

**KESKI- JA KORKEATEHOISEN KESTÄVYYSTYYPPISEN
INTERVALLILIIKUNNAN VAIKUTUS NUORTEN INHIBITIOON
PITKÄKESTOISEN ISTUMISEN AIKANA – VERNA-TUTKIMUS**

Minna Vahteri

Liikuntalääketieteen pro gradu -tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Syksy 2024

TIIVISTELMÄ

Vahteri, M. 2024. Keski- ja korkeatehoisen kestävyystyyppisen intervalliliikunnan vaikutus nuorten inhibitioon pitkäkestoisen istumisen aikana – VERNA-tutkimus.

Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, (liikuntalääketiede) pro gradu -tutkielma, 80 s., 3 liitettä.

Tutkielman tarkoituksena oli selvittää, vaikuttavatko pitkäkestoista istumista tauottavat lyhyet kestävyystyyppiset intervalliliikuntapätkät nuorten inhibitioon koulupäivää vastaavan istumisjakson aikana. Lisäksi vertailtiin keski- ja korkeatehoisen liikunnan vaikutuksia. Toiminnanohjaus on arjen sujumisen ja oppimisen kannalta keskeinen kognitiivinen ominaisuus, jonka kehitys jatkuu vielä varhaisaikuisuuteen. Toiminnanohjauksen osa-alue, inhibitio, kuvaa kykyä sulkea epäoleelliset ärsykkeet keskittymisen ulkopuolelle.

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltyjen aiempien tutkimuksien mukaan kertaluontoisella kestävyysliikunnalla on havaittu olevan nuorten inhibitiota edistävä vaikutus. Kuitenkaan pitkäkestoisen istumisen aikaisten, lyhyiden liikuntapätkien vaikutusta inhibitioon ei ole nuorilla tutkittu. Suomalaiset nuoret istuvat suositukseen nähden runsaasti ja nuoruudessa toiminnanohjaus voi olla haastavaa. Siksi olisi tarpeen tutkia, voiko istumisen katkaiseminen lyhytkestoisellakin kestävyysliikunnalla tukea nuorten toiminnanohjausta ja inhibitiota.

Aineistona käytettiin Vascular and brain health, Exercise, and Nutrition in Adolescents (VERNA) -tutkimuksen osa-aineistoa. Se (n=18) koostui 12–14-vuotiaista, Jyväskylän kouluista rekrytoituista, perusterveistä tytöistä (n=10) ja pojista (n=8). Interventio toteutettiin ristikkäiskokeena kaikkien osallistuessa jokaiseen kolmeen interventiopäivään. Niiden aikana istuttiin noin 7 tuntia, mutta yhtenä päivänä istumista tauotettiin kolmesti keskitehoisella intervalliliikunnalla (MIIE), yhtenä päivänä puolestaan korkeatehoisella intervalliliikunnalla (HIIE) ja yhtenä päivänä vain istuttiin (kontrolli). Liikuntatuokioiden kestoista intervalleista ja liikuntaa kertyi päivässä noin $3 \times 4 \times 1 \text{ min} = 12 \text{ min}$ (MIIE) ja $3 \times 3 \times 1 \text{ min} = 9 \text{ min}$ (HIIE). Inhibition mittausta tapahtui noin tunnin viiveellä liikunnasta. Inhibitiota mitattiin yhteensä neljästi kunakin päivänä flanker-testillä, josta saatiin tuloksina tarkkuus ja reaktioaika. Tilastollisena analyysinä käytettiin lineaarista sekamallia, jolla tarkasteltiin inhibition muutoksen eroja interventiopäivien välillä.

Tuloksista ilmeni, että inhibition muutos päivän aikana ei eronnut interventiopäivien välillä. Eroja ei havaittu inhibition tarkkuudessa (MIIE vs kontrolli $p=0,749$; HIIE vs kontrolli $p=0,904$; MIIE vs HIIE $p=0,788$) eikä reaktioajassa (MIIE vs kontrolli $p=0,928$; HIIE vs kontrolli $p=0,939$; MIIE vs HIIE $p=0,890$). Kumpikaan pitkäkestoisen istumisen aikainen liikuntakäsittely ei siis edistänyt eikä huonontanut nuorten inhibitiota. Tulos on ristiriitainen aiempien, joskin tutkimusasetelmiltaan hieman erilaisten, interventioiden kanssa. Voi olla, että aiemmissa interventioissa havaittu akuutin kestävyysliikunnan inhibitiota edistävä vaikutus ilmenee vasta tietyn liikuntamäärän jälkeen ja heti tai tietyllä viiveellä mitattuna. Lisäksi tutkittavien ominaisuuksilla tai osa-aineiston pienuudella voi olla vaikutusta tuloksiin. Lisätutkimusta tarvitaan määrittämään intensiteetiltään ja kestoltaan optimaalinen taukoliikunta nuorten inhibition tukemiseen. Näin voitaisiin tarkentaa nuorten liikkumisen ja paikallaanolon suosituksia sekä hyödyntää tietoa esimerkiksi koulupäivien suunnittelussa.

Asiasanat: nuoret, liikunta, intervalliharjoittelu, istuminen, toiminnanohjaus, inhibitio

ABSTRACT

Vahteri, M. 2024. Effects of moderate- and high-intensity interval exercise on adolescents' inhibition during prolonged sitting – VERNA-study. University of Jyväskylä, Master's thesis in Sports and Exercise Medicine, 80 pp., 3 appendices.

The aim of this master's thesis was to investigate whether interrupting prolonged sitting with short exercise bouts affect inhibition in adolescents. The possible differences in the effects of moderate- and high-intensity exercise were also considered. Executive functions are necessary for purposeful behaviors, including studying and other activities in youth's everyday life. The development of executive functions continues during early adulthood. Inhibition is an essential part of executive functions, and it represents an ability to inhibit irrelevant stimuli and maintain goal-directed action.

According to earlier studies acute aerobic exercise has an enhancing effect on the inhibition of adolescents. However, it has not been studied whether short bouts of exercise during prolonged sitting affect inhibition in adolescents. In Finland, adolescents are exceeding the recommended sedentary time, disregarding the physical activity guidelines. Their incomplete executive functions may cause challenges in an environment full of stimuli and distractions. Therefore, it is reasonable to examine interrupting long periods of sitting with short bouts of exercise and their presumable positive impact on executive functions in adolescents.

The data of this master's thesis consisted of a subsample of Vascular and brain health, Exercise, and Nutrition in Adolescents (VERNA) -study. Participants of the subsample were 12–14-year-old healthy girls (n=10) and boys (n=8) recruited from schools in Jyväskylä. The crossover intervention included three conditions: in every condition the participant spent about seven hours sitting. During one day, sedentary time was interrupted by three bouts of moderate intensity interval exercise (MIIE), and during one day three bouts of high-intensity interval exercise (HIIE), while one day was a control condition. The exercise sessions consisted of one-minute intervals, with 3x4x1min=12min (MIIE) and 3x3x1min=9min (HIIE) of total exercise accumulated per day. Inhibition was measured with a flanker test about one hour after exercise and altogether four times per each condition. There were two variables of inhibition, accuracy and reaction time. Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics. A linear mixed model was used to examine the interaction effects of condition and time.

The results showed that the change in inhibition did not differ between conditions. No differences were observed in accuracy (MIIE vs control $p=0.749$; HIIE vs control $p=0.904$; MIIE vs HIIE $p=0.788$) or reaction time (MIIE vs control $p=0.928$; HIIE vs control $p=0.939$; MIIE vs HIIE $p=0.890$) of inhibition. It was concluded that moderate or high intensity exercise did not affect inhibition. These results were somewhat contradictory to the results of previous studies, although the settings and methodologies are not directly comparable between this and previous studies. It is possible that cognitive benefits of exercise may appear only after a certain amount of exercise or after a certain time delay. Moreover, the small number of participants in this subsample and the participant characteristics may have modified the results. Further studies are needed to determine what amount and intensity of exercise is sufficient to support adolescents' inhibition. That information could help design the school procedures and define the guidelines on physical activity and sedentary behaviour for adolescents.

