



NEUROPSY OPEN

Neuropsykologian erikoistumiskoulutuksen julkaisuja
Publications by the Specialisation Programme in Neuropsychology

Helsingin yliopisto, University of Helsinki, 1/2021

Katsaus aivovauriopotilaiden työmuistikuntoutuksen teoreettiseen taustaan ja vaikuttavuustutkimuksiin

Marika Kumpuniemi

TIIVISTELMÄ

Työmuistin tallennuskapasiteetin ja työstämistoiminnan heikentyminen ovat tavallisia jälkioireita aivoja vaurioittavien sairauksien ja vammojen kuten aivoverenkiertohäiriöiden ja aivovammojen yhteydessä. Aivovauriopotilaiden työmuistifunktioiden tehokkaan kuntouttamisen keinojen ja menetelmien selvittäminen neuropsykologian alan tutkimustyön kautta on tärkeää, koska näiden potilaiden edellytykset selviytyä itsenäisesti jokapäiväisessä elämässä, työssä ja sosiaalisissa suhteissa voivat olla osin työmuistivaikeuksien vuoksi heikentyneet. Aivovauriopotilaiden työmuistiongelmien voi johtaa myös arkielämän hajanaisuuteen ja siitä seuraaviin haastaviin psykososiaalisiin jälkioireisiin sekä yhteiskunnan tasolla aiheuttaa Suomessa vuosittain paljon kustannuksia erilaisten tuki- ja hoitopalveluiden kautta. Työmuistikuntoutuksen tehokkuuden todentaminen on osoittautunut viime vuosikymmeninä tieteellisissä tutkimuksissa haasteelliseksi, mutta viimeisimpiin tutkimuksiin nojaten erityisesti aivovauriopotilaiden työmuistikuntoutus on osoittanut positiivisia merkkejä.

Lyhyt alle kahdenkymmenen kerran harjoittelujakso työmuistin päivittämiseen kohdentuen ei tutkimusten mukaan johda selvästi kognitiivisiin lähisiirtovaikutuksiin aivovauriopotilailla, mutta tulokset tätä pidempien kuntoutusjaksojen vaikuttavuudesta ovat lupaavia sekä lähietä kaukosiirtovaikutuksia ajatellen erityisesti aivovauriopotilailla.

Aivovauriopotilaiden työmuistitutkimuksissa etenkin työmuistitestien ja harjoitustehtävien vaatimuksia on hyvä sopeuttaa potilaiden työmuistisuoriutumisen tasoon ja prosessointinopeuteen sekä yhdenmukaistaa esitys- ja vastaamisnopeuksien osalta. Potilaiden jaksamisen haasteet ja kognitiivisen kuormittuvuuden mahdollisuus on tärkeää huomioida sekä tutkimusten aikatauluja suunniteltaessa että potilaiden suoritusten aikana. Tarkemman työmuistikuntoutuksen vaikuttavuuden esiin saamiseksi potilaskontrolliryhmät on hyvä osallistaa myös strukturoituun kuntoutukseen, joka sisältää muita kuin työmuistitehtäviä.

Tulevaisuudessa on tärkeää kehittää aivovauriopotilaiden työmuistitutkimusten asetelmia siten, että saadaan tarkemmin vastauksia kysymyksiin, voidaanko työmuistikuntoutuksella kohentaa aivovauriopotilaiden työmuistisuoriutumista ja saada aikaan siirtovaikutuksia muuhun kognitiiviseen suoriutumiseen, arjen tasolle ja potilaiden psyykkiseen hyvinvointiin. Lisäksi jatkossa olisi mielenkiintoista selvittää saavutetaanko esimerkiksi visuo-spatiaalisella työmuistimateriaalilla erilaisia kuntoutumistuloksia kuin kielellisellä.

Avainsanat:

Työmuisti, kuntoutus, aivovaurio, aivoverenkiertohäiriö, aivovamma, siirtovaikutus

JOHDANTO

Työmuisti on keskeinen toiminto muistijärjestelmässämme (Kolb & Whishaw, 2009). Se on kuin pieni mielensisäinen lehtiötäulu, johon voidaan hetkellisesti laittaa ylös tarvittavia tietoja esimerkiksi tietyn tehtävän ratkaisun löytämiseksi tai asiakokonaisuuden ymmärtämiseksi. Kun tietojen käsittely on saavuttanut päätöksen ja lopputulos on valmis pysyvämpää tallennusta varten tai tiedot voidaan unohtaa, revitään taulussa esillä oleva lehtiö pois, jolloin alta paljastuu uuteen vastaavaan prosessiin valmis alusta. Työmuistin avulla voidaan näin ollen pitää lyhytkestoisesti mielessä ja samanaikaisessa työstössä pieni määrä sisältöä, kuten kuvia, numeroita tai sanoja (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974; Bialkova & Oberauer, 2010; Daneman & Carpenter, 1980; Salthouse, 1990).

Työmuistia tarvitaan monien arkielämän kannalta tärkeiden toimintojen yhteydessä. Se on mukana yksinkertaisista muistiopeeraatioista kuten puhelinnumeron talteen näppäilemisestä vaativampiin valinta- ja päätöstilanteisiin tai laskutoimituksiin, joissa pitää huomioida ja hallita useita asioita samanaikaisesti. Me tarvitsemme tutkimusten mukaan työmuistia mm. keskittymiseen ja impulssien kontrollointiin (Shipstead, Hicks, & Engle, 2012), ajattelu-prosessien tukemiseen (Baddeley, 2003), kielen ymmärtämiseen (Daneman & Merikle, 1996) ja sen prosessoimiseen (Baddeley, 2003) sekä ongelmien ratkaisemiseen (Shah & Miyake, 1999; Shipstead, Hicks, & Engle, 2012). Näin ollen voidaankin todeta, että esimerkiksi sujuva ja turvallinen autolla ajaminen edellyttää monia työmuistiin kytköksissä olevia toimintoja, sillä nopeasti vaihtuvat liikennetilanteet tai perinteisin keinoin tapahtuva reitin muistaminen ja suunnitteleminen vaativat työmuistin käyttöä. Käytännön elämässä työmuisti toimii myös keskustelussa, jossa toista ihmistä kuunnellaan aktiivisesti ja pyritään muistamaan sekä toisen näkökulmat että

omat ajatuksiin kulkeutuvat mielipiteet, jotta keskustelu voi jatkua vastavuoroisena. Lisäksi esimerkiksi lukemisen yhteydessä on tärkeää ylläpitää monimutkaisen lauseen sanat mielessä työmuistin varaisen prosessoinnin ajan, jotta lauseen merkitys tulee ymmärretyksi.

Työmuistin tallennuskyky ja työmuistin varainen prosessointi voivat heikentyä aivo-
vammoihin tai aivojen sairauksiin liittyvien aivovaurioiden seurauksena, mikä saattaa vaikuttaa merkittävästi ihmisen arjessa selviytymiseen ja sosiaaliseen kanssakäymiseen. Yksinkertaistenkin arjen toimintojen suorittamisesta voi työmuistihasteiden yhteydessä tulla hidastunutta, katkeilevaa ja hajanaista. Tällöin mielensisäiseen lehtiötäuluun ei joko tartu riittävästi materiaalia tai lehtiöteline ei pysy kasassa, jotta materiaalin asianmukainen työstäminen onnistuisi. Keskittyminen ja ajatusten koossa pitäminen loogisen toiminnan ohjaamiseksi voi olla aivovauriopotilaille haastavaa. Kuntoutusta koskevien ohjeiden ja aikataulujen noudattaminen, tulevan suunnitelmien laatiminen ja esimerkiksi omaa tilannetta koskevan tietotulvan suodattaminen vaatii usein ihmiseltä aivovaurion kohtaamisen jälkeen paljon enemmän ponnistelua kuin ennen sairastumista tai vammautumista. Osansa tämänkaltaisiin tiedonkäsittelyn vaikeuksiin voi tuoda juuri työmuistin toiminnan heikentyminen. Aivovauriopotilaat kertovat usein, että he tarvitsevat selkeää järjestystä, tuttuutta ja maltillisesti ärsykeitä ympäristöissään, joissa toimivat; tämän kuvastaessa potilaiden omia keinoja selviytyä mahdollisesti heikentyneen työmuistitoiminnan kanssa.

Aivovauriopotilaiden työmuistiongelmien selvittäminen neuropsykologisen tutkimuksen kautta ja mahdollisista tiedonkäsittelyn pulmista kertominen potilaalle vähintäänkin psykoedukaation keinoin on tärkeää näihin vaikeuksiin kytkeytyvien haasteiden lievittämiseksi. Tiedonkäsittelytoimintojen eli kognitiivisten funktioiden kuntouttaminen myös suoran harjoittamisen kautta on

usein tarkoituksenmukaista, mikäli harjoittaminen todennetusti tuottaa hyötyjä. Työmuistin kohdalla hyötynäkökulma ei ole aivan itsestään selvä, sillä työmuistikuntoutuksen tehokkuuden todentaminen on osoittautunut viime vuosikymmeninä tieteellisten tutkimusten kautta haasteelliseksi (kts. Klingberg, 2012; Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Redick ym., 2013).

Ulkopuolisen intervention keinoin tiedonkäsittelytoimintoja kuten muistia on totuttu aivotapahtumien jälkeen kuntouttamaan perinteisesti neuropsykologisen kuntoutuksen eli kognitiivisen toimintakyvyn edellytyksiä, psyykkistä vointia ja muutoksiin sopeutumista tukevan kuntoutuksen yhteydessä opettamalla uudenlaisia tapoja ja menetelmiä esimerkiksi mieleenpainamisen ja mielestä palauttamisen tehostamiseksi. Tällöin heikentyneeseen työmuistiprosessointiin tai työmuistikapasiteettiin ei mitä ilmeisimmin ole voitu saada merkittäviä parannuksia (Craik ym., 2007). Uudemman ajattelutavan mukaisen suoraan työmuistiin kohdentuvan harjoittamisenkaan vaikuttavuudesta itse työmuistiin, muuhun kognitiiviseen toimintaan tai tunne-elämään ei ole muodostunut tieteelliseen tutkimukseen pohjautuen viime vuosina selkeää yksimielisyyttä, sillä aihepiirin ympärillä on esiintynyt väittelyä hyötyjen puolesta ja niitä vastaan (Conway & Getz, 2010; Shipstead, Redick, & Engle, 2010, 2012). Viimeisimpiin tutkimuksiin nojaten valoa näyttäisi tunnelin päässä silti olevan työmuistikuntoutusta ja erityisesti aivovauriopotilaita ajatellen (Weicker, Villringer, & Thöne-Otto, 2015).

Aiemmissa työmuistitutkimuksissa on pyritty yleensä ensisijaisesti selvittämään voidaan työmuistin harjoittamisen kautta vahvistaa tai kuntouttaa työmuistisuoriutumista itsessään (kts. Buschkuhl & Jaeggi, 2010; Klingberg, 2010; Morrison & Chein, 2011). Joissakin tutkimuksissa työmuistin harjoittamisen on todettu kohentavan työmuistisuoriutumista ja muutakin tiedonkäsittelyn osatoimintaa (kts. Weicker ym.,

2015), mutta toisissa taas työmuistiharjoittelun hyötyjä on todettu vain lyhytkestoisesti, mutta ei yleistyen muuhun kognitiiviseen toimintaan (kts. Melby-Lervåg & Hulme, 2013). Näitä työmuistitutkimuksia on usein tehty hyvin erilaisin tutkimusasetelmin sekä terveillä tutkittavilla että jonkin verran myös potilasryhmillä. Eroja tutkimusten välillä löytyy niin itse harjoitustehtävistä kuin siitäkkin kuinka paljon harjoituskertoja kertyy ja miten pitkällä ajanjaksolla. Juuri tutkimusasetelmien eroavaisuudet saattavat olla syynä siihen miksi työmuistitutkimukset ovat tuottaneet hyvin erilaisia tuloksia ja miksi niiden vertaileminen ylipäätään on vaikeaa (Karch & Verhaeghen, 2014).

Aivovauriopotilaiden työmuistifunktioiden tehokkaan kuntouttamisen mahdollisuuksien ja keinojen selvittäminen on tärkeää ensinnäkin, koska heidän kykynsä selviytyä itsenäisesti jokapäiväisessä elämässä voi olla työmuistiongelmien vuoksi heikentynyt (Kennedy ym., 2008).

Toiseksi työmuistikuntoutuksen tutkimiseen on hyödyllistä panostaa, koska työmuistiharjoittamisesta voi olla potilaiden kohdalla hyötyä myös heidän muiden kognitiivisten suoritustensa ja psyykkisen vointinsa kannalta. Kolmanneksi työmuistikuntoutuksen mahdolliset hyödyt voivat laajeta potilaiden henkilökohtaiselta tasolta koskemaan myös yhteiskuntaa palveluiden käytön tarpeen vähenemisenä ja sujuvampana selviytymisenä yhteiskunnan eri sektoreilla, mikäli työmuistikuntoutus voi kohentaa itsenäistä selviytymistä ja jopa työkykyisyyttä. Tässä katsauksessa tarkastelen työmuistikäsitteen teoreettisia taustoja ja tämänhetkisiä tieteellisiä tutkimustuloksia työmuistikuntoutuksen vaikuttavuudesta aivovauriopotilailla ja erityisesti aivoverenkiertohäiriö- (AVH) ja aivovammapotilailla (AV).

TYÖMUISTIN TEOREETTINEN VIITE-KEHYS

Työmuistin kapasiteetti

Työmuistin kapasiteetilla tarkoitetaan lukumäärää yksiköille, kuten sanoille tai numeroille, joita enimmillään pystytään samanaisesta pitämään ja prosessoimaan mielessä. Tämän kapasiteetin ajatellaan perinteisesti olevan noin 5-9 yksikköä (Miller, 1956) ja kesto on arvioitu noin 20 sekunniksi (Peterson & Peterson, 1959). Näitä yksiköitä on helpompi pitää mielessä, jos ne sijoitellaan uudelleen (Cowan, 2010; Miller, 1956) esimerkiksi linkittämällä yksiköt valmiiksi mielessä olevaan merkitykseen (esim. numerosarja 1951 kuvaa äidin syntymävuotta) tai jakamalla ne merkityksen mukaan omiin luokkiinsa (mm. kauppalistan maito- ja viljatuotteet, pesuaineet ja vihannekset omiin luokkiinsa). Joidenkin teorioiden mukaan työmuistin kapasiteetti saattaakin olla paljon pienempi kuin tuo edellä mainittu keskimäärin seitsemän yksikköä, jos tämänkaltainen muististrategioiden käyttö estetään (Cowan, 2001).

