

**RASITTAVAN LIIKUNTASUORITUKSEN VAIKUTUS LASTEN JA NUORTEN
TYÖMUISTIIN**

Miro Nummijärvi

Liikuntalääketieteen kandidaatin tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

TIIVISTELMÄ

Nummijärvi, M. 2023. Rasittavan liikuntasuorituksen vaikutus lasten ja nuorten työmuistiin. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntalääketieteen kandidaatin tutkielma, 27 sivua, 3 liitettä

Työmuisti on tärkeässä roolissa kognitiivisissa toiminnoissa ja oppimisessa. Lyhytkestoisesta muistista poiketen työmuisti kykenee ylläpitämään ja prosessoimaan informaatiota samanaikaisesti. Liikunta vaikuttaa positiivisesti esimerkiksi muistista vastaavien aivoalueiden kokoon sekä tilavuuteen, BDNF-molekyylien lisääntymiseen, aivokuoren sähköiseen aktiivisuuteen ja aivoverenkierron lisääntymiseen. Rasittavalla liikunnalla on kohtuukuormitteista liikuntaa suurempi vaikutus kognitiiviseen suorituskyykyyn. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, onko rasittavalla liikuntasuorituksella positiivisia vaikutuksia lasten ja nuorten työmuistiin. Tämä tutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena.

Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen haku toteutettiin lokakuussa 2022 kolmeen tietokantaan: Medline (ovid), CINAHL ja SPORTDiscus. Yhteensä tuloksia saatiin 254, joista valikoitui viisi tutkimusta mukaan tähän systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen. Tutkimusten sisäänottokriteereinä olivat tutkimusasetelman soveltuvuus, yksittäinen ja rasittava liikuntasuoritus, tulosmuuttujana työmuisti, tutkittavat iältään 7–17-vuotiaita ja testien suorittaminen 60 minuutin sisällä interventiosta.

Tämän tutkimuksen tuloksena rasittavalla liikuntasuorituksella havaittiin olevan työmuistia heikentävä vaikutus välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen kahdessa tutkimuksessa. Yhdessä tutkimuksessa työmuisti kehittyi positiivisesti, mutta eron suuruutta alkumittaukseen ei ollut raportoitu. Yhdessä tutkimuksessa se pysyi muuttumattomana välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen. Positiivisia vaikutuksia lasten ja nuorten työmuistiin havaittiin 45–60 minuutin jälkeen suorituksesta, mutta tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu jokaisessa tutkimuksessa. Kahdessa tutkimuksessa työmuisti kehittyi 45 minuutin jälkeen. Yhdessä kahdesta tutkimuksesta työmuisti kehittyi 60 minuutin jälkeen ja toisessa se pysyi muuttumattomana. Kontrolli- ja interventoryhmien tai -kertojen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero kolmessa tutkimuksessa. Liikuntasuorituksen kestolla näytti olevan vaikutusta työmuistin kehittymiseen. Etenkin lyhyemmällä, noin 10–30 minuuttia kestäville liikuntasuorituksilla havaittiin olevan suurempi positiivinen vaikutus pidempikestoisiin, 60 minuuttia kestäviin suorituksiin verrattuna.

Tutkimuksen tulokset ovat aiempien samaa aihepiiriä käsittelevien katsausten ja meta-analyyysien kanssa osittain samansuuntaisia. Tämän ja aiempien tutkimusten perusteella työmuisti näyttäisi kehittyvän viiveellä vasta liikuntasuorituksen jälkeen. Ristiriitaisia tulokset ovat aiempien tutkimusten kanssa välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen mitattuna. Aiempien tutkimusten tutkimusjoukot ja liikunnan intensiteetti saattavat hieman poiketa tämän tutkimuksen tutkimusjoukosta ja intensiteetistä, mikä laskee vertailtavuutta. Tässä katsauksessa mukana olleiden tutkimusten laatu oli kohtalainen tai huono, joka alentaa tutkimuksen luotettavuutta. Lisää tutkimuksia pidemmistä, yli 30 minuuttia kestävästä liikuntasuorituksista suuremmalla otoskoolla kaivataan. Työmuistin kehitystä rasittavan liikuntasuorituksen jälkeen tulisi tutkia 30–60 minuutin jälkeen liikuntasuorituksesta viiveajan tarkempaan määrittelyyn.

Avainsanat: liikuntasuoritus, rasittava liikunta, kognitiivinen suorituskyyky, työmuisti, lapset ja nuoret

KÄYTETYT LYHENTEET

ADHD – Attention-deficit hyperactivity disorder, aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö

BDNF – Brain-derived neurotrophic factor, aivoperäinen hermokasvutekijä

DSST – Digit symbol substitution test

PACER - Progressive aerobic cardiovascular endurance test

RAVLT – Rey auditory-verbal learning test

TBI – Traumatic brain injury, traumaperäinen aivovamma

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 KOGNITIIVISET TOIMINNOT	2
2.1 Lasten ja nuorten aivojen kehitys	2
2.2 Työmuisti.....	3
2.2.1 Työmuistin mittarit.....	4
2.2.2 Työmuistiin vaikuttavat tekijät lapsilla ja nuorilla	6
3 LIIKUNTA JA SEN VAIKUTUKSET AIVOIHIN	8
3.1 Rasittava liikuntasuoritus	8
3.2 Liikunnan vaikutus aivojen anatomiaan ja fysiologiaan sekä työmuistiin	9
4 METODIT	11
4.1 Tutkimusten sisäänottokriteerit	11
4.2 Tiedonhaun kuvaus.....	12
4.3 Tutkimuksen laadunarviointi.....	13
5 TULOKSET	15
5.1 Valitut tutkimukset	18
5.2 Rasittavan liikunnan vaikutus työmuistiin	19
6 POHDINTA.....	21
6.1 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin.....	21
6.2 Luotettavuuden arviointi ja tutkimuseettiset näkökulmat	24
6.3 Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet	26
LÄHTEET	28

LIITTEET

Liite 1: Hakulauseke

Liite 2: Suomennettu Dwan ym. (2019) CONSORT 2010 laajennus satunnaistetuille ristikkäis-
tutkimuksille

Liite 3: Tutkimusten laadunarviointi

1 JOHDANTO

Aivot ovat ihmisen toimintoja säätelevä keskus, jonka lähettämiin hermoimpulsseihin päivittäiset toimintomme pohjautuvat. Aivot kuuluvat keskushermostoon, joka yhdessä ääreishermoston kanssa säätelevät koko kehomme toimintaa aina umpieritysrauhasten tasolta tuki- ja liikuntaelinten tasolle (Kenney ym. 2015). Lapsen ja nuoren aivot kehittyvät nopeaa vauhtia noin 20 ikävuoteen saakka (Banich & Compton 2018). Aivojen kehityksen kanssa käsi kädessä kulkee kognitiivinen kehitys, joka hiljalleen muovautuu aikuisen tasolle (Banich & Compton 2018)

Työmuisti on tärkeä osa ihmisen kognitiivisia toimintoja etenkin oppimisen näkökulmasta (Cowan 2014). Se auttaa meitä muistamaan esimerkiksi puhelinnumeroita tai osoitteita. Muita kognitiivisia toimintoja työmuistin lisäksi ovat esimerkiksi tarkkaavaisuus, muisti ja toiminnanohjaus, johon usein työmuisti lasketaan kuuluvaksi (Lorenzo Calvo ym. 2021). Informaation saapessa aivoihin, se säilyy työmuistissa sekunneista minuutteihin, jonka jälkeen se joko unohdetaan tai tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin (Purves ym. 2018).

Lasten ja nuorten säännöllinen fyysinen aktiivisuus vaikuttaa positiivisesti muun kehon lisäksi myös aivojen anatomiaan ja fysiologiaan (Chaddock ym. 2010a; Chaddock ym. 2010b; Chaddock ym. 2011). Liikunnan intensiteetillä ja kestolla on vaikutusta siihen, kuinka suuria positiivisia vaikutuksia liikunta aivoille tuottaa (Budde ym. 2010; Pontifex ym. 2009). Liikunnan ei tarvitse välttämättä olla toistuvaa, vaan myös yksittäisen rasittavan liikuntasuorituksen on havaittu vaikuttavan aivojen verenkiertoon esimerkiksi hippokampuksen alueella (Steventon ym. 2020). Juuri yksittäisten liikuntasuoritusten on havaittu vaikuttavan positiivisesti lasten kognitiivisiin toimintoihin (Donnelly ym. 2016).

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on selvittää, onko rasittavalla liikuntasuorituksella vaikutusta lasten ja nuorten työmuistiin. Tutkielmassa tarkastellaan yksittäistä, intensiteetiltään rasittavaa liikuntasuoritusta. Liikuntasuorituksen vaikutusta tarkastellaan vertaamalla työmuistin alku- ja loppumittausten eroja sekä vertaamalla interventoryhmää tai -suoritusta kontrolliryhmään tai -suoritukseen.

2 KOGNITIIVISET TOIMINNOT

Hämäläinen (2015) määrittelee kognitiivisiin toimintoihin kuuluvan kyvyn oppia ja muistaa asioita, kohdistaa suunnata ja ylläpitää tarkkaavaisuutta, suunnitella, suorittaa ja arvioida toimintoja sekä päätellä ja ratkaista ongelmia, ymmärtää ja käyttää kieltä sekä tunnistaa kohteita ja käyttää havaintoja jokapäiväiseen selviytymiseen. Hänen mukaansa kognitiivisen toimintojen kehittyminen on yksilöllistä ja yksilöllisiä eroja kognitiivisissa kyvyissä on havaittavissa.

2.1 Lasten ja nuorten aivojen kehitys

Aivojen kehitys alkaa jo varhain sikiöaikana ja kestää pitkälle aikuisuuteen asti (Kettunen ym. 2009). Geenien koodaamien muutosten lisäksi on ympäristöllä suuri merkitys aivojen kehityksessä ja muovautumisessa. Vaikutus voi olla niin positiivinen, kuin negatiivinenkin (Kettunen ym. 2009). Ympäristön aiheuttamia aivojen plastisuuden eli muovautuvuuden muotoja on kaksi: kokemusta odottava ja kokemuksesta riippuvainen (Banich & Compton 2018, 464; Mäntymaa ym. 2003). Mäntymaan ym. (2003) mukaan kokemusta odottava plastisuus on välttämättömyyden kriittisen kehitysvaiheen aikana, kun taas kokemuksesta riippuvainen kehitys on yksilöllisempää, kokemuksiin perustuvaa plastisuutta.

Aivojen anatomisia muutoksia lapsen varhaisen kehityksen aikana tapahtuu esimerkiksi aivojen kokonaistilavuudessa sekä harmaan ja valkean aineen määrässä (Kettunen ym. 2009). Harmaa aine sisältää solujen runko-osat, synapsit, dendriitit eli tuojahaarakkeet sekä aksonien terminaalien haarakkeet (Purves ym. 2018, 559). Valkea aine taas sisältää aksoneita eli viejähaarakkeita, jotka kuljettavat nopeasti informaatiota keskushermostosta ääreishermostoon ja päinvastoin (Purves ym. 2018, 15). Valkean aineen sisältämiä aksoneita ympäröi myeliinituppi, joka koostuu tiiviisti pakkautuneista hermotukisolusta, gliasoluista (Purves ym. 2018, 57). Myeliinitupet nopeuttavat hermoimpulssien johtumista, joka taas nopeuttaa informaation siirtymistä keskushermoston ja perifeerisen hermoston välillä (Kenney ym. 2015, 77–78)

Aivojen anatominen kehitys jatkuu läpi lapsuuden ja nuoruuden. Lenroot ym. (2007) havaitsivat pitkittäistutkimuksessa, että aivojen kokonaistilavuus kasvaa ja saavuttaa huippunsa naisilla noin 10,5 ikävuoden kohdalla ja miehillä noin 14,5 ikävuoden kohdalla. Barnea-Coral ym. (2005) tutkimuksen mukaan valkea aine kuitenkin lisääntyy vielä tämänkin jälkeen ja aivojen valkeaan aineen tiheys muuttuu edelleen vielä 19 ikävuoden kohdalla etuotsalohkon alueella.

Kyseisessä tutkimuksessa miehillä valkean aineen tilavuus kasvoi naisia nopeammin lapsuudessa, mutta saavutti huippunsa vasta 1–2 vuotta naisten huippua myöhemmin. Aivojen plastisuus alkaa kuitenkin hiljalleen hidastua ja väheneekin noin kymmenen vuoden ikäisillä (Chugani 1998), mutta kuten aiemmin todettiin, kehittyvät aivot vielä pitkälle aikuisuuteen, vaikka plastisuus alkaa hidastua. Plastisuuden hidastuminen ei kuitenkaan tarkoita aivojen anatomian ja fysiologian muovautumisen päättymistä, vaan vielä 16–18 ikävuoden kohdalla aivo kuoren aineenvaihduntaa tapahtuu (Chugani 1998).

Aivokuoren paksuuden muutokset näyttäisivät olevan yhteydessä älykkyydosamäärään. Shawin ym. (2006) tekemässä pitkittäistutkimuksessa etuivokuoren paksuuden lisääntyminen lapsuudessa ja ohentuminen nuoruudessa oli yhteydessä korkeampaan älykkyydosamäärään. Aivokuoren paksuuden muutokset eivät pääty lapsuuteen, vaan jatkuvat myös aikuisuudessa (Schnack ym. 2015). Schnack ym. (2015) havaitsivat tämän tutkimuksessaan tutkiessaan aikuisten aivokuoren paksuutta. Vaikka nuoruudessa etuivokuori ohentuu, alkaa se jälleen paksuuntumaan aikuisiällä, minkä on osoitettu olevan yhteydessä korkeampaan älykkyydosamäärään.

