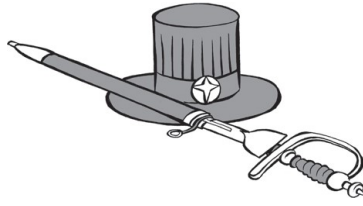


Anssi Vanhala



Fyysisen aktiivisuuden, motoristen perustaitojen, toiminnanohjauksen sekä varhaisten matemaattisten taitojen kehitykselliset yhteydet päiväkotikäisillä lapsilla

Viime aikoina kaksi teemaa on herättänyt paljon huolta ja julkista keskustelua: heikentynyt matemaattisten taitojen osaaminen sekä lasten vähentynyt liikkuminen ja heikentyneet motoriset taidot. Esimerkiksi kansainvälisen PISA-tutkimuksen tulokset ovat osoittaneet, että suomalaisten nuorten matematiikan osaaminen on jatkuvasti heikentynyt viimeisen parinkymmenen vuoden aikana (OECD, 2023). Samaan aikaan yhteiskunnan kehitys, jossa liikkumisen tarvetta on pyritty vähentämään ja tekemään liikkumisesta mahdollisimman helppoa ja vaivatonta, on johtanut lihasvoimin tapahtuvan liikkumisen eli fyysisen

aktiivisuuden vähenemiseen viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana (Booth ym., 2015; Dollman ym., 2005). Tämä kehitys on jo nähtävissä lasten ja nuorten fyysisen kunnan ja toimintakyvyn heikkenemisenä (Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 2022). Molemmat edellä mainitut aiheet ovat herättäneet keskustelua hyvästä syystä, sillä niiden vaikutukset ulottuvat koko yhteiskunnan toimintakykyyn tulevaisuudessa.

Fyysisen aktiivisuuden riittävällä määrällä tiedetään olevan tärkeä rooli sekä yleisen terveyden ja hyvinvoinnin että aivojen terveyden ja toimintakyvyn kannalta (Carson ym., 2017; Erickson ym., 2019).

Fyysinen aktiivisuus on myös tiiviisti yhteydessä perusmotoristen taitojen kehittymiseen, sillä fyysiset aktiviteetit kehittävät motorisia taitoja, ja toisaalta paremmat motoriset taidot toimivat mahdollistajina monipuolisille fyysisille aktiviteeteille (Stodden ym., 2008). Tutkimukset ovatkin yhdistäneet fyysisen aktiivisuuden ja motoriset taidot parempiin kognitiivisiin eli tiedonkäsittelyyn liittyviin taitoihin sekä parempaan koulumenestykseen (St. Laurent ym., 2021; Tandon ym., 2016). Lisäksi vähäisen fyysisen aktiivisuuden on havaittu olevan yhteydessä heikompiin kognitiivisiin taitoihin jo päiväkotikässä (Carson ym., 2015). Tämä herättää kysymyksen: Voivatko fyysisen aktiivisuuden määrä ja siihen liittyvä motoristen taitojen oppiminen olla yhteydessä matemaattisten taitojen kehitykseen päiväkotikässä? Tämä kysymys toimi keskeisenä lähtökohtana tälle väitöskirjatutkimukselle.

VARHAISET MATEMAATTISET TAITOT JA TOIMINNANOHJAUS

Matemaattiset taidot ovat tärkeitä jokapäiväisessä elämässämme. Ilman niitä on vaikeaa, ellei mahdotonta, selvittää arjen askareista, vaativammista opiskelu- tai työtehtävistä puhumattakaan. Kaupassa käydessä vertailemme tuotteiden hintoja, ruoanlaitossa puolestaan tarvitsemme mittasuhteiden ja annoskokojen ymmärtämistä. Lisäksi monissa työtehtävissä tarvitaan matemaattisia taitoja, kuten aikataulujen laatimista sekä resurssien suunnittelua.

Matemaattiset taidot alkavat kehittyä jo heti syntymän jälkeen ja erityisesti päiväkotikä on niiden kehitykselle tärkeä vaihe (Litkowski ym., 2020). Päiväkotikä-

