

Korkean intensiteetin intervalliharjoittelun akuuttivaikutukset toiminnanohjauksen komponentteihin

Arttu Perello

Kandidaatin tutkielma

Psykologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Tammikuu 2018

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Department of Psychology

PERELLO, ARTTU: Acute effects of high intensity interval training on components of executive functions

Bachelor's thesis, 28 p.

Supervisor: Tiina Parviainen

Psychology

January 2018

The purpose of this study was to find out how one 16-minute high intensity interval training session affects short-term on the speed and accuracy of young participants' components of executive functions. This study is carried out as a part of the NEEDS (Neural Effects of Exercise, Diet and Sleep) research in co-operation with Jyväskylä Centre for Interdisciplinary Brain Research, Department of Psychology, Unit of Biology of Physical Activity and the Institute of Biomedicine of University of Eastern Finland. Altogether, 54 young people participated in the study, of which 34 were girls and 20 were boys. Participants were 16 to 19 years old and recruited from the Jyväskylä area. The data of this Bachelor's thesis consists measurement results of nine participants that completed further measurement of the study. In our study from components of executive functions, we focused especially on inhibition which was measured by Stroop's color-word test. High intensity interval session consisted of eight 30-second high intensity intervals, each of which followed a 1.5 minute low intensity aerobic interval with bicycle ergometer. Bicycle ergometer's resistance was defined as 10% of participants' fat-free body mass. The same participants took part in experimental and control measurements and performed two Stroop color-word test trials in both measurements. Reaction times for correct congruent and incongruent responses were calculated separately and averaged. Moreover, the effects of high intensity interval training on participants' congruence effects were analyzed by generating four new variables by subtracting averaged reaction times of congruent responses from averaged reaction times of incongruent responses. The accuracy of the components of executive functions was analyzed by examining the effect of high intensity interval training on the number of incorrect answers. In this study, the number of incorrect answers of Stroop color-word test were significantly lower at the final trial of a single measurement session compared to the initial trial in both, experimental and control measurements. High intensity interval training had no effect on participants' reaction times or congruence effects. This study is part of University of Jyväskylä's profiling field Interdisciplinary Brain Research, which is funded by Academy of Finland.

Key words: executive functions, inhibition, attention, high intensity interval training, reaction time

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

PERELLO, ARTTU: Korkean intensiteetin intervalliharjoittelun akuuttivaikutukset toiminnanohjauksen komponentteihin

Kandidaatin tutkielma, 28 s.

Ohjaaja: Tiina Parviainen

Psykologia

Tammikuu 2018

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko yhdellä 16 minuutin kestoisella korkean intensiteetin intervalliharjoittelukerralla akuutteja vaikutuksia nuorten perusterveiden tutkittavien toiminnanohjauksen komponenttien nopeuteen ja tarkkuuteen. Tutkimus on toteutettu osana laajempaa NEEDS (Neural Effects of Exercise, Diet and Sleep) tutkimusaineistoa yhteistyössä Jyväskylän yliopiston monitieteisen aivotutkimuskeskuksen, psykologian laitoksen, liikuntabiologian tieteenalan sekä Itä-Suomen yliopiston biolääketieteen yksikön kanssa. Yhteensä tutkimukseen osallistui 54 nuorta, joista tyttöjä 34 ja poikia 20. Osallistujat olivat iältään 16-19 vuotiaita ja heidät rekrytoitiin tutkimukseen Jyväskylän alueelta. Tämän kandidaatin tutkielman aineisto koostuu niiden yhdeksän tutkittavan mittauksista, jotka valikoituivat NEEDS-tutkimuksen jatkomittauksiin ja suorittivat mittaukset loppuun saakka. Tutkimuksessamme keskityimme toiminnanohjauksen komponenteista erityisesti inhibitioon, jonka mittarina käytettiin Stroopin väri-sanatestiä. Korkean intensiteetin intervalliharjoittelukerta koostui kahdeksasta 30 sekunnin pituisesta korkean intensiteetin intervallista, joista jokaista seurasi 1,5 minuutin pituinen matalaintensiteettinen aerobinen polkemisjakso polkupyöraergometrillä toteutettuna. Polkupyöraergometrillä korkean intensiteetin intervalliperiodien vastukseksi määriteltiin 10% tutkittavan rasvattomasta kehon massasta. Samoille tutkittaville suoritettiin sekä koe- että kontrollimittaus, ja tutkittavat suorittivat molemmilla mittauskerroilla kaksi Stroopin väri-sanatestin 480 sanan trialia. Jokaisesta trialista laskettiin erikseen oikeiden kongruenttien vastausten sekä oikeiden inkongruenttien vastausten reaktioajat ja näille laskettiin keskiarvot. Lisäksi tutkittiin HIIT-harjoittelun vaikutuksia kongruenssiefekteihin muodostamalla neljä erotusmuuttujaa vähentämällä saman mittauskerran inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvoista kongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot. Toiminnanohjauksen prosessien tarkkuutta tutkittiin tarkastelemalla HIIT-harjoittelun vaikutuksia virheellisten vastausten määrään. Tässä tutkimuksessa tutkittavien virheellisten vastausten määrät vähenivät yksittäisen mittauskerran alku- ja loppumittauksen välissä riippumatta siitä, oliko kyseessä koe- vai kontrollimittaus. Sen sijaan HIIT-harjoittelulla ei ollut vaikutusta tutkittavien Stroopin väri-sanatestin reaktioaikoihin eikä kongruenssiefekteihin. Tämä tutkimus kuuluu Jyväskylän yliopiston profilointialaan monitieteinen aivotutkimus, jota rahoittaa Suomen Akatemia.

Avainsanat: toiminnanohjaus, inhibitio, tarkkaavuus, HIIT, intervalliharjoittelu, reaktioaika

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	1
1.1 Fyysinen aktiivisuus ja kognitio.....	2
1.2 Liikuntaharjoittelun akuuttivaikutukset kognitioon.....	4
1.3 Toiminnanohjaus liikuntaharjoittelun viitekehyksessä.....	5
1.4 Korkean intensiteetin intervalliharjoittelu ja kognitio.....	6
1.5 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset.....	7
2. AINEISTO.....	8
2.1 Tutkittavat.....	9
2.2 Tutkimusasetelma.....	10
2.3 Aineiston analysointi.....	11
3. TULOKSET.....	14
3.1 HIIT-harjoittelun yhteydet reaktioaikojen nopeuteen.....	15
3.2 HIIT-harjoittelun yhteydet kongruenssiefekteihin.....	16
3.3 HIIT-harjoittelun yhteydet reaktioiden tarkkuuteen	17
4. POHDINTA.....	19
4.1 Tutkimustulosten kriittinen tarkastelu ja rajoitukset	20
4.2 Jatkotutkimusehdotus.....	23

1. Johdanto

Säännöllisellä liikunnan harrastamisella sekä fyysisellä aktiivisuudella on havaittu olevan useita positiivisia vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Zoeller (2010) listaa kattavasti säännöllisen liikunnan vaikutuksia muun muassa luurankolihasvoimantuottoon, luiden mineraalipitoisuuksiin, sydän- ja verisuonitautien ehkäisemiseen, painonhallintaan sekä yksilön eliniänodotteeseen. Yhdysvalloissa heikkoa fyysistä kuntoa on jo pitkään pidetty maan suurimpana varhaisen kuolleisuuden riskitekijänä (Blair ym., 1996).

Tyypillisesti yksilön systemaattista fyysistä aktiivisuutta tarkasteltaessa huomio kiinnitetään ensisijaisesti liikuntakertojen määrään, mutta kokonaiskuvan kannalta on tärkeää huomioida myös liikuntakertojen kesto ja intensiteetti (Zoeller, 2010). Merkittävää yksilön fyysisen aktiivisuuden tarkastelussa on se, että perimän vaikutus fyysisen suorituskyvyn lähtötasoon ja täten myös liikuntaharjoittelun aikaansaamiin fysiologisiin vasteisiin on melko suuri (McArdle, Katch, & Katch, 2007), jolloin täsmälleen samalla määrällä, kestolla ja intensiteetillä harjoittelevien tutkittavien liikuntaharjoittelun aikaansaamien vasteiden vaihtelu voi kasvaa hyvinkin suureksi. Perimän suurehkosta yksilöllistä vaikutuksesta huolimatta tiettyjä liikuntaharjoittelussa vallitsevia lainalaisuuksia on kuitenkin kyetty määrittelemään. Ensimmäinen huomioitava periaate liikuntaharjoittelussa on harjoittelumuodosta riippuvaisen spesifin harjoitteluvasteen syntyminen (McArdle ym., 2007). Raskailla painoilla suoritettu maksimivoimaharjoittelu kuntosalilla ei siis tehosta pitkäkestoisissa tasavauhtisissa kestävyysuorituksissa tarvittavaa aerobista aineenvaihdunnallista kapasiteettia, eikä päinvastoin. Toinen tärkeä komponentti liittyy osaltaan geeniperimän määrittelemän fyysisen lähtötason kautta yksilölliseen kuormittumiskyynnykseen. Ollakseen tehokasta ja terveystä

edistävää, liikuntaharjoittelun täytyy aiheuttaa elimistöön kuormitusreaktio (McArdle ym., 2007). Matalan lähtötason yksilöille harjoitteluvasteen syntymiseen riittää tyypillisesti intensiteetiltään heikompi liikuntaharjoittelu, kun korkean lähtötason- tai aiemman liikuntaharjoittelutaustan yksilöille aktiivisuuden intensiteetin tulee olla vasteen synnyttääkseen voimakkaampaa. Yhteenvetona voidaan todeta, että liikunnan terveystaikutuksia välittävät fysiologiset mekanismit määräytyvät harjoittelumuodon, ja sen synnyttämän spesifin harjoitteluvasteen mukaan.