Key words: adolescent, exercise, interval training, sitting, executive function, inhibition

KÄYTETYT LYHENTEET

| | |
|----------------------|--|
| MIIE | moderate-intensity interval exercise, keskitehoinen intervalliliikunta |
| HIIE | high-intensity interval exercise, korkeatehoinen intervalliliikunta |
| VO ₂ peak | peak oxygen uptake, huippuhapenkulutus |
| WHO | World Health Organization, Maailman terveysjärjestö |

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | LASTEN JA NUORTEN LIIKKUMINEN | 3 |
| 2.1 | Kestävyystyypinen liikunta ja sen intensiteetti | 3 |
| 2.1.1 | Kestävyyслиikkunnan intensiteetin mittaaminen..... | 5 |
| 2.2 | Nuorten liikkumistottumukset suosituksen valossa..... | 7 |
| 2.3 | Nuorten paikallaanolo suhteessa suositukseen | 8 |
| 2.4 | Yhteenveto nuorten liikkumisesta | 9 |
| 3 | INHIBITIO OSANA TOIMINNANOHJAUSTA..... | 11 |
| 3.1 | Toiminnanohjauksen määritelmä | 11 |
| 3.2 | Toiminnanohjauksen ja inhibition kehitys lapsuudesta nuoruuteen..... | 13 |
| 3.3 | Inhibition mittaamenetelmät lapsilla ja nuorilla | 15 |
| 4 | TEORIOITA AKUUTIN KESTÄVYYSLIIKUNNAN VAIKUTUKSISTA TOIMINNANOHJAUKSEEN | 19 |
| 4.1 | Akuutti kestävyysliikunta ja kognitio koko väestöllä..... | 19 |
| 4.2 | Tutkimusnäyttö teorioihin liittyen koko väestöllä..... | 20 |
| 4.3 | Liikunnan jälkeisten kognitiomuutosten mekanismit nuorilla | 21 |
| 5 | KESTÄVYYSTYYPPISEN LIIKUNNAN AKUUTIT VAIKUTUKSET TOIMINNANOHJAUKSEEN NUORILLA..... | 23 |
| 5.1 | Kirjallisuushaun kuvaus | 23 |
| 5.2 | Systemaattisten katsauksien ja meta-analyysien havainnot..... | 25 |
| 5.2.1 | Systemaattiset katsaukset | 25 |
| 5.2.2 | Meta-analyysit | 26 |
| 5.2.3 | Yhteenveto katsaustutkimuksista | 27 |
| 5.3 | Yksittäisten interventioiden havainnot inhibitiosta | 27 |

| | |
|---|----|
| 5.3.1 Flanker-testillä mitatut vaikutukset inhibitioon..... | 27 |
| 5.3.2 Stroop-testillä mitatut vaikutukset inhibitioon | 29 |
| 5.3.3 D2-testillä mitatut vaikutukset inhibitioon | 29 |
| 5.3.4 Yhteenveto interventiotutkimuksista..... | 30 |
| 5.4 Liikunnan vaikutusta muovaavat tekijät..... | 31 |
| 5.4.1 Kuntotaso ja painoindeksi | 31 |
| 5.4.2 Kognition taso ja kehitystaso..... | 32 |
| 5.4.3 Kognitiota painottava liikunta | 32 |
| 5.4.4 Liikkumisen muoto ja jaksotus..... | 33 |
| 5.4.5 Liikunnan kesto ja annos | 33 |
| 5.4.6 Liikunnan intensiteetti | 34 |
| 5.4.7 Mittaustapojen- ja ajankohtien vaikutus..... | 35 |
| 5.5 Taukoliikunnan vaikutus toiminnanohjaukseen | 37 |
| 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA MENETELMÄT..... | 38 |
| 6.1 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit | 38 |
| 6.2 Aineisto ja tutkittavat | 39 |
| 6.3 Tutkimuksen eettisyys | 40 |
| 6.4 Tutkimuksen kulku..... | 41 |
| 6.5 Kehonkoostumus ja taustatiedot..... | 42 |
| 6.6 Liikunnan kuormittavuuden määrittäminen | 43 |
| 6.7 Intervention kuvaus | 43 |
| 6.8 Inhibition mittaukset..... | 44 |
| 6.9 Tilastolliset menetelmät..... | 45 |
| 7 TULOKSET | 47 |
| 7.1 Aineiston kuvailu..... | 47 |
| 7.2 Tulokset inhibition mittauksissa..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 7.2.1 Inhibition tarkkuus flanker-testissä | 49 |
| 7.2.2 Inhibition reaktioaika flanker-testissä | 50 |
| 7.2.3 Yhteenveto tuloksista | 51 |
| 8 POHDINTA..... | 52 |
| 8.1 Tulokset suhteessa aiempiin tutkimuksiin..... | 52 |
| 8.2 Mahdollisia syitä tutkielman poikkeaville tuloksille..... | 53 |
| 8.3 Tutkielman tulokset suhteessa muihin ristikkäiskokeisiin | 55 |
| 8.4 Tulosten luotettavuus..... | 59 |
| 8.5 Eettisyys ja yhteiskunnallinen vaikuttavuus..... | 63 |
| 8.6 Tulosten käytännön merkitys..... | 64 |
| 8.7 Johtopäätökset ja jatkotutkimuksen tarve..... | 65 |
| LÄHTEET | 67 |

LIITTEET

Liite 1: Kirjallisuuskatsauksessa Medline (Ovid) -tietokantaan syötetty hakulauseke.

Liite 2: Inhibition tarkkuuden asetelmakohtaiset tunnusluvut mittauspisteen mukaan.

Liite 3: Inhibition neliöjuurimuunnetun reaktioajan asetelmakohtaiset tunnusluvut mittauspisteen mukaan.

1 JOHDANTO

Monilla elämän osa-alueilla ja erityisesti koulu- ja opiskelumaailmassa nousee tärkeäksi kyky säädellä omaa toimintaa, käyttäytymistä ja keskittymistä. Tätä tiedonkäsittelytoimintojen ohjaavaa osaa kutsutaan toiminnanohjaukseksi. Hyvä toiminnanohjaus ennustaa oppimisvalmiutta ja muun muassa matematiikan ja lukemisen sujumista, mutta myös parempaa elämänlaatua (Diamond 2013).

Toiminnanohjauksen taidot voivat olla koetuksella nuoruudessa, jolloin ihmisen psyykkisessä ja fyysisessä kehityksessä tapahtuu laajoja muutoksia (Steinberg 2005). Myös nykyajan informaatiotulva digitaalisine ärsykkeineen voi haastaa keskittymiskyvyn impulssikontrollin vielä kehittyessä (Moisala & Kosola 2019). Tässä valossa korostuu etenkin yksi toiminnanohjauksen osa-alue, inhibitio, eli kyky vastustaa ylimääräisiä ärsykeitä. Opiskelu edellyttääkin keskittymistä häiriötekijöistä huolimatta. Lapsuusajan hyvä inhibitio on yhteydessä parempiin arvostoihin, terveyteen ja vähäisempään riskiin ajautua päihderiippuvuuteen tai rikollisuuteen (Peters 2020, luku 9).

Vaikka yksilöllisestikin vaihteleva toiminnanohjaus ei ole kehittynyt nuorella vielä täyteen te-räänsä, sitä voi olla mahdollista tukea terveellisillä elintavoilla. Elintavoista juuri liikkumisen edistäminen olisi sovellettavissa koulupäiviin vapaa-ajan ohella. Liikkeen lisääminen nuorten arkeen on toki perusteltavissa liikkumisen muillakin edullisilla vaikutuksilla, kuten jaksamisen, itsetunnon ja fyysisen kunnon paranemisella sekä pitkällä tähtäimellä myös sairausriskien vähenemisellä (Vuori 2020b). Liikunnalla on positiivisia vaikutuksia myös nuorten kognitioon, kuten toiminnanohjaukseen (WHO 2020). Etenkin säännöllisen fyysisen aktiivisuuden ja hyvän kestävyyskunnon on havaittu olevan yhteydessä koululaisten parempaan kognitioon sekä kou-lumenestykseen (Kamijo 2016). Kuitenkin vähäinen tieto liikunnan intensiteetin, frekvenssin ja volyymin kognitiovaikutuksista hankaloittaa käytännön suosituksen määrittelyä (Singh ym. 2019).

Näyttöä akuutin liikunnan kognitiovaikutuksista nuorilla on paljon vähemmän kuin aikuisilla ja nuoria koskevien tutkimusten asetelmat ja vaikutusten efektikoot vaihtelevatkin varsin paljon (Koutsandréou ym. 2016). Niinpä taukoliikunnan vaikutukset nuorten tiedonkäsittelytoimintoihin olisi hyvä tuntea tarkemmin, jos liikkumisen mahdollisuuksia aiotaan suunnitella vaikkapa

koulupäivien lomaan. Etenkin taukoliikunnan merkitystä toiminnanohjauksen tukemisessa olisi tarpeen tutkia.