sä lapset oppivat matemaattisia suhdetietoja, kuten vertailemaan ja luokittelemaan asioita eri ominaisuuksien, esimerkiksi koon ja lukumäärän, perusteella. Samalla he omaksuvat vertailuun liittyvää sanastoa, kuten ”isompi” ja ”pienempi” sekä ”enemmän” ja ”vähemmän”. Päiväkotikässä lapset harjoittelevat myös laskemisen taitoja edeten lukusanojen lorumaisesta luettelemisesta esineiden ja asioiden lukumäärien tarkkaan laskemiseen. Nämä päiväkotikässä opittavat matemaattiset perustaidot toimivat tärkeänä pohjana myöhemmin opittaville monimutkaisemmille laskutehtäville ja niiden tiedetäänkin ennustavan hyvin lasten pärjäämistä koulumatematiikassa. (Clements & Sarama 2021; Duncan ym., 2007)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että lasten matemaattisissa taidoissa on eroja jo päiväkotikässä, ja taitoerot kasvavat edelleen kouluvuosien aikana (Aunio ym., 2015; Aunola ym., 2004). Varhaisten matemaattisten taitojen tiedetäänkin ennustavan myöhempiä matemaattisia oppimisvaikeuksia ja olevan yhteydessä muun muassa koulutusvalintoihin (Jordan ym., 2015), työllistymiseen (Parsons & Bynner, 2005), yleiseen hyvinvointiin (Widlund ym., 2018) ja sosioekonomiseen asemaan (Estrada-Mejia ym., 2016). Varhaisten matemaattisten taitojen oppimisella on siis merkittävät ja kauaskantoiset vaikutukset, joten niiden tukemisella on suuri merkitys niin yksilön kuin koko yhteiskunnan tulevaisuuden kannalta. Jotta matemaattisten taitojen kehittymistä voidaan tukea tehokkaasti jo varhaisessa vaiheessa, on tärkeää ymmärtää, mitkä tekijät vaikuttavat niiden kehittymiseen.

Toiminnanohjaus on yksi tekijä, jonka tiedetään vaikuttavan matemaattisten

taitojen kehitykseen (Zelazo & Carlson, 2020). Toiminnanohjauksella tarkoitetaan kognitiivisia prosesseja, jotka auttavat ihmistä ohjaamaan toimintaansa tavoitteiden mukaisesti ja mukauttamaan sitä joustavasti eri tilanteisiin (Garon ym., 2008). Toiminnanohjaukseen kuuluvia taitoja ovat työmuistin päivittämisen taito eli kyky lyhytaikaisesti säilyttää ja prosessoida tietoa muistissa, inhibitio eli kyky vastustaa tavoitteen kannalta epäolennaista käyttäytymistä sekä kognitiivinen joustavuus eli taito mukauttaa toimintaa vaihtelevien tilanteiden mukaan (Miyake ym., 2000). Toiminnanohjaus on erityisen tärkeää tilanteissa, jotka ovat lapselle uusia tai yllättäviä, jolloin hän ei pysty suoriutumaan niistä automaattisesti valmiiksi opittujen toimintatapojen mukaan (Diamond, 2013). Toiminnanohjaukselle haastetta tarjoavat esimerkiksi erilaiset pelit ja leikit, sillä niissä lapsen täytyy muistaa säännöt eli käyttää työmuistiaan, keskittyä toimimaan sääntöjen mukaan erilaisista häiriötekijöistä riippumatta, mikä haastaa inhibitiokykyä, sekä sopeuttaa toimintaansa ympäristön ja sääntöjen muuttuessa eli hyödyntää kognitiivista joustavuutta (Best, 2010). Toiminnanohjauksen taidot alkavat kehittyä jo varhaislapsuudessa kehityksen jatkuessa aina varhaiseen aikuisuuteen saakka. Erityisen nopeaa toiminnanohjauksen kehitys on kuitenkin päiväkotiyössä, tehden siitä erittäin herkän ja tärkeän ajanjakson toiminnanohjauksen kehittymisen kannalta (Best & Miller, 2010).

LIKKUMINEN PÄIVÄKOTI- IÄSSÄ JA SEN MERKITYS MATEMAATTISTEN TAITOJEN OPPIMISELLE

Liikkuminen on lapsille luontaista toimintaa ja tärkeä osa heidän kasvuaan ja kehitystään. Kansallisten ja kansainvälisten varhaisvuosien liikkumisen suositusten mukaisesti päiväkotikäisten lasten tulisi olla fyysisesti aktiivisia vähintään kolme tuntia, josta tunti on vauhdikkaampia aktiviteetteja, esimerkiksi juoksua ja hyppelyä, sisältävää liikkumista (Opetus- ja kulttuuriministeriö, 2016; World Health Organization, 2019).

Päiväkoti-iässä lapset opettelevat myös motorisia perustaitoja, jotka ovat tärkeitä taitoja päivittäisistä askareista selviämisen kannalta sekä toimivat pohjana haastavimpien taitojen oppimiselle mahdollistaen osallistumisen monipuolisiin liikunnallisiin harrastuksiin (Logan ym., 2018). Nämä taidot sisältävät erilaisia liikkumistaitoja, kuten juoksemista ja hyppelyä, välineenkäsittelytaitoja, kuten pallon heittämistä, lyömistä ja potkaisemista sekä tasapainoon ja kehon hallintaan liittyviä taitoja (Gallahue ym., 2012). Fyysinen aktiivisuus ja motoriset taidot ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa, sillä motoriset taidot eivät kehity itsestään, vaan niiden kehittyminen vaatii harjoittelua. Taitojen kehittyminen edellyttääkin mahdollisuuksia liikua ja osallistua fyysisiin aktiviteetteihin, jotka tarjoavat tilaisuuksia kehittää näitä taitoja (Clark & Metcalfe, 2002).