Liikuntaharjoittelun vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu ainoastaan fysiologisiin vasteisiin, vaan ne välittyvät erilaisten mekanismien kautta myös aivoterveuteen ja kognitioon (Strong ym., 2005; Syväoja ym., 2014). Yksiä tärkeimmistä välittävästä mekanismeista ovat säännöllisen liikuntaharjoittelun aikaansaamat hermoverkkojen rakenteelliset muutokset, joihin kuuluvat muun muassa dendriittien laajentuminen kattavammille aivoalueille (Brown ym., 2003), synapsien koon ja tukisolujen määrän lisääntyminen (Markham & Greenough, 2004), aivoverenkierron toiminnan (Thomas ym., 2012) ja neurogeneesin (Brown ym., 2003) tehostuminen. Tehostuneemman ja organisoidumman hermostollisen aktivaation seurauksena voidaan ajatella, että kognitiivista kapasiteettia vaativista tehtävistä olisi tällöin mahdollista suoriutua joustavammin sekä pienemmin ponnisteluin.

1.1 Fyysinen aktiivisuus ja kognitio

Zoellerin (2010) mukaan kognitiolla tarkoitetaan kaikkia niitä psyykkisiä prosesseja, jotka liittyvät informaation havaitsemiseen, tunnistamiseen, ymmärtämiseen, käsittelyyn ja päättelyyn, ja jotka voidaan jakaa prosessien funktioiden mukaan neljään dimensioon. Ensimmäiseen kategoriaan kuuluvat tiedon vastaanottamiseen liittyvät prosessit, joiden avulla ympäristön tarjoamaa aisti-informaatiota valikoidaan aktiivisesti tai passiivisesti syvällisempään käsittelyyn tiedon tallentamista, luokittelua ja yhtenäistämistä varten. Toiseen kategoriaan kuuluvat muistamisen ja oppimisen kognitiiviset prosessit, joiden tärkeimpänä tehtävänä on säilyttää pitkäkestoiseen muistiin tallennettua informaatiota, sekä myöhemmin palauttaa se taas työmuistin aktiiviseen käsittelyyn. Kolmas kognition aladimensio pitää sisällään ajatteluun, päättelyyn ja toiminnanohjaukseen liittyvät prosessit, ja neljänteen katsotaan kuuluvaksi informaation välittämiseen tai kommunikaatioon tarvittavat ekspressiiviset toiminnot, jotka pitävät sisällään myös kognition sosiaalisen ulottuvuuden. Zoellerin (2010) kanta edustaa siis

dimensionaalista näkökulmaa kognitioon. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että kognition käsitteen alle on liitettävissä kaikki informaation käsittelyyn liittyvät psyykkiset prosessit.

Useat tutkimukset ovat osoittaneet erilaisten liikuntaharjoittelumuotojen ja fyysisen aktiivisuuden vaikuttavan positiivisesti kognition eri osa-alueisiin eri ikäisillä tutkittavilla. Davis ym. (2011) tutkivat keskimäärin 13 viikon mittaisen aerobisen liikuntaharjoitteluinterventio-vaikutuksia tyypillistä vähemmän liikkuvien lasten kognitioon, ja tulokset osoittivat liikuntaharjoittelun tehostaneen kognitiivisia prosesseja Das-Naglieri Cognitive Assessment Systemin (CAS) testipatteriston useiden toiminnanohjauksen komponentteja mittaavien testien pistemäärien osalta. Lisäksi tutkijat havaitsivat liikuntaharjoitteluinterventioon osallistuneilla tutkittavilla fMRI:llä mitattuna voimistunutta prefrontaalikorteksin aktiivisuutta, joka todennäköisesti vaikuttaa havaittujen kognitiivisten muutosten taustalla. Nämä tulokset heijastuivat myös kohonneisiin pistemääriin matemaattista kompetenssia mittaavissa testisuorituksissa. Edelleen, Chaddock ym. (2010) havaitsivat 9-10 vuotiaiden lasten maksimaalisen hapenottokyvyn (VO₂max) korreloivan positiivisesti muistitehtävissä virheettömän suoriutumisen kanssa. Lasten aerobinen suorituskyky oli lisäksi yhteydessä hippokampuksen suurempaan kokoon, jota voidaan pitää hippokampuksen pykäläpoimussa tapahtuvan neurogeneesin indikaattorina (Erickson ym., 2011).

On huomionarvoista, että em. tutkimusten mukaan fyysisen aktiivisuuden ja liikuntaharjoittelun yhteydet tehostuneeseen kognitioon ovat selkeästi näkyvissä jo nuorella iällä. Tyypillisesti toiminnanohjauksen komponenttien sekä siitä pääosin vastaavan prefrontaalikorteksin katsotaan kehittyvän vielä verrattain myöhään nuoruusiässä (Anderson, 2002), mutta em. tutkimusten mukaan voisi olla olemassa tendenssiä siihen, että aerobisen liikuntaharjoittelun avulla olisi mahdollista tukea korkeamman tason kognitiivisten järjestelmien, kuten esimerkiksi toiminnanohjauksen prosessien kypsymistä aivojen rakenteellisten ja toiminnallisten muutosten ollessa vielä kesken. Tuoreimman tiedon mukaan lapsia ja nuoria koskeva tutkimus liikuntaharjoittelun vaikutuksista kognitioon on kuitenkin vähäistä verrattuna muihin ikäryhmiin (Samuel ym., 2017).

Aikuisilla ja ikääntyneillä toteutettu tutkimus liikuntaharjoittelun vaikutuksista kognitioon on tuloksellisesti pääpiirteittäin samassa linjassa lapsilla ja nuorilla tehdyn tutkimuksen kanssa, ja varsinkin ikääntyneiden kognitiosta ja sen ylläpitämisestä on saatavilla runsaasti eri koeasetelmin tuotettua tietoa (Etnier, 2008.) Erityispiirteeksi ikääntyvien liikuntaharjoittelun ja kognitiivisten toimintojen tutkimuksessa voidaan katsoa se, että säännöllisellä liikunnallisella aktiivisuudella (Zhu ym., 2017) ja aerobisen suorituskyvyn harjoittamisella (Shay & Roth, 1992) voidaan

ennemminkin ylläpitää kognitiivisten toimintojen tasoa ja ehkäistä vanhuusiälle tyypillistä lievää kognitiivista heikkenemistä, kuin tehostaa kognitiivisia toimintoja. Vastikään julkaistun katsauksen mukaan on olemassa viitteitä myös siitä, että liikuntaharjoittelun kognitiivisia toimintoja tehostavat vaikutukset voisivat epigeneettisen periytymisen avulla siirtyä jopa yli sukupolvien vaikuttamalla solujen proteiinipitoisuuksiin sekä muovaamalla metyyliyhmiä kiinnittymistä DNA:n emäksiin (Fernandes, Arida, & Gomez-Pinilla, 2017). Tutkimustietoa aiheesta löytyy kuitenkin vielä suppeasti, ja lisää tutkimusta tarvitaan.

1.2 Liikuntaharjoittelun akuuttivaikutukset kognitioon

Monin erilaisin tutkimusasetelmin tutkittujen liikunnan pitkäaikaisvaikutusten lisäksi pieni, mutta kasvava määrä tutkimuksia tarjoaa viitteitä siitä, liikuntaharjoittelu aiheuttaa myös välittömiä muutoksia aivojen fysiologisiin prosesseihin sekä kognitioon. Brisswalterin, Collardeaun ja Renén katsauksessa (2002) on indikoitu, että liikuntaharjoittelun intensiteetti olisi käänteisen U-kirjaimen muotoisessa suhteessa kognitioon. Toisin sanoen tämä tarkoittaa sitä, että matalan intensiteetin aerobisen liikuntaharjoittelun ja anaerobisen maksimisykeharjoittelun välissä olisi harjoitteluintensiteetiltään submaksimaalinen alue, jolla akuuttivaikutukset kognitioon olisivat näkyvissä kaikkein selvimmin.

Akuuttivaikutusten haastavan ajallisen luonteen takia niiden tutkimusta on toteutettu suureksi osin eläimillä, mutta jatkuvasti kehittyvien aivokuvantamismenetelmien ansiosta myös ihmisaivoista on alettu julkaista tutkimusta. Eläimillä toteutettujen akuuttivastetutkimuksien erityispiirteenä tosin on niiden voimakas painottuminen verenkierron kautta välittyviin hormonaalisiin ja aineenvaihdunnallisiin tekijöihin. Neeper ym. (1996) havaitsivat rottien aivojen reagoivan juoksupyöräharjoitteluun lisäämällä aivoperäisen neurokasvutekijän (BDNF) erityistä hippokampuksen alueella, ja erityisesti sen CA1- ja CA4- osissa. Edelleen, myöskin hermokasvutekijän (NGF) pitoisuus lisääntyi hippokampuksessa vaikuttaen erityisesti pykäläpoimun jyväsolukerrokseen.

Aivoperäisen neurokasvutekijän pitoisuuden on havaittu kasvavan vasteena liikuntaharjoitteluun myös ihmisaivoissa, sekä lisäksi BDNF:n lisääntymisen voimakkuuden korreloivan liikuntaharjoittelun intensiteetin kanssa (Ferris, Williams, & Shen, 2007). Ferrisin ym. tutkimuksessa myös Stroopin väri-sanatestin reaktioaikojen arvot paranivat tilastollisesti

merkitsevästi akuutin liikuntaharjoittelun seurauksena verrattuna lähtömittauksen reaktioaikoihin. Sekä jyrsiä- että ihmisotoksilla liikuntaharjoittelun ja aivoperäisen neurokasvutekijän ekspression yhteyksiä tutkineet Rasmussen ym. (2009) taas toteavat BDNF:n vapautumisen tapahtuvan pääosin liikuntaharjoittelun aikana, mutta määrällisen huipun sijoittuvan liikuntaharjoittelun jälkeiseen palautumisvaiheeseen.