Työmuistin käsite tai työmuistia edellyttävien tehtävien määrittelemisen ei ole kirjallisuuden perusteella aivan selkeää, sillä esiin on tuotu myös väitteitä (Mojzisch, Krumm, & Schultze, 2014), joiden mukaan erot työmuistikapasiteetissa saattavat kuvata vain yksilöllisiä eroja lyhytkestoisen muistin kapasiteetissa. Joidenkin tieteellisten havaintojen mukaan työmuistitehtäviksi määritellyissä tehtävissä on päätelty esiintyvän sekä lyhytkestoisen että pitkäkestoisen muistin mekanismeja (Baddeley, 2000; Unsworth & Engle, 2007). Toisaalta työmuistin on todettu olevan läsnä jopa tehtävissä, joissa ei ole oletettu tarvittavan mielessä olevan tiedon työstämistä (Unsworth & Engle, 2007), mutta tämän tyyppiset tehtävät saattavat olla ennemminkin lyhytkestoisen muistin tehtäviä, eivät niinkään työmuistitehtäviä.

Työmuistin kapasiteetin on sanottu olevan ikäänkuin kolmen keskeisen tiedonkäsittelytoiminnon eli muistin, tarkkaavuuden ja havainnoinnin risteämiskohdassa (Baddeley, 1992). Tämän kapasiteetin on kuvattu olevan noin 50 prosenttisesti perinnöllinen (Ando, Ono, & Wright, 2001; Blockland ym., 2011; Wright ym., 2001) kuten myös työmuistisuoriutumisen tason (Kremen ym., 2007). Perinnöllisyysaspekti saattaa näkyä sinänsä saman osaamisen hallitsevilla ihmisillä erilaisina suorituksina tehtävissä, jotka edellyttävät hyvää työmuistikapasiteettia ja työmuistin sujuvaa toimintaa. Esimerkiksi koulumaailmassa päässälaskujen suorittaminen koetilanteissa vaatii sujuvaa työmuistisuoriutumista usein aikarajoitteisissa ja -paineisissa tilanteissa. Matematiikassa pääpiirteissään asiat osaava oppilas, jonka työmuisti ei ole kovin tehokas, voi selviytyä näistä tehtävistä heikommin kuin oppilas, jonka työmuistiprosessointi onnistuu sujuvammin ja laajemmalla kapasiteetilla. Ihmisten työmuistikapasiteetti ja työmuistisuoriutuminen muovautuvat kuitenkin mitä ilmeisimmin sekä perinnöllisten että ympäristötekijöiden johdosta erilaisiksi ja vaikuttavat monin tavoin tiedonkäsittelysuoriutumiseen. Työmuistin kuntoutettavuutta aivovauriopotilailla tutkittaessa on myös hyvä pitää mielessä, että jo lähtötasot ennen aivovauriota ovat mitä ilmeisimmin työmuistin osalta olleet henkilöillä erilaisia.

Työmuistin yhteydet muihin kognitii-visiin toimintoihin

Työmuistin on todettu säilövän ja käsittelevän tietoja monimutkaisempia tehtäviä, kuten oppimista, päättelyä ja päätöksentekoa varten (Baddeley, 1986, 1992; Baddeley & Hitch, 1974) ja olevan merkityksellinen erityisesti uusien taitojen hankkimisessa (Pickering, 2006; Shute, 1991). Työmuistin yhteyttä oppimiseen selittää esimerkiksi se, että tiedot usein käsitellään ensin työmuistin varaisesti, minkä jälkeen ne voidaan tallentaa säilömuistiin (Cowan & Alloway,

2008). Esimerkkinä työmuistin oppimisyhteydestä kuvautuu alhaisen työmuistisuoriutumisen väitetty yhteys heikkoon akateemiseen edistymiseen (Alloway & Alloway, 2010; Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliot, 2009). Nicolich ja Singer (2007) ovat raportoineet, että mitä laajempi työmuistin kapasiteetti on tiettyjä ärsyksiä koskien, sitä nopeammin näihin ärsyksiin kytkentäiset materiaalit voidaan oppia. Edellä kuvattujen tutkimustietojen perusteella saattaa olla niin, että oppijat, kuten myös aivovauriopotilaat, joilla on heikompi työmuistikapasiteetti, joutuvat käyttämään oppimiseen enemmän aikaa ja kertaamista sekä tärkeiden toimintojen suorittamiseen erilaisia kompensoivia keinoja, mikä luonnollisesti kuluttaa enemmän voimavaroja. Tämä saattaa johtaa opiskelijoiden opintojen viivästymiseen tai keskeytymiseen ja potilailla taas jo arkielämän tason toimintojen hitaampaan suorittamiseen ja loppuun saattamisen vaikeuksiin.

Työmuistin kapasiteetin on tutkimuksissa osoitettu ennustavan akateemisen menestyksen ohella myös älyllistä suoriutumista (Kyllönen & Christal, 1990; Oberauer, Suß, Wilhelm, & Wittmann, 2008; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002) sekä olevan olennainen tunne-elämän säätelyssä (Schmeichel, Volokhov, & Demaree, 2008) ja arkielämän toiminnanohjauksessa (executive functioning) (Kane ym., 2007). Työmuistin roolia toiminnanohjauksessa kuvaa esimerkiksi Lundqvistin, Grundströmin, Samuelssonin ja Rönnerbergin (2010) luonnehdinta, jonka mukaan työmuisti aktivoi kokemukseen ja tietoihin perustuvia muistisisältöjä, integroi niitä käsillä oleviin tietoihin ja laittaa näiden pohjalta toiminnan liikkeelle; eli ohjaa käytettävissä olevien tietojen nojalla toimintaa eteenpäin.

Työmuistimalli ja toiminnanohjaus

Työmuistin erilaisia malleja ja mekanismeja on käsitelty laajemmin esimerkiksi Shah'n ja Miyake'n (1999) artikkelissa, mutta yh-

tenä pioneirimallina voidaan kuvata Baddeley'n ja Hitch'n (1974) sekä myöhemmin myös Baddeleyn (1986) laajasti esittelemä kolmijakoinen työmuistimalli. Tämä malli sisältää visuo-spatiaalisen varaston (visuo-spatial sketchpad), fonologisen kehän (phonological loop) ja keskusyksikön (central executive), jonka oletetaan olevan edelleen osiin jakautunut. Baddeleyn (2000) mukaan ilmeisesti otsalohkoalue on merkityksellinen tämän keskusyksikön toiminnassa. Kolmijakoisessa työmuistimallissa fonologisen kehän on ajateltu pitävän mielessä kielellistä ja kuulonvaraista tietoa sekä käyttävän hyväkseen työmuistin väliaikaista tallennusta ja sujuvan työstämisen systeemiä. Varaston oletetaan pitävän mielessä visuo-spatiaalista tietoa ja jakautuvan erillisiin näönvaraisen, ulotteisuutta käsittävän ja mahdollisesti kineettisen käsittely-yksikön osatekijöihin. Tämän visuo-spatiaalisen varaston on mallin mukaan kuvattu olevan edustettuna pääasiassa oikealla aivopuoliskolla (Baddeley & Hitch, 1974).

Baddeley (2000) on työstänyt kolmijakoista työmuistimallia edelleen uudistaen sitä neljännellä alasyteemillä, episodisella taltilla (episodic buffer), jonka oletetaan olevan kapasiteetiltaan rajallinen väliaikaisen tallennuksen systeemi, joka voi yhdistellä erilaisista lähteistä peräisin olevia tietoja. Baddeleyn (2000) mukaan työmuistimallin keskusyksikkö kontrolloi tätä episodista taltiota ja samalla voi palauttaa tietoa säilöstä tietoisesti tai viitata näihin tietoihin sekä tarpeen mukaan muokata ja muunnella niitä.

Baddeleyn (1986) mallin mukaisen työmuistin keskusyksikön on kuvattu (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000) liittyvän keskeisesti toiminnanohjaukseen eli kognitiivisten prosessien kontrollointiin ja säätelyyn. Työmuistia määriteltäessä ja sen toimintaa kuvattaessa viitataan usein tähän työmuistille käsitteellisesti ja toiminnallisesti läheiseen toimintokokonaisuuteen eli toiminnanohjaukseen (Kane ym., 2007; Lundqvist ym.,

2010). Toiminnanohjaus on laaja termi, jolla viitataan yleensä kirjoon tiettyjä kognitiivisia taitoja, kuten suunnittelu ja suunnitelmien eteenpäin vieminen, päämääräsuuntautuneen toiminnan ylläpitäminen, tarkoituksenmukainen toiminnan jaksottaminen ja epäasianmukaisten reaktioiden estäminen (Stuss, 2011). Toiminnanohjauskäsitteen teoreettinen tausta juontaa juurensa Lezakin (1982) kuvailemasta ja Lurian (1966) lähestymistapaa seuraavasta termistä 'executive functions', joka oli alunperin asetettu tarkoittamaan tavoitteen asettamista, toiminnan aloittamista, inhibitiota eli estämistä, suunnittelua, toiminnan vaihtamista ja tarkistamista.

Kirjallisuudessa kuvataan usein kolmea toiminnanohjaustoimintoa, jotka ovat hyvin tarkasti operationalisoitavissa (Baddeley, 1996; Miyake ym., 2000; Smith & Jonides, 1999). Nämä toiminnot ovat päivittäminen (updating), toimintatavan vaihtaminen (set-shifting) ja toiminnan estäminen (inhibition) eli inhibitiio. Miyake kollegoineen (2000) määritteli päivittämisen toiminnoksi, joka päivittää tai ohjaa (monitoroi) mielessä olevia työmuistiedustuksia. Päivittämisen ajatellaan tämän tapaisen määrittelyn johdosta kuuluvan edellä kuvattuihin toiminnanohjaustoimintoihin (Miyake ym., 2000; Smith & Jonides, 1999), joita myös arvioidaan usein älyllisen suoriutumisen mittaamisen yhteydessä (Friedman ym., 2006). Tämä toiminnanohjauksen osatoiminto on erityisesti edustettuna työmuistitehtävissä, joissa vaaditaan tietoa-aineksen käsittelyä (Smith & Jonides, 1999). Päivittämistoiminto pitää Morrisin ja Jonesin (1990) mukaan sisällään vastaanotettavan tiedon ohjaamista ja koodaamista siten, että se on käsillä olevan tehtävän kannalta olennaista. Tämä funktio toteuttaa myös työmuistin varaisten yksiköiden uudistamisen korvaamalla vanhat tehtävän kannalta tarkoituksenmukaisuutensa menettäneet yksiköt uudemmilla ja soveltuvammilla tiedoilla (Morris & Jones, 1990).

Toimintatavan vaihtamisen Miyake työryhmineen (2000) määritteli olevan vastuussa tarkkaavuuden siirtämisestä tai tehtäväkaavaa koskevan mielen sisäisen mallinmuutoksen vaihtamisesta. Tämä vaihtamistoiminto on heidän mukaansa lähellä toiminnanohjausta ja erittäin merkityksellinen pyrittäessä ymmärtämään aivovauriopotilaiden kognitiivisen kontrollin haasteita. Miyaken työryhmä (2000) on todennut, että toimintatavan vaihtamiskyvyssä ei ole kyse vain siitä, saadaanko tietyn tehtäväosion suorittamisen kannalta valittua ennalta määriteltyjen joukosta soveltuva suoritustapa vai ei, vaan kyse saattaa olla tämän ohella tai jopa sen sijaan siitä, että tehtäväsarjaa koskien kyetään suorittamaan tarvittaessa jopa kokonaan uusi operaatio.

Inhibition Miyake kollegoineen (2000) esitteli kyvyksi, jonka avulla hallitsevia, automaattisia tai vahvoja reaktioita estetään tarkoituksellisesti. Tämä estämisfunktio on toisaalla määritelty myös tarkkaavuuden kontrolloinnin yhdeksi komponentiksi (esim. Jurado & Rosselli, 2007).

Työmuisti aivo-orgaanisella tasolla

Työmuistitutkimusten yhteydessä ollaan oltu hyvin kiinnostuneita siitä, mitkä aivojen rakenteelliset alueet ja toiminnalliset mekanismit ovat yhteydessä työmuistin toimintaan. Lyhyt katsaus näihin tutkimuksiin toi esiin, että ainakin dopaamiini -välittäjäaineeseen liitännäiset geenit ovat ilmeisesti erityisen vahvasti yhteydessä työmuistisuoriutumiseen (kts. Bäckman & Nyberg, 2013).

Lisäksi toiminnalliset aivokuvantamismenetelmät ovat osoittaneet, että keskeisiä työmuistitoimintoihin kytköksissä olevia aivoalueita ovat otsalohkot ja niiden yhteydet subkortikaalisille eli aivokuoren alapuolisille ja posteriorisille eli taaemmille aivoalueille (D'Esposito, Postle, & Rypma, 2000; Duncan & Owen, 2000; Sylvester ym., 2003; Ylinen, Jäkälä, & Hänninen, 2006). Työmuistitehtävien suorittamisen yhtey-

dessä (Klingberg & Roland, 1998; Westerberg & Klingberg, 2007) ja myös useamman viikon ajan kestäneen tämänkaltaisen harjoittelun jälkeen on raportoitu esiintyvän muutoksia aivokuoren alueen aktiviteetissa esimerkiksi lisääntyneenä aktivaationa mediaalisella otsalohkoalueella, parietaalisilla aivokuorialueilla (Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004) sekä prefrontaalisissa ja parietaalisissa dopamiinireseptoreissa (McNab ym., 2009).

Buschkuehl, Jaeggi ja Jonides (2012) ovat kuitenkin todenneet, että tutkimustulosten valossa ei ole vielä kyetty yksilöimään tiettyyn viitekehukseen sopivaa neuraalista mekanismeita, mikä olisi työmuistiharjoittelun ja tähän kytkeytyvien harjoitteluvaikutusten kognitiivista suoriutumista vahvistavien prosessien taustalla. Työmuistiharjoittelun yhteydessä on todettu aktivaation lisääntymistä tietyillä aivoalueilla, mutta myös aktivaation vähentymistä sekä näiden yhdistelmiä. Monet tekijät aina työmuistitehtävää suorittavan henkilön iästä (Dahlin, Stigsdotter Neely, Larsson, Bäckman, & Nyberg, 2008) yksilölliseen työmuistikapasiteettiin ja erilaisiin aivojen toimintaa heikentäviin tiloihin vaikuttavat mitä todennäköisimmin sekä työmuistisuoriutumiseen itsessään että myös aivojen neuraaliseen aktiviteettiin ja hermoverkkojen muovautuvuuteen.

TYÖMUISTISUORIUTUMINEN JA -KUNTOUTUS AIVOVAURIOPOTILAILLA

Työmuistihäiriöt aivovauriopotilailla

Työmuistivaikeuksia todetaan tutkimusten mukaan usein erilaisten ei-kehityksellisten aivovaurioiden (acquired brain injuries: Cicerone ym., 2002; Cicerone ym., 2011; Robertson & Murre, 1999) kuten AVH:n (Vallat ym., 2005) ja AV:n (Vallat-Azouvi, Weber, Legrand, & Azouvi, 2007) jälkitiloissa. Työmuistiongelmien kanssa painivat potilaat raportoivat usein keskittymisvaikeuksia,

häiriöalttiutta ja unohtelutaipumusta sekä vaikeuksia pitkien keskustelujen seuraamisessa, monimutkaisten kirjoitettujen tekstien ymmärtämisessä ja useiden asioiden yhtäaikaaisessa toteuttamisessa (Hinkeldey & Corrigan, 1990; Mateer, Sohlberg, & Cricnean, 1987). Työmuistihäasteistä kärsivillä potilailla on todettu olevan taipumusta myös tarkkaavuuden jakamisen ja ylläpitämisen hankaluuksiin, ongelmiin toimintastrategian joustavissa siirtymissä sekä vaikeuksiin valintatilanteissa, joissa esiintyy useita vaihtoehtoja (Lundqvist ym., 2010).