Lasten kognitiivisen kehityksen tiedetään olevan herkkä ympäristötekijöiden ja erilaisten kokemusten vaikutuksille (Diamond, 2013). Viime vuosina yhä useampi tutkimus on pyrkinytkin selvittämään,

miten fyysinen aktiivisuus ja motoriset taidot ovat yhteydessä matemaattisiin taitoihin sekä matemaattisiin taitoihin keskeisesti liittyvään toiminnanohjaukseen (St. Laurent ym., 2021; Tandon ym., 2016). Aiemmat tutkimukset ovat havainneet fyysisen aktiivisuuden ja motoristen taitojen olevan yhteydessä suotuisiin muutoksiin oppimiselle tärkeillä aivoalueilla (Erickson ym., 2019; Voss ym., 2014). Lisäksi monet liikunnalliset pelit ja leikit haastavat motoristen taitojen ohella myös toiminnanohjausta. (Best, 2010; Tomporowski & Pesce, 2019). Keskeiseksi kysymykseksi onkin noussut, miten osallistuminen fyysisiin aktiiviteetteihin näkyy lasten oppimisessa.

Tutkimukset ovat antaneet lupaavia viitteitä siitä, että niin fyysisen aktiivisuuden määrä kuin motoriset taidotkin olisivat yhteydessä kehittyneempään toiminnanohjaukseen ja parempiin matemaattisiin taitoihin (Singh ym., 2019; van der Fels ym., 2015). Vähemmän tutkimusta on kuitenkin tehty päiväkotikäisillä lapsilla, valtaosan tutkimuksesta keskittyessä kouluikään.

Aikaisemmat tutkimukset päiväkotikäisillä lapsilla ovat myös tyypillisesti keskittyneet kapeasti vain joidenkin osa-alueiden, esimerkiksi liikkumisen määrän ja toiminnanohjauksen välisten yhteyksien tutkimiseen (esim. McNeill ym., 2018), jolloin laajempi ymmärrys eri tekijöiden vaikutuksista toisiinsa on jäänyt selvittämättä. Lisäksi suurin osa aikaisemmas-ta tutkimuksesta on perustunut vain yhdestä mittauksesta kerättyyn aineistoon (esim. Willoughby ym., 2018; Gashaj ym., 2019), jolloin ei ole voitu päätellä, miten eri taidot kehittyvät ja miten niiden kehitykset ovat yhteydessä toisiinsa.

Tällä hetkellä tiedetään vain vähän,

miten fyysinen aktiivisuus, motoriset perustaidot, toiminnanohjaus ja varhaiset matemaattiset taidot ovat yhteydessä toisiinsa päiväkotikäisillä lapsilla. Erityisen vähän tiedetään, miten näiden taitojen kehittymiset ovat yhteydessä toisiinsa. Tämä tieto on ensiarvoisen tärkeää, jotta voimme paremmin ymmärtää ja siten tehokkaammin tukea lasten varhaisten matemaattisten taitojen kehitystä.

VÄITÖSKIRJAN TAVOITTEET JA KULKU

Väitöskirjan (Vanhala, 2024) tavoitteena oli selvittää, miten fyysinen aktiivisuus, motoriset perustaidot, toiminnanohjaus sekä varhaiset matemaattiset taidot ovat kehityksellisesti yhteydessä toisiinsa päiväkotikäisissä. Väitöskirja koostui kolmesta osatutkimuksesta. Ensimmäisessä tutkimuksessa (Vanhala ym., 2023a) tarkasteltiin, mitkä toiminnanohjauksen osa-alueista ovat tunnistettavissa jo päiväkotikäisissä. Kaksi jälkimmäistä tutkimusta keskittyivät selvittämään fyysisen aktiivisuuden, motoristen perustaitojen, toiminnanohjauksen ja varhaisten matemaattisten taitojen yhteyksiä. Toisessa osatutkimuksessa (Vanhala ym., 2023b) näitä yhteyksiä selvitettiin yhdessä mittauksessa kerätyllä aineistolla, kun taas kolmas osatutkimus (Vanhala ym., 2024) keskittyi näiden tekijöiden kehityksellisiin yhteyksiin kahden vuoden seurannan aikana.