Liikuntaharjoittelun ja aivoperäisen neurokasvutekijän pitoisuuksien positiivinen korrelaatio on syytä huomioida tehostuneen kognition osatekijöitä tutkittaessa, sillä BDNF:n on havaittu parantavan hermoverkkojen plastisuutta sekä lisäävän synaptisen transmission ajallista, että paikallista tehokkuutta (Tyler ym., 2002). BDNF:n kognitiota tehostava vaikutus ja positiivinen korrelaatio liikuntaharjoittelun kanssa on vastikään havaittu myös vanhuksilla tehdyssä tutkimuksessa (Küster ym., 2017).

1.3 Toiminnanohjaus liikuntaharjoittelun viitekehyksessä

Toiminnanohjaus (executive functions, EF) on ylätermi useille kognitiivisille kontrolli- sekä ohjausprosesseille, jotka tekevät mahdolliseksi toiminnan tahdonalaisen ohjauksen ja oman toiminnan etukäteisen suunnittelun (Diamond, 2013). Diamondin kattavan listauksen mukaan top-down periaatteen mukaan operoivia toiminnanohjauksen komponentteja käytetään muun muassa keskittymiseen, huomion ylläpitämiseen oikeassa ärsykkeessä, huomion palauttamiseen relevanttiin ärsykkeeseen sen karkaamisen jälkeen, häiriötekijöiden vastustamiseen sekä useiden vaihtoehtoisten näkökulmien huomioimiseen kompleksisia semanttisia rakenteita tarkasteltaessa.

Toiminnanohjauksen käsite on jokseenkin löyhä ja tutkimuksesta riippuen siihen saatetaan katsoa kuuluvaksi vaihtelevia komponentteja, joten tästä johtuen lieneekin syytä määritellä toiminnanohjaukselle alakäsitteistöä. Tällä hetkellä kentällä vallitsee yhteisymmärrys siitä, että toiminnanohjaus koostuu kolmesta erillisestä, mutta toisiinsa kiinteästi yhteydessä olevasta ydinkomponentista: inhibitiosta, työmuistista sekä kognitiivisesta joustavuudesta (Best & Miller, 2010). Inhibitio pitää sisällään ärsykevirrasta epäolennaisen ärsykeaineuksen poissulkemisen tietoisesta käsittelystä, työmuisti parhaillaan eksplisiittisesti prosessoitavana olevan muistiaineuksen ja kognitiivinen joustavuus mahdollistaa lähestymisstrategian tai -näkökulman vaihdoksen sopeuttaakseen ajattelun vallitseviin sääntöihin ja ympäristön muuttuviin tiloihin. Nämä ydinkomponentit saattavat varsinkin varhaislapsuuden aikana kehittyä hyvinkin erilaisessa

tahdissa (Miyake ym., 2000). Toiminnanohjauksen ydinkomponenteilla on kriittinen rooli lapsen ja nuoren kognitiivisen kehitystason, sosiaalisen vuorovaikutuksen, tunteiden hallinnan ja käytöksen kannalta koko niiden kehitysprosessien ajan (Anderson, 2002).

Toiminnanohjauksen komponenttien on havaittu olevan jokseenkin alttiita liikuntaharjoittelun akuuttivaikutuksille, joskin tutkimusta on toistaiseksi tehty vähän. Verbugh ym. (2013) havaitsivat 19 tutkimusta sisältäneessä meta-analyysissään, että liikuntaharjoittelulla on tilastollisesti merkitsevä kohtalainen akuuttivaikutus toiminnanohjauksen komponentteihin (Cohenin $d=0.52$) tutkittavien iästä riippumatta. On kuitenkin huomioitava, että meta-analyysin tutkimuksista ainoastaan kolme yhdeksästätoista oli toteutettu nuorilla tutkittavilla, joten lisätutkimusta tarvitaan erityisesti ikävaiheesta, jolloin pääosin prefrontaalikorteksin ohjaamat toiminnanohjauksen kehitysprosessit ovat vielä kesken. Toiminnanohjauksen ydinkomponenteista inhibitiota on pystytty merkitsevästi tehostamaan myös lihasryhmäkohdennetulla voimaharjoittelulla (Tsukamoto ym., 2017). Tulos on mielenkiintoinen, sillä yleisen käsityksen mukaan liikuntaharjoittelun vaikutukset kognitioon saadaan parhaiten näkyviin kestävyysharjoittelun avulla.

1.4 Korkean intensiteetin intervalliharjoittelu ja kognitio

Korkean intensiteetin intervalliharjoittelu (High-Intensity Interval Training, HIIT) on liikuntaharjoittelun muoto, jolla pystytään harjoittamaan aerobista suorituskykyä ja kestävyyttä, sekä kehon aineenvaihdunnallisia prosesseja tehokkaasti ja poikkeuksellisen lyhyessä ajassa verrattuna useimpiin muihin harjoittelumuotoihin (Mosley & Bee, 2014). HIIT-harjoittelun perusajatuksena on syklittää matalaintensiteettisten aerobisten harjoitteluperiodien väliin lyhytkestoisia anaerobisia korkean harjoitteluintensiteetin intervaleja, joiden harjoittelutehossa liikutaan lähellä yksilöllistä maksimisykettä. Korkean intensiteetin intervallin jälkeen siirrytään välittömästi takaisin matalavauhtiseen harjoitteluun, jonka aikana kehon fysiologisia prosesseja palautetaan intensiivisestä kuormituksesta ja valmistaudutaan seuraavaan korkean intensiteetin intervallijaksoon. Matalaintensiteettisen harjoittelun jakso tulee pitää kevyenä ja aineenvaihdunnallisia prosesseja palauttavana, jolloin sykkeen tulisi laskea jakson aikana noin 40-50 prosenttiin maksimisykkeestä (Whitehurst, 2012).

Harjoitteluintervallien kestoista, sekä matalan- ja korkean intensiteetin intervallien keskinäisestä suhteesta harjoituksessa on olemassa lukuisia muunnelmia, ja tästä johtuen HIIT-

harjoittelu onkin mahdollista muovata yksilölliseen harjoitteluohjelmaan sopivaksi iästä tai aikaisemmasta harjoittelutaustasta riippumatta (Buccheit & Laursen, 2013; Mosley & Bee, 2014). Tyypillisesti korkean intensiteetin intervallin kesto vaihtelee muutamasta kymmenestä sekunnista yhteen minuuttiin, ja tätä seuraa 1-4 minuutin pituinen matalaintensiteettinen palautumisjakso. HIIT-harjoittelun suuren suosion syynä lienee se, että yksittäinen harjoituskerta voidaan suorittaa huomattavasti lyhyemmässä ajassa kuin tyypillinen aerobinen kestävyysharjoituskerta. Yksittäisen harjoituksen lyhyestä kestosta huolimatta HIIT-harjoittelulla on havaittu olevan merkittäviä tehostavia vaikutuksia muun muassa maksimaaliseen hapenottookykyyn ja sydämen minuuttitilavuuteen (Astorino ym., 2017). Edellämäinnittua tukien Helgerudin ym. (2007) tutkimuksessa HIIT-harjoittelulla havaittiin olevan jopa voimakkaampi vaikutus maksimaaliseen hapenottookykyyn kuin tasavauhtisilla aerobisilla ja anaerobisilla liikuntaharjoittelumuodoilla.

Korkean intensiteetin intervalliharjoittelun akuuttivaikutuksia toiminnanohjauksen komponentteihin on tutkittu äärimmäisen vähän, mutta joitakin viitteitä HIIT-harjoittelun vaikutuksista tehostuneeseen toiminnanohjaukseen on löydetty. Alvesin ym. (2014) tutkimuksessa 24 tervettä aikuista (ka. 53.7 vuotta) jaettiin HIIT-harjoittelevien ryhmään sekä kontrolliryhmään, jotka ohjattiin tekemään intervalliharjoittelun sijasta venyttelyharjoituksia. Tulokset osoittivat, että HIIT-harjoitteluiden ryhmässä Stroopin väri-sanatestiin käytetty aika pieneni tilastollisesti merkitsevästi verrattuna kontrolliryhmän suoritukseen. Tulokset koe- ja kontrolliryhmän osalta eivät kuitenkaan eronneet vastausten tarkkuudessa. Voidaan siis indikoida, että HIIT-harjoittelu todennäköisesti parantaa akuutisti toiminnanohjauksen komponenteista ainakin valikoivaa tarkkaavaisuutta sekä herkkyyttä inhiboida ärsykevirrasta tehtävän kannalta epäolennaisia ärsykevihjeitä. HIIT-harjoittelun akuutteja vaikutuksia toiminnanohjaukseen on kuitenkin tutkittu ainoastaan aikuisilla tutkittavilla, joten tämän tutkimuksen seurauksena saadaan tuotettua uutta tietoa koskien nuoruusvuosien kognitiivisten prosessien tehostamista tutkittavilla, joilla HIIT-harjoittelun akuuttivaikutuksia toiminnanohjauksen komponentteihin ei ole aikaisemmin tutkittu.

1.5 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää yhden korkean intensiteetin intervalliharjoittelukerran akuuttivaikutuksia toiminnanohjaukseen nuorilla perusterveillä

tutkittavilla. Koska aikuisten henkilöiden toiminnanohjauksessa on pääsääntöisesti kyse valmiiksi kehittyneistä prosesseista, ja korkean intensiteetin intervalliharjoittelun pitkäaikaisvaikutusten lisäksi sen on indikoitu tehostavan toiminnanohjausta myös akuuttitasolla, tämän tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena on tutkia HIIT-harjoittelun akuuttivaikutuksia toiminnanohjauksen komponentteihin siinä ikävaiheessa, kun tutkittavien hermoverkot ovat vielä kehitysvaiheessa ja siksi erityisen plastiset.

Pystyäksemme vastaamaan aikaisemman tutkimustiedon pohjalta heränneisiin kysymyksiin nuorten henkilöiden HIIT-harjoittelun akuuttivaikutuksista toiminnanohjauksen komponentteihin, tutkimuskysymyksemme muotoutuivat seuraavanlaisiksi:

- 1. Vaikuttaako yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien nopeuteen nuorilla tutkittavilla?*
- 2. Vaikuttaako yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen nuorilla tutkittavilla?*

Tutkimuskysymyksiin liittyen asetimme aikaisemman, vaikkakin suppean tiedon valossa myös niihin liittyvän hypoteesin sekä alahypoteesin:

H1: Yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta tehostaa akuutisti toiminnanohjauksen prosesseja, ja H1.1 erityisesti toiminnanohjauksen inhibitiota, joka näkyy tutkittavien vastausnopeuden, muttei välttämättä vastaustarkkuuden kohentumisena.