Työmuistivaikeudet voivat haitata potilailla merkittävästi arkiselviytymisen ohella myös työssä selviytymistä ja mahdollista työhön paluuta, koska ne vaikuttavat juuri tarkkaavuustoimintoihin ja suunnittelukykyyn, kuten Robertson ja Murre (1999) ovat raportissaan todenneet sekä ohjeiden muistamiseen ja suoritusten loppuun saattamiseen, kuten taas Björkdahl, Åkerlund, Svensson ja Esbjörnsson (2013) ovat havainneet. Kliinisen käytännön perusteella aivovauriopotilaiden tarkkaavuusongelmat voivat näkyä keskittymisen häiriöalttiutena ja vaikeutena jatkaa suoritusta pitkäjänteisesti. Suunnitelmallisuuden vaikeudet voivat ilmetä siten, että potilas kyllä tietää miten hänen tulisi edetä monivaiheisen tehtävän kanssa, mutta ei kykene aloittamaan ja etenemään loogisessa järjestyksessä. Ohjeiden muistamisen ongelmat saattavat tulla esiin siten, että potilas joutuu tekemään useita tarkistuksia ja varmistuksia sekä ylimääräisiä työn ja toiminnan vaiheita päästäkseen suoritukseensa eteenpäin. Lisäksi työmuistihäasteistä kärsivät potilaat saattavat kuvata, että ajatukset karkailevat helposti jopa kesken puhumisen, kotiarjessa tehtävien välillä tulee tarkoituksettomasti siirryttyä ja tekemisiä jää puolitiehen. Lisäksi näiden potilaiden kyky arvioida, tarkistaa ja korjata suoriutumistaan saattaa olla heikentynyt, koska tarvittavat tiedot eivät pysy mielessä, jotta asioiden yhteyksien prosessoiminen onnistuisi toivotulla tavalla.

Työmuistiongelmät voivat joko suoraan tai epäsuorasti vaikuttaa myös potilaiden sosiaalisiin suhteisiin. He saattavat eristäytyä keskusteluista ja vetäytyä tapaamisista, koska keskusteluja voi olla vaikeaa seurata ja niihin osallistuminen saattaa olla työlästä sekä hidastunutta. Työmuistin mutkatonta toimintaa on myös tutkimustietoon pohjautuen todettu tarvittavan kielellisesti sujuvassa suoriutumisessa (Bittner & Crowe, 2007; Vallat ym., 2005). Jotkut verrattain hyvinkin toipuneet potilaat ovat saattaneet huomata aivotapahtuman jälkeen esimerkiksi työelämässä, että palavereihin osallistuminen ei enää onnistu aiempaan tapaan tai vierailulla kielillä toimiminen on vaikeampaa kuin ennen sairastumista, vaikka varsinaisia afasiaoireita ei olisikaan todettu. Tämänkaltaiset haasteet voivat olla kytköksissä työmuistivaikeuksiin.

Työmuistirajoitteet saattavat edellä kuvattujen tiedonkäsittelyn haasteiden kautta aiheuttaa potilaille ylimääräistä turhautumista ja kuormittumista, mikä voi näkyä kaventuneina voimavaroina elämän eri osa-alueilla ja johtaa edelleen psyykkisen hyvinvoinnin alentumiseen. Tätä ilmiötä tukee esimerkiksi Johanssonin ja Tornmalmin (2012) kuvaus kliinisen kokemuksensa pohjalta. Heidän mukaansa työmuistin toimintaan liittyvät vaikeudet heikentävät monien aivovauriosta kärsivien ihmisten elämänlaatua, sillä itsenäisen suoriutumisen, sosiaalisen osallistumisen sekä jokapäiväisen elämän koherenssin eli johdonmukaisuuden tunteen menettäminen nostattavat ahdistuneisuutta ja riittämättömyyden tunteita.

Työmuistisuoriutumisen vahvistamistavoite on melko tuoreen meta-analyysin pohjalta arvioitu aivovauriopotilaille niin merkitykselliseksi, että muiden tiedonkäsittelyn osa-alueiden kohentuminen työmuistiharjoittelun seurauksena on katsottu olevan toissijaista (Weicker ym., 2015). Tietokoneavusteisten työmuistikuntoutusmenetelmien avulla on aiemmin voitu tutkimusten mu-

kaan tehokkaasti vahvistaa esimerkiksi päivittäistoimintoja koskevien kuntoutustavoitteiden saavuttamista aivovauriopotilailla (Björkdahl ym., 2013), mutta myös selviä parannuksia itse työmuistisuoriutumiseen ja muihin tiedonkäsittelytoimintoihin on näillä potilasryhmillä saavutettu työmuistiharjoittelun jälkeen (Weicker ym., 2015).

Tiedonkäsittelytoimintojen muutokset ovat huomattavan yleisiä aivovaurioiden jälkeen. Kuvaan tässä työmuistikuntoutuksen kehittämisen tarvetta kahden aivovauriopotilasryhmän, aivoverenkiertohäiriö- ja aivovammapotilaiden, kannalta sekä yhteiskunnallisesta ja yksilöllisestä näkökulmasta käsin. AVH:n jälkeen jopa erittäin hyvin toipuneiksi kuvatuilla aivoinfarktipotilailla on raportoitu olevan 71 %:n esiintyvyydellä kognitiivisia rajoitteita (Jokinen ym., 2015). Suomessa on paljon AVH-potilaita ja he tarvitsevat Jokisen ja kollegoiden (2015) tutkimuksen perusteella selvästi kuntoutusta myös kognitiivisiin rajoitteisiinsa. Suomen Aivoliitto ry:n (2016) internet-sivuston mukaan Suomessa todetaan vuosittain 14600 aivoinfarktia, 4000 aivoverenvuotoa ja lisäksi 2500 potilasta joutuu kohtaamaan aivoinfarktin uusimisen.

AVH:n seuraukset ovat yhteiskunnallisesti vaativia, sillä Suomen tasolla tarvitaan Aivoliiton (2016) mukaan sekä akuuttia että ylläpitävää kuntoutusta vähintään 30 000:lle AVH-potilaalle vuosittain. Tämä suomalaisten aivosairauksista kärsivien tilanteissa tukeva liitto on laskenut, että vuoteen 2020 mennessä Suomessa tarvitaan vähintään 100 uutta hoitoyksikköä vain aivoinfarktipotilaille kohdennettuna, mikäli yhteiskunta ei pysty vahvistamaan näiden sairauksien ennalta ehkäisyä, akuuttihoitoa ja ensivaiheen kuntoutusta. Lisäksi tämä yhdistystensä kautta potilaille vertaistukea ja tietoa tarjoava liitto on arvioinut, että joka neljäs AVH-potilaista on ikänsä puolesta työelämävaiheessa ja joka neljäs heistä jää eläkkeelle sairauteensa liittyvien rajoitusten vuoksi. Tämä tarkoittaa Suomen mitta-kaavassa lähes 900 ihmistä joka vuosi. On

laskettu myös, että puolet Suomen AVH-potilaista joutuu elämään pysyvien sairauksista johtuvien rajoitteiden kanssa, joka neljäs heistä toipuu lähes ennalleen, vähän yli puolet saavuttaa tilanteen, jossa omatoiminen selviytyminen on mahdollista ja seitsemäsosa tarvitsee jatkuvaluonteisemmin hoitopalveluita (Aivoliitto, 2016). Näistä potilaista valtaosa, jopa omatoimisesti selviytyvät, voisivat hyötyä työmuistikuntoutuksesta lievittääkseen sairauden seurauksena mahdollisesti aiheutuneita työmuistirajoitteita ja helpottaakseen näin omaa arkiselviytymistään.

Myös AV-potilaat eli aivoja vaurioittaneen ulkopuolisen iskun tai voimakkaan liikahduksen pohjalta vammautuneet voivat merkittävästi hyötyä työmuistikuntoutuksesta, koska neuropsykologisen kuntoutuksen tarve on arvioitu tähän vammatyypin lukeutuvien aivovaurioiden jälkeen keskeisimmäksi lääkinnällisen kuntoutuksen muodoksi (Aivovaurio.fi -internetsivusto, 2016). Tiedonkäsittelytoiminnan heikentyminen on lisäksi todettu merkittävimäksi syyksi toimintakyvyn rajoitteiden taustalla AV-potilailla, jotka neurologisesti katsottuna ovat toipuneet hyvin tai melko hyvin (Prigatano, 1999). AV-potilailla esiintyy tyypillisesti heikentymismuutoksia monissa kognitiivisissa toiminnoissa, kuten tarkkaavaisuudessa (Chan, 2002; Mateer, Sohlberg, & Youngman, 1990; Park, Moscovitch, & Robertson, 1999), toiminnanohjauksessa (Brooks, Fos, Greve, & Hammond, 1999; Cicerone ym., 2000; Gansler, Covall, McGrath, & Oscar-Berman, 1996), muistissa (Curtiss, Vanderploeg, Spencer, & Salazar, 2001; Davidson, Troyer, & Moscovitch, 2006; Mangels, Craik, Levine, Schwartz, & Stuss, 2002) ja muistia eritellymmin katsottuna myös työmuistissa (Baddeley, 1992; Kane ym., 2007).

Näissä toiminnoissa ilmenevien vaikeuksien on todettu usein olevan AV:n yhteydessä kytköksissä arkielämän hajanaisuuteen ja siitä seuraaviin negatiivisiin psyko-

sosiaalisiin jälkioireisiin (Crawford, Wenden, & Wade, 1996). Samaiset pulmat yhdessä arkielämässä kohdattavien haasteiden kanssa voivat AV:n jälkeen rajoittaa ja vaikeuttaa ihmisen toimintaa ja osallistumista elämän tärkeillä osa-alueilla, kuten työelämässä, opinnoissa, sosiaalisissa suhteissa ja vapaa-ajan toiminnoissa. Yhteiskunnan kannalta AV:n jälkiseuraukset voivat myös olla merkittäviä, sillä ne voivat aiheuttaa pysyviä rajoitteita työikäisille ihmisille, lisätä haasteita iäkkäämpien ihmisten hoidon ja palveluiden järjestämiseen sekä aiheuttaa merkittäviä kuntoutuksen ja muiden tukipalveluiden tarpeita vielä kasvu- ja kehitysiässä oleville lapsille. Suomessa todetaan vuosittain arviolta 15 000 - 20 000 uutta AV:aa ja Suomessa on laskelmien mukaan noin 100 000 henkilöä, joilla on pysyvä ja oireileva AV (Aivovamman Käypähoitosuositus, julkaistu 2008).

Tarkoituksenmukaisesti mitoitettu ja rakenteistettu työmuistikuntoutus saattaisi olla hyödyllinen osa aivovauriopotilaiden, kuten AVH- että AV-potilaiden, kuntoutuksellista kokonaisuutta pyrittäessä lievittämään työmuistiin kytkettyjen arjen haasteiden yksilöllistä ja yhteiskunnallista kuormitusta yhdessä muun kuntoutuksen, tuen ja palveluiden kanssa. Aivovauriopotilailla toteutettuja työmuistitutkimuksia tarvitaan lisää, koska tämänkaltaisissa tutkimuksissa on todettu usein heikkouksia, kuten työmuistiharjoittelun hyötyjen selvittäminen ilman potilasverrokkeja tai ylipäättään vertailuhenkilöitä, jotka eivät suorita työmuistiin liittyvää harjoittelua vastaavan tutkimusjakson aikana kuin koeryhmän potilaat (Chung, Pollock, Campbell, Durward, & Hagen, 2013; Rosti-Otajärvi & Hämäläinen, 2014).

Vertailuryhmän puuttuminen voi merkitä sitä, että potilaiden työmuistiharjoituksia seuranneet mahdolliset muutokset harjoitelleen ryhmän suorituksissa johtuvatkin jostain satunnaisesta tekijästä tai spontaanista toipumisesta. Työmuistissa on ainakin jossain määrin todettu tapahtuvan myös

spontaania korjautumista mm. vuoden seurannassa aivoinfarktin jälkeen (Sola, 2014). Joissakin tutkimuksissa AVH- tai AV-potilaita on tutkittu erikseen, mutta useissa tutkimuksissa nämä ja joidenkin muiden diagnoosiryhmien (esim. aivokasvaimet, aivoleikkausten jälkitilat) potilaat on luettu kooluvaksi yhdistettyyn aivovaurioryhmään (acquired brain injuries).

Aivovauriopotilaiden työmuistin kuntoutus

Aivovauriopotilaiden kuntoutuksella tarkoitetaan yleensä muutakin kuin pelkästään pyrkimystä menetettyjen osatoimintojen, esimerkiksi tiedonkäsittelytoimintojen tai motoriikan kohentamiseen. Kuntoutus on tavallisesti mikä tahansa interventio, jonka avulla potilaita ja heidän perheitään voidaan auttaa saavuttamaan jokapäiväistä elämäänsä koskevia tavoitteita (Wilson, 2008). Manlyn ja Murphyn (2012) mukaan kuntoutusta voidaan toteuttaa monin eri tavoin, kuten tiedonkäsittelytaitojen harjoittamisen, kompensoivien keinojen opettamisen tai emotionaalisen sopeutumisprosessin tukemisen kautta. He toteavat kuntoutuksen käsitteen alle voitavan liittää myös kodin tai työympäristön muuttaminen vastaamaan paremmin kuntoutujan tavoitteiden saavuttamista rajoitteistaan huolimatta. Näitä kaikkia voidaan sisällyttää neuropsykologiseen kuntoutukseen ja mikäli mahdollista, tukitoimia saatetaan toteuttaa yhteistyössä muiden kuntoutusmuotojen, kuten puhe-, toiminta- ja fysioterapian kanssa.