Tutkimukseen osallistui 348 helsinkiläistä 3–6-vuotiasta lasta, ja heidän kehittymistään seurattiin kaksi vuotta kolmella vuoden välein toteutetulla mittauksella. Fyysisen aktiivisuuden määrää mitattiin seitsemän päivän ajan lantiolle

puettavilla liikemittareilla. Motorisia perustaitoja, toiminnanohjausta ja varhaisia matemaattisia taitoja arvioitiin ikätasoon sopivilla tehtävillä, jotka suoritettiin lasten päiväkodissa päiväkotipäivän aikana. Kaikkia kolmea motoristen perustaitojen osa-aluetta arvioitiin. Liikkumis- ja välineenkäsittelytaitoja arvioitiin TGMD-3 testillä (Ulrich, 2019). Tasapainotaitojen arviointiin käytettiin sivuttaishyppely- ja takaperin tasapainoilutehtävää KTK-testistä (Kiphard & Schilling, 2007) sekä yhdellä jalalla seisomista MABC-2-testistä (Petermann, 2009). Toiminnanohjauksen taitoja arvioitiin tietokoneella suoritettavien tehtävien avulla. Näissä tehtävissä lapsia pyydettiin esimerkiksi painamaan nuolinäppäintä mahdollisimman nopeasti siihen suuntaan, johon ruudulle ilmestyvä kala on uimassa tai muistamaan ruudulla ilmestyviä eläimiä (Lee ym., 2013). Varhaisia matemaattisten taitojen arviointiin käytettiin matemaattisia suhdetaitoja ja laskemisen taitoja mitaavalla Lukukäsitetestillä (Van Luit ym., 2006).

PÄIVÄKOTI-IKÄISILLÄ LAPSILLA TUNNISTETTAVISSA KAKSI ERILLISTÄ TOIMINNAHOJJAUKSEN OSA- ALUETTA

Tutkimuskirjallisuudessa on perinteisesti erotettu kolme toiminnanohjauksen osa-aluetta: työmuisti, inhibitiokyky ja kognitiivinen joustavuus (Miyake ym., 2000). Aikaisempi tutkimus päiväkotikäisillä on kuitenkin osoittanut, etteivät kaikki eri osa-alueet välttämättä ole erillisiä tässä kehitysvaiheessa (Lee ym., 2013). Toiminnanohjauksen on raportoitu olevan päivä-

koti-ässä joko yksi yhtenäinen kokonaisuus tai jakautuneena kahteen erilliseen osa-alueeseen, jolloin kognitiivinen joustavuus muodostaa yhteisen kokonaisuuden joko inhibitiota tai työmuistia varten (Karr ym., 2018). Väitöskirjan ensimmäisessä osatutkimuksessa tarkasteltiin, mitkä toiminnanohjauksen osa-alueista voidaan tunnistaa päiväkotikäisissä.

Toiminnanohjauksen havaittiin jakautuvan kahteen osa-alueeseen: erilliseen työmuistin päivittämisen osa-alueeseen sekä yhdistettyyn inhibitiokyvyn ja kognitiivisen joustavuuden kokonaisuuteen. Tulokset osoittivat siis, että päiväkotikäisillä lapsilla ei ole vielä erotettavissa kolmea toiminnanohjauksen osa-aluetta kuten aikuisilla, vaan inhibitiokyky ja kognitiivinen joustavuus muodostavat tässä iässä yhtenäisen kokonaisuuden. Tulos on linjassa aiemman tutkimuksen kanssa, joissa on havaittu kognitiivisen joustavuuden erottuvan viimeisenä osa-alueena toiminnanohjauksen kokonaisuudesta (Karr ym., 2018; van der Ven ym., 2013). Tätä tietoa toiminnanohjauksen rakenteesta käytettiin hyödyksi väitöskirjan seuraavissa osatutkimuksissa.

FYYSISEN AKTIIVISUUDEN, MOTORISTEN PERUSTAITOJEN, TOIMINNAHOJJAUKSEN JA VARHAISTEN MATEMAATTISTEN TAITOJEN YHTEYDET PÄIVÄKOTI- IÄSSÄ

Väitöskirjan toisessa osatutkimuksessa selvitettiin fyysisen aktiivisuuden, motoristen perustaitojen, toiminnanohjauksen ja varhaisten matemaattisten taitojen yhteyttä ensimmäisessä mittauspisteessä

kerätyllä aineistolla.