2. Aineisto

Tämän kandidaatin tutkielman aineisto on osa laajempaa NEEDS (Neural Effects of Exercise, Diet and Sleep) tutkimusaineistoa. NEEDS-tutkimus toteutetaan yhteistyössä Jyväskylän

yliopiston monitieteisen aivotutkimuskeskuksen, psykologian laitoksen, liikuntabiologian tieteenalan sekä Itä-Suomen yliopiston biolääketieteen yksikön kanssa vuosina 2015-2017. Tutkimuksessa selvitetään korkean intensiteetin intervalliharjoittelun (HIIT), fyysisen aktiivisuuden, ravitsemuksen ja unen vaikutuksia kognitioon ja aivojen toimintaan Jyväskylässä asuvilla perusterveillä toisen asteen oppilaitoksissa opiskelevilla nuorilla. Tämä tutkimus kuuluu Jyväskylän yliopiston profilointialaan monitieteinen aivotutkimus, jota rahoittaa Suomen Akatemia.

Jyväskylän yliopiston tutkimuseettinen toimikunta on antanut puoltavan lausunnon NEEDS-tutkimuksen toteuttamiselle. Kaikkia tutkimukseen osallistuneita on informoitu tutkimuksen kulusta ja sen mahdollisista hyödyistä, haitoista sekä riskeistä riittävästi ja hyvissä ajoin ennen tutkimuksen aloittamista. Tutkittavien nuoresta iästä (16-19 -vuotta) johtuen, myös tutkittavien huoltajia on informoitu samalla tavalla kuin tutkittavia.

Tutkimuslain mukaan yli 15-vuotias voi antaa itsenäisesti suostumuksensa tutkimukseen, jos tutkimuksesta on odotettavissa suoraa hyötyä tutkittavalle ja tutkittava on kehitystasoonsa nähden kykenevä päätöksentekoon. Kehitystaso on huomioitava myös tutkimuksesta informaation annossa sekä suostumusta pyydettyä (Keränen & Pasternack, 2015). Osallistuminen NEEDS-tutkimukseen on ollut vapaaehtoista ja tutkittavilla on ollut oikeus kieltäytyä tai keskeyttää tutkimukseen osallistuminen, milloin tahansa (Haapala, 2015; NEEDS, 2016).

2.1 Tutkittavat

NEEDS-tutkimuksen aineiston alkumittaukset toteutettiin Jyväskylän yliopiston Liikunta- ja terveyslaboratoriossa keväällä 2017. Yhteensä tutkimukseen osallistui 54 nuorta, joista tyttöjä 34 ja poikia 20. Osallistujat olivat iältään 16-19 vuotiaita ja heidät rekrytoitiin tutkimukseen Jyväskylän alueelta. Tutkimukseen osallistumisen poissulkukriteereinä olivat vakava sydänsairaus, hoitamaton tai huonossa tasapainossa oleva tyyppi 1 diabetes, vaikea masennus- tai ahdistuneisuushäiriö tai tuki- ja liikuntaelimestön vamma tai sairaus, joka olisi vaikeuttanut liikuntaharjoitteluinterventioon osallistumista.

Alkumittauksessa tutkittavilta mitattiin paino, pituus, kehonkoostumus bioimpedanssilaitteella, valtimojäykkyys sekä maksimaalinen hapenottokyky polkupyöräergometrillä. Lisäksi erillisellä kyselylomakkeella selvitettiin tutkittavien taustatekijöistä liikunta-aktiivisuutta, ravitsemusta,

unta, muita elintapoja ja koulumenestystä sekä motivaatiota ja kouluviihtyvyyttä. Yksittäisen mittauskerran kesto oli noin kaksi tuntia.

Alkumittausten jälkeen 11 tutkittavaa valittiin osallistumaan tutkimukseen, jossa tutkittiin korkean intensiteetin intervalliharjoittelun akuuttivaikutuksia aivotoimintaan aivomagneettikäyrän eli magnetoenkefalografian avulla. Tämän kandidaatin tutkielman aineisto (n=9) koostuu näistä jatkotutkimuksiin osallistuneista tutkittavista, jotka osallistuivat sekä koe- että kontrollimittauksiin. Jatkotutkimuksiin osallistuneista tutkittavista tyttöjä oli seitsemän ja poikia kaksi, ja tutkittavat olivat iältään 16 -vuotiaita. Tutkimuksen jatkotutkimusmittaukset toteutettiin Jyväskylän yliopiston monitieteisen aivotutkimuskeskuksen MEG-laboratoriossa alkaen toukokuusta 2017 päättyen syyskuuhun 2017. Yksittäisen jatkotutkimusmittauksen kesto oli noin kolme tuntia riippumatta siitä, oliko kyseessä koe- vai kontrollimittaus.

2.2 Tutkimusasetelma

Samoille tutkittaville (n=9) suoritettiin sekä koe- että kontrollimittaus. Oppimisvaikutuksen kontrolloimiseksi puolet tutkittavista (n=5) satunnaistettiin osallistumaan ensimmäisellä mittauskerralla varsinaiseen intervalliharjoittelumittaukseen ja toisella mittauskerralla kontrollimittaukseen, ja toinen puolikas tutkittavista (n=4) osallistumaan ensimmäisellä mittauskerralla kontrollimittaukseen, ja toisella intervalliharjoittelumittaukseen. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran välissä oli pääsääntöisesti kahden viikon tauko.

MEG-laboratoriossa suoritetuissa jatkomittauksissa tutkittavilta mitattiin alussa 12 minuutin jakson ajan lepoaktiivisuutta MEG-laitteella, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat Stroopin väri-sanatestin (Stroop, 1935) ensimmäisen trialin. Ensimmäisessä Stroopin väri-sanatestin trialissa tutkittaville esitettiin laboratoriossa 480 väriä kuvaavaa sanaa, joista 240 olivat kongruentteja (väri ja sanan semanttinen merkitys olivat sopusoinnussa) ja 240 olivat inkongruentteja (väri ja sanan semanttinen värin merkitys olivat ristiriidassa). Tutkittavien ohjeistuksena oli tunnistaa näyttöpäätteellä esitetyn sanan väri mahdollisimman nopeasti, ja painaa edessään olevasta vastauskonsolista väriä vastaavaa painiketta. Sanat esitettiin ohjelmiston randomoimassa järjestyksessä, kuitenkin niin, ettei näytölle ilmestynyt kahta samaa väriä eikä samaa väriä kuvaavaa sanaa peräkkäin. Tutkittavat istuivat MEG-laitteessa edessään näyttöpäätte sekä vastauskonsoli, jonka painikkeet vastasivat ruudulla esitettyjen sanojen värejä. Konsolin

painikkeiden värijärjestys vasemmalta oikealle kuvattuna oli sininen-keltainen-vihreä-punainen. Jokainen tutkittava harjoitteli vastauskonsolin käyttöä ennen varsinaisia mittauksia, jotta vastaaminen olisi koetilanteessa mahdollisimman automatisoitua.

Stroopin väri-sanatestin ensimmäisen trialin jälkeen tutkittavat suorittivat koemittauksen aikana 16 minuutin mittaisen HIIT-harjoituksen polkupyöraergometrilla toteutettuna, tai vaihtoehtoisesti kontrollimittauksen aikana istuivat 20 minuutin ajan laboratoriossa rauhassa paikallaan nostattamatta sykettään. HIIT-harjoitus sisälsi alkuun kolmen minuutin lämmittelyn, jota seuraava varsinainen harjoitus koostui kahdeksasta 30 sekunnin pituisesta korkean intensiteetin intervallista, joista jokaista seurasi 1,5 minuutin pituinen matalaintensiteettinen aerobinen polkemisjakso. Polkupyöraergometrin korkean intensiteetin intervalliperiodien vastukseksi määriteltiin 10% tutkittavan rasvattomasta kehon massasta ja vastusta vähennettiin aerobisten polkemisjaksojen ajaksi. Tutkittavien kehonkoostumuksen mittaus tapahtui alkumittauksessa seisten, kevyessä vaatetuksessa, kalibroidulla Inbody® 720 -laitteella ja kehonkoostumusmittauksen tarkkuus bioimpedanssianalyysissä oli 0,1 kg. Kontrollimittauksissa tutkittaville annettiin trialien välissä pidettävän 20 minuutin tauon aikana mahdollisuus lukea lehtiä tai käyttää matkapuhelintaan.

HIIT-harjoittelua tai kontrollimittausten 20 minuutin taukoa seurasi uusi 12 minuutin lepoaktiivisuuden mittaus MEG-laitteessa, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat välittömästi Stroopin väri-sanatestin toisen 480 sanan mittaisen trialin. Tutkimuksen toiminnanohjauksen komponenttien muutoksia mittaavaksi testiksi valittiin Stroopin väri-sanatesti, koska menetelmässä korostuu inhibition ja valikoivan tarkkaavaisuuden osa-alueet (David ym., 2010), joten testi vastasi tarpeeseemme havainnoida muutoksia oleellisen ärsykeinformaation valikoimisen sekä epäoleellisen informaation poissulkemisen alueilla.