Psykoedukaatio neuropsykologisessa kuntoutuksessa käsittää potilaiden tiedottamisen heitä koskevan vamman ja sairauden luonteesta ja siihen kytkeytyvistä mahdollisista oireistoista, hoidosta ja tuesta. Usein tässä yhteydessä opetetaan myös kompensointikeinoja, joiden avulla aivovaurion seurausten kanssa ja niistä huolimatta voidaan selviytyä. Sosiaalinen tuki ja siihen liittyvä vertaisten eli toisten sairastuneiden

tuki voi antaa lisäksi potilaille mahdollisuuden jakaa muutosten herättämiä tuntemuksia ja tunteita tukea-antavassa ilmapiirissä. Tiedonkäsittelytaitojen harjoittamisella viitataan toistoharjoitteluun sellaisissa tehtävissä, jotka edellyttävät todetusti heikentyntä kognitiivista suoriutumista, mitä tämän harjoittelun kautta pyritään parantamaan. Tiedonkäsittelytaidot ovat kognitiivisen toimintakyvyn edellytyksiä, jotka liittyvät mm. havaintojen tekemiseen, ajattelemiseen, kieleen, muistiin ja päättelyyn. Tiedonkäsittelytaitojen harjoittaminen voi olla sinällään osa neuropsykologista kuntoutusta, mutta harjoitteluvaikutusta voidaan saada aikaan myös toistettaessa testejä, joiden avulla pyritään seuraamaan tiettyjen kognitiivisten taitojen kohentumista.

Työmuistin kuntouttaminen ei ole pitkään noudattanut nykyisen kaltaista toistoharjoittamista. Vielä pitkälle 1990-lukua oletettiin, että työmuistikapasiteetti on suuruudeltaan kiinteä ja, ettei sitä voida edes sen toiminnan heikentymisen yhteydessä harjoittaa tai korjata (Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, & Wittmann, 2000). Potilaita hoidettiin aiemmin auttamalla heitä hyödyntämään kompensointikeinoja ja muita muistin tukikeinoja (esim. Tam & Man, 2004) sekä sosiaalista tukea (esim. Sohlberg, McLaughlin, Pavese, Heidrich, & Posner, 2000) työmuistivaikeuksien kanssa selviytymiseen. Nykyisin tiedetään, ettei työmuistia voida harjoittaa käyttämällä näitä perinteisiä muistin harjoitusmenetelmiä (Craik ym., 2007). Viime vuosina työmuistitutkimuksissa on oltu erityisesti kiinnostuneita tiettyyn kognitiiviseen prosessiin kytkentäisestä muovautuvuudesta (Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009; Lövdén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010), mikä voi näkyä esimerkiksi kognitiivisten hyötyjen saavuttamisena tietyn työmuistin osa-alueen harjoittamisen jälkeen.

Mikäli työmuistikuntoutuksen jälkeen siihen selkeästi kytkettävästi voidaan saavuttaa positiivisia kognitiivisia tai emotionaalisia

vaikutuksia muussa kuin harjoittelussa suorituksessa, voidaan tätä ilmiötä kutsua siirtovaikutukseksi. Tämän käsitteen ovat alunperin määritelleet Thorndike ja Woodworth (1901). Kuntoutuksen vaikuttavuuden kannalta siirtovaikutus on välttämätöntä, koska ei ole mahdollista harjoituttaa potilasta koskien jokaista hänen kotielämässä kokemaansa vaikeutta (Johansson & Tornmalm, 2012). Työmuistin kohdalla siirtovaikutusta ilmenee, jos työmuistiharjoittelun jälkeen voidaan havaita kohentumista sellaisissa tehtävissä, joita ei ole harjoitettu, mutta jotka mittaavat myös työmuistia tai muuta kognitiivista taitoa. Lisäksi työmuistiharjoittelun jälkeen esimerkiksi jollain mitatulla psyykkisen voinnin osa-alueella havaittu kohentuminen voidaan myös lukea siirtovaikutukseksi.

Työmuistiharjoittelun siirtovaikutus työmuistiin luokiteltaisiin Perkinsin ja Salomonin (1992) käsittein lähisiirtovaikutukseksi (near-transfer) tai refleksiiviseksi (low-road) siirtovaikutukseksi. Tässä tutkimuksessa lähisiirtovaikutuksella haettiin työmuistin päivittämisharjoittelun hyötyjen siirtymistä suoriutumiseen rakenteellisesti hieinan toisenlaisissa tehtävissä, jotka myös mittaavat työmuistin päivittämistä sekä suoriutumiseen kielellistä työmuistikapasiteettia mittaavassa tehtävässä. Siirtovaikutus muuhun kognitiiviseen toimintaan tai psyykkiseen vointiin on määritelty alkuperäisen teorian (Perkins & Salomon, 1992) mukaan kaukosiirtovaikutukseksi (far-transfer, high-road). Tätä siirtovaikutusta tutkittiin tässä tutkimuksessa arvioimalla työmuistin päivittämisharjoittelun hyötyjen mahdollista siirtymistä suoriutumiseen inhibitiota ja toimintakaavan vaihtamista edellyttävissä tehtävissä, sillä näissä tehtävissä mitataan työmuistille läheisiä toiminnanohjausfunktioita. Kaukosiirtovaikutusta tutkittiin myös selvittämällä kohentaako työmuistin päivitysharjoittelu kielellistä assosiativista oppimista ja suoriutumista tehtävässä, joka mittaa uuden oppimiskykyä yhdessä visuomotoriikan kanssa.

Siirtovaikutuksen mahdollisuuden voidaan yhden näkökulman mukaan katsoa olevan riippuvainen tehtävän ja kontekstin samankaltaisuudesta, mutta myös harjoittelijan oppimiskyvystä (Ferguson & Rice, 2001; Geusgens, Winkens, van Heugten, Jolles, & van den Heuvel, 2007); eli näin ollen useampi eri tekijä saattaa vaikuttaa harjoitteluvaikutusten siirtymiseen. Toisenlaisen kirjallisuudessa esitellyn lähestymistavan mukaan taas väitetään, että pelkän harjoituksen ollessa onnistunut ja riippumaton kontekstista ja henkilön oppimiskyvystä, voidaan saavuttaa parannuksia tuloksissa (kts. Björkdahl ym., 2013), mikä painottaa hyvin paljon itse harjoitustapahtumaa. Jonides (2004) on todennut, että siirtovaikutusta voi ilmetä, kun harjoittelutehtävä ja siirtovaikutustehtävä koskevat samankaltaisia tiedonkäsittelyprosesseja ja aivoalueita. Buschkuehl kollegoineen (2012) on edelleen painottanut, että näiden toisiinsa limittyvien prosessien ja niihin yhteydessä olevien aivoalueiden täytyy olla sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa harjoituksen avulla ja lisäksi näiden alueiden aktivaation täytyy vaikuttaa huomattavasti suoriutumiseen sekä harjoittelutehtävässä että harjoitteluvaikutusta mittaavassa ns. kriteeritehtävässä, jotta seurauksena voi olla siirtovaikutusta.

Työmuistikuntoutuksen vaikutavuus yleisesti tutkimusten valossa

Yhteistä työmuistin kuntouttamiseen pyrkiville tutkimuksille on interventiodien toteuttaminen usein siten, että tietokoneella tehtäviä työmuistiharjoituksia toistetaan useamman viikon ajan eri harjoituskerroilla, vaikka muutoin eri tutkimukset ovatkin varsin heterogeenisiä (Weicker ym., 2015). Työmuistikuntoutuksen toisistaan poikkeavien ja päinvastaistenkin tulosten valossa on pohdittu paljon voidaanko työmuistiharjoittelun kautta ylipäätään saavuttaa siirtovaikutuksia ja millaisilla tutkimusasetelmilla löydetty siirtovaikutukset ovat

päteviä (kts. Morrison & Chein, 2011). Joissakin tutkimuksissa työmuistiharjoittelun on osoitettu johtavan työmuistisuoriutumisen vahvistumiseen siten, että vaikutus on voitu tulkita lähisiirtovaikutukseksi (kts. von Bastian & Oberauer, 2014; Klingberg, 2010; Morrison & Chein, 2011). Osassa tämänkaltaisista tutkimuksista siirtovaikutusta on todettu vain, jos harjoitustehtävät ja tehtävät, joihin hyötyvaikutus on siirtynyt, ovat läheisesti kytköksissä toisiinsa, esimerkiksi työmuistitehtävien erilaisia muunnelmia (esim. Bergman Nutley ym., 2011; Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009; Thorell, Lindqvist, Bergman Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009).

On olemassa myös tutkimuksia, joissa muuta kognitiivista suoriutumista kuin työmuistia on voitu vahvistaa erilaisten työmuistia kuntouttavien harjoitusten kautta, mikä tukisi väitettä kaukosiirtovaikutuksen mahdollisuudesta (von Bastian & Oberauer, 2013; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002; Klingberg ym., 2005; Olesen ym., 2004). Osassa tutkimuslöydöksistä taas ei ole nähtävissä kaukosiirtovaikutuksia esimerkiksi päättelytoimintoihin (von Bastian, Langer, Jäncke, & Oberauer, 2013; Brehmer, Westerberg, & Bäckman, 2012; Chein & Morrison, 2010; Dahlin, Nyberg ym., 2008; Dahlin, Stigsdotter Neely ym., 2008; Owen ym., 2010; Redick ym., 2013; Richmond, Morrison, Chein, & Olson, 2011). Myös joustavan älykkyyden vahvistaminen työmuistiharjoittelun kautta on herättänyt eriäviä näkökulmia aina hyvinkin positiivisista katsantokannoista (Klingberg, 2010) epäilyksiin tämänkaltaisen hyödyn saavuttamiseen liittyen (Shipstead, Redick, & Engle, 2012).

Ensimmäinen työmuistitutkimuksista toteutettu meta-analyysi (Melby-Lervåg & Hulme, 2013) kiteytti, että työmuistiharjoittelun vaikutukset eivät ulotu muihin kognitiivisiin toimintoihin ja siten eivät siis johda kaukosiirtovaikutuksiin. Melby-Lervåg ja

Hulme (2013) arvioivat meta-analyysissään 23 työmuistiharjoittelua toteuttanutta tutkimusta. Heidän mukaansa näissä tutkimuksissa voitiin saavuttaa vain lyhytaikaisia kohennuksia työmuistisuoriutumiseen, mutta millään interventtiolla ei saatu aikaan siirtovaikutuksia suorituksiin, jotka mittasivat muita kognitiivisen toimintakyvyn edellytyksiä.

Weicker työryhmineen (2015) on tehnyt lähiaikoina uuden laajan meta-analyysin sekä terveillä ihmisillä että aivovauriopotilailla toteutetuista työmuistitutkimuksista ja tämän kartoituksen valossa näyttäisi siltä, että työmuistikuntoutuksella voidaan saada aikaan jopa seitsemän kuukauden seuranta-ajalla näkyen pysyvämpiä muutoksia työmuistin alle lukeutuviin tehtäväsuorituksiin (esim. Vogt ym., 2009). Lupaaviksi kaukosiirtovaikutuksiksi voitaneen tämän meta-analyysin pohjalta lukea vaikutukset älykkyyteen, päättelykykyyn, kognitiiviseen kontrolliin ja laajemminkin toiminnanohjaukseen, mutta myönteistä siirtovaikutusta on havaittu myös arkielämän tasolle asti pohjautuen subjektiivisiin arviointeihin (Johansson & Tornmalm, 2012).

On mahdollista, että jotkin yksilölliset tekijät, kuten ikä, tai potilailla erilaiset oirekuvat vaikuttavat siihen miksi jotkut toiset hyötävät työmuistikuntoutuksesta ja toiset taas eivät. Sekä työmuistin päivittämisfunktio että toiminnanohjauksen inhibitio- ja toimintatavan vaihtamisfunktiokin näyttäisivät tutkimusten mukaan heikentyvän iän myötä asteittain (Braver & Barch, 2002; Clarys, Bugaiska, Tapia, & Baudouin, 2009; Fisk & Sharp, 2004; Podell ym., 2012). Tutkittavien iän onkin havaittu joissakin tutkimuksissa olevan yhteydessä työmuistiharjoittelusta hyötymiseen siten, että esimerkiksi nuoremmat henkilöt ovat hyötäneet vanhempia enemmän (Dahlin, Nyberg ym., 2008; Dahlin, Stigsdotter Neely ym., 2008; Shing, Schmiedek, Lövde'n, & Lindenberger, 2012). Huolimatta näistä löydöksistä vanhemmatkin henkilöt voivat silti hyötystä työmuistiharjoittelusta, kuten Karbach ja

Verhaeghen (2014) ovat todenneet. Kyseisten tutkijoiden meta-analysissä iällä ei havaittu olevan merkitystä työmuistisuoriutumisen kannalta merkityksellisessä kognitiivisessa muovautuvuudessa ja työmuistiharjoittelu todettiin myös myöhemmällä iällä tehokkaaksi johtaen sekä lähi- että kaukosiirtovaikutuksiin.

Erilaisista sairaus- ja aivovauriopotilasryhmistä työmuistiharjoittelun vaikutuksia on pyritty selvittämään ainakin AV:n kohdanneilla (Cicerone, 2002; Serino, Ciaramelli, Santantonio, & Ládavas, 2007), erilaisista aivovauriopotilaista koostuvilla ryhmillä (Hellgren, Samuelsson, Lundqvist, & Börsbo, 2015; Johansson & Tornmalm, 2012; Lundqvist ym., 2010; Åkerlund, Esbjörnsson, Sunnerhagen, & Björkdahl, 2013), AVH:n sairastaneilla (Westerberg & Klingberg, 2007, Westerberg, Jacobaeus ym., 2007), skitsofreniaa (Hubacher ym., 2013) ja MS-tautia sairastavilla (Vogt ym., 2009) sekä henkilöillä, joilla on diagnosoitu ADHD (Chacko ym., 2014; Holmes ym., 2009, 2010; Klingberg ym., 2005).

Aivovauriopotilailla toteutetuissa tutkimuksissa on todettu runsaasti erilaisia työmuistikuntoutuksen jälkeen todettuja muutoksia, kuten suoriutumisen kohentumista työmuistin keskusyksikköön kytkentäisissä toiminnoissa (Serino ym., 2007), arjen kognitiivisten vaikeuksien lieventymistä perustuen haastattelu- tai itsearviointeihin (Johansson & Tornmalm, 2012), terveydentilan kohentumista itsearviointeihin perustuen (Hellgren ym., 2015) sekä suoriutumisen kohentumista päättelytehtävässä (Westerberg & Klingberg, 2007). Näissä mainituissa aivovauriopotilaiden tutkimuksissa ei kuitenkaan ole ollut mukana verrokiryhmiä, joten tulokset eivät välttämättä anna täysin realistista kuvaa hyötyvaikutuksista.

Vertailuryhmiä käytettäessä aivovauriopotilaiden työmuistitutkimuksissa on myös todettu monenlaisia harjoittelun jälkeisiä parannuksia, mm. työmuistitoimintaa edellyt-

tävillä neuropsykologisilla tehtävillä mitatussa kognitiivisessa suoriutumisessa, ammatillisen suoriutumisen ja yleisen terveydentilan arvioinneissa sekä suoritustyytyväisyydessä (Lundqvist ym., 2010). Lisäksi kontrollien kanssa toteutetuissa tutkimuksissa on todettu työmuistisuoriutumisen lisäksi kohentumista myös psyykkisessä hyvinvoinnissa (Åkerlund ym., 2013) ja tarkkaavaisuudessa (Westerberg, Jacobaeus ym., 2007).