Nuorten liikkumissuositus korostaa istumisen tauottamista ja päivittäistä kestävyysliikuntaa (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021). Lyhyet taukoliikuntapätkät voivatkin olla nuorille omaksuttavissa oleva liikkumisen muoto, sillä LIITU-tutkimuksessa havaittiin lasten ja nuorten liikunnan koostuvan pääosin 5–10 minuutin pätkistä (Husu ym. 2022). Pitkäkestoisen istumisen aikaisten taukoliikuntapätkien merkitys nuorten toiminnanohjauksen suhteen on kuitenkin edelleen epäselvä. Tämä johtuu siitä, että istumisen aikana toistuvan taukoliikunnan sijaan nuoria koskevat tutkimukset keskittyvät kroonisen tai kertaluontoisen liikunnan vaikutuksiin.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli tarkastella, voiko lyhytkestoinen kestävyys- ja intervallityyppinen taukoliikunta ylläpitää tai edistää 12–14-vuotiaiden nuorten toiminnanohjausta inhibition osalta. Lisäksi tarkastellaan, eroavatko intensiteetiltään keski- ja korkeatehoisen taukoliikunnan vaikutukset toisistaan. Aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella voisi olettaa etenkin korkean intensiteetin taukoliikunnan edistävän nuorten inhibitiota.

2 LASTEN JA NUORTEN LIIKKUMINEN

Liikkumista kuvaavia termejä on useita ja niiden merkitys on osin päällekkäistä ja asiayhteydestä riippuvaa. Fyysisellä aktiivisuudella tarkoitetaan kaikkea energiankulutusta lisäävää lihastoimintaa (THL 2024). Sitä ovat esimerkiksi monet kotiaskareet, paikasta toiseen siirtymiset ja staattista lihasvoimaa vaativat asennot. Fyysinen aktiivisuus on edellytys elimistön normaalien rakenteiden ja toimintojen säilymiselle (Vuori 2020a). Biologisten ja epäsuorien mekanismien kautta se useimmiten tukee nuorten fyysistä, psyykkistä ja sosiaalista kehitystä (Vuori 2020b). Termillä liikkuminen voidaan tarkoittaa samaa kuin fyysinen aktiivisuus (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021; Vuori 2020a).

Myös kapeampi käsite, liikunta, on osa fyysistä aktiivisuutta ja liikkumista. Liikunta tarkoittaa tavoitteellista fyysistä toimintaa, jota harrastetaan vaihtelevista syistä (THL 2024). Laajuuden lisäksi käsitteet eroavat siten, että fyysinen aktiivisuus kuvaa ilmiötä fysiologisesta näkökulmasta siinä missä liikunta sisältää oletuksen liikkumisen tavoitteista, motiiveista ja elämyksistä (Vuori 2020a).

Paikallaanolo tarkoittaa makuulla, istuen (englanniksi sedentary behaviour) tai seisten (englanniksi stationary behaviour) vietettyä fyysisesti passiivista aikaa, jolloin energiankulutus on enintään 1,5-kertaista lepoaineenvaihduntaan nähden (UKK-instituutti 2024b). Inaktiivisuus puolestaan viittaa siihen, etteivät terveyden kannalta riittävän liikkumisen suositukset täyty, jolloin liian vähäinen liikkuminen ei riitä pitämään elimistön rakenteita ja toimintoja niiden tehtäviä vastaavina (Vuori 2020a).

2.1 Kestävyystyypinen liikunta ja sen intensiteetti

Liikunta voidaan jaotella eri muotoihin, kuten lihasvoimaharjoitteluun, liikkuvuus- ja tasapainoharjoitteluun ja kestävyysliikuntaan (Liikunta: Käypä hoito -suositus 2016). Käytännössä monet lajit tai fyysiset aktiviteetit sisältävät samanaikaisesti eri liikuntamuotoja. Esimerkiksi kuntosaliharjoittelussa tarvitaan lihasvoiman ohella liikkuvuutta ja riittävää lihasvoimaa tarvitaan tehokkaassa kestävyys-suorituksessa. Liikuntamuotojen jaottelussa kyse on siis siitä, mikä kunnan osa-alue painottuu ja harjoituu eniten kyseisen suorituksen aikana.

Kestävyysliikuntaa ovat esimerkiksi kävely, juoksu, pyöräily, pallopelit, hiihto ja uinti. Tällainen liikunta edistää hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa ja terveyttä (Alen & Rauramaa 2020). Lisäksi kestävyysliikunta tukee painonhallintaa ja parantaa veren rasva- ja sokeritasapainoa (UKK-instituutti 2024a). Terveydelle edullisten muutosten taustalla olevat elimistön fysiologiset ja anatomiset adaptaatiovasteet ovat yksilöllisiä ja palautuvia (Kauranen 2021, 353–369). Näin ollen kestävyysliikunnan tulisi olla säännöllisesti toistuvaa pysyvämpien terveysvaikutusten saavuttamiseksi.

Kestävyysliikunta jakautuu karkeasti aerobiseen eli pääasiassa hapellista energiantuottoa hyödyntävään liikkumiseen ja anaerobiseen eli hapettomia energiantuottomekanismia painottavaan liikkumiseen. Aerobisella ja anaerobisella kynnyksellä tarkoitetaan näiden energiantuottomekanismien painottumisen muutoskohtia, joita veren laktaattitaso ilmentää (Kauranen 2021, 62–63). Veren laktaattipitoisuuden, sykkeen, liikenopeuden ja/tai hengityskaasujen mittauksia käytetään yksilöllisten peruskestävyys-, vauhtikestävyys- ja maksimikestävyysharjoittelun rajojen määrittelyssä (Nummela 2021).

Liikkumisen kuormittavuutta ja rasittavuutta kuvataan usein liikkumisen intensiteettinä, tehona tai niitä vastaavin adjektiivein (taulukko 1). Vaikka intensiteetti ja teho eivät ole kirjaimellisesti toistensa synonyymejä, niitä usein käytetään kuvaamaan yhtäläisesti liikunnan kuormittavuuden tasoa. Kyse on lihastoiminnan aiheuttamasta, elimistöön kohdistuvasta kuormituksesta (Liikunta: Käypä hoito -suositus 2016). Reippaaksi (moderate) kutsutun liikunnan aikana hengitys ja syke kiihtyvät jonkin verran, kun taas rasittavan (vigorous) liikkumisen aikana ne kiihtyvät huomattavasti (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021), jolloin esimerkiksi puhuminen selkeästi vaikeutuu. Reipas liikkuminen liitetään yleensä intensiteetiltään keskitehoiseen liikkumiseen ja rasittava korkeatehoiseen liikkumiseen (Kallio ym. 2021). Usein puhutaan myös matala-, keski- ja korkeatehoisesta liikunnasta.

TAULUKKO 1. Liikkumisen intensiteetistä käytetyt termit suhteessa toisiinsa.

| Intensiteetti | Teho | Energiantuotto* | Kuvaus | Description |
|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| matala | matalatehoinen | aerobinen | kevyt | light |
| kohtalainen | keskitehoinen | aerobinen | reipas | moderate |
| korkea | korkeatehoinen | anaerobinen | rasittava | vigorous/heavy |
| hyvin korkea | (lähes) maksimaalinen | anaerobinen | hyvin rasittava | severe |

*Tiettyt energiantuottomekanismit painottuvat liikkumisen intensiteetin mukaan, vaikka mekanismit toimivat myös yhtäaikaaisesti. Aerobisessa energiantuotossa hyödynnetään happea ja anaerobinen energiantuotto tapahtuu ilman happea.

2.1.1 Kestävyysliikunnan intensiteetin mittaaminen

Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuus vaihtelee yksilön suorituskyvyn ja kuntotason mukaan (Liikunta: Käypä hoito -suositus 2016). Liikkumisen intensiteettiä voidaan arvioida eri tavoin. Yksinkertaisimmillaan sitä voi kartoittaa koettua rasittavuutta sanoittamalla (Fogelholm 2020). Puhumisen vaikeutumista voidaan pitää karkeana rajana keski- ja korkeatehoiselle liikunnalle (Creemers ym. 2017). Näitä subjektiivisia mittareita selvemmin liikunnan intensiteetti ilmenee kuormitustestien aikaisista objektiivisista mittauksista.

Useimmiten arviointi perustuu suhteellisiin osuuksiin maksimaalisesta hapenottokyvystä (VO₂max), huippuhapenkulutuksesta (VO₂peak), maksimisykkeestä (HRmax) ja/tai maksimaalisesta työkuormasta (Wmax) (Jamnick ym. 2020). Näiden arvojen selvittämiseen voidaan käyttää suoria, hengityskaasuanalysaattoria hyödyntäviä maksimaalisia kestävyystestejä tai epäsuoria, submaksimaalisen kuormituksen syketasoihin (Kauranen 2021, 74) pohjautuvia testejä. Testit suoritetaan asteittain kuormitusta lisäten esimerkiksi polkupyöräergometrillä tai juoksumatolla.