2.3 Aineiston analysointi

Aineiston tarkemman analysoinnin mahdollistamiseksi jokaisen tutkittavan neljän mittauskerran Stroopin väri-sanatestin vastausten reaktioajat taulukoitiin, ja jokaisesta trialista eroteltiin erikseen analysoitaviksi oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioajat, sekä virheellisten vastausten määrät. Jokaisen tutkittavan oikeiden vastausten reaktioajoille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat trialeittain. Näin ollen jokaista tutkittavaa kohden muodostettiin

kuusitoista keskenään vertailukelpoista tilastollista tunnuslukua oikeiden vastauksien reaktioajoista: ennen HIIT-harjoittelua toteutetun Stroopin väri-sanatestin oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot ja keskihajonnat (H_RTpreC_m, H_RTpreC_std, H_RTpreI_m ja H_RTpreI_std), HIIT-harjoittelun jälkeen toteutetun Stroopin väri-sanatestin oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot ja keskihajonnat (H_RTpostC_m, H_RTpostC_std, H_RTpostI_m ja H_RTpostI_std), ennen kontrollimittausta toteutetun Stroopin väri-sanatestin oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot ja keskihajonnat (C_RTpreC_m, C_RTpreC_std, C_RTpreI_m ja C_RTpreI_std), sekä kontrollimittauksen jälkeen toteutetun Stroopin väri-sanatestin oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot ja keskihajonnat (C_RTpostC_m, C_RTpostC_std, C_RTpostI_m ja C_RTpostI_std). Reaktioaikojen keskiarvot ja keskihajonnat trialeittain ovat esitelty *taulukossa 1*.

Analyysin toisessa vaiheessa oikeiden vastausten reaktioajoista muodostettiin neljä erotusmuuttujaa vähentämällä saman mittauskerran inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvoista kongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot. Näin päästiin tarkastelemaan kongruenssiefektiä eli sitä, onko yksittäisten mittauskertojen välillä eroja siinä, kuinka paljon tutkittavien reaktioajat eroavat oikein vastatuiden inkongruenttien ärsykkeiden ja oikeiden vastatuiden kongruenttien ärsykkeiden välillä. Neljä muodostettua erotusmuuttujaa saivat nimikseen H_RTpreI-C, H_RTpostI-C, C_RTpreI-C ja C_RTpostI-C. Erotusmuuttujien numeeriset arvot ovat esitelty *taulukossa 2*.

Lisäksi taulukoitiin erikseen jokaisen tutkittavan neljän mittauskerran Stroopin väri-sanatestin virheellisten vastausten määrät, sillä virheellisten vastausten taustalla voidaan olettaa olevan erityyppinen kognitiivinen prosessi verrattuna oikeisiin vastauksiin (Stroop, 1935). Tutkittavien virheellisten vastausten määrät taulukoitiin neljään kategoriaan: ennen HIIT-harjoittelua toteutetun Stroopin väri-sanatestin väärin vastausten määrät (H_pre_error), HIIT-harjoittelun jälkeen toteutetun Stroopin väri-sanatestin väärin vastausten määrät (H_post_error), ennen kontrollimittausta toteutetun Stroopin väri-sanatestin väärin vastausten määrät (C_pre_error) sekä kontrollimittauksen jälkeen toteutetun Stroopin väri-sanatestin virheellisten vastausten määrät (C_post_error). Virheellisten vastausten määrät trialeittain ovat esitelty *taulukossa 3*.

Taulukko 1

MODE	PRE mean (std)	POST mean (std)
HIIT_cong	0,61 (0,15)	0,61 (0,16)
HIIT_incong	0,68 (0,20)	0,67 (0,20)
CONTROL_cong	0,63 (0,18)	0,61 (0,17)
CONTROL_incong	0,68 (0,21)	0,66 (20)

Taulukko 1: Tutkittavien oikeiden kongruenttien ja inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvot sekunnin sadasosan tarkkuudella. Suluissa reaktioaikojen keskihajonnat.

Taulukko 2

kh	H_RTprel-C	H_RTpostl-C	C_RTprel-C	C_RTpostl-C
1	,056	,042	,077	,077
2	,044	,083	,001	,005
3	,115	,047	,057	,017
4	,009	,036	,053	,003
5	,109	,061	,062	,082
6	,053	,054	,021	,064
7	,036	,049	,048	,064
8	,105	,085	,129	,131
9	,047	,038	,056	,006

Taulukko 2: Erotusmuuttujat, jotka muodostettiin vähentämällä tutkittavien oikeiden inkongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvoista oikeiden kongruenttien vastausten reaktioajat.

Taulukko 3

kh	H_pre_error	H_post_error	C_pre_error	C_post_error
1	7	3	22	7
2	13	11	11	9
3	19	13	34	28
4	7	13	21	14
5	4	6	6	13
6	10	4	7	2
7	20	12	9	10
8	8	6	14	13
9	6	4	8	5

Taulukko 3: Tutkittavien virheellisten vastausten määrät trialeittain.

Tilastollisena menetelmänä tutkittavien oikeiden inkongruenttien ja kongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvojen analysoimiseen, oikeiden inkongruenttien vastausten ja oikeiden kongruenttien vastausten reaktioaikojen keskiarvoista muodostettujen erotusmuuttujien analysoimiseen sekä tutkittavien virheellisten vastausten analysoimiseen käytettiin monimuuttujaisen varianssianalyysin toistomittausasetelmaa (MANOVA, Multivariate Analysis of Variance). Koska tutkimusasetelma ei sisältänyt erillistä kontrolliryhmää samojen tutkittavien osallistuessa sekä koe-että kontrollimittauksiin, ryhmittelevien tekijöiden puuttuessa analyysissä keskityttiin sisäisten tekijöiden vaihteluun. Tilastollisten menetelmien analyysiohjelmana käytettiin IBM SPSS Statistics 24 tilasto-ohjelmaa.

3. Tulokset

Seuraavassa osiossa esitellään tutkimuksen tulokset koskien yhden korkean intensiteetin intervalliharjoittelukerran akuuttivaikutuksia tutkittavien toiminnanohjauksen prosessien nopeuteen ja tarkkuuteen. Tulokset esitellään järjestyksessä tutkittavien vastausten mukaan jaoteltuna: ensimmäisen alaotsikon alla esitellään tulokset koskien intervalliharjoituksen vaikutuksia reaktioaikojen nopeuteen, toisen alaotsikon alla esitellään tulokset koskien intervalliharjoittelun vaikutuksia kongruenssiefekteihin ja kolmannen alaotsikon alla käsitellään tutkittavien virheellisistä vastauksista saadut tulokset intervalliharjoituksen vaikutuksista vastausreaktioiden tarkkuuteen. Tilastollisena merkitsevyytensä tuloksien tulkinnassa käytettiin 10% tasoa, sillä aineiston analyysivaiheessa päädyttiin tilastollista voimaa vähentävästä poikkeuksellisen pienestä otoskoosta huolimatta käyttämään parametrisia testejä aineiston varianssien yhtäsuuruusoletusten ollessa kunnossa.

Seuraavaksi esiteltävissä toistomittauksen varianssianalyysin tuloksissa käytetään Pillai's Trace -testisuureta, ja sen F-jakautuneita muunnoksia. Pillain testisuureen päädyttiin, sillä Olsen (1976) on päätenyt suosittamaan Pillain testisuureta yleiseen käyttöön, vaikkakin kaikki neljä tunnettua testisuureta ovat monimutkaisimpia asetelmia lukuunottamatta lähes yhtä päteviä.

3.1 HIIT-harjoittelun yhteydet reaktioaikojen nopeuteen

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenämme halusimme selvittää, vaikuttaako yksi 16 minuutin mittainen HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien nopeuteen nuorilla tutkittavilla. Tulokset HIIT-harjoittelun vaikutuksista tutkittavien reaktioaikojen nopeuteen ovat esitelty *taulukossa 4*.

Tutkimustulokset osoittavat, että yksittäinen 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta ei vaikuttanut akuutisti nuorten tutkittavien reaktioaikojen nopeuteen. MODE-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien reaktioaikojen välillä, ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = .091, p = .770$ ns.). Edelleen, AJANKOHTA-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia yksittäisen jatkomittauskerran ennen- ja jälkeen- mittauksien reaktioaikojen välillä, ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = 1,634, p = .237$ ns.).

Sen sijaan KONDITIO-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia tutkittavien reaktionopeudessa suhteessa inkongruentteihin ja kongruentteihin ärsykkeisiin, oli tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = 39,692, p < .001$). Toisin sanoen tutkittavat reagoivat merkitsevästi hitaammin väriltään ja semanttiselta merkitykseltään ristiriitaisiin ärsykkeisiin, kuin väriltään ja semanttiselta merkitykseltään sopusoinnussa oleviin ärsykkeisiin.

MODE*AJANKOHTA muuttujien yhdysvaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien reaktioaikojen välillä riippuen mittauskerran ajoittumisesta ennen- tai jälkeen jatkomittauksen, ei myöskään saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = .502, p = .499$ ns.). Myöskään MODE*KONDITIO muuttujien yhdysvaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien reaktioaikojen välillä riippuen ärsykkeen värin ja semanttisen merkityksen sopusoinnusta tai ristiriidasta, ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = .380, p = .555$ ns.). Edelleen, myöskään AJANKOHTA*KONDITIO muuttujien yhdysvaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia yksittäisen jatkomittauskerran ennen- ja jälkeen- mittauksien reaktioaikojen välillä riippuen ärsykkeen värin ja semanttisen merkityksen sopusoinnusta tai ristiriidasta, ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = .828, p = .389$ ns.). Viimeisimpänä tarkasteltiin kaikkien kolmen edellä mainitun tason yhdysvaikutusta MODE*AJANKOHTA*KONDITIO, joka ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = .033, p = .861$ ns.).

Taulukko 4

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
mode	Pillai's Trace	,011	,091 ^b	1,000	8,000	,770
ajankohta	Pillai's Trace	,170	1,634 ^b	1,000	8,000	,237
konditio	Pillai's Trace	,832	39,692 ^b	1,000	8,000	,000
mode * ajankohta	Pillai's Trace	,059	,502 ^b	1,000	8,000	,499
mode * konditio	Pillai's Trace	,045	,380 ^b	1,000	8,000	,555
ajankohta * konditio	Pillai's Trace	,094	,828 ^b	1,000	8,000	,389
mode * ajankohta * konditio	Pillai's Trace	,004	,033 ^b	1,000	8,000	,861

Taulukko 4: Toistomittausten varianssianalyysin omavaikutukset, yhdysvaikutukset ja merkitsevyystasot koskien HIIT-harjoittelun vaikutuksia nuorten tutkittavien toiminnanohjauksen komponentteihin.