Tulokset osoittivat, että motoriset perustaidot olivat positiivisesti yhteydessä varhaisiin matemaattisiin taitoihin paremman toiminnanohjauksen kautta kahta eri reittiä: liikkumistaidot olivat yhteydessä matemaattisiin taitoihin paremman työmuistin päivittämisen kautta, kun taas parempien tasapainotaitojen yhteys matemaattisiin taitoihin selittyi paremman inhibition ja kognitiivisen joustavuuden kautta. Tulokset ovat linjassa aiemman tutkimuksen kanssa, joissa on osoitettu motoristen perustaitojen yhteys toiminnanohjaukseen (Han ym., 2002; Roebbers & Kauer, 2009) ja matemaattisiin taitoihin (Gashaj ym., 2019) sekä toiminnanohjauksen yhteys matemaattisten taitoihin (Zelazo & Carlson, 2020). Väitöskirjan tulokset täydentävät aiempaa tietoa osoittamalla, että toiminnanohjauksen taidot toimivat välittäjänä motoristen taitojen ja matemaattisten taitojen välisessä yhteydessä.

Fyysisen aktiivisuuden määrän yhteys matemaattisiin taitoihin oli ristiriitainen. Suurempi määrä rasittavaa fyysistä aktiivisuutta oli toisaalta positiivisesti yhteydessä matemaattisiin taitoihin parempien liikkumistaitojen ja paremman työmuistin päivittämisen kautta, mutta myös negatiivisesti yhteydessä heikomman inhibition ja kognitiivisen joustavuuden kautta. Aiemmat tutkimukset ovat myös löytäneet sekä negatiivisia (Willoughby ym., 2018; Cook ym., 2019), että positiivisia (Luo ym., 2023; McNeill ym., 2018) yhteyksiä fyysisen aktiivisuuden ja toiminnanohjauksen välillä. Vaikka negatiivisten yhteyksien tarkkaa syytä ei tiedetä, niitä saattaa selittää esimerkiksi hyperaktiivinen ja impulsiivinen käytös, joka on yhdistetty sekä suurempaan fyysisen aktiivisuuden määrään

(Willoughby ym., 2018) että heikompaan toiminnanohjaukseen (Schoemaker ym., 2014).

Nämä ensimmäisen osatutkimuksen tulokset antoivat viitteitä siitä, että erityisesti motoriset perustaidot ovat positiivisesti yhteydessä matemaattisiin taitoihin päiväkotiyössä ja toiminnanohjaus toimii tärkeänä välittäjänä tässä yhteydessä.

Kolmannessa osatutkimuksessa tarkasteltiin fyysisen aktiivisuuden, motoristen perustaitojen, toiminnanohjauksen ja matemaattisten taitojen kehityksellisiä yhteyksiä kahden vuoden aikana. Erityisesti tarkasteltiin, miten motoristen perustaitojen ja toiminnanohjauksen kehitykset ovat yhteydessä toisiinsa ja miten näiden taitojen kehittyminen ennustaa varhaisten matemaattisten taitojen osaamista. Lisäksi tarkasteltiin ennustaako fyysisen aktiivisuuden määrä motoristen taitojen ja toiminnanohjauksen kehittymistä ja mahdollisesti niiden kautta parempia matemaattisia taitoja.

Tulokset osoittivat, että parempi inhibitiokyky ja kognitiivinen joustavuus ennustivat nopeampaa kehitystä motorisissa taidoissa. Toisaalta paremmat motoriset taidot puolestaan ennustivat hitaampaa kehitystä inhibitiokyvyssä ja kognitiivisessa joustavuudessa. Aiemmissa tutkimuksissa motoristen perustaitojen on havaittu ennustavan toiminnanohjausta (Niederer ym., 2011; Piek ym., 2008). Aiemmat tutkimukset eivät ole kuitenkaan tutkineet motoristen taitojen ja toiminnanohjauksen kehitysnopeuksien yhteyksiä toisiinsa. Työmuistin päivittämisen ja sen kehittymisen puolestaan havaittiin ennustavan parempia matemaattisia taitoja. Tämä vahvistaa aiemmasta tutkimuksesta saatua tietoa työmuistin tärkeästä roolista

varhaisten matemaattisten taitojen kehitymisessä (Lee ym., 2012; van der Ven ym., 2012). Fyysisen aktiivisuuden määrän ei havaittu olevan yhteydessä motoristen taitojen tai toiminnanohjauksen kehitykseen. Suurin osa aiemmista tutkimuksista ei ole myöskään löytänyt pitkäjäisiä yhteyksiä fyysisen aktiivisuuden ja toiminnanohjauksen välillä (Verswijveren ym., 2020; Zysset ym., 2018). Toisaalta ristiriidassa väitöskirjan tulosten kanssa, aiemmat tutkimukset ovat havainneet fyysisen aktiivisuuden ennustavan motorisia taitoja (Figueroa & An, 2017). Tämä oli kuitenkin ensimmäinen tutkimus päiväkotilapsilla, jossa tutkittiin fyysisen aktiivisuuden vaikutuksia toiminnanohjauksen ja motoristen perustaitojen kehitysnopeuteen.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Väitöskirjan tulokset osoittavat, että fyysinen aktiivisuus, motoriset perustaidot, toiminnanohjaus ja varhaiset matemaattiset taidot muodostavat monimutkaisen kehityksellisen kokonaisuuden. Nämä tulokset, yhdessä aiemman tutkimuksen kanssa, viittaavat siihen, että fyysisen aktiivisuuden laadulla eli esimerkiksi sillä, kuinka paljon motorista haastetta fyysinen aktiviteetti tarjoaa lapselle, voi olla merkittävä rooli tarkasteltaessa fyysisen aktiivisuuden määrän yhteyttä oppimiseen (Pesce, 2012).