Prosentuaalisiin osuuksiin perustuvat arvioinnit eivät kuitenkaan tavoita tarkasti elimistön homeostaattisen tilan muutoskohtia, jotka ilmenevät liikunnan rasittavuuden noustessa (Jamnick ym. 2020). Nämä muutoskohdat tarkoittavat mm. elimistön energiantuottomekanismien, kaasujenvaihdon ja laktaattitason käännekohtia (Kauranen 2021, 62–74). Liikunnan intensiteettiä voidaankin määrittää myös ventilaatio- tai laktaattikynnyksien avulla korkeatehoisen liikunnan sijoittuessa suunnilleen 1. ja 2. kynnyksien välille (MacIntosh ym. 2021). Toisen laktaatti- tai ventilaatiokynnyksen ylittymisen jälkeen kuormitus on jo erittäin korkeaa tai maksimaalista.

Kynnyksien aikaisia syketasoja tai työkuormia voi siten käyttää intensiteetin mittarina. Venti-laatio- ja laktaattikynnyksien lisäksi on mahdollista hyödyntää kaasujenvaihdon raja-arvoa (englanniksi gas exchange threshold, GET/v-slope), joka sijoittuu 1. kynnyksen kohdille tai hengityksen kompensatiopistettä (englanniksi respiratory compensation point, RCP), maksimaalista laktaatin tasapainotasoa (englanniksi maximal lactate steady state, MLSS), kriittistä tehoa (englanniksi critical power, CP) ja kriittistä nopeutta (englanniksi critical speed, CS), jotka puolestaan sijoittuvat 2. kynnyksen paikoille (Jamnick ym. 2020).

Kestävyystyyppisen liikkumisen intensiteettiä voidaan luokitella MET-arvojen avulla. MET (Metabolic Equivalent of Task) kuvaa fyysisen aktiivisuuden aikaista lisääntyneitä energian- ja hapenkulutusta verrattuna lepotasoon (Kutinlahti 2018). On olemassa taulukoita, joissa kuva-taan eri aktiviteettien aikaisia, suuntaa antavia MET-arvoja. Ne eivät kuitenkaan ota huomioon yksilöllistä vaihtelua esimerkiksi kuntotasossa. Näin ollen liikunnan aikaisen tarkan MET-lukeman mittaaminen edellyttäisi joko hapen- tai energiankulutuksen mittaamista. Aikuisilla lepotason MET-arvo on 1, mikä vastaa yhden kilokalorin energiankulutusta ja noin 3,5 millilitran hapenkulutusta painokiloa kohden minuutissa (Kutinlahti 2018), mutta lapsilla vastaava ha-penkulutuksen määrä on suurempi, noin 4–7 millilitraa (Hildebrand & Ekelund 2017). Lasten ja nuorten liikkuminen kuluttaa siis enemmän energiaa/kg aikuisiin verrattuna (Sundgot-Bor-gen & Sundgot-Borgen 2017). Esimerkiksi kävelyn ja juoksun aikainen energiankulutus on 9–11-vuotiailla 19–13 % suurempi ja 15-vuotiailla 5 % suurempi kuin aikuisilla (Vuori 2020b).

Liikunnan intensiteettiä vastaavat MET-arvot ja osuudet maksimaalisesta sykkeestä, sykereser-vistä tai hapenotosta eivät ole yksiselitteiset vaan vaihtelevat jonkin verran lähteen mukaan. Esimerkiksi keski- tai korkeatehoisen liikunnan MET-arvo riippuu yksilön ominaisuuksista, kuten kuntotasosta, painoindeksistä, iästä ja sukupuolesta (Iannetta ym. 2021). On myös huo-mioitava menetelmien kuvaavan liikkumisen intensiteettiä eri näkökulmista: laktaatti- ja venti-laatiokynnykset perustuvat vahvemmin fysiologiaan kuin MET-arvot sellaisenaan. Hildebran-din ja Ekelundin (2017) mukaan nuorilla keskitehoinen liikunta tarkoittaa liikkumista 3–6 MET:in intensiteetillä tai noin 40–55 % alueella maksimaalisesta hapenottokyvystä tai noin 60–70 % alueella maksimisykkeestä. Määritelmän alle sijoittuva liikkuminen voidaan luokitella matalatehoiseksi ja yläpuolelle sijoittuva korkeatehoiseksi. Tarkempia nuorten liikkumisen in-tensiteettiä kuvaavia lukemia on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

TAULUKKO 2. Nuorten liikkumisen intensiteettiä vastaavat MET-lukemat sukupuolen mukaan kahdessa ikäryhmässä. (Mukailtu Sundgot-Borgen & Sundgot-Borgen 2017)

| Intensiteetti | 10–14-vuotiaat | | 15–19-vuotiaat | |
|----------------|----------------|----------|----------------|----------|
| | Tytöt | Pojat | Tytöt | Pojat |
| Matalatehoinen | 2,2 METs | 2,2 METs | 2,2 METs | 2,2 METs |
| Keskitehoinen | 2,9 METs | 2,9 METs | 3,0 METs | 3,0 METs |
| Korkeatehoinen | 3,3 METs | 3,6 METs | 4,5 METs | 5,0 METs |

TAULUKKO 3. 14–15-vuotiaiden nuorten liikkumisen intensiteettiä vastaavat prosentuaaliset osuudet maksimisykkeestä, osuudet huippuhapenkulutuksesta ja MET-lukemat. (Mukailtu Ekelund ym. 2001)

| Intensiteetti | HRmax (%)* | VO ₂ peak (%)** | MET-lukemat | |
|----------------------|------------|----------------------------|-------------|--------|
| | | | Tytöt | Pojat |
| Matalatehoinen | <60 | <40 | <5 | <4 |
| Keskitehoinen | 60–70 | 41–55 | 5–7.99 | 4–6.99 |
| Korkeatehoinen | 71–80 | 56–70 | 8–11 | 7–10 |
| Hyvin korkeatehoinen | >80 | >70 | >11 | >10 |

*HRmax (%) = osuus maksimisykkeestä **VO₂peak (%) = osuus huippuhapenkulutuksesta

2.2 Nuorten liikkumistottumukset suosituksen valossa

Lasten ja nuorten liikkumissuositus kuvaa terveyden kannalta riittävää liikkumisen määrää ja muotoa. Reipasta tai rasittavaa liikkumista nuori tarvitsee noin tunnin päivässä ja sen ohella suositellaan parantamaan kestävyyskuntoa selkeästi hengästyttävällä liikunnalla kolmesti viikossa (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021). Hyvä peruskestävyyskunto on kaiken muun liikkumisen perusta ja tärkeää myös painonhallinnan kannalta (Kauranen 2021, 434). Suositus painottaa kestävyystyypistä liikkumista, mutta myös lihasvoimaa ja ketteryyttä edistävää sekä luustoa vahvistavaa liikkumista tulisi kertyä ainakin kolmesti viikossa. Moni fyysinen aktiviteetti harjoittaa samanaikaisesti useita kunnan osa-alueita, esimerkiksi pallopelit, tanssi, metsässä kävely tai lumityöt.

Suosituksen voikin täyttää monella tapaa: se voi koostua pätkittäisestä liikkumisesta, hyötyliikunnasta, koululiikunnasta ja/tai erilaisten harrastuksien kautta. Valtaosa nuorista liikkuu oma-toimisesti ja noin puolet seuratoiminnassa (Kokko ym. 2023). Nuoren liikuntaharrastus ei yksinään takaa liikuntasuosituksen täyttymistä ja istumisen määrän kohtuullisuutta. Toisaalta ilman harrastustoimintaakin arjessa toistuva hyötyliikunta, kuten koulumatkojen kulkeminen lihasvoimin, voi auttaa saavuttamaan tarvittavan liikkumismäärän.

Viimeisimmän LIITU-tutkimuksen perusteella lasten ja nuorten liikkumisen määrä on vähentynyt (Kokko ym. 2023). Move!-mittausten mukaan lasten fyysisen toimintakyvyn aleneminen on viime vuosina tasaantunut, joskin lähes 40 prosentilla 5.- ja 8.- luokkalaisista toimintakyky on edelleen terveyttä haittaavalla tasolla (Opetushallitus 2023). Sekä liikkumis- että toimintakykymittausten perusteella näyttää siltä, että huomattava osa nuorista liikkuu terveytensä kannalta liian vähän.

Kun tarkastellaan päivittäisen vähintään 60 minuutin reippaan tai rasittavan liikkumisen suositusta, 7–15-vuotiaista lapsista ja nuorista liikkuu suosituksen verran liikemittarilla mitattuna kolmannes (33 %) ja itsearvioidusti reilu kolmannes (36 %) (Husu ym. 2022). Liikkumisen määrä liikemittarilla mitattuna vähenee huomattavasti iän mukaan: 7-, 9-, 11-, 13- ja 15-vuotiailla päivittäisen suosituksen täyttää 59, 48, 34, 17 ja 9 prosenttia (Husu ym. 2022). Sama suunta näkyy myös LIITU-tutkimuksen itse arvioiduissa liikkumisen määrissä: siinä missä 7-vuotiaista 46 % täyttää suosituksen 15-vuotiaista vain 23 % liikkuu riittävästi (Martin ym. 2022). Lisäksi nuorten liikuntakäyttytymistä luonnehtii sen polarisoituminen. Osa nuorista liikkuu entistä vähemmän ja osa entistäkin enemmän (Kokko 2022).