Usein potilastutkimuksissa, joissa siirtovaikutuksia on ilmennyt, harjoittelujaksot ovat olleet pääsääntöisesti yli viiden viikon mittaisia. Lisäksi potilastutkimuksissa yksilöllisistä harjoitteluvaikutuksiin yhteydessä olevista tekijöistä voidaan mainita ainakin potilaiden suoriutumisen taso tietyissä työmuistitehtävissä, sillä joihinkin tutkimuksiin on valikoitu vain potilaita, joiden suoriutuminen jää tietyn kognitiivisen tason alle. Ainakin Serinon ja kollegoiden (2007) tutkimuksessa mukana oli AV-potilaita, joilla todettiin vakavia työmuistin toiminnan heikentymismuutoksia. Tutkittavat suorittivat harjoittelussa kolmea vaativaa työmuistitehtävää tietyn jakson ajan, minkä jälkeen heidän työmuistisuoriutumisensa todettiin merkittävästi parantuneen jopa siten, että he saavuttivat normaalirajaisen tason tietyssä työmuistitehtävässä (Serino ym., 2007). Samaisessa tutkimuksessa potilaat hyötyivät harjoittelusta lisäksi siten, että heidän suoriutumisensa koheni tarkkaavaisuuden jakamisessa sekä kahdessa toiminnanohjaustehtävässä.

On mahdollista, että potilaat, joilla kognitiivisen toimintakyvyn edellytykset ovat rajoittuneet, voivat hyötyä työmuistiharjoittelusta enemmän kuin tutkimushenkilöt, joilla kognitiivinen suoriutuminen on verrattain sujuvaa, sillä potilailla saattaa olla enemmän ns. kognitiivista väljyyttä eli varaa parantaa suoriutumisen kohentumista ajatellen. Potilaat saattavat myös panostaa harjoitteluun enemmän, koska heillä liittyy kognitiivisen suoriutumisen kohentamiseen usein henkilökohtaisia tavoitteita. Weickerin ja hänen

työryhmänsä (2015) meta-analyysissä itse asiassa havaittiinkin tämänkaltaista suuntausta, sillä aivovauriopotilaat, joilla todettiin työmuistisuoriutumisen vaikeuksia, hyötyivät työmuistiharjoittelusta enemmän verrattaessa terveisiin tutkittaviin. Tämän meta-analyysin yksi tärkeistä havainnoista aivovauriopotilaiden kannalta oli myös se, että työmuistisysteemin parantunut toiminta ilmeisesti heijastaa hyötyvaikutuksia myös arkielämän toiminnan tasolle ja vähentää sairauteen kytköksissä olevia oireita työmuistin toiminnan rajoitteista kärsivillä potilailla.

Weickerin ja kollegoiden (2015) toteuttaman eri tutkimusten tieteellisten löydösten vertailun pohjalta aivovauriopotilaiden kuntoutuksen vaikuttavuudesta on työmuistiharjoittelun osalta olemassa hyvää näyttöä, mutta tutkimusasetelmat ovat vielä kovin kirjavia ja harjoittelussa käytettävät tehtävät poikkeavat eri tutkimuksissa usein toisistaan.

Työmuistitehtävät kuntoutuksessa ja tutkimuksissa

Työmuistitehtävien yleisenä periaatteena on tavallisesti säilyttää lyhytkestoisesti mielessä tietty määrä tietoa. Joskus tehtäviin on yhdistettynä sekundaari tehtävä, jonka tarkoituksena on tuoda mukaan työmuistin toiminnanohjauksellista puolta esimerkiksi valikoivan tarkkaavuuden tai inhibition muodossa. Tavallisesti työmuistiharjoitukset toteutetaan tutkimusten yhteydessä adaptiivisina, mikä tarkoittaa sitä, että tehtävien vaikeustaso mukautetaan harjoittelijan suoriutumiseen. Näin voidaan välttää tehtävien liiallista helppoutta ja toisaalta ylikuormittavuutta.

Klassinen tehtävä, jonka avulla usein arvioidaan työmuistin päivittämisen tarkkuutta ja myös harjoitetaan työmuistin päivittämistä, on 'Running memory span -task', jonka ovat alunperin suunnitelleet Pollack, Johnson ja Knafit (1959). Sittemmin Morris ja Jones (1990) kehittivät tätä tehtävää,

jossa heidän mukaansa työmuistin keskusyksikön toiminta voidaan selkeästi erottaa sen alasysteemeistä. Esimerkkinä tätä 'running memory' -paradigmaa noudattelevasta tehtävästä voidaan mainita Kirjain -tehtävä (the Letter Memory: Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Stigsdotter Neely, 2008; Dahlin, Stigsdotter Neely ym., 2008). Kirjain -tehtävän tietokoneversiossa esitetään kirjainlistoja siten, että jokin kirjaimista A:n ja D:n välillä ilmestyy yksitellen kahden sekunnin ajaksi keskelle näyttöruutua. Kirjainlistojen pituudet vaihtelevat. Joka kerta kun lista odottamatta päättyy, tulee suorittajan näppäillä neljä viimeksi esiintynyttä kirjainta esiintymisjärjestyksessä. Tässä tehtävässä tulee päivittää jatkuvasti listaa mielessä pidettävistä kirjaimista, koska kirjainlistan pituus ei ole suorittajalla tiedossa ja kirjaimet esiintyvät satunnaisessa järjestyksessä siten, että sama kirjain saattaa toistua listassa useampia kertoja.

Toinen yleisesti käytetty työmuistin päivittämistä mittaava ja harjoitettava tehtävä on 'the N-back task' (Karch & Verhaeghen, 2014). Tämän tyyppisissä tehtävissä vaaditaan sekä aineksen säilömistä muistiin, jatkuvaa päivittämistä että myös häiriötekijöiden poissulkemista (Au ym., 2015). Eräässä visuaalispohjaisen N-back -tehtävän (Cohen ym., 1994) tietokoneversiossa esitetään näytön keskellä yksitellen numeroita yhden ja yhdeksän väliltä ja tehtävänä oli muistaa joko edeltävä numero (1-back -tilanne) tai numero, joka esiintyi kolme numeroa takaperin (3-back -tilanne), riippuen ennen kunkin osion alkua annetusta ohjeesta. Suorittajan pitää painaa kyllä-vastausta vastaavaa näppäintä, mikäli esiintyvä numero oli sama kuin edeltävä numero tai sama kuin numero, joka esiintyi kolme numeroa takaperin. Ei-vastausta vastaavaa näppäintä taas tuli painaa mikäli esiintyvä numero ei ollut sama kuin se mihiin ohjeessa pyydettiin vertaamaan.

Työmuistin päivittämisfunktioita voidaan mitata ja harjoittaa myös N-back -tehtävän visuospatiaalilla versiolla (esim. Carlson

ym., 1998). Tämän tehtävän tietokoneversiossa esitetään näyttöruudulla valkoinen neliö jossakin kahdeksasta vaihtoehdoisesta kohdasta. Jokainen osio alkaa siten, että näytön keskellä esiintyi kohdistusristi ja sitten neliö. Kohdistusristi häviää näytöltä sen jälkeen kun neliö oli hävinnyt, riippumatta siitä onko vastaus annettu vai ei. Suorittajan tulee muistaa joko edeltäneen neliön (1-back -tilanne) tai edellistä edeltävän neliön (2-back -tilanne) sijainti, riippuen jokaista tehtäväosiota edeltävästi annetusta ohjeesta. Suorittajan tulee painaa näppäintä, jossa lukee sama (kyllä-vastaus), joka kerta kun neliö ilmestyy samaan sijaintiin kuin edeltävä tai edellistä edeltävä laatikko ja näppäintä, jossa lukee eri (ei-vastaus), joka kerta kun uusi neliö sijaitsee eri paikassa.

Laajemman päivitysharjoittamisen tavoittamiseksi vastaavanlaisissa tehtävissä kuin Kirjain –tehtävä, voidaan käyttää erilaisia ärsykeitä (numeroita, värejä ja spatiaalisia sijainteja). Tehtävät koostuvat yleensä vaihtelevan pituisista listoista tiettyjä ärsykeitä, ja jokaisen listan päätyttyä suorittajan tehtävänä on muistaa neljä viimeiseksi esitettyä ärsykettä esitysjärjestyksessä. Harjoitustehtävien vaativuustasoa voidaan nostaa lisäämällä listojen pituuksia (esimerkiksi matala taso = 4-7 ärsykettä, keskitaso = 6-11 ärsykettä, korkea taso = 5-15 ärsykettä).

Edellä kuvatuista työmuistitehtävistä rakenteellisesti poikkeava on Ole tarkkana –tehtävä (Keep track task; Yntema, 1963), joka sisältää kuitenkin myös työmuistin päivittämistä. Tässä tehtävässä tietokoneen näytöllä esiintyy yksitellen tietty määrä eri merkityskategorioiden lukeutuvia sanoja. Sanojen esiintyessä suorittajan tehtävänä on mielessään laittaa sanat vastaaviin merkityskategorioiden (esimerkiksi eläimet, vaatteet, maat, sukulaiset, urheilu, ammatit), jotka on esitetty nimetyin laatikoin ruudun alalaidassa. Suorittajan tulee jatkuvasti päivittää mielessään jokaisen merkityskategorian sisältöä ja jokaisen sanalistan

päätyttyä hänen tulee kirjoittaa laatikoiden alle sanat, jotka kyseisiin kategorioihin lukeutuen ovat esiintyneet viimeisinä.

Wechler Adult Intelligent- Scale –tutkimuspatterin (Wechsler, 2012) sisältämällä numerosarjat -tehtävällä taas voidaan saada käsitys esimerkiksi tutkittavien kielellisen työmuistin kapasiteetista eli muistikaaresta (span) ja sen mahdollisista muutoksista työmuistiharjoittelun seurauksena. Tässä tehtävässä on kolme osiota, joista ensimmäisessä (numerosarjat eteenpäin) suorittajan tulee toistaa suullisesti hänelle esitetyn numerosarjan numerot samassa järjestyksessä kuin ne hänelle esitetään. Toisessa osiossa (numerosarjat taaksepäin) tutkittavan tulee toistaa hänelle esitetyn numerosarjan numerot päinvastaisessa järjestyksessä eli lopusta alkuun hänelle esitettyyn sarjaan verrattuna. Kolmannessa osiossa (numerot järjestyksessä) suorittajan tulee esittää hänelle esitetyn numerosarjan numerot numerojärjestyksessä pienimmästä suurimpaan.

POHDINTA

Työmuistitutkimusten keskeiset löydökset

Eryteisesti aivovauriopotilaat voivat Weickerin työryhmän (2015) laajan meta-analyysin mukaan hyötyä työmuistikuntoutuksesta. Nämä tutkijat ovat todenneet työmuistiharjoittelun voivan johtaa tehokkaasti työmuistisuoriutumisen ja esimerkiksi päätelyn ja toiminnanohjauksen kohentumiseen jopa pitkäkestoisesti. Tieteellisessä kirjallisuudessa tosin kiistellään laajasti työmuistikuntoutuksen vaikuttavuudesta ja erityisesti siirtovaikutuksista muihin kognitiivisiin toimintoihin. Näyttäisi siltä, että lyhyet alle kahdenkymmenen kerran interventiot eivät johda työmuistikuntoutuksen siirtovaikutuksiin, mutta tätä tiiviimmät harjoitusohjelmat tuottavat hyötyjä ainakin työmuistin kannalta.

Työmuistisuoriutumisen kohentumisen mallinuksista huolimatta taustalla olevat neuraaliset mekanismit ovat vielä melko tuntemattomia (kts. Buschkuehl ym., 2012). Siirtovaikutuksia tutkittaessa ja ris-teäviä tutkimustuloksia pohdittaessa on hyvä pitää mielessä Dahlinin (2009) Ather-tonin esitykseen viitannut huomio siitä, että eri aivoalueet eivät ehkä olekaan kaikki ko-konaisuuksena kytköksissä toisiinsa, jolloin harjoitusvaikutukset eivät ehkä yksiselittei-sesti siirry toisenlaisia prosesseja ohjaa-ville aivoalueille ja sitä kautta suoriutumi-seen.

Suoriutumiseen vaikuttavia tekijöitä aivovauriopotilaiden työmuistitutki-muksissa

Työmuistitehtävien laadulliset erot

Yksilöiden ominaisuus-, suoritus- ja oireis-toerojen lisäksi työmuistitehtävien ominai-suudet, kuten ärsykkeiden esitysnopeus, vastaamiseen varattu aika ja harjoiteltavan materiaalin laatu voivat tuoda oman merki-tyksensä työmuistiharjoittelun vaikuttavuuteen ja työmuistisuoritusten mittaamiseen. Jolles, Grol, Van Buchem, Rombouts ja Crone (2010) ovat todenneet sekä tehtä-vien vaatimusten että vaikeustason voivan olla harjoitusvaikutuksia muovaavia teki-jöitä.

Esimerkkinä vaativasta työmuistitehtä-västä mainittakoon Visuaalinen N-back -tehtävä, jossa esiintyvien sarjojen nume-roita pitää verrata joko edeltävään nume-roon tai numeroon, joka esiintyi kolme nu-meroa takaperin. Tässä tehtävässä ärsyk-keiden tiivis esitysnopeus saattaa olla poti-laiden prosessointinopeuden kannalta liian kovatahtinen ja etenkin kolme numeroa ta-kaperin verrattaessa. Tutkimuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa on tärkeää huo-mioida, että arviointi- ja harjoitustehtävien prosessointinopeusvaatimukset eivät eroa liikaa toisistaan. Arviointitehtävien ollessa liian vaativia tai aikapaineisia verrattaessa

harjoitustehtäviin, voi käydä niin, että har-joittelun hyötyvaikutuksia ei saada esiin.

Työmuistitehtävien esitys- ja suoritusno-peusvaatimuksien lisäksi myös tehtävien laadulliset ominaisuudet kuten visuaalinen tai kielellinen materiaali ja visuaalinen tai auditiivinen esitysmuoto voivat luoda omat piirteensä työmuistiharjoitusten vaikutta-vuuteen. Joidenkin tutkimusten mukaan esimerkiksi työmuistiharjoittelu visuo-spati-aalisella materiaalilla saattaa johtaa pysy-vämpiin harjoittelu- ja lähisiirtovaikutuksiin kuin kielellinen työmuistiharjoittelu (Melby-Lervåg & Hulme, 2013). Lisäksi kohdentami-nen työmuistin tietyn osa-alueen harjoit-tamiseen voi olla etu, kuten Von Bastian ja Langer työryhmineen (2013) ovat kuvanneet, että keskittyminen tiiviisti työmuistin yhden puolen (esim. samanaikainen säilö-minen ja prosessointi) harjoittamiseen on todennäköisesti tehokkaampaa kuin monien eri osa-alueiden yhtäaikainen harjoitteleminen.