2.2 Työmuisti

Aivojen tallennuskeskuksen eli muistin, usein ajatellaan sisältävän vain pitkäkestoisen muistin, mutta todellisuudessa muisti on laajempi kokonaisuus, joka voidaan jakaa useampaan osa-alueeseen. Muistiliiton (s.a.) mukaan muistia voidaan jaotella esimerkiksi sen keston mukaan kolmeen eri muistin osa-alueeseen: aisti-, työ- ja säilömuistiin. Nämä voidaan edelleen jakaa pienempiin osiin. Aistimuisti voidaan jakaa ikoni-, kaiku sekä kosketusmuistiin ja säilömuisti tietomuistiin eli semanttiseen muistiin ja tapahtumamuistiin eli episodiseen muistiin. Muistin osa-alueet voidaan jaotella myös tallentamistavan mukaan deklaratiiiviseen (tiedostava muisti) ja nondeklaratiiiviseen (tiedostamaton muisti) (Purves ym. 2018, 645).

Muistia ei prosessoida vain yhdessä aivoalueessa, vaan se jakautuu useammalle aivokuoren alueelle. Aivojemme muistiprosessiin osallistuu monet eri aivolohkot, kuten hippokampuksen järjestelmä (hippokampus ja parahippokampaaliset alueet), etuotsalohkot, vasemman pääläen lohkot, amygdala eli manteliumake ja striatum eli aivojuovio (Banich & Compton 2018, 292). Muistin ja etenkin työmuistin prosessointiin tarvittavat aivoalueet riippuvat myös informaation

lähteestä (esim. auditiivinen tai visuaalinen) (Eriksson ym. 2015). Jos informaatio annetaan visuaalisesti, aktivoituu primaarinen näköaivokuori (V1) muita aivoalueita enemmän, kun taas auditiivisessa informaatiossa primaarinen kuuloaivokuori (A1) aktivoituu selkeästi muita alueita enemmän (Purves ym. 2018, 246, 282). Yksittäisistä aivokuoren alueista erityisesti dorsolateraalisen etuotsalohkon on osoitettu olevan merkittävä osa työmuistissa (Banich & Compton 2018, 292; Curtis & D'Esposito 2003).

Usein työmuistin nähdään kuuluvan osaksi lyhytkestoista muistia, mutta kuten Banich ja Compton (2018, 291) toteavat, kuuluu työmuistiin sana ”työ”. Cowan (2008) mukaan työmuisti voidaan määritellä kolmella tavalla, joista kaikissa työmuisti sisältää lyhytkestoisen muistin ja kognitiiviset toiminnot. Fardin ym. (2016) tutkimuksessa työmuistin määriteltiin olevan ”kykyä ylläpitää ja prosessoida informaatiota samanaikaisesti kognitiivisten tehtävien suorittamisen aikana”. Esimerkiksi luetun ymmärtäminen (Baddeley 1992; Banich & Compton 2018, 264) ja oppiminen (Baddeley 1992; Cowan 2014) vaativat työmuistia ja onkin havaittu, että muistihäiriöisillä ihmisillä on esimerkiksi vaikeuksia yhdistää juuri luettua tekstikappaletta edelliseen ja tulevaan tekstikappaleeseen (Banich & Compton 2018, 264).

Työmuisti ei kykene ylläpitämään useampaa informaatiota kerrallaan, vaan sen resurssit ovat rajalliset. Cowanin (2016a) mukaan ihminen kykenee ylläpitämään kolmea tai neljää erillistä asiaa tai asioista muodostettua työmuistissa välitöntä käyttöä varten. Työmuistin kapasiteetti on toki yksilöllinen ja jotkut kykenevät säilyttämään useampaa asiaa työmuistissaan (Cowan 2010). Työmuistia on mahdollista tukea pitkäkestoisella muistilla. Tämä on osoitettu esimerkiksi pidennetyllä digit span-testillä, jossa testin suorittaja toistaa saman numerosarjan joka suorituksen jälkeen ja jokaisen numerosarjan luettelon jälkeen sarjan loppuun lisätään yksi numero (Banich & Compton 2018, 263).

2.2.1 Työmuistin mittarit

Työmuistin mittareita on useita ja niistä osa mittaa työmuistin ohella jotain muuta kognition osa-alueita (Lezak ym. 2012, 402). Yksinkertaisin työmuistia mittaava testi on digit span -testi, joka voidaan toteuttaa joko etuperin luettuna (forward) tai takaperin luettuna (backwards) (Banich & Compton 2018, 263; Lezak ym. 2012, 409). Etuperin luettava testi ei niinkään mittaa työmuistia, vaan ennemminkin lyhytkestoista muistia. Takaperin luettavassa testissä taas tutkittavan on painettava numerosarja mieleen ja tämän jälkeen luettava se käänteisessä

järjestyksessä, joka mittaa paremmin työmuistia (Lezak ym. 2012, 403). Vaikka testien välinen reliabiliteetti vaihtelee Watersin ja Caplanin (2003) tutkimuksen mukaan, voidaan silti digit span -testiä pitää luotettavana mittausmenetelmänä.

Numero- ja kirjainsarjojen muistamista vaaditaan myös Sternbergin paradigmassa (Sternberg 1969). Sternbergin paradigmassa työmuistin kuormitusta voidaan kontrolloida testin aikana lisäämällä testiin muistettavia asioita esimerkiksi pidentämällä numero- tai kirjainsarjaa (Klabes ym. 2021). Sternbergin paradigma voidaan toteuttaa sekä visuaalisesti että auditiivisesti (Klabes ym. 2021). Sternbergin paradigman reliabiliteetista löytyy vähäistä tutkimustietoa, mutta kyseinen testi on laajasti käytetty neurotieteessä (Corbin & Marquer 2013). Snijderin (2021) tutkimuksessa osoitettiin, että Sternbergin paradigmalla voisi olla huono reliabiliteetti, joka voisi heikentää sen luotettavuutta. Täytyy kuitenkin huomioida, että Snijder (2021) itsekkin toteaa tuloksien johtuvan mahdollisesti tutkimusasetelmasta. Toisaalta Manoach ym. (2001) tekemä tutkimus ei suoranaisesti tarkastellut Sternbergin paradigman reliabiliteettia, mutta osoittaa terveiden tutkittavien saavan testikertojen välillä samanlaisia tuloksia. Kyseisen tutkimuksen otoskoko oli pieni ($n = 7$), joten Sternbergin paradigmasta ei löydy selkeää tutkimusta luotettavuudesta. Toisaalta testiä on käytetty useimmissa tutkimuksissa, joten sitä voidaan pitää validiteetiltaan hyvänä.

Toinen auditiivinen työmuistia mittaava testi on Rey auditory-verbal learning test (RAVLT) (Khosravi Fard ym. 2016). RAVLT-testi on tunnettu mittari, jota voidaan hyödyntää tutkittaessa ihmisen kykyä koodata, tallentaa ja palauttaa mieleen verbaalista informaatiota muistin eri vaiheissa (Khosravi Fard ym. 2016). RAVLT-testistä on monenlaisia versioita riippuen siitä, halutaanko tutkia välitöntä vai pidempiaikaisempaa mieleen palauttamista. Muiden testien tapaan myös RAVLT-testi on osoitettu olevan validiteetiltaan ja reliabiliteetiltaan hyvä mittari arvioimaan neuropsykologisia osa-alueita, kuten työmuistia (Magalhães ym. 2012)

Työmuistia mittaavat testit voivat samanaikaisesti mitata eri tekijöitä työmuistin lisäksi, kuten lyhytkestoista muistia tai tarkkaavaisuutta. Esimerkiksi digit symbol substitution (DSST) testissä arvioidaan tutkittavan tarkkaavaisuutta, motorista nopeutta ja visuaalisia toimintoja, johon kuuluu asioiden skannaaminen ja niiden kirjoittaminen ylös (Jaeger 2018). Aivojen yksittäinen osa-alue ei riitä testin suorittamiseen, vaan aivojen prosessoinnilta vaaditaan muun toiminnanohjauksen lisäksi työmuistia, jotta annetut numero-symboli-parit kyetään muistamaan (Jaeger 2018). Testi suoritetaan tyypillisesti paperilla ja kynällä ja sen kesto on noin 90–120 sekuntia

(Jaeger 2018) ja sillä on osoitettu olevan hyvä reliabiliteetti tutkimuskertojen välillä (Matarazzo & Herman 1984, Rosanon ym. 2016 mukaan). Testin oppimisefektiä voidaan minimoida vaihtamalla joka testin välillä numero-symboli-parit (Samuel ym. 2017).

2.2.2 Työmuistiin vaikuttavat tekijät lapsilla ja nuorilla

Työmuistin toimintaan ja sen kapasiteettiin vaikuttaa iän lisäksi hyvin moni muu tekijä sisäisesti tai ulkoisesti. Blasiman ja Was (2018) tekivät katsauksen, jossa tarkasteltiin työmuistiin vaikuttavia sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä. Heidän mukaansa yhteensä 21 eri tekijää voi vaikuttaa työmuistin suorituskykyyn. Työmuistin suorituskykyyn vaikuttavat tekijät voivat olla joko akuutteja (A) tai kroonisia (K) ja niiden muokattavuus on eri tasoista. Näistä tekijöitä ja niiden vaikutuksista lasten ja nuorten työmuistiin on kirjattuna oleellisimmat tekijät taulukkoon 1.

Eri tekijöistä erityisesti ikä näyttäisi olevan merkittävä tekijä työmuistissa. Cowan (2016b) pisteytti uudelleen Gathercolen ym. (2004) tutkimuksessa saadut tulokset työmuistin kehityksestä lapsilla ja nuorilla. Tulokseksi hän sai, että 4–15-ikävuoden välissä työmuisti kehittyi lineaarisesti. Cowanin (2016b) mukaan tutkimukset osoittavat työmuistin kehityksen pysähtyvän 15 ikävuoteen. Toisaalta Tamnesin ym. (2013) tutkimus osoittaa työmuistin jatkavan kehitystään tilastollisesti merkitsevällä erolla vielä noin 20-vuotiaaksi asti, mutta työmuistin vuotuinen kehitys laskee sitä enemmän, mitä vanhemmaksi ihminen tulee.

TAULUKKO 1. Osa työmuistiin vaikuttavista tekijöistä (Blasiman & Was 2018)

Tekijä	Vaikutus
Älykkyys (K)	Korkeampi yleinen älykkyys ja työmuisti liittyvät vahvasti toisiinsa
Ikä (K)	Korkeampi ikä vaikuttaa negatiivisesti työmuistin suorituskykyyn aikuisilla. Lapsilla työmuisti kehittyy lapsuudessa ja nuoruudessa (Cowan 2016b; Tamnes ym. 2013)
Sukupuoli (K)	Tulokset ovat epävarmoja
Persoonallisuus (K)	Esimerkiksi ekstrovertit saavat parempia tuloksia työmuistin testeissä ja neuroottiset ihmiset huonompia tuloksia

Mielenterveyshäiriöt ja sairaudet (K)	Työmuistia alentavia mielenterveyshäiriöitä ja sairauksia ovat esimerkiksi: ADHD, skitsofrenia, OCD, PTSD, autismi, epilepsia, MS-tauti, selkärankahalkio, trauma-peräinen aivovamma (TBI)
Stressi ja ahdistus (A)	Ahdistuksella ja korkealla stressillä on negatiivisia vaikutuksia työmuistiin
Emootio ja motivaatio (A)	Negatiivisilla emootioilla on heikentävä vaikutus. Korkeampi motivaatio taas parantaa työmuistia
Uni (epävarma)	Univajeella negatiivinen vaikutus
Liikunta (A)/(K)	Tulokset ovat ristiriitaisia
Ruokavalio (A)/(K)	Tulokset näyttäisivät olevan lyhytkestoisia ja ravintoaineriippuvaisia. Glukoosilla voi olla lyhytkestoisia hyötyjä

3 LIIKUNTA JA SEN VAIKUTUKSET AIVOIHIN

Liikunta nähdään osaksi fyysistä aktiivisuutta, joka on energiaa kuluttavaa lihasten tahdonalaista liikuttamista (Käypä hoito -työryhmä Liikunta 2015, THL 2020). Säännöllisellä liikunnalla on lukuisia terveydellisiä ja hyvinvoinnillisia vaikutuksia (Biddle ym. 2000; Warburton ym. 2006) Liikuntasuoritus poikkeaa kroonisesta, useasti toistuvasta ja pitkällä aikavälillä tapahtuvasta liikunnasta kertaluonteisuudellaan (Sellami ym. 2018). Liikuntasuoritus voi kestoltaan ja intensiteetiltään olla vaihtelevaa, mutta luonteensa takia se toistuu vain kerran.

3.1 Rasittava liikuntasuoritus

Liikunnan intensiteettiä voidaan määritellä subjektiivisesti yksilön tuntemusten kautta tai objektiivisesti erilaisin mittarein. Objektiivisiä mittausten menetelmiä, jotka antavat absoluuttisia lukuja, ovat esimerkiksi hapenkulutus litroina minuutissa, sydämen lyönnit minuutissa, teho watteina ja liikkumisen nopeus m/s tai km/h (MacIntosh ym. 2021). Tutkimuksissa, joissa pyritään saavuttamaan rasittavan liikunnan intensiteetti, suositellaan käytettävän objektiivisiä mittareita, sillä subjektiivinen kokemus liikunnan rasittavuudesta on lapsilla hyvin yksilöllinen (Cowden & Plowman 1999). Terveiden ja hyvinvoinninlaitoksen eli THL:n (2021) mukaan subjektiivisesti mitattuna rasittava liikunta voidaan määritellä sellaisena tasona, jossa ihminen hengästyy paljon ja puhuminen on liikunnan aikana vaikeaa.