2.3 Nuorten paikallaanolo suhteessa suositukseen

Lasten ja nuorten fyysisen aktiivisuuden määrä on käänteisesti yhteydessä istumisen määrään, joskin yhteys on melko pieni (Pearson ym. 2014). Liikunnallinen ja istuva elämäntyyli eivät siis ole toisensa poissulkevia vastakohtia. Esimerkiksi koulupäivien aikaisen istumisen tauottaminen liikkumisella lisää koululaisten liikkumisen määrää muttei välttämättä vähennä istumisen määrää kokonaisuudessaan (Carrasco-Uribarren ym. 2023). Istuminen onkin osittain käyttäytymismallina itsenäinen ja solutason mekanismeiltaan liikkumisesta poikkeava tekijä (Pesola ym. 2016). Liikunnan harrastaminen ei myöskään näytä täysin kompensoivan runsaan

paikallaanolon aiheuttamia terveysriskejä (UKK-instituutti 2024b). Ilmiöinä liikkumista ja paikallaanoloa on siis hyvä tarkastella myös erikseen.

Säännöllisen liikkumisen ohella olisi tärkeää vähentää runsasta istumista (WHO 2020) ja tauottaa paikallaanoloa edes lyhyesti (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021). Vaikka paikallaanolon haittoja on tutkittu enemmän aikuisilla, kaikenikäisten suositellaan tauottavan pitkäkestoista paikallaanoloa. Runsa istuminen on itsenäinen terveysriski: se vaikuttaa haitallisesti esimerkiksi sokeri- ja rasva-aineenvaihduntaan sekä valtimoiden terveyteen ja on yhteydessä kohonneeseen sydän- ja verisuonitautien, tyypin 2- diabeteksen esiintyvyyteen ja jopa kuolleisuuteen (Pesola ym. 2016). Nuorten istumisen määrä, liikuntamäärästä riippumatta, on yhteydessä ainakin lihavuuteen ja kardiometabolisiin riskitekijöihin (Cliff ym. 2016) sekä psyykkisiin ongelmiin (Zhang ym. 2022a). Runsaan istumisen vaikutukset nuorten toiminnanohjaukseen eivät ole selviä, mutta suurempi ruudun äärellä vietetty aika näyttää olevan yhteydessä huonompaan toiminnanohjaukseen (Li ym. 2022). Sillä, mitä istumisen aikana tehdään, voi siis olla merkitystä paikallaanolon kognitiovaikutuksien kannalta.

Lasten inaktiivisuutta on kuvattu jopa maailmanlaajuisena pandemiana, jolla on seurauksia kognitiiviseen toimintakykyyn ja aivoterveeyteen (Hillman ym. 2019). LIITU-tutkimuksenkin mukaan lasten ja nuorten paikallaanolon määrä on lisääntynyt vuosien 2016–2022 välillä (Husu ym. 2022). Esimerkiksi 11-vuotiaat istuvat keskimäärin 8 tuntia, 13-vuotiaat 8,8 tuntia ja 15-vuotiaat yli 9 tuntia päivässä (Husu ym. 2022). 13–15-vuotiaille kertyy keskimäärin enemmän istumista ja myös pidempinä yhtäjaksoisina pätkinä kuin nuoremmille ikäryhmille. Koska nuoren arkeen väistämättä kuuluu vähintään opiskelun aikainen istuminen, olisi hyvä löytää sen tauottamiseen keinoja. LIITU-tutkimuksen mukaan yli puolet nuorista piti liikunnan esteenä juuri koulutehtävien viemää aikaa (Koski & Hirvensalo 2022). Tässä mielessä olisi hyvä selvittää, voisiko lyhytkestoinenkin taukoliikunta edistää nuorten kognitiota, kuten toiminnanohjausta, ja tukea siten opiskelua.

2.4 Yhteenveto nuorten liikkumisesta

Suunta näyttäytyy siis huolestuttavana ottaen huomioon sen, että liikkumissuositus kuvaa juuri vähimmäistä, eikä optimaalisinta, terveyttä suojaavaa liikkumisen määrää. Suosituksen liikkumismäärät perustuvat kuitenkin keskimääräiseen arvioon riittävästä liikkumisesta: liikkumisen tai passiivisuuden terveysvaikutukset ovat yksilöllisiä ja vaihtelevat terveyden eri osa-alueilla

(Lakka 2003; Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021). On myös muistettava vähäisenkin fyysinen aktiivisuuden olevan hyödyllistä verrattuna jatkuvaan paikallaan-oloon (WHO 2020). Lisäksi liikkumisen rinnalla levon ja palautumisen tärkeys on muistettava, eikä sairaana tule rasittaa itseään.

Arkisen hyötyliikunnan vähentyessä liikkuminen nähdään yhä enemmän erillisenä suoritteena (Kokko 2022). Arkiset askareet, opiskelu ja siirtymät ympäristössä on nykyään helppo hoitaa liikkumista välttäen. Nuoruudessa liikuntaharrastusten määrää syrjäyttää erityisesti lisääntynyt ruutu-aika (Kauranen 2021, 434). Inaktiivisuudella on myös taipumus säilyä aikuisuuteen kun taas etenkin intensiivinen liikunta nuorena ennustaa aikuisuuden säännöllistä liikuntaa (Vuori 2020b). Oleellista olisi siis lisätä lapsille ja nuorille mieluisia mahdollisuuksia monipuoliseen liikkumiseen. Vähän liikkuvien nuorten kannattaa aloittaa liikkuminen porrastetusti ajan mittaan liikunnan kestoja, tehoa ja useutta lisäten (Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille 2021).

On myös tärkeä huomioida, mikä motivoi nuoria liikkumaan. Esimerkiksi LIITU-tutkimuksessa kysyttiin liikunnan merkityksestä osa-alueittain, kuten merkityksestä kunnon, terveyden, kilpailun, ilon, itsetunnon ja sosiaalisuuden osalta (Koski & Hirvensalo 2022). Liikunnan merkitys onkin nuorten keskuudessa laskenut jo vuosien ajan monella merkitysten osa-alueella. Jatkossa olisi tarpeen tunnistaa ja tutkia myös laajemmin liikkumisen etuja, kuten sen vaikutuksia kognitioon ja sitä kautta oppimiseen. Tarkentunut tieto lyhytkestoisenkin taukoliikunnan eduista voi tarjota uudenlaista merkityksellisyyttä nuorten liikkumiseen.

3 INHIBITIO OSANA TOIMINNANOHJAUSTA

Ihmisen kognitiiviset toiminnot kuvaavat tiedon vastaanottamista, sen käsittelyä ja tallentamista. Kognitio kattaa monenlaiset mielen mekanismit, kuten tarkkaavaisuuden, havaitsemisen, päättelyn, oppimisen ja kielelliset kyvyt (Lääketieteen sanasto 2021). Toiminnanohjaus on keskeinen osa ihmisen kognitiota. Sitä on määritelty monin tavoin, mutta kaikissa lähestymistavoissa perusidea näyttäytyy samana.

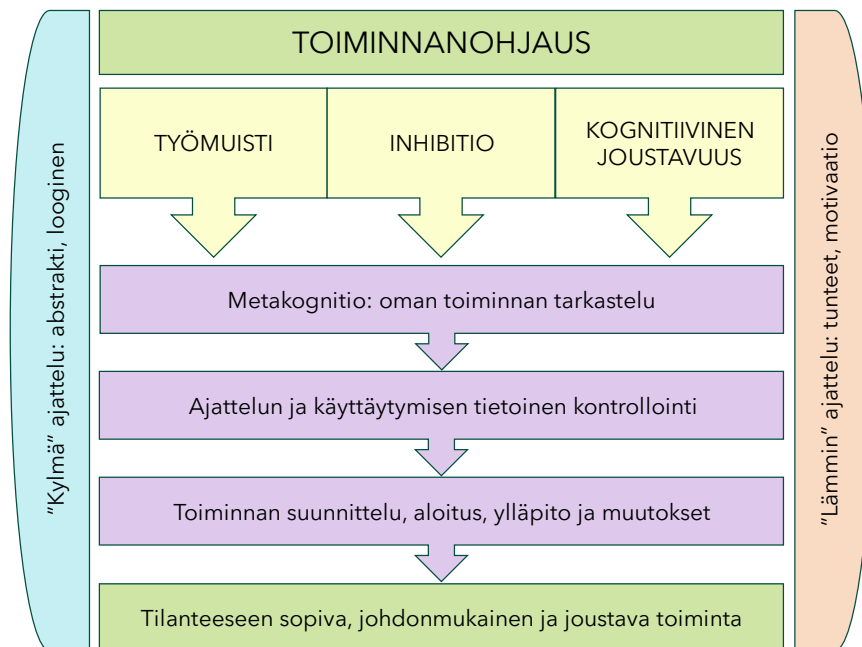
3.1 Toiminnanohjauksen määritelmä

Toiminnanohjauksella tarkoitetaan tietoista, tavoitteen mukaista oman ajattelun, käyttäytymisen ja tekemisen kontrollointia (Diamond 2013). Englanninkielinen vastine *executive functions* korostaa sen roolia johtavana ja toimeenpanevana aivotoimintana. Se on ikään kuin vastakohta automatisoituneelle tai hetken mielijohdeiden sanelemalle toiminnalle (Gilbert & Burgess 2008).