Tämän väitöskirjan tulokset korostavat erityisesti toiminnanohjauksen tärkeää asemaa päiväkotikäisten lasten kehityksessä, sillä tulosten mukaan se on yhteydessä sekä matemaattisten että motoristen perustaitojen kehittymiseen. Tulokset kannustavatkin kaikkia lasten kanssa toi-

mivia aikuisia tukemaan lasten toiminnanohjauksen kehittymistä. Aiempi tutkimus on osoittanut, että tärkeitä asioita toiminnanohjauksen kehittymisen kannalta ovat keskeisten fyysisten, sosiaalisten ja emotionaalisten perustarpeiden täyttyminen sekä toiminnanohjauksen jatkuva haastaminen arjen toiminnassa (Diamond, 2013). Toiminnanohjauksen kehityksen tukemiseksi lapsille tulisikin tarjota uusia ja yllättäviä tilanteita sisältäviä haasteita, jotta lapset pääsevät käyttämään toiminnanohjaustaan. Tällä voi olla merkittäviä ja kauaskantoisia vaikutuksia lasten kehityksen kannalta.

Kirjoittajatiedot:

Anssi Vanhala, FT, tutkijatohtori, kasvatustieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto, anssi.vanhala@helsinki.fi

LÄHTEET

- Aunio, P., Heiskari, P., Van Luit, J. E., & Vuorio, J.-M. (2015). The development of early numeracy skills in kindergarten in low-, average- and high-performance groups. *Journal of Early Childhood Research*, 13(1), 3–16. <https://doi.org/10.1177/1476718X14538722>
- 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(4), 699–713. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699>
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331–351. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Booth, V. M., Rowlands, A. V., & Dollman, J. (2015). Physical activity temporal trends among children and adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(4), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.06.002>

- Carson, V., Kuzik, N., Hunter, S., Wiebe, S. A., Spence, J. C., Friedman, A., Tremblay, M. S., Slater, L. G., & Hinkley, T. (2015). Systematic review of sedentary behavior and cognitive development in early childhood. *Preventive Medicine, 78*, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.07.016>
- Carson, V., Lee, E.-Y., Hewitt, L., Jennings, C., Hunter, S., Kuzik, N., Stearns, J. A., Unrau, S. P., Poitras, V. J., Gray, C., Adamo, K. B., Janssen, I., Okely, A. D., Spence, J. C., Timmons, B. W., Sampson, M., & Tremblay, M. S. (2017). Systematic review of the relationships between physical activity and health indicators in the early years (0–4 years). *BMC Public Health, 17*(lisäosa 5), 854–854. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4860-0>
- Clark, J. E., & Metcalfe, J. S. (2002). The mountain of motor development: A metaphor. Teoksessa J. E. Clark, & J. H. Humphrey (toim.), *Motor development: research and reviews* (s. 163–190). NASPE Publications. Clements, D. H., & Sarama, J. (2021). *Learning and teaching early math: The learning trajectories approach* (3. painos). Routledge.
- Cook, C. J., Howard, S. J., Scerif, G., Twine, R., Kahn, K., Norris, S. A., & Draper, C. E. (2019). Associations of physical activity and gross motor skills with executive function in preschool children from low-income South African settings. *Developmental Science, 22*(5), e12820. <https://doi.org/10.1111/desc.12820>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dollman, J., Norton, K., & Norton, L. (2005). Evidence for secular trends in children's physical activity behaviour. *British Journal of Sports Medicine, 39*(12), 892–897. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.016675>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2007). School Readiness and Later Achievement. *Developmental Psychology, 43*(6), 1428–1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Erickson, K. I., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., & Powell, K. E. (2019). Physical activity, cognition, and brain Outcomes: A review of the 2018 physical activity guidelines. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 51*(6), 1242–1251. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>
- Estrada-Mejia, C., De Vries, M., & Zeelenberg, M. (2016). Numeracy and wealth. *Journal of Economic Psychology, 54*, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2016.02.011>
- Figuroa, R., & An, R. (2017). Motor skill competence and physical activity in preschoolers: A review. *Maternal and Child Health Journal, 21*(1), 136–146. <https://doi.org/10.1007/s10995-016-2102-1>
- Gallahue, D. L., Ozmun, J. C., & Goodway, J. D. (2012). *Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults* (7. painos). McGraw-Hill.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gashaj, V., Oberer, N., Mast, F. W., & Roebbers, C. M. (2019). Individual differences in basic numerical skills: The role of executive functions and motor skills. *Journal of Experimental Child Psychology, 182*, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.01.021>
- Han, X., Zhao, M., Kong, Z., & Xie, J. (2022). Association between fundamental motor skills and executive function in preschool children: A cross-sectional study. *Frontiers in Psychology, 13*, 978994. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.978994>
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu. (2022). *Tuloskortti 2022. Lasten ja nuorten liikunta Suomessa. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 401*. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-790-553-4>
- Jordan, N. C., Fuchs, L. S., & Dyson, N. (2015). Early number competencies and mathematical learning: Individual variation, screening, and intervention. Teoksessa R. C. Kadosh & A. Dowker (toim.), *The Oxford handbook of numerical cognition* (s. 1079–1098). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.010>
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin, 144*(11), 1147–1185. <https://doi.org/10.1037/bul0000160>
- Kiphard, E. J., & Schilling, F. (2007). *The Körperkoordinationstest für kinder 2, überarbeitete und ergänzte Aufgabe*. (KTK). Beltz Test.
- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. H. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development, 84*(6), 1933–1953. <https://doi.org/10.1111/cdev.12096>
- Lee, K., Ng, S. F., Pe, M. L., Ang, S. Y., Hasshim, M. N. A. M., & Bull, R. (2012). The cognitive underpinnings of emerging mathematical skills: Executive functioning, patterns, numeracy, and arithmetic. *British Journal of Educational Psychology, 82*(1), 82–99. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2010.02016.x>