Objektiivisesti mitattuna rasittavalle liikunnalle voidaan asettaa tarkat rajat esimerkiksi MET (metabolic equivalent) -arvojen, sykereservin tai sydämen sykkeen avulla. THL:n (2021) määritelmän mukaan liikunta on rasittavaa, jos se ylittää 77 prosenttia maksimisykkeestä. MacIntoshin ym. (2021) mukaan rasittavaa liikuntaa voidaan objektiivisesti mitata sykkeen lisäksi myös MET-arvoilla, kävelynopeudella ja sykereservillä. Heidän mukaansa liikunta on rasittavaa, kun MET-arvot ylittävät arvon kuusi, sykereservi on 60–84 prosenttia tai kävelynopeus on 6,4 km tunnissa. Täytyy kuitenkin huomioda, että edellä mainituista etenkin kävelynopeus on hyvin suhteellinen, eikä sitä välttämättä kannata hyödyntää intensiteetin objektiiviseen mittamiseen. MET-arvot ja sykereservi perustuvat laskelmiin eli ne ovat sydämen sykkeen tavoin yksilöllisiä, minkä vuoksi niitä voidaan hyödyntää myös lasten ja nuorten liikunnan intensiteetin määrittelemisessä.

Rasittavan liikunnan taso voidaan saavuttaa eri liikuntamuodoilla. Kestävyysliikunnalla intensiteetti voi olla kuitenkin helpompi ylläpitää. Rasittavasta liikunnasta esimerkkejä MacIntoshin ym. (2021) mukaan ovat esimerkiksi juoksu, nopea uinti ja painavan taakan kantaminen portaissa. Tutkimuksissa rasittavan liikunnan taso voidaan helposti saavuttaa esimerkiksi polkupyöraergometrilla. Halutessaan polkupyöraergometrilla voidaan saavuttaa submaksimaalinen tulos tai todellinen maksimi, jossa tutkittava ei kykene enää ylläpitämään haluttua nopeutta (Jones ym. 1985). Polkupyöraergometri vaatii paljon resursseja, mutta esimerkiksi kouluympäristössä voidaan hyödyntää yksinkertaisempia, vähemmän resursseja vaativia testejä, kuten 20 m viivajuoksu (Léger ym. 1988).

3.2 Liikunnan vaikutus aivojen anatomiaan ja fysiologiaan sekä työmuistiin

Liikunta saa aikaan aivoissa lukuisia anatomisia ja fysiologisia muutoksia. Tutkimusta liikunnan aikaansaamista anatomisista muutoksista on etenkin hippokampuksen alueella tehty paljon. Hertingin ja Chun (2017) mukaan lapsilla ja nuorilla tehdyt tutkimukset ovat samansuuntaisia aikuisilla ja ikääntyneillä tehtyjen tutkimusten kanssa. Etenkin hippokampuksen kokoon ja tilavuuteen liikunnan on havaittu vaikuttavan positiivisesti myös lapsilla ja nuorilla. Kantomaan ym. (2018) katsauksen mukaan juuri hippokampuksen alueella on havaittu hiussuonten ja hermosolujen määrän lisääntymistä. Aivojen anatomiset muutokset eivät rajoitu ainoastaan hippokampuksen tilavuuden muutoksiin, vaan Chaddock ym. (2010a;2010b;2011) ovat useissa tutkimuksissaan osoittaneet hyvän kestävyyskunnan vaikuttavan positiivisesti myös basaali-ganglioiden kokoon 9–10-vuotiailla lapsilla. Basaaligangliot ovat osana liikkeiden ja liikesarjojen suunnittelussa, oppimisessa sekä muistamisessa (Jehkonen & Saunamäki 2015, 36)

Anatomisten muutosten lisäksi liikunta aktivoi monien aivojen molekyylien lisääntymistä ja tuotantoa (Cerqueira ym. 2020). Viime aikoina etenkin aivoperäinen hermokasvutekijä (BDNF) on noussut tutkimuksissa mielenkiinnon kohteeksi olemalla yksi tärkeimmistä muistiin liittyvistä molekyyleistä (Bekinschtein ym. 2014). Galloway ym. (2008) katsauksessaan ehdottavatkin BDNF:n olevan yksi mahdollinen tekijä työmuistin signaloinnissa. Aivojen plastisuus eli kyky muovautua on liitännäinen BDNF:n määrään, sillä useimmat tutkimukset osoittavat BDNF:n olevan osa aivojen plastisuutta (Miranda ym. 2019). Bramhamin ja Messaoudin (2005) mukaan BDNF voi olla osana synapsien lujittumista, joka tukee muistojen syntymistä ja ylläpitoa. Kohtuukuormitteisella tai rasittavalla säännöllisellä tai akuutilla liikunnalla on havaittu

olevan positiivinen yhteys BDNF:n määrään lapsilla ja nuorilla (Azevedo ym. 2020; Latomme ym. 2022).

Anatomisten ja kemiallisten muutosten lisäksi liikunta saa aikaan fysiologisia muutoksia. Esimerkiksi Davis ym. (2011) havaitsivat 13 viikkoa kestäneen liikuntaintervention vaikuttaneen aivojen aktiivisuuteen ylipainoisilla lapsilla. Myös lyhyemmällä, yksittäisillä liikuntasuorituksilla on havaittu aivojen sähköistä toimintaa lisääviä vaikutuksia. Schneiderin ym. (2009) tutkimuksessa 15 minuutin kohtuukuormitteisella liikunnalla havaittiin tilastollisesti merkitsevä muutos aivojen aktiivisuudessa välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen. Aivojen sähköisen aktiivisuuden lisääntymisen lisäksi on liikunnalla havaittu olevan myös aivoverenkiertoa lisäävä ja kiihdyttävä vaikutus (Querido & Sheel 2007). Aivoverenkierron lisääntymisen ehdotetaan olevan yksi mahdollinen mekanismi, joka selittäisi liikunnan jälkeisen toiminnanohjauksen kehittymisen (Tari ym. 2020)

Etenkin liikunnan intensiteetillä näyttäisi olevan merkitystä työmuistin kehittymisen kannalta. Pontifex ym. (2009) tutkimuksessaan havaitsivat yksittäisen rasittavan aerobisen harjoittelun laskevan Sternbergin testissä vastausaikaa kohtuukuormitteista voimaharjoittelua enemmän noin 20-vuotiailla tutkittavilla. Molemmissa ryhmissä vastausaika laski tilastollisesti merkitsevästi 30 minuuttia suorituksen jälkeen, mutta rasittavan suorituksen toteuttaneen ryhmän lasku oli suurempaa. Toisaalta Budde ym. (2010) ovat saaneet päinvastaisia tuloksia. Heidän tutkimuksessaan kohtuukuormitteista 12 minuutin juoksumatkaa suorittanut ryhmä suoriutui rasittavaa testiä suorittanutta ryhmää paremmin työmuistia mittaavassa letter digit span -testissä. Mielienkiintoista on se, kun tutkittavat jaettiin alkutilanteen kognitiivisen suorituskyvyn mukaan parempiin ja huonompiin suorittajiin, hyötyivät huonommat suorittajat paremmin suoriutuvia enemmän rasittavasta liikunnasta.

4 METODIT

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on selvittää, vaikuttaako yksittäinen intensiteetiltään rasittava liikuntasuoritus lasten ja nuorten työmuistiin. Tämä työ toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena.

4.1 Tutkimusten sisäänottokriteerit

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen sisäänotto- ja poissulkukriteerit luotiin aiemman tutkimustiedon pohjalta. Sisäänottokriteerit muodostuivat kuudesta osa-alueesta, joita olivat liikunnan kertaluonteisuus, liikunnan intensiteetti, mittausten ajankohta, tutkimusasetelman soveltuvuus, lopputulosmuuttujana työmuisti ja ikäryhmänä 7–17-vuotiaat. Taulukko 2 kuvaa sisäänotto- ja poissulkukriteerit kootusti.

TAULUKKO 2. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit.

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Interventiokertoja on yksi (1)	Interventiokertoja on useampi (>1)
Intensiteetiltään rasittavaa (>77 % HR _{max})	Intensiteetiltään matala- tai kohtuukuormitteista (<77 % HR _{max})
Kognitiiviset testit suoritettu ennen interventiota ja 60 minuutin sisällä interventiosta	Kognitiiviset testit on suoritettu yli 60 minuutin jälkeen interventiosta
Satunnaistettu kontrolloitu tutkimus (RCT), satunnaistettu ristikkäistutkimus tai interventiotutkimus	Ei satunnaistettu kontrolloitu tutkimus, satunnaistettu ristikkäistutkimus tai interventiotutkimus
Lopputulosmuuttujana työmuisti	Lopputulosmuuttujana jokin muu
Tutkittavat iältään terveitä 7–17-vuotiaita	Tutkittavat alle 7-vuotiaita tai yli 17-vuotiaita tai heillä on aivojen toimintaan vaikuttava sairaus

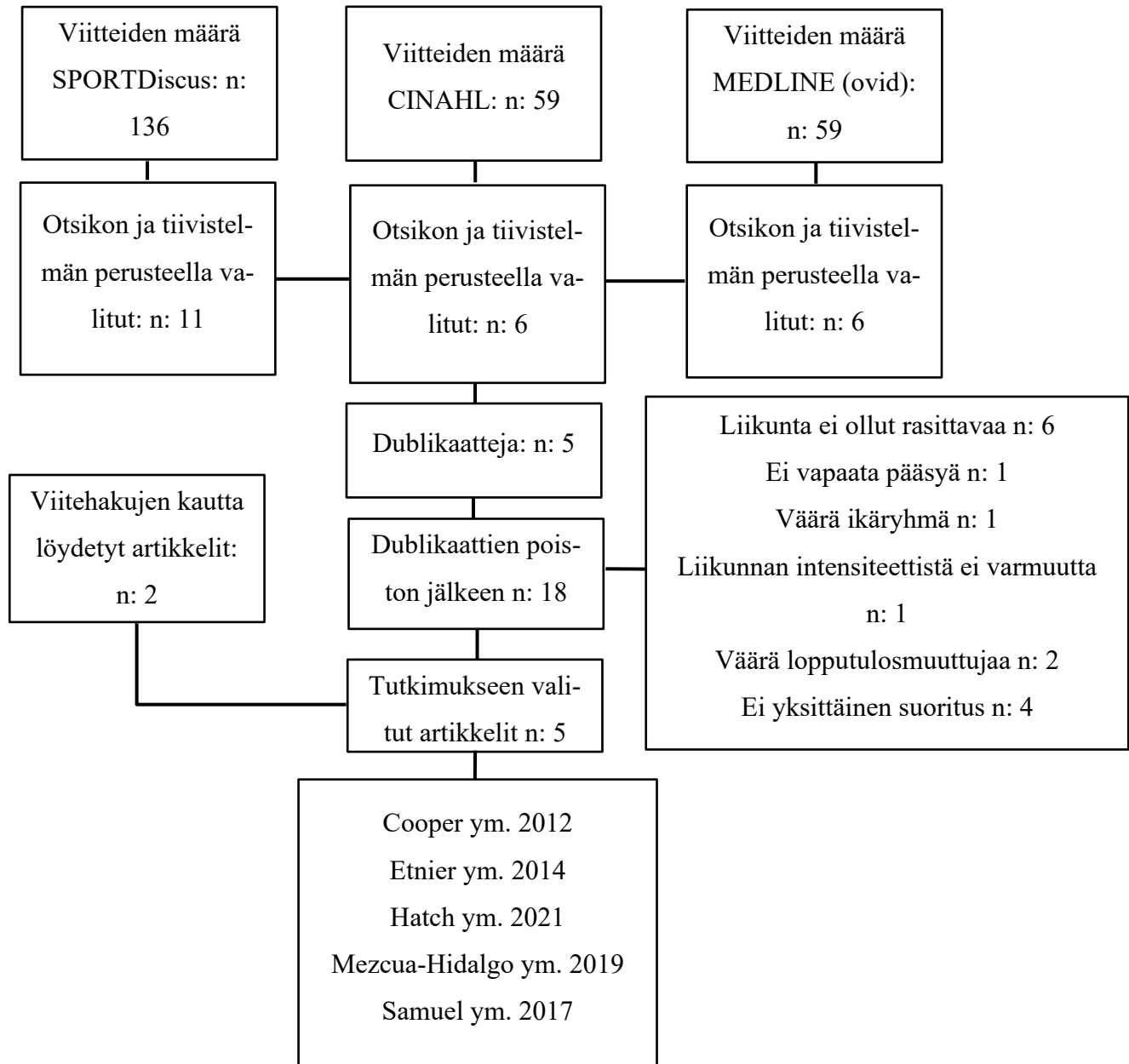
HR_{max} = maksimisyke

4.2 Tiedonhaun kuvaus

Tiedonhaussa pyrittiin löytämään tutkimusartikkeleita, jotka vertailevat interventioryhmän tai -suorituksen ja kontrolliryhmän- tai suorituksen eroja. Kirjallisuuskatsaukseen otettiin mukaan satunnaistettuja kontrolloituja tutkimuksia, satunnaistettuja ristikkäistutkimuksia ja interventiitutkimuksia. Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen haku suoritettiin 7.10.2022 MEDLINE (ovid), CINAHL ja SPORTDiscus tietokantoihin samoilla hakulausekkeilla. Hakulauseke muodostettiin kuudesta osasta, jotka kuvasivat fyysistä aktiivisuutta, liikunnan intensiteettiä, aktiivisuuden kertaluontoisuutta, tulosmuuttujaa, kohderyhmää ja tutkimusasetelmaa. Hakulauseke löytyy liitteestä 1.