Osa teorioista korostaa juuri toiminnanohjauksen säätelevää ja valvovaa olemusta, osa taas kuvaa sitä pääasiassa tavoitteellisen toiminnan näkökulmasta (Banich & Compton 2018, 334–337). Toisaalta toiminnanohjausta on tarkasteltu myös kaksijakoisesti: ”viileä” puoli liittyy loogiseen ja abstraktiin tiedonkäsittelyyn siinä missä ”lämmim” puoli kattaa motivaatioon ja tunnepuoleen liittyvän päätöksenteon (Peters 2020, luku 9; Poon 2018). Oletettavasti nämä puolet toimivat useimmiten yhdessä, joskin paikantuen hieman eri aivoalueille (Perrotta 2019). Osa teorioista puolestaan jaottelee toiminnanohjauksen ennemminkin osa-alueisiin yhden piirteen korostamisen sijaan (Banich & Compton 2018, 334–337). Toiminnanohjauksen mittaamista tutkiessa onkin voitu eritellä se kolmeen osa-alueeseen, jotka toisaalta myös korreloivat keskenään (Miyake ym. 2000; Lehto ym. 2003).

Tyypillisimmin toiminnanohjaus jaotellaan karkeasti inhibitioon, työmuistiin ja kognitiiviseen joustavuuteen (Diamond 2013; Miyake ym. 2000; Poon 2018). Tätä luokittelua näkee käytettävän useissa tutkimuksissa. Kuvaan 1 on tiivistetty toiminnanohjauksen keskeisimpiä ulottuvuuksia. Kaikkia sen osa-alueita tarvitaan, kun toimintaa suunnitellaan, aloitetaan ja ylläpidetään (Banich & Compton 2018, 337–344). Toiminnan ylläpitoon kytkeytyy myös kyky vaihtaa suunnitelmaa, muokata sitä ja tarkastella omaa ajatuksenkulkuaan (Perrotta 2019). Nämä vaativat erityisesti monimutkaisempia, korkeamman tason ajattelutoimintoja. Siksi osa teorioista

painottaakin toiminnanohjauksen ilmenevän juuri abstraktina päättely-, päätös- ja arviointikykyä sekä joustavana reagoitina uuteen (Banich & Compton 2018, 354–360). Diamondin (2013) mukaan edellä mainitut monimutkaisemmat toiminnot rakentuvat nekin toiminnanohjauksen peruspalikoista eli kognitiivisesta joustavuudesta, työmuistista ja inhibitiosta.



KUVA 1. Kaavio toiminnanohjauksen määritelmästä ja ulottuvuuksista.

Kognitiivinen joustavuus. Yksi mainituista toiminnanohjauksen osa-alueista, kognitiivinen joustavuus, viittaa kykyyn vaihdella näkökulmia, sopeutua ja käsitellä tietoa monipuolisesti tilanteen vaatimalla tavalla (Diamond 2013). Tätä kutsutaan myös asiasta toiseen siirtymiseksi ja mentaaliseksi joustavuudeksi (Hillmann ym. 2019). Kognitiivinen joustavuus näyttäytyy paitsi uusiin tilanteisiin sopivana reagoimisena myös vaihtoehtoisten toimintatapojen keksimisenä (Banich & Compton 2018, 359).

Työmuisti. Toinen toiminnanohjauksen osa-alue, työmuisti, tarkoittaa lyhytkestoista asioiden mielessä pitämistä ja niiden aktiivista työstämistä tai käyttämistä toiminnan pohjana (Gilbert & Burgess 2008). Työmuisti pitää sisällään sekä lyhytkestoisen muistin että sen päivityskyvyn (Hillman ym. 2019). Päivityskyvyllä viitataan siihen, kuinka työmuisti jatkuvasti mukautuu ja siihen valikoituu tehtävän kannalta oleellinen informaatio (Miyaki ym. 2000). Kaikenlainen tavoitteellinen toiminta edellyttää päämäärän, suunnitelman ja sen kunkin vaiheen muistamista.

Inhibitio. Kolmantena toiminnanohjauksen osana toimiva inhibitio kuvaa kykyä ohittaa epäoleelliset sisäiset tai ulkoiset ärsykkeet (Diamond 2013). Tarkemmin sanottuna tämä tarkoittaa häiritsevien yllykkeiden tai automaattisten reaktioiden vastustamista tai toiminnan pysäyttämistä tehtävän kannalta oleellisella tavalla (Lehto ym. 2003). Suora käänös englanninkieliselle sanalle *inhibition* onkin estäminen tai pidättyväisyys. Koska mikään toimintamme ei tapahdu tyhjiössä vaan ympärillämme on aina tehtävän kannalta ylimääräisiä ärsykejä, olisi keskittyminen ilman inhibitiota mahdotonta. Siksi inhibitiota sanotaankin myös tarkkaavaisuuden kontrolloinniksi (Hillman ym. 2019). Ajatellaan vaikkapa tilannetta, jossa nuori lukee koetta varten: inhibitiota tarvitaan tekstin yhtenäiseen lukemiseen riveillä hyppimisen sijaan sekä kännykän viestien, vieressä liikkuvien ihmisten ja ajatuksien harhailun huomiotta jättämiseen. Muiden ärsykkeiden sivuuttaminen on johdonmukaisen toiminnan edellytys. Inhibitioon kuuluu siis mielen tasolla ajattelun kontrollointi, ympäristöön suuntautuessa tarkkaavaisuuden kontrollointi ja käyttäytymisen tasolla oman reagoinnin kontrollointi (Diamond 2013).

3.2 Toiminnanohjauksen ja inhibition kehitys lapsuudesta nuoruuteen

Toiminnanohjauksessa aktivoituvat paitsi otsalohkot myös muut niihin yhteydessä olevat aivoalueet (Perrotta 2019). Toiminnanohjaus alkaa muotoutua jo ihmisen ensimmäisien elinvuosien aikana, mutta kehitys jatkuu pitkälle nuoruuteen (Best & Miller 2010) ja osin varhaisaikuisuuteen (Luna ym. 2004). Se heijastelee aivojen toiminnallista ja rakenteellista muovautumista.

Nuoruudessa etenkin otsalohkojen kasvu, hermosyiden myelinisaatio sekä synapsien karsinta ovat toiminnanohjauksen kehittymisen taustalla (Steinberg 2005). Aivojen kehitys jatkuu ohimo- ja otsalohkojen alueella jopa varhaiseen aikuisikään saakka (Kettunen ym. 2009). Otsalohkojen sisälläkin on alueellisia eroja kehityksen ajoittumisessa ja kehityksen myötä eri kognitiiviset toiminnot, kuten kieli, tunteet, keskittyminen ja muisti, kytkeytyvät yhä paremmin toisiinsa (Romine & Reynolds 2005).

Murrosiän alettua aivojen harmaan aineen muutosten ohella toiminnanohjauksen kypsyminen vilkastuu (Kettunen ym. 2009). Se kypsyy kuitenkin eri tahdissa kuin esimerkiksi tunnepuolen toiminnot, mikä voi selittää nuorten impulsiivisuutta ja riskialtista käyttäytymistä (Peters 2020, luku 9). Varhaisnuoruuden eli ikävuosien 12–14 kuohunta usein tasaantuu ikävuosien 15–17 aikana, jolloin nuoren kognitiokin saavuttaa joiltakin osin aikuisen tason (Korhonen 2021).

Toiminnanohjauksen osa-alueet kehittyvät kuitenkin keskenään eri tahdilla: esimerkiksi kognitiivinen joustavuus saavuttaa aikuisen tason ikävuosina 8–10. Työmuisti ja inhibitio kehittyvät edelleen (Perrotta 2019) inhibition saavuttaessa kypsyyden noin 14:n ja työmuistin noin 19 vuoden iässä (Luna ym. 2004). Vertailun vuoksi muista kognitiivisista kyvyistä tiedon prosessointinopeus vakiintuu noin 15-vuotiaana (Luna ym. 2004), mutta monimutkaisemmat toiminnot, kuten suunnittelukyky ja verbaalinen sujuvuus, vahvistuvat vielä varhaisaikuisuudessa (Romine & Reynolds 2005). Ihmisen kognitiivinen kypsyminen on siis pitkä prosessi eikä valmis vielä aikuisuuden rajan ylittyttyäkään.