- Litkowski, E. C., Duncan, R. J., Logan, J. A. R., & Purpura, D. J. (2020). When do preschoolers learn specific mathematics skills? Mapping the development of early numeracy knowledge. *Journal of Experimental Child Psychology*, 195, 104846. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104846>
- Logan, S. W., Ross, S. M., Chee, K., Stodden, D. F., & Robinson, L. E. (2018). Fundamental motor skills: A systematic review of terminology. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), 781–796. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340660>
- Luo, X., Herold, F., Ludyga, S., Gerber, M., Kamijo, K., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Alderman, B. L., Müller, N. G., Kramer, A. F., Ishihara, T., Song, W., & Zou, L. (2023). Association of physical activity and fitness with executive function among preschoolers. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 23(4), 100400. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100400>
- McNeill, J., Howard, S. J., Vella, S. A., Santos, R., & Cliff, D. P. (2018). Physical activity and modified organized sport among preschool children: Associations with cognitive and psychosocial health. *Mental Health and Physical Activity*, 15, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2018.07.001>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., & Puder, J. J. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatrics*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-11-34>
- Opetus- ja kulttuuriministeriö (2016). Varhaisvuosien fyysisen aktiivisuuden suositukset 2016. Iloa, leikkiä ja yhdessä tekemistä. Opetus- ja kulttuuriministeriö 2016: 21. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75405/OKM21.pdf>
- OECD. (2023). PISA 2022 assessment and analytical framework. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/dfe0bf9c-en>
- Parsons, S., & Bynner, J. (2005). Does numeracy matter more? National Research and Development Centre for Adult Literacy and Numeracy. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1566244/1/parsons2006does.pdf>
- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(6), 766–786. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.6.766>
- Petermann, F. (2009). Movement assessment battery for children-2 (M-ABC-2) [2. painos]. Pearson Assessment.
- Piek, J. P., Dawson, L., Smith, L. M., & Gasson, N. (2008). The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Human Movement Science*, 27(5), 668–681. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.11.002>
- Roebbers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175–181. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x>
- Schoemaker, K., Bunte, T., Espy, K. A., Deković, M., & Matthys, W. (2014). Executive functions in preschool children with ADHD and DBD: An 18-month longitudinal study. *Developmental Neuropsychology*, 39(4), 302–315. <https://doi.org/10.1080/87565641.2014.911875>
- Singh, A. S., Saliassi, E., van den Berg, V., Uijtdewilligen, L., de Groot, R. H. M., Jolles, J., Andersen, L. B., Bailey, R., Chang, Y.-K., Diamond, A., Ericsson, I., Etnier, J. L., Fedewa, A. L., Hillman, C. H., McMorris, T., Pesce, C., Pühse, U., Tomporowski, P. D., & Chinapaw, M. J. M. (2019). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: A novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *British Journal of Sports Medicine*, 53(10), 640–647. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098136>
- St. Laurent, C. W., Burkart, S., Andre, C., & Spencer, R. M. C. (2021). Physical activity, fitness, school readiness, and cognition in early childhood: A systematic review. *Journal of Physical Activity and Health*, 18(8), 1004–1013. <https://doi.org/10.1123/jpah.2020-0844>
- Stodden, D. F., Goodway, J. D., Langendorfer, S. J., Robertson, M. A., Rudisill, M. E., Garcia, C., & Garcia, L. E. (2008). A developmental perspective on the role of motor skill competence in physical activity: An emergent relationship. *Quest*, 60(2), 290–306. <https://doi.org/10.1080/00336297.2008.10483582>
- Tandon, P. S., Tovar, A., Jayasuriya, A. T., Welker, E., Schober, D. J., Copeland, K., Dev, D. A., Murriel, A. L., Amso, D., & Ward, D. S. (2016). The relationship between physical activity and diet and young children’s cognitive development: A systematic review. *Preventive Medicine Reports*, 3, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2016.04.003>
- Tomporowski, P. D., & Pesce, C. (2019). Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. *Psychological Bulletin*, 145(9), 929–951. <https://doi.org/10.1037/bul0000200>