Hakulausekkeella saatiin kolmesta tietokannasta yhteensä 254 tutkimusta: MEDLINE (ovid) n = 59, CINAHL n = 59 ja SPORTDiscus n = 136. SPORTDiscus ja CINAHL-tietokannoissa hakua rajattiin valitsemalla ”peer reviewed” rajatakseen vain vertaisarvioidut artikkelit mukaan. Molemmista tietokannoista oli valittu kohta ”apply equivalent subjects” pois. Kaikista tutkimuksista (n = 254) 170 suljettiin pois otsikon perusteella ja 27 tiivistelmän perusteella, koska niissä ei ollut soveltuvaa tutkimusasetelmaa, interventiokertoja oli useampia tai ikäryhmä oli väärä. Poissulkemisen jälkeen jäljelle jäi 18 tutkimusta, jotka luettiin kokonaan. Lopulta katsaukseen valikoitui kolme tutkimusta haun kautta.

Viitehaun kautta löytyi kaksi tutkimusta (Cooper ym. 2012 & Etnier ym. 2014). Tutkimukset löytyivät Donnelly ym. (2016) systemaattisesta kirjallisuuskatsauksesta. Kyseisiä tutkimuksia hyödynnettiin Donnelly ym. (2016) tutkimuksen viitekehyksessä ja niistä molemmat tutkimukset täyttivät sisäänottokriteerit, joten ne valittiin mukaan. Tähän systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen valikoitui siis yhteensä viisi tutkimusta. Tarkempi kuvaus haun toteuttamisesta ja artikkelien poissulkemisen syistä löytyvät kuvasta 1.



KUVA 1. Flow-kaavio

4.3 Tutkimuksen laadunarviointi

Tutkimusten laadunarvioinnissa käytettiin kahta laadunarvioinnin menetelmää erilaisten tutkimusasetelmien vuoksi. Satunnaistetut kontrolloidut tutkimukset arvioitiin Furlanin ym. (2015) kriteeristön mukaan. Satunnaistetut ristikkäistutkimukset ja interventiotutkimus arvioitiin hyödyntäen Moherin ym. (2010) CONSORT 2010 -tarkistuslistaa, johon sovellettiin Dwanin ym. (2019) ehdottamaa laajennusta, joka kattaisi paremmin myös satunnaistetut ristikkäistutkimukset. Laadunarvioinnin kriteerit CONSORT 2010 -tarkistuslistasta löytyvät liitteestä 2.

Kirjallisuuskatsaukseen valituista artikkeleista kaksi oli RCT-tutkimuksia (Etnier ym. 2014; Mezcuca-Hidalgo ym. 2019), kaksi satunnaistettua ristikkäistutkimusta (Cooper ym. 2012; Hatch ym. 2021) ja yksi interventiotutkimus ilman kontrolliryhmää tai -suoritusta (Samuel ym. 2017). Tutkimukset olivat vertaisarvioituja ja ne oli julkaistu vuosina 2012–2021. Tutkimusten laatu vaihteli huonosta (0–6 pistettä) kohtalaiseen (7–10 pistettä). RCT-tutkimuksista yksi oli kohtalainen ja yksi huonolaatuinen. RCT-tutkimusten laadunarviointi löytyy liitteestä 3.

RCT-tutkimusten heikkoutena oli sokkouttamisen ja tarkemmin sen riittävän raportoinnin puute. Tämän kaltaisissa tutkimuksissa tutkittavia ja hoidon antajia on vaikea sokkouttaa, koska kyseessä on liikuntainterventio. Etenkin, jos kontrolliryhmä tekee selvästi erilaisia harjoitteita verrattuna interventioryhmään. Molemmissa tutkimuksissa tutkittavat oli satunnaistettu interventio ja kontrolliryhmään, mutta satunnaistamismenetelmää ei ollut mainittu, jonka vuoksi satunnaistamismenetelmä jouduttiin arvioimaan epävarmana.

Satunnaistetuissa ristikkäistutkimuksissa heikkouksina olivat raportoinnin puute esimerkiksi satunnaistamismenetelmän ilmoittamisessa. Tutkimusten yleistettävyyttä oli huono pienen ja rajatun otoskoon vuoksi. Toisaalta tutkittavia oli useammasta eri maasta, joka hieman lisää yleistettävyyttä. RCT-tutkimusten tapaan hoidon antajia tai osallistujia ei ollut sokkoutettu. Cooperin ym. (2012) tutkimuksessa tutkittavat olivat kuitenkin sokkoutettu testipäivän alkuun asti, mutta testien alettua tutkittavat varmasti tiedostivat, kumpi testikerroista on kyseessä. Samuelin ym. (2017) tutkimus arvioitiin ristikkäistutkimusten tapaan, vaikka kyseessä ei ollut ristikkäistutkimus. Kaikki ristikkäis- ja interventiotutkimuksista olivat laadultaan kohtalaisia (12–14 pistettä). Satunnaistettujen ristikkäistutkimusten ja interventiotutkimuksen laadunarviointi löytyy liitteestä 3.

5 TULOKSET

Tähän systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen mukaan otetuista artikkeleista kaksi oli RCT-tutkimuksia, kolme satunnaistettuja ristikkäistutkimuksia ja yksi tutkimus, jossa tutkittava ryhmä ei toiminut myöskään kontrolliryhmänä. Intervention harjoitusmuoto ja kesto vaihteli paljon tutkimusten välillä. Suurin osa ($n = 3$) hyödynsi muunneltua 20 metrin viivajuoksua. Loput tutkimukset hyödynsivät joko monta lajia yhdistelevää valvottua korkean intensiteetin harjoittelua (C-HIIT) tai polkupyöraergometria. Liikuntasuorituksen kesto vaihteli 10–60 minuutin välillä. Pienin otoskoko oli 20 ja suurin 155. Yhteensä tutkittavia oli tässä katsauksessa mukana 339.

Sukupuolijakauma ja ikäväli tutkimuksissa vaihtelivat. Kolmessa tutkimuksessa tyttöjen ja poikien määrässä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta kahdessa tutkimuksessa merkitsevyyttä ei raportoitu, joten siitä ei ole varmuutta. Tutkittavien keskiarvoinen ikä vaihteli 8–17 välillä, joka oli sisäänottokriteerien mukainen. Tutkimusten tarkemmat tiedot ja tulokset ovat koottuna taulukkoon 3.

TAULUKKO 3. Tutkimusten tiedot ja tulokset

Tutkimus	Osallistujat (ikä vuosina)	Interventio (kesto)	Mittausmenetelmä	Mittausten ajoitus	Tulokset
Cooper ym. 2012	YHT: 45 (13,3 ± 0,3)	Muokattu Multi-stage fitness test (MSFT) (10 min)	Sternbergin paradigma	Pre: 30 min ennen Post: 45 min jälkeen	INT: Sternbergin paradigma (VA) ↓ (**) KON: Sternbergin paradigma (VA) ↑ (**) INT vs. KON *
Etnier ym. 2014	YHT: 43 (ER) INT: 19 (ER) KON: 24 (ER)	Progressive aerobic cardiovascular Test (PACER) (9 min 53 s ± 2 min 39 s)	RAVLT	Pre: ER Post: välitön	INT: RAVLT ↑ (testit 3–5) INT vs. KON *
Hatch ym. 2021	YHT: 38 (12,4 ± 0,4)	Loughborough intermittent shuttle test (LIST) (30 min, 60 min tai lepo)	Sternbergin paradigma (1,3 & 5 muistetavaa asiaa)	Pre: 30 min ennen Post: välitön & 45 min jälkeen	INT (30 min): Sternbergin paradigma (1) (VA, välitön) ↑ INT vs. KON * Sternbergin paradigma (1) (VA, 45 min) ↓ INT vs. KON * Sternbergin paradigma (3) (VA, 45 min) ↓ INT vs. KON * INT (60 min): Sternbergin paradigma (5) (VA, välitön) ↔ INT vs. KON * Sternbergin paradigma (5) (VA, 45 min) ↔ INT vs. KON *

Mezcua-Hidalgo ym. 2019	YHT: 158 (14,06 ± 1,29) INT: 77 (13,88 ± 1,25) KON: 81 (14,20 ± 1,31)	INT: C-HIIT (20 min) KON: Staattinen venyttely	Ad hoc memory test & espanjalaisille sovitettu Reynold Intellectual Assasmet Scales (RIAS)	Pre: 40 min ennen Post: välitön & 60 min jälkeen	Ei merkitsevää muutosta alku- ja loppumittausten välillä Ei merkitsevää eroa interventio ja kontrolliryhmän välillä
Samuel ym. 2017	YHT: 20 (13,1 ± 2,4)	Polkupyöräergometri (10 min 15 s ± 1 min 15 s)	Digit span (etuperin & takaperin) RAVLT DSST	Pre: ER Post: välitön ja 60 min jälkeen	Digit span (etuperin) (60 min) ↑ (*) Digit span (takaperin) (60 min) ↑ (**) RAVLT (välitön) ↓ (*)

RCT = satunnaisesti kontrolloitu tutkimus
INT = interventioryhmä/ -suoritus
KON = kontrolliryhmä/ -suoritus

VA = vastausaika
ER = ei raportoitu

* = Tilastollisesti merkitsevä muutos, p < 0,05
** = Tilastollisesti merkitsevä muutos, p < 0,01

INT vs. KON * = tilastollisesti merkitsevä ero interventio ja kontrolliryhmän/-suorituksen välillä

5.1 Valitut tutkimukset

Pääosassa tutkimuksista toteutettiin 20 metrin viivajuoksutesti, jotka erosivat hieman toisistaan kestoltaan ja suoritusprotokollaltaan. Cooperin ym. (2012) tutkimuksessa tutkittavat suorittivat muunnellun version MSFT-testistä, jossa 7 x 20 m viivajuoksu 8,0 km/h nopeudella toistettiin 10 kertaa. Etnier ym. (2014) tutkimuksessa liikuntasuorituksena oli Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Test (PACER), jossa valtaosa testistä suoritetaan submaksimaalisella tasolla, mutta viimeisessä osassa suoritus nousee maksimaaliseksi. Hatchin ym. (2021) tutkimuksessa käytettiin LIST-testiä, joka etenee kävelystä juoksuun toistuen useamman kerran riippuen intervention kestosta (30 min vs 60 min).

Mezcua-Hidalgon ym. (2019) tutkimuksessa tutkittavat suorittivat C-HIIT harjoituksen, joka sisälsi hengitys- ja verenkiertoelimistöä kuormittavia harjoitteita. Interventoryhmässä olevien tuli ylläpitää vähintään 80 prosenttia heidän maksimisykkeestään 30 sekuntia kestäneen monitoroinnin aikana. Samuelin ym. (2017) tutkimuksessa maksimaalinen liikuntasuoritus toteutettiin polkupyöräergometrissa, jossa kuormaa nostettiin portaittain saavuttaakseen arvioidun maksimaalisen kuorman. Kontrolliryhmien ja -kertojen harjoitteet vaihtelivat. Osassa tutkimuksista ei kontrolliryhmällä tai -kerralla ollut mitään harjoitteita (Cooper ym. 2012; Etnier ym. 2014; Hatch ym. 2021), kun taas yksi kontrolliryhmistä suoritti staattista venyttelyä tutkimuksen aikana (Mezcua-Hidalgo ym. 2019).

Työmuistin mittaamiseen käytettiin useita erilaisia mittareita. Kahdessa (Cooper ym. 2012; Hatch ym. 2021) tutkimuksessa työmuistia mitattiin Sternbergin paradigmalla, kahdessa RAVLT-testillä (Etnier ym. 2014; Samuel ym. 2017) ja yhdessä (Mezcua-Hidalgon ym. 2019) Ad hoc muistitestillä ja espanjalaisiin sovitetulla Reynolds Intellectual Assesmet skaalalla (RIAS). Samuel ym. (2017) hyödynsivät RAVLT-testin lisäksi digit span testiä (etuperin ja takaperin) sekä DSST-testiä.

Liikuntasuoritusten jälkeisten mittausten ajankohta vaihteli. Liikuntasuorituksen jälkeiset mitaukset toteutettiin välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen neljässä tutkimuksessa (Cooper ym. 2012; Etnier ym. 2014; Mezcua-Hidalgo ym. 2019; Samuel ym. 2017), 45 minuutin jälkeen kahdessa (Cooper ym. 2012; Hatch ym. 2021) ja 60 minuutin jälkeen kahdessa tutkimuksessa (Mezcua-Hidalgo ym. 2019; Samuel ym. 2017). Kahdessa tutkimuksessa (Cooper ym. 2012;

Hatch ym. 2021) alkumittaukset suoritettiin 30 min ennen liikuntasuoritusta ja yhdessä (Mezcua-Hidalgo ym. 2019) 40 min ennen liikuntasuoritusta. Työmuistin alkumittausten ajan-kohtaa ei ollut raportoitu kahdessa tutkimuksessa (Etnier ym. 2014; Samuel ym. 2017).