Potilaiden oirekirjo

Tulkittaessa työmuistitutkimusten tuloksia yleisesti, on hyvä pitää mielessä, että työmuisti itsessään ei ole kovin tarkkarajai-sesti määritelty käsite ja vielä ei olla kovin hyvin perillä siitä mitkä työmuistin funkti-oista vaikuttavat mihinkin kognitiiviseen prosessiin juuri tietyssä tehtävässä (Süß ym., 2002). Lisäksi on huomioitava, että potilailla aivovaurioiden ja oireistojen yksi-löllisyyteen liittyvät ilmiöt voivat vaikuttaa työmuistisuoriutumiseen ja työmuistikun-toutumiseen ja samankin diagnoosiryhmän sisällä potilailla aivojen toipumiskyky saat-taa vaihdella.

Serinin ja kollegoiden (2007) mukaan voi olla niin, että potilaat, joilla on juuri tietyn-tyyppinen oireiden rykelmä, eli esim. AV:aan liittyviä kognitiivisia rajoitteita, jotka ovat riippuvaisia juuri tietyistä tiedonkäsitte-lyjärjestelmästä, kuten toiminnanohjaustoi-mintoihin liittyvästä systeemistä, saattavat hyötyä työmuistiharjoittelusta, kun taas eri-

laisten oireistojen kanssa painiskelevat potilaat saattavat tarvita erilaisia interventioita. Joissakin potilastutkimuksissa osallistujat on valittu esimerkiksi sen perusteella, että heidän työmuistisuoriutumiseensa on ollut määriteltyjä rajoitteita (esim. Åkerlund ym., 2013). Lisäksi iän (Dahlin, Nyberg ym., 2008; Dahlin, Stigsdotter Neely, ym., 2008; Karbach & Kray, 2009) ja sukupuolen (Neubauer, Bergner, & Schatz, 2010) on tunnustettu olevan työmuistiharjoittelun hyötyihin vaikuttavia tekijöitä.

Motivaatiotekijät

Tutkittavien motivaation tai yrittämisen (Shell ym., 2010) puutteella voi olla myös merkitystä työmuistikuntoutuksen vaikuttavuuden kannalta. Motivaatiota ei ole helppo mitata yksiselitteisesti, mutta suoritukset, joissa henkilöt eivät ole motivoituneita suorittamaan testi- tai harjoitussuorituksia työmuistitutkimuksissa, voivat vaikuttaa merkittävästi siihen saadaanko harjoitusten seurauksena aikaan parannuksia kognitiivisessa suoriutumisessa (Redick ym., 2013).

Kuntoutukseen osallistuminen on aina jossain määrin vaativaa potilaille yleisesti ja tämän tyyppisen toiminnan jälkeen väsyminen on todennäköistä, koska harjoitteet ovat vaativat aivojen tai muun kehon aktivoitumista mahdollisten muutosten aikaansaamiseksi. Aivovauriopotilailla voi esiintyä fatiikkia, muita kuormitusoireita tai vaihtelevaa motivoitumista kuntoutusprosessien aikana. Jotkut potilaat voivat tunnustaa itse tai psykoedukaation ohjaamana kognitiiviset tai muut kuormitusoireet sinällään merkeiksi työn tekemisestä itseään varten. Pidempikestoinen alentunut motivaatio työmuistiharjoituksia kohtaan saattaa potilailla heijastaa myös laajemmin omaan tilanteeseen liittyvän sopeutumisprosessin ja oiretiedostuksen keskeneräisyyttä sekä epävarmuutta siitä mikä omalla kohdalla on kuntoutuksellisesti keskeisintä.

Kliinisen kokemuksen mukaan on kuitenkin mahdollista, että jotkut potilaat eivät pidä

tietokoneella suoritettavista harjoituksista, vaikka tietäisivätkin niiden olevan hyödyllisiä kognitiivisen suoriutumisen vahvistumisen kannalta. Jotkut potilaista eivät ehkä ole tottuneet työskentelemään tietokoneen kanssa tai ovat tottuneet tekemään enemmän fyysisesti aktiivisempia suorituksia, joista sairastumisensa jälkeen käyvät luopumistyötä ja sormilla näpytellen työskentely ei motivoi. Työelämään paluun suunnitteleminen ja tämän paluumahdollisuuden olemassaolo saattaa olla joillekin potilaille motivoiva tekijä kuntoutuksessa.

Liikunnalla voi myös olla merkitystä työmuistikuntoutuksen vaikuttavuuden kannalta ja liikunnallinen aktiivisuus ja yritteliäisyys voivat kuvastaa jopa taustalla olevaa itsehoidon motivaatiota. Fyysisten harjoitteiden on kuvattu voivan vaikuttaa kognitiivisiin funktioihin, kuten iäkkäämmillä aikuisilla tämänkaltaisen aktiviteetin (Colcombe & Kramer, 2003) on todettu kohentavan kognitiivista suoriutumista.

Työmuistiharjoitusjakson pituus

Työmuistiharjoittelujakson pituuden on katsottu olevan usein yhteydessä harjoitusten vaikuttavuuteen (Basak, Boot, Voss, & Kramer, 2008; Hempel ym., 2004; Jaeggi ym., 2008). Monissa työmuistitutkimuksissa työmuistin päivittämiseen kohdentuneen harjoittelun kesto on ollut ainakin viisi viikkoa (esim. Bäckman ym., 2011).

Weickerin työryhmän (2015) laajassa meta-analysissä selvisi, että tutkimukset, joissa työmuistiharjoittelutuokioita järjestettiin yli 20, tuottivat merkittävästi isompia vaikuttavuuden efektikokoja kuin tutkimukset, joissa oli vähemmän kuin 20 harjoittelutilannetta. Lisäksi havaittiin merkittävä ero 15 kertaa harjoitelleiden ja 25 kertaa harjoitelleiden ryhmien välillä ja lähes merkittävä ero 20-25 sekä yli 25 kertaa harjoitelleiden välillä siten, että mitä enemmän harjoiteltiin, sitä enemmän työmuistiharjoittelun hyötyjä saavutettiin. Alle 15 kertaa harjoittelua toteuttaneilla tutkimuksilla ei

saatu aikaan pidemmän aikavälin siirtovaikutuksia työmuistisuoriutumiseen.

Harjoittelukertojen määrällä oli sitäkin isompi merkitys, kun edellä mainitussa meta-analyysissä (Weicker, ym., 2015) todettiin, että harjoitteluun käytetyillä tunteilla ei niinkään ollut merkitystä, eli paljon harjoittelua (≥ 10 tuntia) ja vähän (< 10 tuntia) sisältäneet tutkimukset eivät eronneet vaikuttavuudessa.

Tehtävien vaikeustasoa pitäisi pystyä nostamaan harjoittelun edetessä, jotta yksilön työmuistisysteemiä voidaan haastaa riittävästi (Weicker ym., 2015). Joissakin tutkimuksissa harjoitusten vaativuustaso saattaa olla alunperinkin liian vaativa potilaille, jolloin vaativuustasoa ei voida nostaa ja harjoittelu ei ehkä ole optimaalisella tasolla, jotta se tuottaisi siirtovaikutuksia.

Vertailuryhmät

Potilaiden kuntoutusprosessit, niiden kuormittavuus ja myös vertailuryhmien hyödynttäminen vaihtelevat eri tutkimuksissa. Osassa aiempia työmuistitutkimuksia ei ole ollut mukana potilasvertailuryhmiä (Hellgren ym., 2015; Johansson & Tornmalm, 2012; Serino ym., 2007; Westerberg & Klingberg, 2007), mutta toisissa taas on hyödynnetty eri tyyppisiä kontrolliryhmiä (Lundqvist ym. 2010; Westerberg, Jacobaeus ym., 2007; Åkerlund ym. 2013).

Potilaskontrolliryhmien ja -koeryhmien suorituksia vertailemalla voidaan tarkastella sitä vaikuttaako juuri työmuistiharjoittelu työmuistitoimintoihin. Ilman potilaskontrolliryhmien käyttöä aivovauriopotilailla toteutetuissa tutkimuksissa on mahdollista, että esimerkiksi työmuistiharjoittelun mahdolliset hyödyt ovatkin spontaania korjautumista tai johtuvat jostain muusta tekijästä kuin työmuistiharjoittelusta.

Joissakin potilaiden työmuistitutkimuksissa kontrolliryhmäpotilaat eivät suorita strukturoitua kuntoutusta, ja toisissa taas verrokeilla on omat harjoituksensa, jotka harjoit-

tavat muuta kuin työmuistia. Tutkimuksissa, joissa ei ole saavutettu työmuistikuntoutuksen siirtovaikutuksia, voi olla kyse siitä, että harjoitellut potilasryhmä kuormittuu kognitiivisesti ei-harjoitelleita verrokeja enemmän. AVH- ja AV-potilailla toteutetussa työmuistitutkimuksessa (Kumpuniemi, 2016) oli havaittavissa, että toiminnanohjauksen toimintatavan vaihtamisfunktiolla mitattuna harjoitellut potilasryhmä jopa heikensi suoriutumistaan ei-harjoitelleisiin kontroleihin verrattuna. Kyseisessä tutkimuksessa ei tullut esiin työmuistikuntoutuksen siirtovaikutuksia verrattain lyhyen, kahdeksan kerran, harjoitusintervention jälkeen. Aivovauriopotilaat ovat usein herkkiä erilaisille kuormitustekijöille ja tiiviit kuntoutusohjelmat etenkin laitostuntoutusjaksojen yhteydessä, kuten em. tutkimuksessa, saattavat vaikeuttaa koeryhmäpotilaiden kognitiivista palautumista. Kuormittuvuuserojen poissulkemiseksi verrokeille luodut omat strukturoidut harjoitusohjelmat ovat työmuistitutkimuksissa hyödyllisiä.

Työmuistikuntoutuksen vaikuttavuuden käytännön haasteet aivovauriopotilailla

Aivovauriopotilailla yleensä on kliinisen käytännön mukaan usein kiire saavuttaa tavoitteitaan ja he saattavat hätäillä sairastumisensa jälkeen pian takaisin kotiympäristöönsä, työhönsä ja muihin sosiaaliin tai toiminnallisiin aktiviteetteihinsa. On ymmärrettävää kaivata takaisin elämää ja toimintakykyä, mikä oli vallitseva ennen vammautumista tai sairastumista, sillä elämänmuutokset, oireet ja emotionaalinen vuoristorata ovat yhtäkkisiä ja rajoittavia ja niihin on haastavaa sopeutua.

Odotetun kuntoutustuloksen saavuttaminen ei kuitenkaan ole aina helppo ja nopea prosessi, ei fyysisellä, kognitiivisella tai emotionaalisisella tasolla. Työmuistiharjoitusten vaikuttavuuden selvittäminen jokapäiväisen elämän tasolla on vaikeasti mi-

tattavissa, koska eivät vain monet kognitiivisen toimintakyvyn edellytykset, vaan myös ympäristö- ja yksilötekijät ovat kietoutuneet arkielämän moniin toimintoihin (Geusgens ym., 2007). Tutkimusten tuloskirjon perusteella työmuistikuntoutuksen vaikuttavuuden selvittäminen on haasteellista potilailla strukturoidummissa olosuhteissa.

Ihmisen luonnollinen elämänympäristö vaatii usein paljon tiedonkäsittelytoimintoilta ja niillä aivovauriopotilailla, jotka ovat kognitiivisesti aktiivisia, voidaan olettaa tapahtuvan osin ja ainakin vuoden aikajännteellä aivovauriosta myös spontaania korjautumista kognitiivisen toimintakyvyn edellytyksissä. Työmuistin kapasiteetin ja toiminnan sujuvuuden kohentuminen normaalissa arjessa vaatii kuitenkin erityistä ja jatkuvaluonteista työmuistifunktioiden käyttöä. Soveri, Laine, Hämäläinen ja Hugdahl (2011) ovat todenneet työmuistille käsitteellisesti ja toiminnallisesti läheisten toiminnanohjaustoimintojen kohdalla, että kahta kieltä arjessaan läpi elämänsä käyttävät ihmiset toteuttavat itse asiassa samalla toiminnanohjauksen harjoittamista, josta he myös hyötyvät. Toisessa tutkimuksessa Soveri, Rodriguez-Fornells ja Laine (2011) ovat todenneet, että mitä enemmän kahden kielen käytön välistä vaihtoa ihmisillä elämässään on ja mitä aiemmin kaksikielisyyttä on harjoitettu, sitä paremmaksi toiminnanohjaus voi kehittyä. Toisilla ihmisillä voi olla näin ollen paremmat edellytykset kognitiiviseen kuntoutumiseen myös aivovaurioiden jälkeen mikäli he harjoittavat jatkuvasti ja säännöllisesti jotain tiettyä kognitiivista prosessia normaalissa arjen käytännössään.

Luonnollisessa elämänympäristössä on vaikea tavoittaa intensiivistä ja jatkuvaluonteista kuntoutusta kohdentuen säännönmukaisesti juuri työmuistisuoriutumiseen, koska arkielämän, työn tai harrastusten vaatimukset edellyttävät usein monia eri kognitiivisia prosesseja samanaikaisesti työmuistitoiminnan kanssa ja väliintulevia

tekijöitä on lukemattomia. Oletettavaa on, että aktiivinen ote omaan tilanteeseen tai ainakin tukihenkilöiden olemassaolo lisäävät mahdollisuuksia kuntoutua millä tahansa osa-alueella, vaikka edistyminen olisikin haasteellista ja vaativaa. Oletettavaa on myös, että aktiivinen ja sinnikäs ote on hyödyksi myös työmuistikuntoutuksessa, sillä työmuistin kuntouttaminen voi vaatia pitkäjänteistä, kohdennettua ja strukturoitua harjoittelua.

Aivovauriopotilailla voimien ja kunnon tilanne sekä kuntoutuminen ei kuitenkaan etene aina yksinomaan nousujohteisesti, vaan kuntoutumisessa voi olla tasanteita ja taantumavaiheitakin, sillä aivovauriotilanteisiin voi linkittyä monia erilaisia somaattiseen terveydentilaan liittyviä haasteita, psyykkistä ja kognitiivista kuormittumista sekä psyko-sosiaalisia ongelmia ja sopeutumisvaikeuksia. Myös näillä tekijöillä saattaa olla merkitystä sen kannalta miksi kaikissa tutkimuksissa ei saavuteta selviä työmuistin päivittämisharjoittelun siirtovaiikutuksia.

Työmuistiharjoittelun hyödyt aivovauriopotilaille

Työmuistiharjoittelun odotetaan tuottavan suotuisia siirtovaikutuksia etenkin siirtyen potilaiden arjen toiminnan tasolle mm. työ- ja toimintakykyyn sekä sosiaaliseen toimintaan ja tätä kautta mahdollisesti myös psyykkiseen hyvinvointiin. Olipa seurauksena sitten siirtovaikutuksia tai ei, potilaat, jotka saavat ja ottavat vastaan palautetta työmuistisuoriutumisestaan harjoittelujaksojen aikana ja näiden jaksojen jälkeen tulevat osaltaan paremmin tietoisiksi omista työmuistahaasteistaan. Jotkut voivat lisäksi esimerkiksi tunnistaa harjoitustuokioiden aikana oman jaksamistilanteensa ja tunnetilojensa vaikutuksia suoriutumiseensa. Osa potilaista voi kiinnostua työmuistifunktioiden harjoittamisesta laajemminkin ja heidän kanssaan on hyödyllistä käydä läpi vinkkejä koskien sitä miten työmuistia voi

kotioloissa harjoittaa mm. tietokone-
menetelmillä.