3.2 HIIT-harjoittelun yhteydet kongruenssiefekteihin

Aineiston analyysivaiheessa päädyimme myös selvittämään vaikuttaako HIIT-harjoittelu tutkittavien kongruenssiefekteihin, eli syntyykö yksittäisten mittauskertojen välillä eroja siinä, kuinka paljon hitaammin tutkittavat reagoivat vastaamalla oikein näyttöpäätteellä esitettäviin inkongruentteihin ärsykkeisiin kuin kongruentteihin ärsykkeisiin. Toistomittausten varianssianalyysin tulokset HIIT-harjoittelun vaikutuksista kongruenssiefekteihin ovat esitelty *taulukossa 5*.

Tutkimustulokset osoittavat, että yksittäinen 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta ei vaikuttanut akuutisti nuorten tutkittavien kongruenssiefekteihin. MODE-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien kongruenssiefektien välillä, ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = .380, p .555$ ns.).

Edelleen, AJANKOHTA-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia yksittäisen jatkomittauskerran ennen- ja jälkeen- mittauksien kongruenssiefektien välillä, ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = .828, p .389$ ns.). Lisäksi myöskään MODE*AJANKOHTA muuttujien yhdysvaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien kongruenssiefektien välillä riippuen mittauskerran ajoittumisesta ennen- tai jälkeen jatkomittauksen, ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = .033, p .861$ ns.).

Taulukko 5

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared
mode	Pillai's Trace	,045	,380 ^b	1,000	8,000	,555	,045
ajankohta	Pillai's Trace	,094	,828 ^b	1,000	8,000	,389	,094
mode * ajankohta	Pillai's Trace	,004	,033 ^b	1,000	8,000	,861	,004

Taulukko 5: Toistomittausten varianssianalyysin omavaikutukset, yhdysvaikutus ja merkitsevyystasot koskien HIIT-harjoittelun vaikutuksia nuorten tutkittavien kongruenssiefekteihin.

3.3 HIIT-harjoittelun yhteydet reaktioiden tarkkuuteen

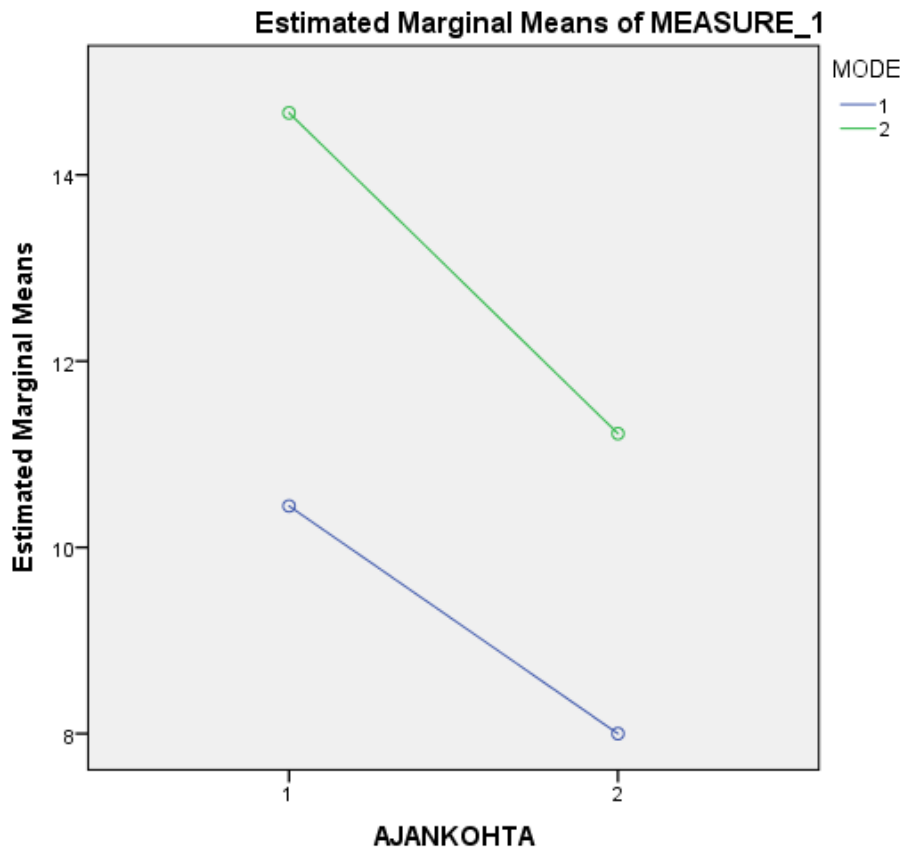
Toisena tutkimuskysymyksenämme halusimme selvittää, vaikuttaako yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen nuorilla tutkittavilla, eli syntyykö mittauskertojen välillä eroja siinä, kuinka moneen ärsykkeeseen tutkittavat vastaavat virheellisesti. Tulokset osoittivat, että yhdellä 16 minuutin HIIT-harjoittelukerralla on suuntaa antava akuuttivaikutus nuorten tutkittavien toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen. Toisin sanoen tutkittavien virheellisten vastausten määrät olivat pienempiä HIIT-harjoittelukerran jälkeen verrattuna kontrollitilanteeseen, mutta tilastolliset tarkastelut osoittivat, että ero jää merkitsevyyttä lähestyväksi. Tutkimustulokset HIIT-harjoittelun yhteyksistä tutkittavien vastausreaktioiden tarkkuuteen ovat esitelty *taulukossa 6*.

MODE-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia tutkittavien virheellisten vastausten määrissä HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien välillä, ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä ($F(1, 8) = 2,740, p .136$). *Kuviota 1* tarkastelemalla voidaan kuitenkin havaita, että virheellisten vastausten määrä vähenee HIIT-harjoittelun seurauksena.

Lisäksi, AJANKOHTA-muuttujan omavaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia tutkittavien virheellisten vastausten määrissä yksittäisen jatkomittauskerran ennen- ja jälkeen- mittauksien välillä, oli tilastollisesti merkitsevä ($F(1, 8) = 5.045, p .055$). Parittaiset vertailut (Bonferroni) osoittivat, että tutkittavien virheellisten vastausten määrä Stroopin väri-sanatehtävässä oli pienempi yksittäisen jatkomittauskerran jälkeen-mittauksessa kuin ennen-mittauksessa

riippumatta siitä, oliko mittauksien välillä 16 minuutin HIIT-harjoitus vai 20 minuutin tauko. Havainnollistava graafinen esitys yksittäisen mittauskerran alku- ja loppumittausten välisistä virheellisten vastausten keskiarvojen vaihtelun eroista löytyy *kuviosta 1*.

KUVIO 1



Kuvio 1: Tutkittavien virheellisten Stroopin väri-sanatestin vastausten määrien keskiarvot mittauskerroittain. MODE 1 = HIIT-mittaus, MODE 2 = kontrollimittaus. AJANKOHTA 1 = ennen-mittaus, AJANKOHTA 2 = jälkeen-mittaus. Mittausajankohtien välinen vaihtelu on tilastollisesti merkitsevä (p .055), mutta koe- ja kontrollimittausten välinen vaihtelu ei saavuttanut merkitsevyyttä (p .136).

MODE*AJANKOHTA muuttujien yhteisvaikutus, joka kuvaa eroavaisuuksia HIIT-mittausten ja kontrollimittausten virheellisten vastausten määrien välillä riippuen mittauskerran ajoittumisesta ennen- tai jälkeen jatkomittauksen, ei ollut tilastollisesti merkitsevä (F (1, 8) = .185, p .679 ns.).

Taulukko 6

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
MODE	Pillai's Trace	,255	2,740 ^b	1,000	8,000	,136
AJANKOHTA	Pillai's Trace	,387	5,045 ^b	1,000	8,000	,055
MODE * AJANKOHTA	Pillai's Trace	,023	,185 ^b	1,000	8,000	,679

Taulukko 6: Toistomittausten varianssianalyysin omavaikutukset, yhdysvaikutukset ja merkitsevyystasot koskien HIIT-harjoittelun vaikutuksia nuorten tutkittavien virheellisten vastausten määrään.

4. Pohdinta

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhden 16 minuutin mittaisen korkean intensiteetin intervalliharjoittelukerran akuuttivaikutuksia toiminnanohjauksen komponentteihin nuorilla perusterveillä tutkittavilla. Tutkimuksessa tarkasteltiin HIIT-harjoittelun välittömiä vaikutuksia tutkittavien Stroopin väri-sanatestin oikeiden vastausten reaktioaikoihin sekä inkongruenttien ja kongruenttien oikeiden vastausten reaktioajoista muodostettuihin erotusmuuttujiin. Tämän lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, onko yksittäisellä HIIT-harjoittelukerralla välittömiä vaikutuksia tutkittavien Stroopin väri-sanatestin virheellisten vastausten lukumääriin. Tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että yksittäisellä HIIT-harjoittelukerralla ei ole välittömiä vaikutuksia perusterveiden nuorten tutkittavien toiminnanohjauksen komponenttien toimintaan lukuunottamatta tilastollista tendenssiä HIIT-harjoittelun vaikutuksista pienempään virheellisten vastausten määrään, eli toisin sanoen toiminnanohjauksen komponenttien toiminnan tarkkuuteen.

Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan tutkimuksesta saatujen tuloksien merkitystä aiemman tutkimustiedon viitekehyksessä, sekä läpikäydään tutkimusta koskevia rajoittavia tekijöitä. Tämän jälkeen käydään läpi tutkimuksen tulosten perusteella laadittu jatkotutkimusehdotus, jonka tarkoituksena on suunnata huomio HIIT-harjoittelun akuuttivaikutusten tutkimiseen huomioiden myös muut toiminnanohjauksen komponentit kuin inhibition.

