset

Tämänhetkisen tutkimustiedon pohjalta voidaan todeta, että lasten varhaisten matemaattisten taitojen vahvistaminen harjoituksen avulla on tärkeää, koska aloittaessaan koulun lapset eroavat toisistaan matemaattisilta taidoiltaan (Kroesbergen & van Luit, 2003; Clements & Sarama, 2011). Työmuisti on keskeinen matemaattisten taitojen taustalla oleva, taitojen oppimiseen vaikuttava tekijä. On lupaavia tutkimustuloksia siitä, että työmuistiharjoitukset parantavat ainakin muistitehtävien tekemistä (Klingberg, 2010). Siirtovaikutuksista matematiikkaan on vähemmän näyttöä. Tutkimusala on vielä hyvin nuori, eikä työmuistiharjoittelun siirtovaikutuksista alle kouluikäisillä ole juurikaan tutkimusnäyttöä.

Ryhmäinterventiotutkimuksessamme viisivuotiaiden lasten varhaisia matemaattisia taitoja pystyttiin vahvistamaan matemaattisen intervention avulla, mutta ei työmuistiharjoituksen avulla. Lukujonotaitoja kehittävien harjoitusten lisäämisellä leikin lomaan päiväkodin arjessa

on siis suotuisia vaikutuksia, ja tästä on tutkimuksista saatua näyttöä. Työmuistin harjoittaminen sen sijaan näyttäisi vaativan voimakasta harjoitusta, jonka sisällyttäminen päiväkodin ryhmätilanteisiin on haastavaa, joskaan ei mahdotonta, kuten Kroesbergenin ja hänen kollegoidensa (2012) tutkimus osoittaa. Lisää tutkimustietoa tarvitaan, jotta tiedettäisiin, voidaanko intensiivisellä työmuistiharjoituksella saada aikaan siirtovaikutuksia muihin kognitiivisiin taitoihin alle kouluikäisillä lapsilla.

Tällä hetkellä ei myöskään tarkoin tiedetä, mikä työmuistissa paranee harjoituksen myötä. Työmuistikäsitteen alla on joukko monia prosesseja (esim. fonologisen ja visuaalis-spatiaalisen tiedon ylläpito, kertailuprosessit, eksekutiiviset taidot eli häiritsevän tiedon ehkäiseminen, tiedon päivittäminen, kontrolloitu tarkkaavaisuus), ja toisaalta harjoitus saattaa vaikuttaa laajemmin esimerkiksi strategioiden käyttöön. Tulevissa tutkimuksissa tulisi-kin tarkemmin pyrkiä pääsemään käsiksi siihen, mikä tai mitkä näistä prosesseista vahvistuvat työmuistiharjaannuksen myötä. Näin voitaisiin paremmin ymmärtää myös siirtovaikutusten taustalla olevia mekanismeja ja suunnitella toimivia, lasten kognitiivista toimintaa vahvistavia harjoitusohjelmia.

Kirjoittajatiedot:

Kaisa Kanerva (PsM) valmistelee väitöskirjaa Helsingin yliopistossa Käyttäytymistieteiden laitoksella. Minna Kyttälä (FT) toimii yliopistolehtorina Turun yliopistossa Kasvatustieteiden laitoksella.

LÄHTEET

- Alloway, T. P. & Passolunghi, M.C. (2011). The relationship between working memory, IQ, and mathematical skills in children. *Learning & Individual Differences*, 21, 133–137.
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K. & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. *Journal of Educational Psychology*, 96, 699–713.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 1364–1366.
- Barrouillet, P. & Lepine, R. (2005). Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 183–204.
- Chein, J.M. & Morrison, A.B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin and Review*, 17, 193–199.
- Clements, D.H. & Sarama, J. (2011). Early childhood mathematics intervention. *Science*, 333, 968–970.
- Dahlin, E., Bäckman, L., Neely, A.S. & Nyberg, L. (2009). Training of the executive component of working memory: Subcortical areas mediate transfer effects. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27, 405–419.
- Davidson, M.C., Amso, D., Anderson, L.C. & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44, 2037–2078.
- Duncan, G.J., Dowsett, C.J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A.C., Klebanov, P. ym. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43, 1428–1446.
- Engle, R.W. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 18, 972–992.