Aivovauriopotilaiden työmuistikun- toutuksessa huomioitavaa

Aivovauriopotilailla toteutettavien tutkimus-
ten yhteydessä on ensinnäkin jatkossa
hyvä selvittää ennen tutkimuksen aloitta-
mista potilaille optimaalinen suoritustaso
kaikkien tehtävien vaatimusten osalta. Työ-
muistiarviointien ja -harjoitusten tehtävien
olisi hyvä olla samankaltaisia ainakin är-
sykkeiden esitysnopeuden ja vastausten
antamiseen liitettävän aikarajoitteen tai ai-
karajoittamattomuuden suhteen. Lisäksi
työmuistiharjoitustehtävien osalta olisi
hyvä kartoittaa potilaille soveltuvat aloitus-
tasot, jotta harjoitusohjelma ei olisi alunpe-
rinkään liian helppo eikä liian vaativa ja,
jotta harjoitusten vaativuutta voitaisiin
adaptiivisen menetelmän mukaisesti nos-
taa potilaiden riittävän kognitiivisen ponnis-
telutason ylläpitämiseksi.

Toiseksi, erityisesti työmuistisuoriutumisen,
mutta myös muunlaisen kognitiivisen
suoriutumisen laajempi lähtötason arviointi
olisi paikallaan. Tätä kautta potilaat voitai-
siin tarvittaessa jakaa tasoryhmiin tai vali-
koida osallistujiksi tietyn työmuistisuoriutu-
misen tason perusteella. Lisäksi laajem-
man lähtötason arvioinnin myötä tietyn-
tyyppisten oirekokonaisuuksien merkitystä
työmuistiharjoittelusta hyötymisen kannalta
voitaisiin selvittää tarkemmin. Erityisen tär-
keää on kartoittaa kognitiivista oirekuvaa
lähtötilanteessa laajemmin neuropsykolo-
gisilla menetelmillä kielellisen ohella myös
visuaalisen työmuistikapasiteetin osalta,
mutta lisäksi laajempi toiminnanohjaussuo-
riutumisen ja muun kognitiivisen profiilin
selvittäminen voisi olla hyödyllistä. Lisäksi
potilaiden koetun kognitiivisen kuormittumi-
sen ja väsymysoireiden tilannetta olisi hyvä
arvioida ja seurata tutkimusten aikana tar-
kemmin.

Kolmanneksi aivovauriopotilaille tietokone-
menetelmin toteutettavissa työmuistitutki-

muksissa olisi hyvä järjestää potilaskontrol-
liryhmille strukturoitua ja kognitiivista tieto-
koneavusteista lisäohjelmaa, joka ei sisäl-
täisi kuitenkaan työmuistiharjoittelua. Näin
saataisiin mahdollisesti vielä paremmin
esiin juuri työmuistiharjoitusten vaikutta-
vuutta ja voitaisiin kontrolloida myös koe- ja
kontrolliryhmien kognitiivista kuormittu-
vuutta paremmin.

Lisäksi laitosympäristöissä toteutettavissa
aivovauriopotilastutkimuksissa on hyvä
huomioida, että tiiviiden laitoskuntoutusjak-
sojen yhteyteen nivotut työmuistiharjoitte-
luistunnot luovat omat haasteensa aikatau-
lujen organisoimiseen. Riittävät tauot ja le-
pohetket ovat aivovauriopotilaille erittäin
merkityksellisiä kuntoutuksellisten hyötyjen
saavuttamiseksi ja voimavarojen tasapai-
non ylläpitämiseksi. Aikataulujen joustavuus
olisi myös olennaista potilaiden kanssa,
sillä joskus heillä nousee suoriutumisen
yhteydessä esiin huomioita tai emo-
tionaalisia reaktioita koskien sopeutumisti-
lannettaan tai omia sairastumiseen liittyviä
muutoksia, joita olisi hyvä hetki käsitellä
harjoituksen tai testitilanteen jälkeen poti-
laan psyykkisen voinnin kannalta tarkoituk-
senmukaisella tavalla.

Tulevaisuudessa työmuistin kuntouttami-
seen liittyvien tutkimusten yhteydessä olisi
mielenkiintoista selvittää aivovauriopotilai-
den omatoimisen liikunnallisen aktiviteetin
ja ohjatun liikunnan mahdollisuuksien ja
määrien mahdollista yhteyttä työmuisti-
suoriutumiseen ja työmuistifunktioiden ko-
hentumiseen. Lisäksi jatkossa olisi kiinnos-
tavaa tutkia aivovauriopotilailla visuo-spati-
aalisen työmuistiharjoittelun hyötyjä verrat-
tuna kielelliseen harjoitteluun. Huomion ar-
voista on myös, että kielellisistä vaikeuk-
sista kärsivillä potilaille voisi olla paremmat
mahdollisuudet osallistua sellaisiin tutki-
muksiin ja hyötyä sellaisista kuntoutusoh-
jelmista, joissa käytetään visuo-spatiaalista
harjoittelumateriaalia.

Tulevaisuuden työmuistitutkimusten tehtä-
vänä on kartoittaa myös tarkemmin millai-
set tekijät aivovauriopotilaiden elämässä

sekä voinnin ja hoitokontaktien kokonaisuudessa ovat yhteydessä sairastumisen tai vammautumisen jälkeen työmuistisuoriutumisen kohentumiseen. On mahdollista, että tietynlaiset hoitokokonaisuudet tai työelämässäolo ja sinne paluun mahdollisuus yhdistettynä potilaan yksilöllisiin ominaisuuksiin ja aktiiviseen kuntoutusotteeseen voivat edistää työmuistin kuntoutumista ja varsinaisesta työmuistikuntoutuksesta hyötymistä. Työmuistin spontaania korjautumista on todettu AVH-potilailla mm. audiitiivisessa työmuistissa noin vuoden seurannassa (Sola, 2014), mutta visuospatiaalisen työmuistin spontaanista korjautumisesta on vähemmän tietoa. Työmuistisuoriutuminen voi näin ollen kohentua jossain määrin ja jonkin aikaa sairastumisen tai vammautumisen jälkeen spontaanistikin, mutta lisää tutkimuksia tarvitaan aivovauriopotilailla edelleen, jotta voidaan todentaa tapahtuuko potilailla tietynlaisen työmuistin kuntoutumisen ja kohdenetun työmuistin kuntouttamisen siirtovaihtuksia työmuistiin ja muihin kognitiivisen toimintakyvyn edellytyksiin sekä siirtyvätkö hyödyt arjen toimintakyvyn tai psyykkisen hyvinvoinnin tasolle.

4.6 Lopuksi

Tämän hetken tutkimustiedon valossa aivovauriopotilaiden työmuistisuoriutumisen vahvistamiseksi alle kymmenen kerran harjoittelujakso ei näyttäisi riittävältä ja useita tutkimusasetelmaan liittyviä seikkoja tulee jatkossa huomioida aivovauriopotilaiden työmuistitutkimuksia suunniteltaessa. Tämän hetken tieteellisen kirjallisuuden havaintojen perusteella ei voida suositella pelkästään tietokonemenetelmistä lyhyttä interventiota aivovauriopotilaiden työmuistikuntoutukseen, mutta harjoittelu yhdistettynä ammattihenkilön tukeen voi auttaa aivovauriopotilaita tiedostamaan heillä usein esiintyviä työmuistiongelmia paremmin ja helpottaa löytämään keinoja työmuistahaasteiden kanssa selviytymiseen. Aivovauriopotilaiden työmuistikuntoutuksen

pulmakohtia tutkimalla ja kehittämällä voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa saada koostettua työmuistikuntoutuskokonaisuuksia, jotka ovat motivoivia ja tehokkaita vahvistamaan potilaiden itsenäisen toimintakyvyn kannalta olennaisia työmuisti- ja toiminnanohjaustaitoja ja, joita potilaat voivat toteuttaa neuropsykologisen kuntoutuksen tapaamisten ohella myös muissa soveltuvissa arjen ympäristöissään.

Marika Kumpuniemi
Helsingin yliopisto

LÄHTEET

- Aivoliitto (2016). Perustietoa aivoverenkiertohäiriöstä (viitattu 27.1.2016). Saatavilla internetissä: www.aivoliitto.fi
- Aivovamman Käypä hoito -suositus (2008). Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Neurologisen yhdistys ry:n, Societas Medicinæ Physicæ et Rehabilitationis Fenniae ry:n, Suomen Neurokirurgisen yhdistyksen, Suomen Neuropsykologisen yhdistyksen ja Suomen Vakuutuslääkärien yhdistyksen asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäri-seura Duodecim, julkaistu 16.12.2008 (viitattu 27.1.2016). Saatavilla Internetissä: www.kaypahoito.fi
- Aivovaurio.fi (2016). Aivovamma/kuntoutus (viitattu 27.1.2016). Saatavilla internetissä: www.aivovaurio.fi
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106, 20–29.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H. J., & Elliott, J. E. (2009). The cognitive and behavioural characteristics of children with low working memory. *Child Development*, 80, 606–621.
- Ando, J., Ono, Y., & Wright, M. J. (2001). Genetic structure of spatial and verbal working memory. *Behavior Genetics*, 31, 615–624.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin Review*, 22, 366–377.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556–559.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5–28.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423.

- Baddeley, A. D. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, 36, 189–208.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. Teoksessa G. H. Bower (toim.), *The Psychology of learning and motivation* (s. 47–89). New York, NY: Academic Press.
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and Aging*, 23, 765–777.
- von Bastian, C. C., Langer, N., Jäncke, L., & Oberauer, K. (2013). Effects of working memory training in young and old adults. *Memory & Cognition*, 41, 611–624.
- von Bastian, C. C., & Oberauer, K. (2013). Distinct transfer effects of training different facets of working memory capacity. *Journal of Memory and Language*, 69, 36–58.
- von Bastian, C. C., & Oberauer, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: A review. *Psychological Research*, 78, 803–820.
- Bergman Nutley, S., Söderqvist, S., Bryde, S., Thorrell, 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.
- Bialkova S., & Oberauer K. (2010). Direct access to working memory contents. *Experimental Psychology*, 57, 383–389.
- Bittner, R. M., & Crowe, S. F. (2007). The relationship between working memory, processing speed, verbal comprehension and FAS performance following traumatic brain injury. *Brain Injury*, 21, 709–719.
- Björkdahl, A., Åkerlund, E., Svensson, S., & Esbjörnsson, E. (2013). A randomized study of computerized working memory training and effects on functioning in everyday life for patients with brain injury. *Brain Injury*, 27, 1658–1665.
- Blokland, G. A. M., McMahon, K. L., Thompson, P. M., Martin, N. G., de Zubicaray, G. I., & Wright, M. J. (2011). Heritability of working memory brain activation. *The Journal of Neuroscience*, 31, 10882–10890.
- Braver, T. S., & Barch, D. M. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuro-modulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 809–817.
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2012). Working memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 63.
- Brooks, J., Fos, L. A., Greve, K. W., & Hammond, J. S. (1999). Assessment of executive function in patients with mild traumatic brain injury. *The Journal of Trauma*, 46, 159–163.
- Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2010). Improving intelligence: a literature review. *Swiss Medical Weekly*, 140, 266–272.
- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., & Jonides, J. (2012). Neuronal effects following working memory training. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, 167–179.
- Bäckman, L., & Nyberg, L. (2013). Dopamine and training-related working-memory improvement. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37, 2209–2219.
- Bäckman, L., Nyberg, L., Soveri, A., Johansson, J., Andersson, M., Dahlin, E., Neely, A. S., Virta, J., Laine, M., & Rinne, J. O. (2011). Effects of working-memory training on striatal dopamine release. *Science*, 333, 718.
- Carlson, S., Martinkauppi, S., Rämä, P., Salli, E., Korvenoja, A., & Aronen, H. J. (1998). Distribution of cortical activation during visuospatial n-back tasks as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 8, 743–752.
- Chacko, A., Bedard, A. C., Marks, D. J., Feirsen, N., Uderman, J. Z., Chimiklis, A., Rajwan E., Cornwell, M., Anderson, L., Zwilling, A., & Ramon, M. (2014). A randomized clinical trial of Cogmed working memory training in school-age children with ADHD: A replication in a diverse sample using a control condition. *The Journal of Child Psychology & Psychiatry*, 55, 247–253.
- Chan, R. C. (2002). Attentional deficits in patients with persisting postconcussive complaints: A general deficit or specific component deficit? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 1081–1093.
- 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 & Review*, 17, 193–199.
- Chung, C. S. Y., Pollock, A., Campbell, T., Durward, B. R., & Hagen, S. (2013). Cognitive rehabilitation for executive dysfunction in adults with stroke or other adult non-progressive acquired brain damage. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4, CD008391.
- Cicerone, K. D. (2002). Remediation of ‘working attention’ in mild traumatic brain injury. *Brain Injury*, 16, 185–195.
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Berquist, T. F., Felicetti, T., Giacino, J. T., Harley, J. P., Harrington, D. E., Herzog J., Kneipp, S., Laatsch, L., & Morse P. A. (2000). Evidence based cognitive rehabilitation: Recommendations for clinical practice. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81, 1596–1599.
- Cicerone, K. D., Langenbahn, D. M., Braden, C., Malec, J. F., Kalmar, K., Fraas, M., Felicetti, T., Laatsch, L., Preston Harley, J., Bergquist, T., Azulay, J., Cantor, J., & Ashman, T. (2011). Evidence-based cognitive rehabilitation: Updated review of the literature from 2003 through 2008. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92, 519–530.
- Clarys, D., Bugaiska, A., Tapia, G., & Baudouin, A. (2009). Ageing, remembering, and executive function. *Memory*, 17, 158–168.
- Cohen, J. D., Forman, S. D., Braver, T. S., Casey, B. J., Servan-Schreiber, D., & Noll, D. C. (1994).