5.2 Rasittavan liikunnan vaikutus työmuistiin

Rasittavan liikuntasuorituksen vaikutuksista lasten ja nuorten työmuistiin saatiin ristiriitaisia tuloksia. Interventio ja kontrolliryhmän tai -suoritusten välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero kolmessa tutkimuksessa (Cooper ym. 2017; Etnier ym. 2014; Hatch ym. 2021). Etnierin ym. (2014) tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä ero interventio- ja kontrolliryhmän välillä havaittiin ainoastaan testien 3–5 kohdalla. Hatchin ym. (2021) tutkimuksessa 30 minuutin interventioryhmässä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero interventio- ja kontrolliryhmien välillä vain testeissä, joissa käytettiin yhtä tai kolmea muistettavaa asiaa. Yhden muistettavan asian testissä ero oli tilastollisesti merkitsevä välittömästi ja 45 minuutin jälkeen mitattuna, kun taas kolmen muistettavan asian testissä tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin ainoastaan 45 minuutin jälkeen suoritettussa mittauksessa. 60 minuutin interventioryhmässä tilastollisesti merkitsevä ero interventio- ja kontrolliryhmän välillä havaittiin vain viiden muistettavan asian testissä, jossa 60 minuutin ryhmä sai muita ryhmiä huonommat tulokset.

Liikunnan aikaansaama muutos työmuistissa ilmeni välittömästi suorituksen jälkeen. Kahdessa tutkimuksessa (Hatch ym. 2021; Samuel ym. 2017) työmuisti heikkeni tilastollisesti merkitsevästi välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen verrattuna alkumittauksiin yhdellä mittarilla mitattuna. Mezcua-Hidalgon ym. (2019) tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen. Yhdessä tutkimuksessa (Etnier ym. 2014) työmuisti taas kehittyi välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen, mutta eron tilastollista merkitsevyyttä ei ole raportoitu. Täytyy kuitenkin huomioida, että kyseinen tutkimus oli laadultaan huonoin, joka voi osaltaan laskea sen luotettavuutta.

Viiveajan jälkeen tehdyissä tutkimuksissa tulokset olivat pääsääntöisesti positiivisia. Kahdessa tutkimuksessa (Cooper ym. 2012; Hatch ym. 2021) työmuisti kehittyi 45 minuutin jälkeen tehdyissä mittauksissa, joista Hatchin ym. (2021) tutkimuksessa vain 30 minuutin ryhmässä havaittiin työmuistin tilastollisesti merkitsevä kehittyminen. 60 minuutin jälkeen tehdyissä mittauksissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä kehitys yhdessä tutkimuksessa (Samuel ym. 2017).

Yhdessä tutkimuksessa (Mezcua-Hidalgo ym. 2019) tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu 60 minuutin jälkeen tehdyissä mittauksissa. Rasittavan liikuntasuorituksen vaikutukset työmuistiin eri mittausajankohtina on koottuna taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Tulosten yhteenveto

Tutkimus	Välitön	45 minuuttia	60 minuuttia
Cooper ym. 2012	ER	↑	ER
Etnier ym. 2014	(↑)	ER	ER
Hatch ym. 2021	↓	↑	ER
Mezcua-Hidalgo ym. 2019	↔	ER	↔
Samuel ym. 2017	↓	ER	↑
Yhteenveto	↓	↑	↑

ER = ei raportoitu
 ↑ tai ↓ = tilastollisesti merkitsevä muutos alku- ja loppumittausten välillä
 (↑) = positiivinen muutos, mutta eron tilastollista merkitsevyyttä alkumittauksiin ei ole raportoitu

6 POHDINTA

Tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa tavoitteena oli selvittää vaikuttaako rasittava liikuntasuoritus lasten ja nuorten työmuistiin. Rasittava liikuntasuoritus näyttäisi heikentävän työmuistia hetkellisesti välittömästi suorituksen jälkeen ja parantavan sitä 45–60 minuutin jälkeen.

6.1 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin

Tilastollisesti merkitseviä positiivisia tuloksia oli vähäisesti, mutta tämän tutkimuksen tuloksien mukaan noin 10–30 minuutin rasittava liikuntasuoritus näyttäisi vaikuttavan positiivisesti työmuistiin 45 minuutin jälkeen suorituksesta ja heikentävän sitä välittömästi suorituksen jälkeen. Tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tutkimusten kanssa. Katsauksia ja meta-analyysseja on aiheesta tehty muutamia, mutta usein tutkittavien joukko on iältään vastannut esimerkiksi nuoria aikuisia (Chang ym. 2012; Williams ym. 2019).

Työmuistin välittömästä heikentymisestä saadut tulokset ovat osittain ristiriidassa aiempien katsausten ja meta-analyysien kanssa. Williamsin ym. (2019) katsauksen ja Changin ym. (2012) meta-analyysin mukaan liikuntasuorituksella olisi välittömiä hyötyjä työmuistin suorituskykyyn. Täytyy kuitenkin huomioida, että kyseiset tutkimukset ovat tarkastelleet liikuntasuoritusta liikunnan intensiteetistä riippumatta, joka vähentää näiden tutkimusten vertailtavuutta tähän tutkimukseen. Chang ym. (2012) esimerkiksi toteavat, että matalakuormitteisella liikunnalla näyttäisi olevan välittömiä positiivisia vaikutuksia, kun taas rasittavan liikunnan hyödyt voivat ilmetä vasta viiveajan jälkeen. Tämän lisäksi kyseisten tutkimusten tutkittavien keskiarvoinen ikä ei ole täysin sama tämän tutkimuksen kanssa, joka vähentää vertailtavuutta.

Tutkimukset kuitenkin näyttäisivät olevan yksimielisiä työmuistin kehittämisestä viiveellä. Niin Changin ym. (2012) meta-analyysi, kuin Williamsin ym. (2019) katsaus ovat samansuuntaisia tämän tutkimuksen kanssa siitä, että työmuistin kehittyä vasta viiveajan jälkeen. Changin ym. (2012) meta-analyysissä suurin positiivinen kehitys havaittiin 11–20 minuuttia liikuntasuorituksen jälkeen, jonka jälkeen kehitys hidastui, mutta ei loppunut. Williamsin ym. (2019) katsauksessa taas työmuistin kehittyminen havaittiin lapsilla 25–30 minuutin viiveellä ja nuorilla 10–45 minuutin viiveellä. Tämän tutkimuksen tuloksien mukaan työmuisti kehittyisikin

viimeistään 45 minuutin jälkeen, joka on yhtenäinen aiempien tutkimusten kanssa. Näiden tulosten mukaan voitaisiin siis todeta työmuistin kehittyvän aikaisintaan noin 10 minuutin ja viimeistään 45 minuutin jälkeen.

Williamsin ym. (2019) katsauksessa liikuntasuorituksen kestolla oli merkitystä etenkin lapsilla. Alle 30 minuuttia kestäneiden suoritusten ei osoitettu parantavan työmuistia lapsilla. Nuorilla lyhyiden, 10–20 minuuttia kestävien suoritusten taas osoitettiin parantavan työmuistia. Tämä tulokset ovat nuorten osalta yhteneväisiä tämän tutkimuksen kanssa, mutta aiemmissa lapsilta saaduissa tuloksissa on ristiriita tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tutkittavien keskiarvoinen ikä vaihteli 12 ja 14 ikävuoden välillä. Tämä voi selittää, miksi tässä tutkimuksessa saadut tulokset ovat yhteneväisiä vain Williamsin ym. (2019) nuorilta saatujen tulosten kanssa, eivätkä myös lapsilta saatujen tulosten kanssa.

Kuten Williams ym. (2019) toteavat, voi lyhytkestoiset liikuntasuoritukset olla yliedustettuja tässä tutkimusaiheessa. Etenkin tämän kaltaisessa tutkimuksessa, jossa liikuntasuorituksen vaikutusta työmuistiin pyritään selvittämään, on lyhyt interventio helpompi sisällyttää esimerkiksi koulupäivän yhteyteen. Lyhyestä liikuntasuorituksesta saatava hyöty kognitiiviseen suorituskyykyyn sekä tätä kautta koulumenestykseen ja akateemiseen suorituskyykyyn on merkityksellinen, jos sitä on mahdollista hyödyntää koulumaailmassa. Osin varmasti tämän vuoksi useampi tutkimus on tarkastellut lyhyen liikuntasuorituksen vaikutusta tekijöihin, jotka vaikuttavat akateemiseen menestymiseen (Caterino & Polak 1999; Drollette ym. 2014; Tine & Butler 2012; van den Berg ym. 2016).

Tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa olleista tutkimuksista suurin osa (3/5) oli toteutettu kouluympäristössä lyhyenä, noin 10 minuutin liikuntasuorituksena, jotka Williamsin ym. (2019) sanoin ovat yliedustettuina tämänkaltaisissa tutkimuksissa. Tämä vuoksi positiiviset tulokset voivat kallistua suosimaan lyhyitä liikuntasuorituksia. Toisaalta Williams ym. (2019) mukaan mitä matalatehoisempaa liikunta on, sen pidempään sen tulisi kestää saavuttaakseen lyhyen ja rasittavan liikunnan hyödyt. Toisin sanoen liikuntasuorituksen kesto on kääntäen verrannollinen liikunnan intensiteettiin. Tämä voisi tukea ajatusta siitä, että lyhyellä rasittavalla liikuntasuorituksella olisi pidempikestoisia rasittavia suorituksia positiivisempia vaikutuksia työmuistiin, joita tämän tutkimuksen tulokset tukisivat.

Tulokset ovat kuitenkin osittain ristiriidassa Williamsin ym. (2019) katsauksen kanssa, sillä heidän mukaansa alle 30 minuutin liikuntasuorituksesta ei ole positiivista hyötyä lasten työmuistiin, joka on päinvastainen tämän tutkimuksen kanssa. Toisaalta täytyy huomioida, että Williamsin ym. (2019) tutkimuksessa ei liikuntasuorituksen intensiteettiä ollut rajattu rasittavaan intensiteettiin ja tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa olevista tutkittavista suurin osa luettaisiin Williamsin ym. (2019) määritelmän mukaan nuoriksi, eikä lapsiksi. Täytyy myös huomioida, että tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkimusten määrä on vähäinen ja suurimassa osassa tutkimuksista otoksen koko on pieni.

Yksittäisen rasittavan liikuntasuorituksen positiivinen vaikutus kognitiiviseen suorituskyykyyn ei todennäköisesti selity hitailla anatomisilla muutoksilla, vaan ennemminkin nopeilla fysiologisilla vasteilla (Chang ym. 2012). Yhtenä selittävänä tekijänä voi olla muutokset verenkierron jakautumisessa. Koska verenkierto vastaa hapen ja ravinteiden kuljetuksesta elimistöön (Leppäluoto ym. 2019,128), voi rasittavan liikunnan aikaansaaman positiivisen vaikutuksen osasyynä olla muuttunut aivoverenkierto, jota myös Tari ym. (2020) ovat ehdottaneet mahdolliseksi vaikutusmekanismiksi. Rasituksen aikana elimistö ohjaa verenkiertoa muilta alueilta työskenteleville lihaksille ja sydämelle (Leppäluoto ym. 2019, 141), joka voisi osaltaan selittää työmuistin välitöntä heikkenemistä liikuntasuorituksen jälkeen. Selitys työmuistin välittömään heikkenemiseen voi osaltaan johtua myös glukoosin ja laktaatin konsentraation muutoksista aivoissa. Aivot kuluttavat elimistön glukoosista suurimman osan, noin 20 prosenttia (Mergenthaler ym. 2013). Glukoosin kulutus kuitenkin vähenee liikunnan aikana, sillä Kemppaisen ym. (2005) tutkimuksen mukaan glukoosin sisäänotto aivoihin laskee noin 32 prosenttia välittömästi 35 minuuttia kestävästä liikuntasuorituksen jälkeen. Glukoosin vähentynyttä kulutusta korvataan Quistorffin ym. (2008) tutkimuksen ja Dienelin (2012) katsauksen mukaan lisäämällä laktaatin konsentraatiota.

Toisaalta laktaatin lisääntyminen voi olla osatekijänä muistin kehittämisessä 45–60 minuuttia suorituksen jälkeen. Hayek ym. (2019) tutkimuksessaan havaitsivat juuri liikunnan aikaansaaman laktaatin konsentraation lisääntymisen vaikuttavan oppimiseen ja muistamiseen hiirikoikeissa. Laktaatti aktivoi BDNF-molekyylin ilmentymiseen vaikuttavaa sirtuin1 deasetyylaasin (SIRT1) lisääntymistä, joka aktivoi koaktivaattorin PGC1a avulla FNDC5-molekyylillä, jonka tiedetään vaikuttavan BDNF:n ilmentymiseen. Vaikka BDNF voi olla yksi työmuistiin vaikuttavista tekijöistä, ei se välttämättä yksinään selitä työmuistin kehittymistä viiveajan jälkeen,

sillä Dinoffin ym. (2017) ihmisillä tehdyssä meta-analyysissä he havaitsivat BDNF konsentraation laskevan 15–60 minuutin jälkeen liikuntasuorituksesta. Laktaatin konsentraation lisääntyminen kuitenkin voi osaltaan olla mukana työmuistin kehittämisessä, mutta sen vaikutusmekanismi säilyy epäselvänä.