4.1 Tutkimustulosten kriittinen tarkastelu ja rajoitukset

Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenämme oli, vaikuttaako yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien nopeuteen nuorilla tutkittavilla. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen liittyvä hypoteesimme oli, että yksittäinen HIIT-harjoituskerta tehostaa akuutisti toiminnanohjauksen prosessien toimintaa erityisesti nopeuden osalta. Tutkittavien reaktioaikoja tarkasteltaessa eroavaisuuksia ei löytynyt HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien väliltä eikä mittauskerrasta riippumatta ennen–mittauksien ja jälkeen–mittauksien väliltä, joten asettamamme hypoteesi ei näin ollen saanut tukea. Toistomittausten varianssianalyysin ainoa tilastollisesti merkitsevä tulos tutkittavien reaktioaikojen keskiarvoja tarkasteltaessa löytyi KONDITIO-muuttujan omavaikutuksesta. Havaittu merkitsevyys tukee aiempaa tutkimustietoa Stroopin väri-sanatestin validiudesta inhibition mittarina (Stroop, 1935).

Ranskalainen liikuntaharjoittelun akuuttivaikutusten tutkimusryhmä on todennut, että akuuttivaikutusten tutkimuksessa on tutkimustuloksien kannalta kolme niihin kriittisesti vaikuttavaa tekijää: liikuntaharjoittelun kesto ja intensiteetti sekä psykologisen mittarin luonne (Brisswalter ym., 2002). Psykologian ja liikuntatieteiden kentällä julkaistaan enenevässä määrin liikuntaharjoittelun akuuttivaikutuksia käsitteleviä tutkimuksia, ja tulokset ovat toistaiseksi melko lailla ristiriitaisia keskenään. Kolmen edellä mainitun tekijän vaihtelu osaltaan selittää julkaistujen tutkimusten ristiriitaisia tuloksia.

Myös Schapschröer ym. (2016) toteavat ranskalaisen tutkimusryhmän havaintoja tukien liikuntaharjoittelun akuuttivaikutusten tutkijakentän olevan tällä hetkellä yhtä mieltä siitä, että liikuntaharjoittelun intensiteetti esiintyy käänteisen U-kirjaimen muotoisessa yhteydessä kognitiiviseen suorituskyykyyn. Tässä tutkimuksessa käytettyyn 16 minuutin kestoiseen 8-periodiseen HIIT-harjoitukseen sisältyi huomattava määrä korkeaintensiteettistä anaerobista harjoittelua lähellä tutkittavien maksimiskykyä, joten on mahdollista, että harjoituksen aikainen kuormittuneisuus ja tutkittavien elimistöön syntynyt laktaatti ovat osaltaan toimineet ehkäisevänä tekijänä tutkittavien toiminnanohjauksen komponenttien tehostumisessa. Toiseksi, toiminnanohjauksen käsite pitää sisällään useita kognitiivisia prosesseja, joiden tutkimiseen on olemassa useita eri komponentteja erikseen tarkastelevia mittareita ja testejä. Tässä tutkimuksessa tutkittavien toiminnanohjauksen komponenttien mittarina käytettiin ainoastaan Stroopin väri-sanatestiä (Stroop, 1935), jota käyttämällä voidaan tarkastella luotettavasti ainoastaan tutkittavien inhibition mekanismeissa tapahtuvia muutoksia samalla jättäen muut toiminnanohjauksen komponentit tarkastelun

ulkopuolelle. Tutkimusasetelma ei näin ollen huomionnut esimerkiksi sitä, voidaanko HIIT-harjoittelulla vaikuttaa tutkittavien muistamisen tai havaitsemisen prosesseihin. Lisäksi, tutkittavien reaktioaikojen analysoinnissa käytetyt arvot ovat tietokoneen automaattisesti laskemia, eivätkä näin ollen ottaneet huomioon informaation siirrossa syntyneitä viiveitä. Valodiodilla MEG-laboratorion suojahuoneen näytöltä mitattu viive oli 85 ms.

Aineiston analyysivaiheessa päädyimme myös tarkastelemaan, onko yksittäisellä HIIT-harjoittelukerralla vaikutusta tutkittavien kongruenssiefekteihin, eli toisin sanoen kuinka paljon hitaammin tutkittavat reagoivat vastaamalla oikein näyttöpäätteellä esitettäviin inkongruentteihin ärsykkeisiin kuin kongruentteihin ärsykkeisiin. Tutkittavien oikeiden inkongruenttien ja kongruenttien vastausten reaktioajoista muodostettuja erotusmuuttujia tarkasteltaessa eroavaisuuksia ei löytynyt HIIT-mittauksien ja kontrollimittauksien väliltä eikä mittauskerrasta riippumatta ennen –mittauksien ja jälkeen –mittauksien väliltä, joten voidaan todeta, että yksittäisellä HIIT-harjoittelukerralla ei ollut vaikutusta tutkittavien kongruenssiefekteihin. Tulosta voi osaltaan selittää samat mekanismit, jotka selittävät myös tuloksia koskien HIIT-harjoittelun yhteyksiä tutkittavien reaktioaikoihin. McMorrisin ja Halen meta-analyysin (2012) mukaan submaksimaalisella kohtalaisella intensiteetillä suoritettavalla aerobisella liikuntaharjoittelulla on merkittävästi suurempi efektikoko kognitiivisten tehtävien prosessointinopeuteen kuin korkean intensiteetin liikuntaharjoittelulla. Jokaisella liikuntaharjoittelumuodolla on siis todennäköisesti oma, toisistaan eroava vaikutusmekanisminsa ja –paikkansa aivotasolla, ja yksilöiden erotessa fyysisen suorituskyvyn lähtötasoiltaan sekä perimältään HIIT-harjoittelulla ei ole tässä koeasetelmassa vaikutusta tutkittavien inhibitioprosessien nopeuteen ja tarkkuuteen.

Toisena tutkimuskysymyksenämme oli, vaikuttaako yksi 16 minuutin HIIT-harjoittelukerta akuutisti toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen nuorilla tutkittavilla, eli syntyykö mittauskertojen välillä eroja siinä, kuinka moneen Stroopin väri-sanatestissä esitettävään ärsykkeeseen tutkittavat vastaavat virheellisesti. Toiseen tutkimuskysymykseemme aiemman tutkimustiedon valossa asetettu hypoteesimme oli, että HIIT-harjoittelulla ei ole vaikutusta nuorten tutkittavien toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittivat, että yhdellä 16 minuutin HIIT-harjoittelukerralla on tilastollista merkitsevyyttä lähestyvä akuuttivaikutus nuorten tutkittavien toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen. Vaikkakaan tulos ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä, HIIT-harjoittelun jälkeisten tutkittavien virheellisten vastausten määrä oli pienempi kuin kontrollimittauksen jälkeisten virheellisten vastausten määrät. Tuloksen perusteella on mahdollista indikoida, että HIIT-harjoittelulla olisi vaikutusta suoriutumistarkkuuteen toiminnanohjauksen komponenttien toimintaa mittaavassa tehtävässä.

Pidemmälle etenevien johtopäätösten tekoa kuitenkin rajoittaa suuresti tutkimuksemme pieni otoskoko, joten tulosta ei ole tässä vaiheessa syytä yleistää koskemaan kattavampaa joukkoa.

Tulokset ovat osaksi ristiriidassa aiemman tutkimustiedon kanssa, jonka mukaan varsinkin aerobisella liikuntaharjoittelulla on kyetty akuutisti tehostamaan toiminnanohjauksen komponenttien prosessointinopeutta, muttei välttämättä niinkään prosessointitarkkuutta (Schapschröer ym., 2016). Ristiriitaisuudet voivat osaltaan viestiä siitä, että HIIT-harjoittelun aivotason vaikutusmekanismit olisivat eriäviä verrattuna puhtaasti aerobiseen liikuntaharjoitteluun. Kuitenkin, mittauskerrasta riippumatta tutkittavien virheellisten vastausten määrä oli merkittävästi pienempi yksittäisen mittauskerran lopuksi suoritettussa Stroopin väri-sanatestin trialissa, kuin yksittäisen mittauskerran aluksi suoritettussa trialissa.

Kuviota 1 tarkastelemalla voidaan päätellä, että tutkimuksen koeasetelma on pätevä mittaamaan juuri sitä, mitä se on tarkoitettu mittaamaan. Puolet tutkittavista oli satunnaistettu suorittamaan HIIT-mittaukset ennen kontrollimittauksia ja puolet päinvastoin. Satunnaistamisesta huolimatta tutkittavien virheellisten vastausten määrät vähenivät yksittäisen mittauskerran alku- ja loppumittauksien välissä, eli toisin sanoen tutkittavat todennäköisesti oppivat mittauksien edetessä joko tunnistamaan inhibition mittarina käytetyn Stroopin väri-sanatestin ärsykeitä paremmin, tai sisäistämään testin vastausperiaatteet tehokkaammin useiden tekemiensä toistojen aikana. Voidaan siis todeta, että tämän koeasetelman perusteella korkean intensiteetin intervalliharjoittelun akuutit vaikutukset inhibitioprosessien tarkkuuteen jäävät osittain avoimiksi. Inhibition mittarina käytetty Stroopin väri-sanatesti on kuitenkin luonteeltaan mittari, joka vaatii puhtaan havaitsemisen ja havaitun inhibition lisäksi suorittajaltaan myös jonkin verran muuta toiminnanohjauksen ulkopuolista kognitiivista prosessointia, kuten luetun ymmärtämistä ja hienomotorisia toimintoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tämän tutkimuksen tuloksia korkean intensiteetin intervalliharjoittelun ja inhibition nopeuden sekä tarkkuuden yhteyksistä on vaikeaa yleistää ja HIIT-harjoittelun yhteyksiä toiminnanohjauksen komponentteihin tulisi tulevaisuudessa tutkia tarkemmin, erilaisin koeasetelmin ja suuremmilla otoksilla. Tutkimusta kriittisesti tarkasteltaessa on myös otettava huomioon, että aineistonkeruussa tutkittavilta kerättiin samalla myös MEG-dataa, joten tästä johtuen ennen jokaista Stroopin väri-sanatestin trialia ja toiminnanohjauksen prosessien nopeuden ja tarkkuuden mittauskertaa oli 12 minuutin viive.