- Activation of the prefrontal cortex in a nonspatial working memory task with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 1, 293–304.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, 125–130.
- Conway, A. R. A., & Getz, S. J. (2010). Cognitive ability: Does working memory training enhance intelligence? *Current Biology*, 20, 362–364.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87–185.
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four. How is working memory capacity limited and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19, 51–57.
- Cowan, N., & Alloway, T. P. (2008). The development of working memory. Teoksessa N. Cowan (toim.), *Development of memory in childhood* (2. painos, s. 303–342). Hove, UK: Psychology Press.
- Craik, F. I., Winocur, G., Palmer, H., Binns, M. A., Edwards, M., Bridges, K., Glazer, P., Chavannes, R., & Stuss, D. T. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: Effects on memory. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13, 132–142.
- Crawford, S., Wenden, F., & Wade, D. T. (1996). The Rivermead head injury follow up questionnaire: A study of a new rating scale and other measures to evaluate outcomes after head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 60, 510–514.
- Curtiss, G., Vanderploeg, R. D., Spencer, J., & Salazar, A. M. (2001). Patterns of verbal learning and memory in traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7, 574–585.
- Dahlin, E. (2009). *Train your Brain - Updating, Transfer, and Neural Changes*. Doctoral dissertation. The Department of Integrative Medical Biology, section for Physiology. Umeå University: Umeå.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., & Stigsdotter Neely, A. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: Immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, 23, 720–730. doi:10.1037/a0014296
- Dahlin, E., Stigsdotter Neely, A., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning After Updating Training Mediated by the Striatum. *Science*, 320, 1510–1512.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working-memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450–466.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 422–433.
- Davidson, P. S. R., Troyer, A., & Moscovitch, M. (2006). Frontal lobe contributions to recognition and recall. Linking basic research with clinical evaluation and remediation. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12, 210–223.
- D'Esposito, M., Postle, B., & Rypma, B. (2000). Prefrontal cortical contributions to working memory: Evidence from event-related fMRI studies. *Experimental Brain Research*, 133, 3–11.
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23, 475–483.
- Ferguson, M. C., & Rice, M. S. (2001). The effect of contextual relevance on motor skill transfer. *American Journal of Occupational Therapy*, 55, 558–565.
- Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004). Age-related impairment in executive functioning: updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26, 874–890.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., Defries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172–179.
- Gansler, D. A., Covall, S., McGrath, N., & Oscar-Berman, M. (1996). Measures of prefrontal dysfunction after closed head injury. *Brain and Cognition*, 30, 194–204.
- Geusgens, C. A., Winkens, I., van Heugten, C. M., Jolles, J., & van den Heuvel, W. J. (2007). Occurrence and measurement of transfer in cognitive rehabilitation: A critical review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39, 425–439.
- Hellgren, L., Samuelsson, K., Lundqvist, A., & Börsbo, B. (2015). Computerized training of working memory for patients with acquired brain injury. *Open Journal of Therapy and Rehabilitation*, 3, 46–55.
- Hempel, A., Giesel, F. L., Garcia Caraballo, N. M., Amann, M., Meyer, H., Wüstenberg, T., Essig, M., & Schröder, J. (2004). Plasticity of cortical activation related to working memory during training. *The American Journal of Psychiatry*, 161, 745–747.
- Hinkeldey, N. S., & Corrigan, J. D. (1990). The structure of head-injured patients' neurobehavioral complaints: A preliminary study. *Brain Injury*, 4, 115–133.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12, 9–15.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 827–836.
- Hubacher, M., Weiland, M., Calabrese, P., Stoppe, G., Stöcklin, M., Fischer-Barnicol, D., Opwis, K.,

- & Penner, I. K. (2013). Working Memory Training in Patients with Chronic Schizophrenia: A Pilot Study. *Psychiatry Journal*, ID: 154867.
- 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.
- Johansson, B., Berglund, P., & Rönnbäck, L. (2009). Mental fatigue and impaired information processing after mild and moderate traumatic brain injury. *Brain Injury*, 23, 1027–1040.
- Johansson, B., & Tornmalm, M. (2012). Working memory training for patients with acquired brain injury: effects in daily life. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 19, 176–183.
- Jokinen, H., Melkas, S., Ylikoski, R., Pohjasvaara, T., Kaste, M., Erkinjuntti, T., & Hietanen, M. (2015). Post-stroke cognitive impairment is common even after successful clinical recovery. *European Journal of Neurology*, 22, 1288–1294.
- Jolles, D. D., Grol, M. J., Van Buchem, M. A., Rombouts, S. A., & Crone, E. A. (2010). Practice effects in the brain: Changes in cerebral activation after working memory practice depend on task demands. *Neuroimage*, 52, 658–668.
- Jonides, J. (2004). How does practice make perfect? *Nature Neuroscience*, 7, 10–11.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology Review*, 17, 213–233.
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science*, 18, 614–621.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, 12, 978–990.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: A meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, 25, 2027–2037.
- Kennedy, M. R., Coelho, C., Turkstra, L., Ylvisaker, M., Moore Sohlberg, M., Yorkston, K., Chiou, H. H., & Kan, P. F. (2008). Intervention for executive functions after traumatic brain injury: A systematic review, meta-analysis and clinical recommendations. *Neuropsychological Rehabilitation*, 18, 257–299.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 317–324. doi:10.1016/j.tics.2010.05.002
- Klingberg (2012). Is working memory capacity fixed? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 1, 194–196. doi:10.1016/j.jar-mac.2012.07.004.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., Gillberg, C. G., Forsberg, H., & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD – A Randomized, Controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177–186.
- Klingberg, T., Forsberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
- Klingberg, T., & Roland, P. E. (1998). Right prefrontal activation during encoding, but not during retrieval, in a non-verbal paired associates task. *Cerebral Cortex*, 8, 73–79.
- Kolb, B., & Whishaw, I. (2009). *Fundamentals of Human Neuropsychology* (6. painos). New York: Worth Publishers.
- Kremen, W. S., Jacobsen, K. C., Xian, H., Eisen, S. A., Eaves, L. J., Tsuang, M. T., & Lyons, M. J. (2007). Genetics of verbal working memory processes: A twin study of middle-aged men. *Neuropsychology*, 21, 569–580.
- Kumpuniemi, M. (2016). Työmuistikuntoutuskokeilu aivoverenkiertohäiriö- ja aivovammapotilailla. Psykologian liusensiaatin tutkimus. Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta, Psykologia. Turun yliopisto: Turku.
- Kyllönen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389–433.
- Lezak, M. D. (1982) The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281–297.
- Lundqvist A., Grundström, K., Samuelsson, K., & Rönnbäck, J. (2010). Computerized training of working memory in a group of patients suffering from acquired brain injury. *Brain Injury*, 24, 1173–1183.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York, NY: Basic Books.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: A review and future directions. *Neuropsychology Review*, 19, 504–522.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A Theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, 136, 659–676.
- Mangels, J. A., Craik, F. I. M., Levine, B., Schwartz, M. L., & Stuss, D. T. (2002). Effects of divided attention on episodic memory in chronic traumatic brain injury: A function of severity and strategy. *Neuropsychologia*, 40, 2369–2385.
- Manly, T., & Murphy, F. C. (2012). Rehabilitation of executive function and social cognition impairments after brain injury. *Current Opinion in Neurology*, 25, 656–661.
- Mateer, C., Sohlberg, M. M., & Crinean, J. A. (1987). Focus on clinical research: Perceptions of memory function in closed head injury. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 2, 74–84.
- Mateer, C., Sohlberg, M. M., & Youngman, P. K. (1990). The management of acquired attention and memory deficits. Teoksessa R. L. Wood & I.

- Fussey (toim.), *Cognitive rehabilitation in perspective* (s. 68–95). New York: Taylor & Francis.
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forssberg, H., & Klingberg, T. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323, 800–802.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49, 270–291.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63, 81–97.
- 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, 49–100.
- Mojzisch, A., Krumm, S., & Schultze, T. (2014). Do high working memory groups perform better? A conceptual approach linking individual differences in working memory capacity to group performance. *Journal of Personnel Psychology*, 13, 134–145.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111–121.
- 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.
- Neubauer, A. C., Bergner, S., & Schatz, M. (2010). Two- vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, 38, 529–539.
- Nikolic, D., & Singer, W. (2007). Creation of visual long-term memory. *Perception & Psychophysics*, 69, 904–912.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity - Facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29, 1017–1045.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2008). Which working memory functions predict intelligence? *Intelligence*, 36, 641–652.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75–79.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., Howard, R. J., & Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465, 775–778.
- Park, N. W., Moscovitch, M., & Robertson, I. H. (1999). Divided attention impairments after traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, 37, 1119–1133.
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). *Transfer of Learning*. International Encyclopedia of Education (2. painos). Oxford, England: Pergamon Press.
- Peterson, L., & Peterson, M. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193–198.
- Pickering, S. J. (2006). *Working Memory and Education*. Burlington, MA: Academic Press.
- Podell, J. E., Sambataro, F., Murty, V. P., Emery, M. R., Tong, Y., Das, S., Goldberg, T. E., Weinberger, D. R., & Mattay, V. S. (2012). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory updating. *Neuroimage*, 62, 2151–2160.
- Pollack, I., Johnson, L., & Knaft, P. (1959). Running memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 57, 137–146.
- Prigatano, G. P. (1999). *Principles of neuropsychological rehabilitation*. New York, NY: Oxford University Press.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142, 359–379.
- Richmond, L. L., Morrison, A. B., Chein, J. M., & Olson, I. R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychology and Aging*, 26, 813–822.
- Robertson, I. H., & Murre, J. M. (1999). Rehabilitation of brain damage: Brain plasticity and principles of guided recovery. *Psychological Bulletin*, 125, 544–575.
- Rosti-Otajärvi, E. M., & Hämäläinen, P. I. (2014). *Neuropsychological rehabilitation for multiple sclerosis*. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2, CD009131.
- Salthouse, T. A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental Review*, 10, 101–124.
- Schmeichel, B. J., Volokhov, R. N., & Demaree, H. A. (2008). Working memory capacity and the self-regulation of emotional expression and experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 95, 1526–1540.
- Serino, A., Ciaramelli, E., Santantonio, A. D., & Ládavas E. (2007). A pilot study for rehabilitation of central executive deficits after traumatic brain injury. *Brain Injury*, 21, 11–19.
- Shah, P., & Miyake, A. (1999). Models of working memory: An introduction. Teoksessa A. Miyake & P. Shah (toim.), *Models of working memory: Mechanism of active maintenance and executive control* (s. 1–27). New York, NY: Cambridge University Press.
- Shell, D. F., Brooks, D. W., Trainin, G., Wilson, K. M., Kauffman, D. G., & Herr, L. M. (2010). The unified learning model: How motivational, cognitive, and neurobiological sciences inform best teaching practices. Heidelberg, London, New York: Springer Dordrecht.

- Shing, Y. L., Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2012). Memory updating practice across 100 days in the COGITO study. *Psychology and Aging, 27*, 451–461.
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*, 185–193.
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2010). Does working memory training generalize? *Psychologica Belgica, 50*, 245–276.
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin, 138*, 628–654.
- Shute, V. (1991). Who is likely to acquire programming skills? *Journal of Educational Computing Research, 7*, 1–24.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science, 283*, 1657–1661.
- Sohlberg, M. M., McLaughlin, K. A., Pavese, A., Heidrich, A., & Posner, M. I. (2000). Evaluation of attention process training and brain injury education in persons with acquired brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 22*, 656–676.
- Sola, T. (2014). Aivoinfarktipotilaiden työmuistin spontaani kuntoutuminen kuuden ja 12 kuukauden seurannassa. Pro gradu. Yhteiskunta- ja kulttuuritieteiden yksikkö. Tampereen yliopisto: Tampere.
- Soveri, A., Laine, M., Hämäläinen, H., & Hugdahl, K. (2011). Bilingual advantage in attentional control: Evidence from the forced-attention dichotic-listening paradigm. *Bilingualism: Language and Cognition, 14*, 371–378.
- Soveri, A., Rodriguez-Fornells, A., & Laine, M. (2011). Is there a relationship between language switching and executive functions in bilingualism? Introducing a within-group analysis approach. *Frontiers in Psychology, 2*, 183.
- Stuss, D. T. (2011). Traumatic brain injury: relation to executive dysfunction and the frontal lobes. *Current Opinion Neurology, 24*, 584–589.
- Süß, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability – and a little bit more. *Intelligence, 30*, 261–288.
- Sylvester, C.-Y. C., Wager, T. D., Lacey, S. C., Hernandez, L., Nichols, T. E., Smith, E. E., & Jonides, J. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia, 41*, 357–370.
- Tam, S.-F., & Man, W.-K. (2004). Evaluating computer-assisted memory retraining programmes for people with post-head injury amnesia. *Brain Injury, 18*, 461–470.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in pre-school children. *Developmental Science, 12*, 106–113.
- Thorndike, E. L., & Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychological Review, 8*, 247–261.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review, 114*, 104–132.
- Vallat, C., Azouvi, P., Hardisson, H., Meffert, R., Tessier, C., & Pradat-Diehl, P. (2005). Rehabilitation of verbal working memory after left hemisphere stroke. *Brain Injury, 19*, 1157–1164.
- Vallat-Azouvi, C., Weber, T., Legrand, L., & Azouvi, P. (2007). Working memory after severe traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society, 13*, 770–780.
- Vogt, A., Kappos, L., Calabrese, P., Stöcklin, M., Gschwind, L., Opwis, K., & Penner, I. K. (2009). Working memory training in patients with multiple sclerosis: A comparison of two different training schedules. *Restorative Neurology and Neuroscience, 27*, 225–235.
- Wechsler, D. (2012). WMS-IV -käsikirja. Helsinki: Psykologien Kustannus Oy.
- Weicker, J., Villringer, A., & Thöne-Otto, A. (2015). Can impaired working memory functioning be improved by training? A meta-analysis with a special focus on brain injured patients. *Neuropsychology, 30*, 190–212.
- Westerberg, H., Jacobaeus, H., Hirvikoski, T., Clevberger, P., Ostensson, M. L., Bartfai, A., & Klingberg, T. (2007). Computerized working memory training after stroke – A pilot study. *Brain Injury, 21*, 21–29.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory – A single-subject analysis. *Physiology & Behavior, 92*, 186–192.
- Wilson, B. A. (2008). Neuropsychological rehabilitation. *Annual Review of Clinical Psychology, 4*, 141–162.
- Wright, M. J., De Geus, E., Ando, J., Luciano, M., Posthuma, D., Ono, Y., Hansell, N., Van Baal C., Hiraishi, K., Hasegawa, T., Smith, G., Geffen, G., Geffen, L., Kanba, S., Miyake, A., Martin, N., & Boomsma, D. (2001). Genetics of cognition: Outline of a collaborative twin study. *Twin Research, 4*, 48–56.
- Ylinen, A., Jäkälä, P., & Hänninen, T. (2006). Kognitiivisten toimintojen neurobiologinen tausta. Teoksessa T. Erkinjuntti, K. Alhainen, J. Rinne & H. Soininen (toim.), *Muistihäiriöt ja dementia* (s. 60–77). Helsinki: Duodecim.
- Yntema, D. B. (1963). Keeping track of several things at once. *Human factors, 5*, 7–17.
- Åkerlund, E., Esbjörnsson, E., Sunnerhagen, K. S., & Björkdahl, A. (2013). Can computerized working memory training improve impaired working memory, cognition and psychological health? *Brain Injury, 27*, 1649–1657.