6.2 Luotettavuuden arviointi ja tutkimuseettiset näkökulmat

Tähän systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen otetuissa tutkimuksissa oli laadullisia puutteita, joka laskee kyseisten tutkimusten ja tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen luotettavuutta. Williams ym. (2019) katsauksen mukaan kognitioon voi vaikuttaa esimerkiksi alkutilanteen fyysinen aktiivisuus, fyysinen kunto, kognitiiviset ja akateemiset kyvyt ja paino. Esimerkiksi Iisihara ym. (2020) tutkimuksessaan havaitsivat alkutilanteen kognitiivisilla ja akateemisilla kyvyillä olevan vaikutusta liikuntasuorituksesta saatavaan hyötyyn. Heidän mukaansa eniten liikuntasuorituksista hyötyvät lapset, joilla on alhainen alkutilanteen kognitiivinen suorituskyky, joka todettiin myös Budden ym. (2010) tutkimuksessa. Tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa mukana olleissa tutkimuksissa ei ollut huomioitu alkutilanteen kognitiivisen suorituskyvyn vaikutusta liikuntasuorituksesta saatuihin hyötyihin. Toisaalta kaikissa tutkimuksissa tutkimuskysymyksenä oli vain, että millaisia vaikutuksia rasittavalla liikunnalla on työmuistiin. Tutkimuskysymyksissä ei ollut eritelty tutkittavia alkutilanteen kognitiivisen suorituskyvyn mukaan alhaiseen ja korkeaan suorituskykyyn

Ruiz-Hermosa ym. (2020) tutkimuksessaan ovat tarkastelleet kardiorespiratorisen kunnan ja painon vaikutusta kognitiiviseen suorituskykyyn 5–7-vuotiailla. He havaitsivat, että normaali-painoiset lapset pärjäävät ylipainoisia/lihavia paremmin kognitiivisissa testeissä. Samanlaiset tulokset havaittiin myös kardiorespiratorisen kunnan kohdalla. Tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa tutkittavien painon keskiarvo oli normaalipainon rajoissa, joten se ei ole todennäköisesti vaikuttanut tutkimustulosten luotettavuuteen. Cooper ym. (2012) tutkimuksessa kuitenkin raportoitiin tutkittavista 33 prosentin olleen ylipainoisia ja 11 prosentin olleen lihavia. Alkutilanteen fyysistä kuntoa ei ollut tarkasteltu, joka voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Mezcua-Hidalgo ym. (2019) tutkimuksessa viikkoa ennen tutkittavilla oli suoritettu kardiorespiratorinen testi, mutta sitä oli hyödynnetty ainoastaan tarkastelemaan sitä, millaisen vasteen tutkittavat saavat 20 metrin viivajuoksussa.

Työmuistin mittarien herkkyys voi muiden aiemmin mainittujen tekijöiden lisäksi aiheuttaa virhettä. Aiemmin taulukossa 1 esitetyt tekijät voivat vaikuttaa työmuistin heikkenemiseen tai sen kehittymiseen. Tässä ikäryhmässä todennäköisimpiä työmuistiin vaikuttavia tekijöitä voisivat olla esimerkiksi aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö (ADHD), erilaiset mielenterveysongelmat ja traumaperäiset aivovammat (TBI). Ainoastaan yhdessä (Samuel ym. 2017) viidestä tutkimuksesta oli mainittu ADHD:ta sairastavien tutkittavien poissulusta. Mezcua-Hidalgon ym. (2019) tutkimuksessa tutkittavien sisäänottokriteereissä oli mainittu, että tutkittavia oli poissuljettu ”lääketieteellisten vasta-aiheiden” perusteella, mutta tekstistä ei selviä mitkä kaikki sairaudet tämän määritelmän alle kuuluvat. Kaikissa tutkimuksissa ei sisäänottokriteereitä ollut raportoitu tarkasti, vaan ne olivat usein suurpiirteiset, jonka vuoksi ei varmuudella tiedetä, onko tutkittavilla ollut jokin työmuistin suorituskykyyn vaikuttava tekijä. Tämän vuoksi ei voida olla täysin varmoja vaikuttiko tutkittavien mahdollinen ADHD liikunnasta saataviin hyötyihin.

Koska 7–17-vuotiaat ovat vielä nuoria ja heidän aivonsa kehittyvät, voisi kypsyysasteen tarkastelemisesta olla hyötyä tulosten luotettavuuden kannalta. Lunan ym. (2004) tutkimuksen mukaan aivojen kehityksen mukana myös työmuisti kehittyy myöhälle lapsuuteen ja jatkuu vielä nuoruudessakin, joten työmuistin tutkiminen ilman kypsyysasteen huomioimista voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Myös Cromerin ym. (2015) tutkimus osoittaa, että kypsyysasteen huomioimisella voi olla vaikutusta tulosten luotettavuuteen, sillä etenkin 10–12 ikävuoden kohdalla kognitiossa tapahtuu isojakin muutoksia. Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tutkimuksissa vain yhdessä (Hatch ym. 2021) oli kypsyysaste otettu huomioon.

Mahdollisesti suurimpana tulosten luotettavuutta heikentävänä tekijänä oli pieni otoskoko. Lähes kaikissa tutkimuksissa otoskoko oli noin 40, lukuun ottamatta Mezcua-Hidalgon ym. (2019) tutkimusta, jossa otoskoko oli suurin ($n = 155$) ja Samuelin ym. (2017) tutkimusta, jossa otoskoko oli vastaavasti pienin ($n = 20$). Pienellä otoskoolla toteutettua tutkimusta ei voida soveltaa suurempaan joukkoon (Faber & Fonseca 2014), joten tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen sovellettavuus ei ole hyvä.

Tutkimusten laadullisia puutteita havaittiin etenkin sokkouttamisessa ja satunnaistamismenetelmien raportoinnissa. Liikuntainterventioiden sokkouttaminen voi olla etenkin tämänkaltaisessa maksimisuorituksessa mahdotonta. Tutkittavat ovat hyvin todennäköisesti tienneet kumpaan ryhmään kuuluvat tai onko kyseessä interventio- vai kontrollikerta etenkin, kun kolmessa neljästä tutkimuksesta ei kontrollikerralla ollut mitään harjoitteita. Toisaalta Komulainen ym.

(2014) toteavat, että sokkouttamisen puute ei ole niin merkittävä tekijä, kun tutkittavaa asiaa mitataan objektiivisin mittarein. Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tutkimuksista neljässä viidestä tutkimuksesta tutkittavilla oli sykemittari tutkimuksen aikana, jolla mahdollistettiin todellisen rasittavuuden tarkkailu. Työmuistin mittarit olivat myös objektiivisia, mikä toisaalta laskee puutteiden vaikuttavuutta luotettavuuteen.

Katsauksessa mukana olleiden tutkimusten luotettavuuden lisäksi tulee pohtia myös katsauksen kirjoittajan kohdalla tutkimuseettisiä kysymyksiä. Tämä systemaattinen kirjallisuuskatsaus on toteutettu tutkimuseettisen neuvottelukunnan (TENK) (2012) ohjeiden mukaisesti noudattaen hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimus on toteutettu rehellisesti, yleistä huolellisuutta ja tarkkuutta noudattaen, avoimesti, vastuullisesti ja muita kunnioittavasti. Katsauksessa on viitattu alkuperäislähteisiin aina, kun siihen on ollut mahdollisuus. Näin on kunnioitettu muiden tutkijoiden työtä ja annettu niille heidän ansaitsemansa arvostus. Tiedonhaun vaiheet ja hakulausekkeet on kuvattu mahdollisimman selkeästi ja tarkasti, joka mahdollistaa tutkimuksen toistettavuuden.

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen luotettavuutta voi kuitenkin laskea se, että kyseessä on tutkijan ensimmäinen systemaattinen kirjallisuuskatsaus. Tiedonhaku ja analysoiminen on tehty kyseisenä hetkenä parhaalla mahdollisella osaamisella. Käytettyä hakulauseketta olisi voitu laajentaa lisäämällä mukaan käytettyjä työmuistin mittareita ja eri tutkimusasetelmia, mikä olisi voinut lisätä katsaukseen mukaan tulevia tutkimuksia. Myös laadunarvioinnissa voi esiintyä epäkohtia, sillä CONSORT-2010 tarkistuslista oli tutkijalle uusi työkalu ja osa kohdista oli vaikeasti tulkittavissa. Tiedonhaun ja laadunarvioinnin raportointi on kuitenkin toteutettu parhaalla mahdollisella osaamisella ja mahdolliset puutteet sekä rajoitteet on raportoitu.

6.3 Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tulosten perusteella voidaan todeta rasittavalla liikuntasuorituksella olevan positiivisia vaikutuksia työmuistiin lapsilla ja nuorilla (7–17-vuotiaat) 45–60 minuutin jälkeen. Voidaan myös todeta rasittavan liikuntasuorituksen laskevan työmuistia hetkellisesti välittömästi liikuntasuorituksen jälkeen. Katsauksen tuloksella voi olla vaikutusta esimerkiksi koulumaailmassa oppimisen kannalta positiivisiin tuloksiin. Lyhyt ja rasittava liikuntasuoritus on helppo sisällyttää koulupäivän yhteyteen, kuten sisällyttämällä sen esimerkiksi liikunta- tai välitunnin yhteyteen. Rasittavan liikuntasuorituksen ajoittamista tulisi

kuitenkin pohtia siitä saatavan hyödyn maksimoimiseksi. Tutkimusten laadun, luotettavuuden ja pienen otoskoon takia tuloksia ei voida kuitenkaan yleistää koskemaan suurempaa joukkoa.

Laadukkaita, suuren otoskoon tutkimuksia löytyy tällä hetkellä erittäin vähän. Etenkin liikuntasuorituksen keston merkityksestä kaivattaisiin lisää tutkimusta, sillä tämänhetkiset tutkimukset painottavat lyhyitä, noin 10–20 minuuttia kestäviä suorituksia. Pidemmistä, yli 30 minuuttia kestävästä suorituksista ei tällä hetkellä ole riittävästi tutkimusta, joten pidempikestoisia rasittavia liikuntasuorituksia kaivattaisiin enemmän. Koska alkutilanteen kognitiivinen suorituskyky näyttäisi vaikuttavan rasittavasta liikuntasuorituksesta saataviin työmuistin hyötyihin, tulisi sitä tutkia enemmän. Tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä asettaa erilliset interventoryhmät alkutilanteen kognitiivisen suorituskyvyn mukaan paremmille ja heikommille suorittajille. Enemmän tutkimusta kaivataan myös liikuntasuorituksen vaikutuksesta työmuistiin 30–60 minuutin jälkeen suorituksesta, jotta voidaan määritellä tarkemmin työmuistin kehittymisen alkamisajankohta.

LÄHTEET

- Azevedo, K. P. M. de, de Oliveira, V. H., Medeiros, G. C. B. S. de, Mata, Á. N. de S., García, D. Á., Martínez, D. G., Leitão, J. C., Knackfuss, M. I., & Piuvezam, G. (2020). The Effects of Exercise on BDNF Levels in Adolescents: A Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), Art. 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176056>
- Banich, M. T., & Compton, R. J. (2018). *Cognitive neuroscience*. 4. painos. Cambridge University Press.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Barnea-Goraly, N., Menon, V., Eckert, M., Tamm, L., Bammer, R., Karchemskiy, A., Dant, C. C., & Reiss, A. L. (2005). White matter development during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion tensor imaging study. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 15(12), 1848–1854. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi062>
- Bekinschtein, P., Cammarota, M., & Medina, J. H. (2014). BDNF and memory processing. *Neuropharmacology*, 76, 677–683. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2013.04.024>
- Biddle, S., Fox, K. R., & Boutcher, S. H. (2000). *Physical activity and psychological well-being*. London: Routledge.
- Blasiman, R. N., & Was, C. A. (2018). Why Is Working Memory Performance Unstable? A Review of 21 Factors. *Europe's Journal of Psychology*, 14(1), 188–231. <https://doi.org/10.5964/ejop.v14i1.1472>
- Bramham, C. R., & Messaoudi, E. (2005). BDNF function in adult synaptic plasticity: the synaptic consolidation hypothesis. *Progress in neurobiology*, 76(2), 99–125. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2005.06.003>
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrassyk-Kendziorra, S., Machado, S., Ribeiro, P., & Arafat, A. M. (2010). Steroid hormones in the saliva of adolescents after different exercise intensities and their influence on working memory in a school setting. *Psychoneuroendocrinology*, 35(3), 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.07.015>
- Caterino, M. C., & Polak, E. D. (1999). Effects of two types of activity on the performance of second-, third-, and fourth-grade students on a test of concentration. *Perceptual and motor skills*, 89(1), 245–248. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.89.1.245>

- Cerqueira, É., Marinho, D. A., Neiva, H. P., & Lourenço, O. (2020). Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise—A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2019.01550>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., Vanpatter, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Konkel, A., Hillman, C. H., Cohen, N. J., & Kramer, A. F. (2010a). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain research*, 1358, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.08.049>
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Cohen, N. J. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(2), 344–349. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e9af48>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2010b). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental neuroscience*, 32(3), 249–256. <https://doi.org/10.1159/000316648>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain research*, 1453, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Chugani, H. T. (1998). Critical Importance of Emotional Development: Biological Basis of Emotions: Brain Systems and Brain Development. Teoksessa J. G. Warhol (toim.) *New Perspectives in Early Emotional Development*. United States of America: Johnson & Johnson Pediatric Institute. 1-45
- Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2012). The effects of a mid-morning bout of exercise on adolescents' cognitive function. *Mental Health and Physical Activity*, 5(2), 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2012.10.002>
- Corbin, L., & Marquer, J. (2013). Is Sternberg's memory scanning task really a short-term memory task? *Swiss Journal of Psychology*, 72(4), 181. <https://doi.org/10.1024/1421-0185/a000112>
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How is Working Memory Capacity Limited, and Why?. *Current directions in psychological science*, 19(1), 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?. *Progress in brain research*, 169, 323–338. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9)