4.2 Jatkotutkimusehdotus

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että korkean intensiteetin intervalliharjoittelulla ei ole akuutteja vaikutuksia inhibitioprosessien nopeuteen, kun inhibition mittarina käytetään Stroopin värisanatestiä. Tuloksia koskien HIIT-harjoittelun vaikutuksia toiminnanohjauksen prosessien tarkkuuteen voidaan pitää suuntaa antavina, muttei kuitenkaan riittävinä todetakseen vaikutuksia löytyvän. Aerobisen liikuntaharjoittelun akuuttivaikutuksista kognitioon ja toiminnanohjauksen komponentteihin on saatavilla enemmän tutkimustietoa (mm. Syväoja ym., 2014), mutta etenkin viime vuosina suositaan kasvattaneen HIIT-harjoittelun vaikutuksista sekä vaikutusmekanismeista tarvitaan enemmän ja tarkempaa tutkimustietoa.

Kuitenkin, toiminnanohjaus on mekanismina sekä käsitteenä hyvin laaja ja siihen katsotaan sisällytettäväksi useita erilaisia kognitiivisia prosesseja. Kliinisen neuropsykologian kentällä on kehitetty useita eri toiminnanohjauksen osa-alueita ja komponentteja mittaavia testejä, joiden avulla on mahdollista arvioida toiminnanohjaukseen kuuluvien kognitiivisten prosessien tasoa (Lezak, 1996). Seuraavissa aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa olisikin tärkeää tutkia HIIT-harjoittelun akuuttivaikutuksia muihin toiminnanohjauksen osa-alueisiin erilaisia validoituja toiminnanohjauksen mittareita ja testejä, kuten esimerkiksi työmuistin prosessointia mittaavaa n-back -testiä hyödyntäen.

Lisäksi, tässä tutkimuksessa käytetty kahdeksan korkean intensiteetin intervalliperiodin harjoituskerta havaittiin tutkittaville hyvin raskaaksi, joten jatkossa HIIT-harjoittelun yhteyksiä toiminnanohjauksen komponentteihin olisi mahdollista tutkia myös vaihtamalla koeesetelman sisältämien intervalliperiodien määrää ja niiden kestoa. Käänteisen U-käyrän liikuntaharjoituksen akuuttivaikutuksille suopeaan kohtaan voisi olla mahdollista päästä joko vähemmällä intervalliperiodien määrällä, vaihtamalla intervalliperiodien kuormitusvastusta tai periodien kestoa muokkaamalla. Mikäli liikuntaharjoittelun aivovaikutusten tutkimus tulevaisuudessa tarjoaa viitteitä siitä, että yli 20 vuoden ikään asti kehittyvien kognition korkeammista prosesseista vastaavien komponenttien toimintaa pystytään tehostamaan liikuntaharjoittelun avulla jo silloin kun hermoverkot ovat vielä kehitysvaiheessa erityisen plastiset, tällä voisi olla erityisen merkityksellisiä seurauksia.

Lähteet

Alves C. R., Tessaro V. H., Teixeira L. A., Murakava K., Roschel H., Gualano B., Takito M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*. Feb; 118(1). 63-72.

Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*, 8:2, 71-82.

Astorino T. A., Edmunds R. M., Clark A., King L., Gallant R. A., Namm S., ... Wood K. M. High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and $\dot{V}O_2\text{max}$. (2016). *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 49(2). pp. 265-273.

Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660.

Blair N. S., Kampert B. J., Kohl W. H., Barlow E. C., Macera A. C., Paffenbarger S. R., Gibbons W. L. (1996). Influences of Cardiorespiratory Fitness and Other Precursors on Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality in Men and Women. *JAMA*. 276(3), 205–210.

Brisswalter, J., Collardeau, M., René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, 32, 555-566.

Brown J., Cooper-Kuhn C. M., Kempermann G., Van Praag H., Winkler J., ... Kuhn, H. G. (2003). Enriched environment and physical activity stimulate hippocampal but not olfactory bulb neurogenesis. *European Journal of Neuroscience* 17, 2042–2046.

Bucheit, M., Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications. *Sports Medicine*, Volume 43, Issue 10, pp. 927–954.

Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., Van Patter, M., ... Kramer, A. F. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 172–183.

David, I. A., Volchan, E., Vila, J., Keil, A., de Oliveira, L., Faria-Júnior, A. J. ... Machado-Pinheiro, W. (2010). Stroop matching task: role of feature selection and temporal modulation. *Experimental Brain Research*, 208(4), 595-605.

Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., ... 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.

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64:1, 135-168.

Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 3017–3022.

Etnier, J. (2008). Interrelationships of Exercise, Mediator Variables, and Cognition. Teoksessa Spirduso, W. W., Poon, L. W. & Chodzko-Zajko, W. J. (2008). Exercise and its mediating effects on cognition. (s.13-29). Champaign, Ill: Human Kinetics.

Fernandes, J., Arida, R. M., Gomez-Pinilla, F. (2017). Physical exercise as an epigenetic modulator of brain plasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. Jun 27;80: 443-456.

Ferris, L. T., Williams, J. S., Shen, C-L. (2007). The Effect of Acute Exercise on Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels and Cognitive Function. *Medicine & Science in Sports & Exercise: Volume 39. Issue 4. pp. 728-734.*

Haapala, E. (2015). Physical Activity, Sedentary behavior, Physical performance, Adiposity and academic Achievement in primary-school children. University of Eastern Finland. Jyväskylän yliopistopaino; Jyväskylä.

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M. ... Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39(4), 665-671.

Keränen, T. & Pasternack, A. (2015). *Kliinisen tutkimuksen etiikka. Opas tutkijoille ja eettisille toimikunnille*. 1. Painos. Kustannus Oy Duodecim; Tallinna.

Küster O.C., Laptinskaya D., Fissler P., Schnack C., Zügel M., Nold V., ... von Arnim C. A. F. (2017). Novel Blood-Based Biomarkers of Cognition, Stress, and Physical or Cognitive Training in Older Adults at Risk of Dementia: Preliminary Evidence for a Role of BDNF, Irisin, and the Kynurenine Pathway. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 59, no. 3, pp. 1097-1111.

Lezak, M. (1996). *Neuropsychological assessment*. New York Oxford, Oxford University Press.

Markham, J., Greenough, W. T. (2004). Experience-driven brain plasticity: beyond the synapse. *Neuron Glia Biol.* 1, 351–363.

McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2007). *Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance* (6th ed.). Philadelphia (Pa.): Lippincott Williams & Wilkins.

McMorris, T. & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80(3), p. 338-351.

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*, Volume 41, Issue 1, 49-100.

Mosley, M. & Bee, P. (2014). *HIIT: Pikatreeni*. Helsinki: WSOY.

Neeper S. A., Gómez-Pinilla F., Choi J., Cotman C. W. (1996). Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*, July 8;726 (1-2) pp. 49-56.

Neural Effects of Exercise, Diet, and Sleep, NEEDS. (2016). Tiedote tutkittaville ja suostumus tutkimukseen osallistumisesta.

Olson, C. L. (1976). On choosing a test statistic in multivariate analysis of variance. *Psychological Bulletin*, 83(4), 579-586.

Rasmussen, P., Brassard, P., Adser, H., Pedersen, M. V., Leick, L., Hart, E., Secher, N. H., Pedersen, B. K., Pilegaard, H. (2009), Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. *Experimental Physiology*, 94: 1062–1069.

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.

Schapschröer, M., Lemez, S., Baker, J., Schorer, J. (2016). Physical Load Affects Perceptual-Cognitive Performance of Skilled Athletes: a Systematic Review. *Sports Medicine Open*, Dec 2(1):37.

Shay, K. A., & Roth, D. L. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychology and Aging*, 7(1), 15-24.

Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J. R., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., ... Trudeau, F. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *The Journal of Pediatrics*, 146(6), 732-737.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.

Syväoja, H. J., Tammelin, T. H., Ahonen, T., Kankaanpää, A. & Kantomaa, M. T. (2014). The Associations of Objectively Measured Physical Activity and Sedentary Time with Cognitive Functions in School-aged Children. *PLoS ONE* 9(7): e103559.

Thomas, A. G., Dennis, A., Bandettini, P. A., Johansen-Berg, H. (2012). The effects of aerobic activity on brain structure. *Frontiers In Psychology, Movement Science and Sport Psychology*. March 2012, Volume 3, Article 86.

Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Takeuchi, T., Tanaka, D., Hamaoka, T., et al. (2017). An acute bout of localized resistance exercise can rapidly improve inhibitory control. *PLoS ONE* 12(9): e0184075.

Tyler, W. J., Alonso, M., Bramham, C. R., & Pozzo-Miller, L. D. (2002). From Acquisition to Consolidation: On the Role of Brain-Derived Neurotrophic Factor Signaling in Hippocampal-Dependent Learning. *Learning & Memory*. Cold Spring Harbor, N.Y., 9(5), 224–237.

Verbugh, L., Königs, M., Scherder, E. J., Oosterlaan, J. (2014.) Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 973-979.

Whitehurst, M. (2012). High-Intensity Interval Training: An Alternative for Older Adults. *American Journal of Lifestyle Medicine*. Volume: 6 Issue: 5, pp. 382-386.

Zhu, W., V. G. Wadley, V. J. Howard, B. Hutto, S. N. Blair, and S. P. Hooker. (2017). Objectively Measured Physical Activity and Cognitive Function in Older Adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 49, No. 1, pp. 47–53.

Zoeller, F. R. (2010). Exercise and cognitive function: Can working out train the brain, too? *American Journal of Lifestyle Medicine*, 4(5), 397-409.