Lapsuuden nopea kehitys inhibitiossa täydentyy vielä vuosia aivojen kypsyessä ja abstraktin ajattelun sekä metakognition samalla vahvistuessa (Best & Miller 2010). Näyttää siltä, että inhibitiotehtävissä kehittyminen alkaa käsitteiden ja sääntöjen ymmärtämisestä kohti tarkkuuden ja keskittymisen parantumista jatkuen edelleen inhibition soveltamiseen eri tehtävissä (Best & Miller 2010). Inhibitiossa mitattavissa olevaa kehitystä on tapahtunut jo neljänteen vuoteen mennessä (Perrotta 2019). Ensimmäinen erottuva kehitysaskel inhibitiossa sijoittuu 3–5 vuoden välille (Best & Miller 2010). Inhibitiossa suurin kehittyminen tapahtuu kuitenkin 5–8 ikävuoden paikkeilla (Romine & Reynolds 2005). Myöhemmin inhibitio hioutuu edelleen (Best & Miller 2010), sillä pientä kehitystä tapahtuu vielä 11–14 ikävuosina (Romine & Reynolds 2005) ja 15 ikävuoden paikkeilla inhibitio on kypsyneellä tasollaan (Perrotta 2019). Inhibition kehittyessä myös nuoren tietoisuus sekä itseohjautuvuus vahvistuvat (Steinberg 2005).

Aivojen plastisuuden vuoksi kognitiiviset toiminnot muovautuvat läpi elämän, vaikka tietyt herkkyykskaudet olisikin jo ohitettu (Moisala & Kosola 2019). Toiminnanohjaukseen, kuten ihmisen ajattelutoimintoihin muutenkin, voivat vaikuttaa erilaiset muuttuvaiset tilannetekijät ja elintavat. Esimerkiksi stressi ja unirytmii voivat vaikuttaa inhibitioon (Gilmore ym. 2024). Terveellinen ravitsemus (Cohen ym. 2016), hyvä fyysinen kunto (Xue ym. 2019) ja normaali painoindeksi (Reinert ym. 2013) ovat yhteydessä nuorten parempaan toiminnanohjaukseen ja lisäksi kroonisella liikunnalla on inhibitiota edistävä vaikutus (Xue ym. 2019). Toiminnanohjauksen kulloiseenkin tasoon vaikuttavat siis monet tekijät ihmisen kognitiivisesta kypsymisestä aina yksittäisiin tilannetekijöihin asti.

3.3 Inhibition mittausmenetelmät lapsilla ja nuorilla

Useimmat inhibitiotestit eivät mittaa vain inhibitiota, vaan ne vaativat samanaikaisesti työmuistiakin (Best & Miller 2010). Esimerkiksi useissa lasten ja nuorten inhibitiota mittaavissa testeissä on pidettävä mielessä tehtävän säännöt ja toimittava niiden mukaan. Tästä syystä juuri inhibitiota mitatessa on varmistettava, että tehtävän säännöt tulevat tutkittaville tutuiksi. Haastavimmat testit edellyttävätkin sekä inhibitiota että työmuistia samanaikaisesti (Carlson 2016).

Tyypillistä inhibitiotehtäville on se, että niissä aiheutetaan ristiriita luonnollisen tulkinnan tai reagoinnin ja vaaditun vastauksen välille. Jokin ärsyke tai yllyke on siis sivuutettava eli inhiboitava. Testit voivat olla verbaalisia, numeraalisia, motorisia, visuaalisia tai yhdistelmiä niistä. Inhibitiota testaavia tehtäviä on kehitelty eri ikäisille soveltuviksi.

Pienillä lapsilla inhibitiota voi alustavasti tutkia tarkastelemalla, kykeneekö hän vastustamaan tai viivyttämään mielitekoa syödä jokin tarjolla oleva herkku (Best & Miller 2010). Monimutkaisemmassa ns. yö-päivä-tehtävässä lapsen on kommentoitava päivään liittyviä kuvia sanomalla ”yö” ja yöhön liittyviä kuvia sanomalla ”päivä” (Gerstadt ym. 1994).

Myös käänteinen digit span -testi mittaa osittain inhibitiota (Carlson 2016). Siinä tutkittavaa ohjeistetaan toistamaan numerosarja päinvastaisessa järjestyksessä alkuperäisen järjestyksen sijaan (Davis & Pratt 1996). Verbaalisten ja numeroihin liittyvien tehtävien ohella on myös visuaalisempia testejä. Esimerkiksi DCCS-testissä (The Dimensional Change Card Sort) lapsen on luokiteltava kuvakortteja ensin pinoihin värin mukaan ja sen jälkeen uudelleen, mutta kuvion mukaan (Best & Miller 2010).

Tehtävät voivat olla myös enemmän motorisia. Yksinkertaisimmillaan kyse voi olla silmänliikkeistä: antisakkadi-testissä tutkittava katsoo näytön keskustan kohdetta, jonka jälkeen sivummalle ilmestyvän kohteen vilkaisua on vältettävä katsomalla vastakkaiseen suuntaan näytöllä (Best & Miller 2010). Testissä siis inhiboidaan automaattista reaktiota. Eräässä testissä testattavan on taputettava kerran, jos tutkija taputtaa kahdesti ja kaksi kertaa tutkijan taputtaessa yhden kerran (Gerstadt ym 1994). Vastaavasti Lurian käsi -pelissä lapsen on näytettävä nyrkkiä tutkijan näyttäessä sormeja ja päinvastoin (Best & Miller 2010). Lurian testistä on myös toinen

versio, jossa henkilöä pyydetään iskemään kädellä kevyesti pöytää ensin nyrkillä, sitten leikkaavalla liikkeellä ja kolmanneksi kämmen alaspäin (PsychDB 2021a). Tätä on toistettava järjestyksessä eli jokaisessa vaiheessa on vältettävä tekemästä kahta muuta liikettä.

Kouluikäisien inhibitiota testaavassa Simon sanoo -tehtävässä tutkija kääntää lapsia matkimaan erilaisia näyttämiään liikkeitä, mutta lasten on toteltava vain silloin, kun käsky alkaa sanoilla ”Simon says” (Strommen 1973). Lähes samanniminen tehtävä, Simon task, ohjaa tutkittavaa painamaan vasenta painiketta ärsyke A:n nähdessään ja oikeaa painiketta ärsyke B:n nähdessään (Diamond 2013). Ärsykkeet voivat kuitenkin ilmestyä näytöllä oikealle tai vasemmalle puolelle, mikä saa tehtävän edellyttämään juuri inhibitiota.

Kaikissa tietokoneella tehtävissä inhibitiotehtävissä ei ole kahta reagoitavaihtoehtoa, kuten kahta painettavaa nappia. Esimerkiksi Go/No-go -tehtävissä tutkittavan on painettava osoitettua nappia muiden kuin ”kielletyn” eli no-go -kirjaimen kohdalla, johon reagoimista on siis inhiboitava (Best & Miller 2010). Hieman haastavammassa CPT-tehtävässä (Continuous Performance Task) tutkittavan tulee reagoida esimerkiksi vain kirjaimen X ainoastaan silloin, kun sitä edeltää A-kirjain (Best & Miller 2010). Tässä tehtävässä työmuistinkin rooli korostuu. SST-tehtävässä (Stop Signal Task) henkilö painaa nappia tiettyjen ärsykkeiden kohdalla, mutta äänimerkin kuuluessa reagointi onkin jätettävä väliin (Diamond 2013). D2-testissä puolestaan tutkittava katsoo monirivistä näkymää p- ja d-kirjaimista, joista jokaisen ympärillä on yhdestä neljään lyhyttä viivaa (Cooper ym. 2018). Tutkittavan on merkittävä kaikki kahdella viivalla tehostetut d-kirjaimet välttämällä muiden kirjaimien ympyröimistä (Altermann & Gröpel 2023).

Stroop väri-sana -tehtäviä käytetään usein inhibition mittaamiseen henkilöillä, jotka jo lukevat sujuvasti. Tässä tehtävässä on sanottava ääneen se musteen väri, jolla jokin väriä kuvaava sana on kirjoitettu (PsychDB 2021b). Tällöin on siis vastustettava automaattista tapaa lukea suoraan kirjoitettu sana (Gerstadt ym. 1994). Tässäkin tehtävässä vaaditaan sääntöjen muistamisen verran työmuistia. Pienemmällä lapsilla voidaan hyödyntää esimerkiksi kuvioihin perustuvia stroop-testejä (Kochanska ym. 2000). Spatiaalisessa stroop-testissä tutkittavan on painettava painiketta siltä puolelta, jonne näytöllä oleva nuoli osoittaa (Diamond 2013). Nuolen sijainti voi kuitenkin olla toisinaan vastakkaisella puolella kuin sen osoittama suunta.