- Cowan, N. (2016a). *Working Memory Capacity: Classic Edition*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315625560>
- Cowan, N. (2016b). Working Memory Maturation: Can We Get at the Essence of Cognitive Growth?. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, 11(2), 239–264. <https://doi.org/10.1177/1745691615621279>
- Cowan, N. (2014). Working Memory Underpins Cognitive Development, Learning, and Education. *Educational psychology review*, 26(2), 197–223. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9246-y>
- Cowden, R. D., & Plowman, S. A. (1999). The Self-Regulation and Perception of Exercise Intensity in Children in a Field Setting, *Pediatric Exercise Science*, 11(1), 32-43. <https://doi.org/10.1123/pes.11.1.32>
- Cromer, J. A., Schembri, A. J., Harel, B. T., & Maruff, P. (2015). The nature and rate of cognitive maturation from late childhood to adulthood. *Frontiers in psychology*, 6, 704. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00704>
- Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 415–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00197-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00197-9)
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., Allison, J. D., & Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial. *Health psychology: official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 30(1), 91–98. <https://doi.org/10.1037/a0021766>
- Dienel, G. A. (2012). Brain Lactate Metabolism: The Discoveries and the Controversies. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 32(7), 1107–1138. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2011.175>
- Dinoff, A., Herrmann, N., Swardfager, W., & Lanctôt, K. L. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: A meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, 46(1), 1635–1646. <https://doi.org/10.1111/ejn.13603>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(6), 1197–1222. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>

- Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.11.001>
- Dwan, K., Li, T., Altman, D. G., & Elbourne, D. (2019). CONSORT 2010 statement: extension to randomised crossover trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 366, 14378. <https://doi.org/10.1136/bmj.14378>
- Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F., & Nyberg, L. (2015). Neurocognitive Architecture of Working Memory. *Neuron*, 88(1), 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.020>
- Etnier, J., Labban, J. D., Piepmeier, A., Davis, M. E., & Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatric Exercise Science*, 26(3), 250–258. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0141>
- Faber, J., & Fonseca, L. M. (2014). How sample size influences research outcomes. *Dental press journal of orthodontics*, 19(4), 27–29. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.4.027-029.ebo>
- Fard, E., Keelor, J., Bagheban, A. & Keith, R. (2016). Comparison of the Rey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT) and Digit Test among Typically Achieving and Gifted Students. *Iranian journal of child neurology*, 10(2): 26-37
- Furlan, A. D., Malmivaara, A., Chou, R., Maher, C. G., Deyo, R. A., Schoene, M., Bronfort, G., van Tulder, M. W., & Editorial Board of the Cochrane Back, Neck Group (2015). 2015 Updated Method Guideline for Systematic Reviews in the Cochrane Back and Neck Group. *Spine*, 40(21), 1660–1673. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001061>
- Galloway, E. M., Woo, N. H., & Lu, B. (2008). Persistent neural activity in the prefrontal cortex: A mechanism by which BDNF regulates working memory? *Progress in brain research*, 169, 251–266. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00015-5)
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>

- Hatch, L. M., Dring, K. J., Williams, R. A., Sunderland, C., Nevill, M. E., & Cooper, S. B. (2021). Effect of Differing Durations of High-Intensity Intermittent Activity on Cognitive Function in Adolescents. *International journal of environmental research and public health*, 18(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph182111594>
- Hayek, L. E., Khalifeh, M., Zibara, V., Assaad, R. A., Emmanuel, N., Karnib, N., El-Ghandour, R., Nasrallah, P., Bilen, M., Ibrahim, P., Younes, J., Haidar, E. A., Barmo, N., Jabre, V., Stephan, J. S., & Sleiman, S. F. (2019). Lactate Mediates the Effects of Exercise on Learning and Memory through SIRT1-Dependent Activation of Hippocampal Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF). *Journal of Neuroscience*, 39(13), 2369–2382. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1661-18.2019>
- Herting, M. M., & Chu, X. (2017). Exercise, cognition, and the adolescent brain. *Birth Defects Research*, 109(20), 1672–1679.
- Hämäläinen, P. (2015). Kognitio – Muisti pätkii sanat hakusessa – kognitiiviset oireet MS-taudissa. https://neuroliitto.fi/wp-content/uploads/Kognitio-opas2015_tuloste.pdf. Viitattu 25.10.2022
- Ishihara, T., Drollette, E. S., Ludyga, S., Hillman, C. H., & Kamijo, K. (2020). Baseline Cognitive Performance Moderates the Effects of Physical Activity on Executive Functions in Children. *Journal of clinical medicine*, 9(7), 2071. <https://doi.org/10.3390/jcm9072071>
- Jaeger J. (2018). Digit Symbol Substitution Test: The Case for Sensitivity Over Specificity in Neuropsychological Testing. *Journal of clinical psychopharmacology*, 38(5), 513–519. <https://doi.org/10.1097/JCP.0000000000000941>
- Jehkonen, M. & Saunamäki, T. (2015). Aivojen keskeiset rakenteet kognitiivisissa ja psyykkisissä toiminnoissa. Teoksessa M. Jehkonen, T. Saunamäki, L. Paavola, J. Vilkki, R. Akila. *Kliininen neuropsykologia*. 1. painos. Helsinki: Duodecim. 23–39
- Jones, N. L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T., & McCartney, N. (1985). Normal Standards for an Incremental Progressive Cycle Ergometer Test. *American Review of Respiratory Disease*, 131(5), 700–708. <https://doi.org/10.1164/arrd.1985.131.5.700>
- Kantomaa, M., Syväoja, H., Sneek, S., Jaakkola, T., Pyhältö, K. & Tammelin, T. (2018). Koulupäivän aikainen liikunta ja oppiminen. Tilannekatsaus tammikuu 2018. Opetushallitus. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/189075_koulupaivan_aikainen_liikunta_ja_oppiminen-2.pdf. Viitattu 25.10.2022
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill. D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise*. 6. painos. Human kinetics

- Kemppainen, J., Aalto, S., Fujimoto, T., Kalliokoski, K. K., Långsjö, J., Oikonen, V., Rinne, J., Nuutila, P., & Knuuti, J. (2005). High intensity exercise decreases global brain glucose uptake in humans. *The Journal of physiology*, 568(Pt 1), 323–332. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.091355>
- Kettunen, K., Lindberg, N., Castaned, A., Tuulio-Henriksson, A. & Autti, T. (2009). Aivojen kehityksen sukupuolierot – korrelaatio psykiatristen häiriöiden kirjoon. *Lääketieteen aikakauskirja Duodecim*. 125(11): 1185–93 <https://www.duodecimlehti.fi/duo98095#duo-comments-start> Viitattu 25.10.2022.
- Khosravi Fard, E., L Keelor, J., Akbarzadeh Bagheban, A., & W Keith, R. (2016). Comparison of the Rey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT) and Digit Test among Typically Achieving and Gifted Students. *Iranian journal of child neurology*, 10(2), 26–37. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4885152/pdf/ijcn-10-026.pdf>
- Klabes, J., Babilon, S., Zandi, B., & Khanh, T. Q. (2021). The Sternberg Paradigm: Correcting Encoding Latencies in Visual and Auditory Test Designs. *Vision*, 5(2), 21. <http://dx.doi.org/10.3390/vision5020021>
- Komulainen, J., Vuorela, P. & Malmivaara, A. (2014). Satunnaistetun kontrolloidun tutkimuksen periaatteita ja sudenkuoppia. *Aikakauskirja Duodecim*, 130(14), 1439–44. <https://www.duodecimlehti.fi/xmedia/duo/duo11759.pdf>
- Käypä hoito -työryhmä Liikunta. (2015). Liikuntaan liittyvä määreitä. Verkkosivu. <https://www.kaypahoito.fi/nix01203>. Viitattu 3.11.2022
- Latomme, J., Calders, P., Van Waelvelde, H., Mariën, T., & De Craemer, M. (2022). The Role of Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) in the Relation between Physical Activity and Executive Functioning in Children. *Children*, 9(5), 596. <https://doi.org/10.3390/children9050596>
- Lenroot, R. K., Gogtay, N., Greenstein, D. K., Wells, E. M., Wallace, G. L., Clasen, L. S., Blumenthal, J. D., Lerch, J., Zijdenbos, A. P., Evans, A. C., Thompson, P. M., & Giedd, J. N. (2007). Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *NeuroImage*, 36(4), 1065–1073. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.053>
- Leppäluoto, J., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H., Lauri, T. & Müller, E. (2019). *Anatomia ja fysiologia – Rakenteesta toimintaan*. 9. uudistettu painos. E-kirja. Helsinki: Sanoma Pro Oy
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment*. 5. painos. New York: Oxford University Press.

- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of sports sciences*, 6(2), 93–101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>
- Lorenzo Calvo, J., Fei, X., Domínguez, R., & Pareja-Galeano, H. (2021). Caffeine and Cognitive Functions in Sports: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 13(3), 868. <https://doi.org/10.3390/nu13030868>
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of Cognitive Processes from Late Childhood to Adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357–1372. doi: 10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x
- MacIntosh, B. R., Murias, J. M., Keir, D. A., & Weir, J. M. (2021). What Is Moderate to Vigorous Exercise Intensity? *Frontiers in Physiology*, 12, 682233. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.682233>
- Magalhães, S. S., Malloy-Diniz, L., & Hamdan, A. (2012). Validity convergent and reliability test-retest of the rey auditory verbal learning test. *Clinical Neuropsychiatry*, 9, 129–137. https://www.researchgate.net/publication/287784953_VValidity_convergent_and_reliability_test-retest_of_the_rey_auditory_verbal_learning_test
- Manoach, D. S., Halpern, E. F., Kramer, T. S., Chang, Y., Goff, D. C., Rauch, S. L., Kennedy, D. N., & Gollub, R. L. (2001). Test-Retest Reliability of a Functional MRI Working Memory Paradigm in Normal and Schizophrenic Subjects. *American Journal of Psychiatry*, 158(6), 955–958. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.6.955>
- Mergenthaler, P., Lindauer, U., Dienel, G. A., & Meisel, A. (2013). Sugar for the brain: The role of glucose in physiological and pathological brain function. *Trends in neurosciences*, 36(10), 587–597. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.07.001>
- Matarazzo, J. D., & Herman, D. O. (1984). Base rate data for the WAIS-R: test-retest stability and VIQ-PIQ differences. *Journal of clinical neuropsychology*, 6(4), 351–366. <https://doi.org/10.1080/01688638408401227>
- Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning. *Perceptual & Motor Skills*, 126(2), 202–222. <https://doi.org/10.1177/0031512518825197>
- Moher, D., Hopewell, S., Schulz, K. F., Montori, V., Gøtzsche, P. C., Devereaux, P. J., Elbourne, D., Egger, M., & Altman, D. G. (2010). CONSORT 2010 explanation and elaboration: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340, c869. <https://doi.org/10.1136/bmj.c869>

- Miranda, M., Morici, J. F., Zanoni, M. B., & Bekinschtein, P. (2019). Brain-Derived Neurotrophic Factor: A Key Molecule for Memory in the Healthy and the Pathological Brain. *Frontiers in cellular neuroscience*, 13, 363. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00363>
- Muistiliitto (s.a). Muistin toiminta. Verkkosivu. <https://www.muistiliitto.fi/fi/aivot-ja-muisti/muistin-toiminta>. Viitattu 18.10.2022
- Mäntymaa, M., Luoma, I., Puura, K. & Tamminen, T. (2003). Tunteet, varhainen vuorovaikutus ja aivojen toiminnallinen kehitys. *Lääkätieteellinen aikakauskirja Duodecim*. 119(6): 459–465
- Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., & Valentini, T. A. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(4), 927–934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181907d69>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., Lamantia, A-S., Mooney, R. D., Platt, M. L. & White, L. E. (2018). *Neuroscience*. 6. painos. New York: Oxford University Press.
- Querido, J. S., & Sheel, A. W. (2007). Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(9), 765–782. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737090-00002>
- Quistorff, B., Secher, N. H., & Van Lieshout, J. J. (2008). Lactate fuels the human brain during exercise. *The FASEB Journal*, 22(10), 3443–3449. <https://doi.org/10.1096/fj.08-106104>
- Rosano, C., Perera, S., Inzitari, M., Newman, A. B., Longstreth, W. T., & Studenski, S. (2016). Digit Symbol Substitution test and future clinical and subclinical disorders of cognition, mobility and mood in older adults. *Age and ageing*, 45(5), 688–695. <https://doi.org/10.1093/ageing/afw116>
- Ruiz-Hermosa, A., Mota, J., Díez-Fernández, A., Martínez-Vizcaíno, V., Redondo-Tébar, A., & Sánchez-López, M. (2020). Relationship between weight status and cognition in children: A mediation analysis of physical fitness components. *Journal of Sports Sciences*, 38(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1676538>
- Samuel, R. D., Zavdy, O., Levav, M., Reuveny, R., Katz, U., & Dubnov-Raz, G. (2017). The Effects of Maximal Intensity Exercise on Cognitive Performance in Children. *Journal of human kinetics*, 57, 85–96. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0050>