- Engle, R.W., Kane, M. & Tuholski, S.W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. *Teoksessa* A. Miyake & P. Shah (toim.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*, 102–134. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fuson, K.C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. NY: Springer-Verlag Publishing.
- Geary, D.C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, 78, 1343–1359.
- Geary, D.C., Hoard, M.K., Nugent, L. & Bailey, D.H. (painossa). Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: A five-year prospective study. *Journal of Educational Psychology*.
- Gelman, R. & Gallistel, C. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Holmes, J., Gathercole, S.E. & Dunning, D.L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12, F9–F15.
- Jaeggi, S.M., Buschkuhl, M., Jonides, J. & Perrig, W.J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 6829–6833.
- Jaeggi, S.M., Buschkuhl, M., Jonides, J. & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 10081–10086.
- Klingberg, T. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 317–324.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P.J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K. ym. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD – A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 177–186.
- 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, 516–530.
- Kroesbergen, E.H. (2003). Mathematics interventions for children with special educational needs. *Remedial & Special Education*, 24, 97–114.
- Kroesbergen, E.H., Van Luit, J.E.H., Van Lieshout, E.C.D.M., Van Loosbroek, E. & Rijt, V.D. (2009). Individual differences in early numeracy: The role of executive functions and subitizing. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27, 226–236.
- Kroesbergen, E.H., Van der Rijt, B.A.M. & Van Luit, J.E.H. (2007). Working memory and early mathematics: Possibilities for early identification of mathematics learning disabilities. *Advances in Learning and Behavioral Disabilities*, 20, 1–19.
- Kroesbergen, E.H., Van 't Noordende, J.E. & Kolkman, M.E. (2012). Number sense in low-performing kindergarten children: Effects of a working memory and a number sense training. *Teoksessa* D. Molfeš, Z. Breznitz, V. Berninger & O. Rubinsten (toim.), *Reading, writing, mathematics and the developing brain: Listening to many voices*. New York: Springer Publications.
- Kyttälä, M. (2003). Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology*, 20, 65–76.

- Kyttala, M. (2008). Visuospatial working memory in adolescents with poor performance in mathematics: Variation depending on reading skills. *Educational Psychology*, 28, 273–289.
- Kyttala, M., Aunio, P. & Hautamäki, J. (2010). Working memory resources in young children with mathematical difficulties. *Scandinavian Journal of Psychology*, 51, 1–15.
- Melby-Lervåg, M. & Hulme, C. (2012). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, Advance online publication. doi: 10.1037/a0028228.
- Miyake, A. & Shah, P. (1999). *Models of working memory*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Morrison, A.B. & Chein, J.M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18, 46–60.
- Nutley, S.B., Söderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L.B., Humphreys, K. & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. *Developmental Science*, 14, 591–601.
- Olesen, P.J., Westerberg, H. & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75–79.
- Passolunghi, M., Mammarella, I.C. & Alton, G. (2008). Cognitive abilities as precursors of the early acquisition of mathematical skills during first through second grades. *Developmental Neuropsychology*, 33, 229–250.
- Passolunghi, M. & Siegel, L.S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 4, 348–367.
- Passolunghi, M., Vercelloni, B. & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development*, 22, 165–184.
- Raghubar, K.P., Barnes, M.A. & Hecht, S.A. (2010). Working memory and mathematics: a review of developmental, individual, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20, 110–122.
- Resnick, L.B. (1989). Developing mathematical knowledge. *American Psychologist*, 44, 162–169.
- Siegel, L.S. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973–980.
- Siegler, R.S. & Ramani, G.B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental Science*, 11, 655–661.
- Smith, L. (2002). *Reasoning by mathematical induction in children's arithmetic*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- Swanson, H.L., Howard, C.B. & Saez, L. (2006). Do different components of working memory underlie different subgroups of reading disabilities? *Journal of Learning Disabilities*, 39, 252–269.
- Swanson, L. & Kim, K. (2007). Working memory, short-term memory, and naming speed as predictors of children's mathematical performance. *Intelligence*, 35, 151–168.
- Thorell, L.B., Lindqvist, S., Nutley, S.B., Bohlin, G. & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12, 106–113.
- Turley-Ames, K. & Whitfield, M.M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory & Language*, 49, 446–468.
- van Luit, J.E.H., van de Rijt, B.A.M. & Aunio, P. (2006). *Lukukäsitetesti*. Helsinki: Psykologien Kustannus.
- Wass, S., Porayska-Pomsta, K. & Johnson, M.H. (2011). Training attentional control in

- infancy. *Current Biology*, 21, 1543–1547.
- Westerberg, H. & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory – a single-subject analysis. *Physiology & Behavior*, 92, 186–192.
- Witt, M. (2011). School based working memory training: Preliminary finding of improvement in children's mathematical performance. *Advances in Cognitive Psychology*, 7, 7–15.
- Whyte, J.C. & Bull, R. (2008). Number games, magnitude representation, and basic number skills in preschoolers. *Developmental Psychology*, 44, 588–596.
- Zelazo, P.D. & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. Teoksessa U. Goswami (toim.), *Handbook of Childhood Cognitive Development*, 445–469, UK: Blackwell.