- Ulrich, D. A. (2019). Test of gross motor development (3. painos). PRO-ED.
- van der Fels, I. M. J., te Wierike, S. C. M., Hartman, E., Elferink-Gemser, M. T., Smith, J., & Visscher, C. (2015). The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(6), 697–703. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.09.007>
- van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. M. (2012). The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 100–119. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x>
- van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. M. (2013). The structure of executive functions in children: A closer examination of inhibition, shifting, and updating: Structure of executive functions. *British Journal of Developmental Psychology*, 31(1), 70–87. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.2012.02079.x>
- Van Luit, J., Van de Rijt, B. & Aunio, P. (2006). Lukukäsitetesti (Early Numeracy Test). Psykologien kustannus, Helsinki.
- Vanhala, A. (2024). The developmental dynamics of physical activity, fundamental motor skills, executive functions and early numeracy: A longitudinal study in preschoolers. [Tohtorinväitöskirja, Helsingin yliopisto]. Dissertations Universitatis Helsingiensis 181/2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-9925-6>
- Vanhala, A., Haapala, E. A., Sääkslahti, A., Hakkarainen, A., Widlund, A., & Aunio, P. (2023b). Associations between physical activity, motor skills, executive functions and early numeracy in preschoolers. *European Journal of Sport Science* 23(7), 1385–1393. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2092777>
- Vanhala, A., Lee, K., Korhonen, J., & Aunio, P. (2023a). Dimensionality of executive functions and processing speed in preschoolers. *Learning and Individual Differences*, 107, 102361–. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102361>
- Vanhala, A., Widlund, A., Korhonen, J., Haapala, E. A., Sääkslahti, A., & Aunio, P. (2024). Developmental associations of fundamental motor skills and executive functions in preschoolers — The role of the physical activity and the effects on early numeracy. *Trends in Neuroscience and Education*, 34, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2024.100220>
- Verswijveren, S. J. J. M., Wiebe, S. A., Rahman, A. A., Kuzik, N., & Carson, V. (2020). Longitudinal associations of sedentary time and physical activity duration and patterns with cognitive development in early childhood. *Mental Health and Physical Activity*, 19, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2020.100340>
- Voss, M. W., Carr, L. J., Clark, R., & Weng, T. (2014). Revenge of the “sit” II: Does lifestyle impact neuronal and cognitive health through distinct mechanisms associated with sedentary behavior and physical activity? *Mental Health and Physical Activity*, 7(1), 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.01.001>
- Widlund, A., Tuominen, H., & Korhonen, J. (2018). Academic well-being, mathematics performance, and educational aspirations in lower secondary education: Changes within a school year. *Frontiers in Psychology*, 9, 297. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00297>
- Willoughby, M. T., Wylie, A. C., & Catellier, D. J. (2018). Testing the association between physical activity and executive function skills in early childhood. *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.03.004>
- World Health Organization. (2019). Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age. World Health Organization.
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2020). The neurodevelopment of executive function skills: Implications for academic achievement gaps. *Psychology & Neuroscience*, 13(3), 273–298. <https://doi.org/10.1037/pne0000208>
- Zysset, A. E., Kakebeeke, T. H., Messerli-Bürgy, N., Meyer, A. H., Stülb, K., Leeger-Aschmann, C. S., Schmutz, E. A., Arhab, A., Puder, J. J., Kriemler, S., Munsch, S., & Jenni, O. G. (2018). Predictors of executive functions in preschoolers: Findings from the SPLASHY study. *Frontiers in Psychology*, 9, 2060. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02060>