- Sellami, M., Gasmi, M., Denham, J., Hayes, L. D., Stratton, D., Padulo, J., & Bragazzi, N. (2018). Effects of Acute and Chronic Exercise on Immunological Parameters in the Elderly Aged: Can Physical Activity Counteract the Effects of Aging? *Frontiers in Immunology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2018.02187>
- Schnack, H. G., van Haren, N. E., Brouwer, R. M., Evans, A., Durston, S., Boomsma, D. I., Kahn, R. S., & Hulshoff Pol, H. E. (2015). Changes in thickness and surface area of the human cortex and their relationship with intelligence. *Cerebral cortex (New York, N.Y.= 1991)*, 25(6), 1608–1617. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht357>
- Schneider, S., Vogt, T., Frysich, J., Guardiera, P., & Strüder, H. K. (2009). School sport—A neurophysiological approach. *Neuroscience Letters*, 467(2), 131–134. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.022>
- Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., Evans, A., Rapoport, J., & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440(7084), 676–679. <https://doi.org/10.1038/nature04513>
- Snijder, J.-P. (2021). Dual Mechanisms of Cognitive Control: A Hierarchical Bayesian Approach to Test-Retest Reliability [Ph.D., Claremont Graduate University]. <https://doi.org/10.5642/cguetd/226>
- Sternberg, S. (1969). Memory-scanning: mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist*, 57(4), 421–457. <http://www.jstor.org/stable/27828738>
- Steventon, J. J., Foster, C., Furby, H., Helme, D., Wise, R. G., & Murphy, K. (2020). Hippocampal Blood Flow Is Increased After 20 min of Moderate-Intensity Exercise. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 30(2), 525–533. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhz104>
- Tamnes, C. K., Walhovd, K. B., Grydeland, H., Holland, D., Østby, Y., Dale, A. M., & Fjell, A. M. (2013). Longitudinal working memory development is related to structural maturation of frontal and parietal cortices. *Journal of cognitive neuroscience*, 25(10), 1611–1623. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00434
- Tari, B., Vanhie, J. J., Belfry, G. R., Shoemaker, J. K., & Heath, M. (2020). Increased cerebral blood flow supports a single-bout postexercise benefit to executive function: evidence from hypercapnia. *Journal of neurophysiology*, 124(3), 930–940. <https://doi.org/10.1152/jn.00240.2020>
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). (2020). Liikunta. <https://thl.fi/fi/web/elintavat-ja-raitsemus/liikunta>. Viitattu 20.12.2022

- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). (2021). Liikuntasuosituksset. Verkkosivu. https://thl.fi/fi/web/elintavat-ja-ravitsemus/liikunta/liikuntasuosituksset#Liikuntasuosituksset_lapsille_ja_nuorille. Viitattu 6.11.2022
- Tine, M. T., & Butler, A. G. (2012). Acute aerobic exercise impacts selective attention: An exceptional boost in lower-income children. *Educational Psychology*, 32(7), 821–834. <https://doi.org/10.1080/01443410.2012.723612>
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2012). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsittelyminen Suomessa. http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf. Viitattu 21.11.2022.
- van den Berg, V., Saliasi, E., de Groot, R. H. M., Jolles, J., Chinapaw, M. J. M., & Singh, A. S. (2016). Physical Activity in the School Setting: Cognitive Performance Is Not Affected by Three Different Types of Acute Exercise. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2016.00723>
- Warburton, D. E., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 174(6), 801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
- Waters, G., & Caplan, D. (2003). The reliability and stability of verbal working memory measures. *Behavior research methods, instruments, & computers : a journal of the Psychonomic Society, Inc*, 35, 550–564. <https://doi.org/10.3758/BF03195534>
- Williams, R., Hatch, L., & Cooper, S. (2019). A Review of Factors Affecting the Acute Exercise-Cognition Relationship in Children and Adolescents. *OBM Integrative and Complementary Medicine*, 4(3), Art. 3. <https://doi.org/10.21926/obm.icm.1903049>

LIITE 1. Hakulauseke

(physical activity OR physical education OR exercise OR sport activity OR exercise OR aerobic exercise OR endurance training OR jogging OR cardiovascular OR resistance training OR resistance exercise OR coordinative exercise OR strength training OR running) AND (high-intensity OR vigorous OR high-intensity interval training OR HIIT OR C-HIIT OR vo2max OR intense OR tough OR brisk OR strenuous OR forceful OR active* OR potent OR zealous OR vital OR HIT OR high-intensity training OR maximal) AND (acute OR immediate OR bout OR single OR one OR individual OR separate) AND (working memory OR executive functions OR cognitive performance OR cognitive functions OR modified 2-back task OR 2-back test OR backward color recall task OR sternberg paradigm OR pictorial updating task OR short-term memory OR N-back test OR digit span backwards) AND (children OR adolescent OR preadolescent OR elementary school OR primary school OR teen OR youth OR child OR teenager) AND (randomized controlled trial OR rct OR intervention OR control group OR randomised controlled trial OR intervention trials)

LIITE 2. Suomennettu Dwan ym. (2019) CONSORT 2010 laajennus satunnaistetuille ristikkäistutkimuksille

Osio/aihe	Kohta	Kuvaus
Otsikko	1a	Otsikossa mainittu satunnaistettu ristikkäistutkimus
Tiivistelmä	1b	Ristikkäistutkimuksen määrittely ja taulukon 2 raportoidut tiedot
Johdanto:	2a	Tieteellinen tausta ja perustelut
Taustat		
Tavoitteet	2b	Tarkat tavoitteet ja hypoteesi
Metodit:		
Tutkimuksen suunnitelma	3a	Perustelut ristikkäistutkimuksen valinnalle. Tutkimusasetelman kuvaus, joka sisältää jakosuhteen, erityisesti jaksojen lukumäärä ja kesto, huuhtelujakson (washout) jakson pituus ja siirtymävaikutuksen huomioon ottaminen
Muutokset protokollassa	3b	Tärkeät muutokset menetelmiin tutkimuksen aloittamisen jälkeen (kuten sisäänottokriteerit) perusteluineen
Osallistujat	4a	Tutkittavien sisäänottokriteerit

Asetukset ja sijainti	4b	Asetukset ja sijainti, josta data oli kerätty
Interventio	5	Interventiossa riittävät yksityiskohdat replikoinnin mahdollistamiseksi, mukaan lukien miten ja milloin ne on tosiallisesti tehty
Tulosmuuttajat	6a	Täysin ennalta määritellyt ensisijaiset ja toissijaiset tulosmuuttajien mittauksen, mukaan lukien kuinka ja milloin ne arvioitiin
Muutokset tulosmuuttajissa	6b	Tutkimukseen tehdyt muutokset perusteluineen aloittamisen jälkeen
Otoskoko	7a	Kuinka otoskoko määriteltiin osallistujien vaihtelun huomioon ottamiseksi
Väliallyysit ja lopetusohjeet	7b	Tarvittaessa selvitys mahdollisista väliallyyseista ja lopetusohjeista

Satunnaistaminen:

Jaksojen luominen	8a	Satunnaistamisallokointisekvenssien luomiseen käytetyt menetelmät
Jaksojen luominen	8b	Satunnaistamismenetelmä: tiedot kaikista rajoituksista (kuten lohkokottaminen ja lohkon koko)
Allokoinnin salaamisen menetelmä	9	Mekanismi, jota käytettiin satunnaistamisallokointisekvenssin toteuttamiseen (kuten peräkkäin numeroidut kontit), joka kuvaa kaikki vaiheet, jotka on toteutettu sekvenssin salaamiseksi, kunnes interventioita on määrätty
Toteutus	10	Kuka loi satunnaistamisen jakosarjan, kuka rekrytoi osallistujat ja kuka määräsi osallistujia interventiosarjaan
Sokkouttaminen	11a	Jos tehty, ketkä sokkoutettiin interventioon määräämisen jälkeen (esimerkiksi osallistujat, hoidon antajat, tulosten arvioijat) ja miten
Interventioiden samankaltaisuus	11b	Tarvittaessa kuvaus interventioiden samankaltaisuudesta
Tilastolliset menetelmät	12a	Tilastolliset menetelmät, joita käytettiin ryhmien vertaamiseen ensisijaisten ja toissijaisten tulosmuuttajien suhteen, ja jotka ovat soivia ristikkäistutkimusten suunnitteluun (eli perustuvat osallistujien sisäiseen vertailuun)

Ylimääräiset analyysit	12 b	Lisäanalyysiin käytetyt menetelmät, kuten alaryhmäanalyysit ja mukautetut analyysit
------------------------	------	---

Tulokset:

Osallistujavirta (kaaviota suositteluaan vahvasti)	13a	Niiden osallistujien määrä, jotka olivat satunnaisesti jaettu, saivat hoitoa ja joista analysoitiin ensisijainen tulos erikseen kullekin jaksolle ja ajanjaksolle
--	-----	---

Pudonneet ja poisuljetus	13 b	Kussakin vaiheessa poissuljettujen osallistujien lukumäärä syillä erikseen kullekin sarjalle ja jaksolle
--------------------------	------	--

Rekrytointi	14a	Päivämäärät, jotka määrittelevät rekrytointi- ja seurantajaksot
-------------	-----	---

Tutkimuksen päättyminen	14 b	Miksi tutkimus päättyi tai lopetettiin
-------------------------	------	--

Alkutilanteen tiedot	15	Taulukko, joka näyttää alkutilanteen demografiset ja kliiniset ominaisuudet sekvenssin ja ajanjakson mukaan
----------------------	----	---

Analysoitujen määrä	16	Jokaiseen analyysiin sisältyvien osallistujien lukumäärä (nimitäjä) ja se, onko analyysi suoritettu alkuperäisten ryhmien mukaan
---------------------	----	--

Tulosmuuttuja ja arviot	17a	Jokaisen ensisijaisen ja toissijaisen tulosmuuttujan tulokset, mukaan lukien arvioitu vaikutuksen koko ja sen tarkkuus (kuten 95 %:n luottamusväli), joka tulisi perustua osallistujien sisäisiin vertailuihin. Lisäksi suositellaan kunkin jakson kaikkien toimenpiteiden tuloksia
-------------------------	-----	---

Binääritulokset	17 b	Binäärituloksissa suositellaan sekä absoluuttisen, että suhteellisen vaikutuskoon esittämistä
-----------------	------	---

Täydentävät analyysit	18	Kaikkien muiden suoritettujen analyysien tulokset, mukaan lukien alaryhmien analyysit, jotka erottavat ennalta määritetyn kokeellisesta
-----------------------	----	---

Haitat	19	Kaikki tärkeät haitat ja odottamattomat vaikutukset on kuvattu tavalla, joka ottaa huomioon suunnittelun
--------	----	--

Pohdinta:

Rajoitukset	20	Tutkimukset rajoitukset mahdollisen harhanlähteiden, epätarkkuuden ja tarvittaessa analyysien moninaisuuden osalta on otettu huomioon. Mahdollista siirtymävaikutusta on harkittu.
-------------	----	--

Yleistettävyyden	21	Tutkimustulosten yleistettävyyden (ulkoinen validiteetti, sovellettavuus)
------------------	----	---

Tulkinta	22	Tulkinta on johdonmukainen tulosten kanssa, hyödyt ja haitat tasapainotetaan ja muut asiaankuuluvat todisteet otetaan huomioon
Muu informaatio:		
Rekisteröinti	23	Rekisteröintinumero ja koerekisterin nimi
Protokolla	24	Missä kokonainen protokolla kokonaisena näkyvässä, jos se on saatavilla
Rahoitus	25	Rahoituslähteet ja muu tuki (esimerkiksi lääkkeiden hankinta), rahoittajien rooli

LIITE 3. Tutkimusten laadunarviointi

Tutkimusten laadun arviointi (RCT) Furlan ym. (2015) kriteereillä

	Mezcua-Hidalgo ym. 2019	Etnier ym. 2014
1.	/	/
2.	/	-
3.	+	-
4.	-	-
5.	/	-
6.	+	ER
7.	+	+
8.	+	+
9.	+	/
10.	+	+
11.	+	/
12.	+	+
13.	+	+
Yhteensä	9/13	5/13

+ = kyllä, - = ei, / = epävarma, ER = ei raportoitu

Furlanin ym. (2015) kriteeristö: 1) satunnaismenetelmän riittävyys 2) salattu ryhmiin ohjautuminen 3) osallistujien sokkouttaminen interventiolle 4) hoidon antaja sokkouttaminen 5) tulosten mittaajan sokkouttaminen 6)poispudonneet on kuivailtu ja niiden määrä on hyväksyttävä 7) tutkittavien analysoiminen satunnaistetuissa ryhmissä 8) tutkimuksessa ei ole valikointia tulomuuttujien raportointia 9) ryhmien samankaltaisuus tutkimuksen alkutilanteessa 10) ryhmien samanlaiset hoidot (pl. interventio) 11) hyväksyttävä hoitomyöntyvyys 12) mittaus-ten toteuttaminen samaan aikaan eri ryhmillä 13) tutkimuksessa ei ole muita harhaa aiheuttavista tekijöistä.

Tutkimusten laadun arviointi (satunnaistetut ristikkäistutkimukset ja interventiotutkimus) muunnellun CONSORT 2010 -tarkistuslistan mukaan (Dwan ym. 2019)

	Cooper ym. 2012	Hatch ym. 2021	Samuel ym. 2017
1.	+	-	-
2.	+	+	+
3.	+	+	-
4.	ER	/	ER
5.	+	+	+
6.	+	+	+
7.	+	/	+
8.	+	+	-
9.	/	-	-
10.	-	-	-
11.	/	-	-
12.	+	+	+
13.	+	+	+
14.	+	+	+
15.	+	+	+
16.	+	+	+
17.	-	/	-
18.	+	+	+
19.	/	/	/
20.	-	-	+
21.	-	-	-
22.	+	+	+
23.	-	-	-
24.	-	-	-
25.	-	+	-

Yhteensä 14/25 13/25 12/25

+ = kyllä, - = ei, / = epävarma, ER = ei raportoitu