Myös Eriksen flanker -testin erilaisia versioita käytetään paljon inhibitiotutkimuksissa nuorilla. Flanker-tehtävissä näytetään esimerkiksi rivillinen nuolia, joista keskimmäisen suunnan mukaan on painettava painiketta oikealla tai vasemmalla kädellä. Eri suuntaan osoittavien nuolien huomiointia on siis vältettävä. Sama voidaan toteuttaa kalankuvilla, jotka osoittavat joko oikealle tai vasemmalle. Alkuperäisessä flanker-testin versiossa, josta Eriksen flanker -tehtävä sai alkunsa nimensä, riveillä esitetään neljänlaisia kirjaimia, kuten H, K, S ja C (Eriksen & Eriksen 1974). Nähdessään rivin keskellä S tai C-kirjaimen on tutkittavan painettava nappia toisella kädellään mutta H- ja K-kirjaimien kohdalla eri nappia eri kädellään. Flanker-testien tuloksina tarkastellaan yleisimmin inhibition tarkkuutta ja reaktioaikaa. Tarkkuudella tarkoitetaan oikeiden tai väärin vastausten määrää suhteessa kaikkiin vastauksiin. Reaktioajalla viitataan usein siihen, kauanko vastaamiseen kuluu aikaa oikein menneiden vastausten osalta.

On havaittu, että kohdekirjaimen ollessa eri kuin muut kirjaimet, reaktioaika hidastuu ja etenkin silloin, kun kohdekirjaimen edellyttämä reaktio (oikean tai vasemman käden painike) poikkeaa häiriökirjaimien vaatimasta reaktiosta (taulukko 4). Flanker- ja stroop-testien kohdalla puhutaan usein myös yhtenevistä eli kongruenteista ja epäyhtenevistä eli inkongruenteista tehtävistä. Kongruentti tehtävä voi tarkoittaa flanker-testin kirjainriviä, jossa kaikki kirjaimet ovat samantaisia tai nuoliriviä, jossa nuolet ovat samansuuntaiset. Samoin stroop-testissä kongruentilla viitataan tehtävään, jossa väriä kuvaava sana ja musteen väri vastaavat toisiaan. Inkongruenteissa tehtävissä haastetta lisää se, että vaadittu reaktio poikkeaa häiriöärsykkeiden edellyttämästä reaktiosta. Flanker-efektillä tarkoitetaan suoriutumisen eroja kongruenttien ja inkongruenttien tehtävien välillä.

Inhibition harjoittamisen vaikutuksista ei ole selkeää näyttöä: varsinaisilla inhibitiotehtävillä harjoittelu näyttää parantavan inhibitiota vain samankaltaisissa tehtävissä, eikä varsinaisesti niiden ulkopuolella (Peters 2020). Edellä mainittujen testien avulla harjoittelu ei siis välttämättä ole siirrettävissä arkielämän moninaisiin toiminnanohjausta vaativiin tilanteisiin. Voi kuitenkin olla mahdollista, että elintavoilla kuten liikkumisella, olisi kroonisia ja jopa kertaluontoisia vaikutuksia inhibitioon arjessa.

TAULUKKO 4. Eriksen flanker -tehtävässä esitettyjen rivien kohdekirjaimien ja häiriökirjaimien ja niiden vaatimien reaktioiden samankaltaisuus. H- ja K-kirjaimet edellyttävät samaa reaktiota. S- ja C-kirjaimet edellyttävät samaa reaktiota. (Mukaiilu Eriksen & Eriksen 1974)

| Kohteen | Vaaditun | Esimerkki | Reaktioaika |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| visuaalinen samankaltaisuus | reaktion samankaltaisuus | kirjainrivistä | tyypillisesti |
| häiriökirjaimien kanssa | häiriökirjaimien kanssa | | |
| Sama | Sama | H H H H H H H | Nopein |
| Eri | Sama | K K K H K K K | Hieman hidastunut |
| Eri | Eri | S S S H S S S | Paljon hidastunut |
| Eri | Eri | C C C H C C C | Paljon hidastunut |
| Sama | * | N W Z H N W Z | Kohtalaisesti hidastunut |
| Eri | * | G J Q H G J Q | Kohtalaisesti hidastunut |

*häiriötekijät satunnaisia kirjaimia

4 TEORIOITA AKUUTIN KESTÄVYYSLIIKUNNAN VAIKUTUKSISTA TOIMINNANOHJAUKSEEN

Tutkimuskirjallisuudessa esitellään kestävyysliikunnan kroonisia ja akuutteja vaikutuksia inhibitioon. Artikkeleissa mainittu akuutti vaikutus viittaa usein joko heti liikkumisen jälkeen mitattuun vasteeseen tai lyhyen (<60 min) ajan kuluttua mitattuun vasteeseen.

Samana päivänä tapahtuvien, pitkäkestoisen istumisen aikaisten liikuntapätkien kognitiovaikutuksia ei ole nuorilla juuri tutkittu. Koska kroonisilla vaikutuksilla viitataan kuukausia tai vuosia toistuvan liikunnan pitkäaikaisiin vasteisiin, ovat yhden päivän liikuntatauoet verrattavissa ennemmin liikunnan akuutteihin vaikutuksiin. Siksi seuraavaksi tarkastellaan juuri akuutin liikunnan vaikutuksia toiminnanohjaukseen. Ensin tarkastellaan eri teorioita, sitten näyttöä niistä ja lopuksi vaikutusten mahdollisia fysiologisia mekanismeja. Tätä lukua seuraa varsinainen kirjallisuuskatsaus akuutin liikunnan vaikutuksista nuorten toiminnanohjaukseen luvussa 5.

4.1 Akuutti kestävyysliikunta ja kognitio koko väestöllä

Teorioita akuutin liikunnan kognitiovaikutuksista on selvitetty jo 1900-luvun puolivälistä alkaen (Tomporowski 2003). Joko yli- tai alivireisyydestä johtuvan stressin on ajateltu häiritsevän tiedonkäsittelyä, kuten valmiutta havainnoida, reagoida tilanteeseen sekä koordinoida toimintaa (Sanders 1983). Aluksi liikunnan ajateltiin vaikuttavan kognitioon juuri siksi, että liikunta nähtiin elimistöä kuormittavana ja samalla aktivoivana stressitekijänä (McMorris 2016). Vireystilan nousu rinnastettiin elimistön stressiin, jonka liian vähäinen tai suuri määrä nähtiin kognitiota alentavana. Tästä muotoutui ”käänteisen U:n” teoria, jonka mukaan kognitio paranee keskitehoisen liikunnan jälkeen mutta on huonompi passiivisuuden, matalan intensiteetin liikunnan ja liian korkean intensiteetin liikunnan jälkeen (McMorris 2016).

Tämän epälineaarisen yhteyden on ajateltu johtuvan muun muassa siitä, että keskitehoisen liikunnan aktivoimana tarkkaavaisuus jakautuisi optimaalisemmin (Easterbook 1959; Tomporowski 2003) tai ihminen saisi paremmin käyttöönsä omat kognitiiviset resurssinsa (Kahneman 1973, 28–49) tai siitä, että keskushermosto joutuisi priorisoimaan liikunnan aikana voimavaroja kognitiivisten ja motoristen tehtävien välillä (Audiffren 2016; Douchamps 1988). Toisaalta vaikutukset voivat olla mitatusta kognitiivisesta tehtävästä ja sen tuttuudesta riippuvaisia (Hull 1943, 124–182). Teorioiden perusteella liikunta saattaisi edistää kognitiota vain tavanomaisten

kognitiivisten tehtävien kohdalla ja jopa heikentää sitä hankalampien tehtävien osalta (McMorris 2016). On myös oletettu liikunnan parantavan suoriutumista tarkkaavuutta vaativissa, muttei esimerkiksi työmuistia vaativissa tehtävissä (McMorris 2016). Nämä ovat toistaiseksi vain teorioita, joiden tueksi tarvitaan tutkimusnäyttöä.

4.2 Tutkimusnäyttö teorioihin liittyen koko väestöllä

Edellä mainitut teorit saavat osittain tukea tutkimuskirjallisuudesta. Fysiologisesti liikkuminen todella aiheuttaa elimistöön stressireaktion (Kauranen 2021, 24–30). Erilaisia stressiin liittyviä viitekehyksiä on hyödynnetty myös käytännössä liikunnan akuuttien kognitiovaikutusten tutkimuksessa (Tompsonski 2003). Näissä tutkimuksissa onkin havaittu liikunnan parantavan useita kognition osa-alueita (Tompsonski 2003).

Lisäksi tutkimusnäyttö tukee joissakin tapauksissa käänteisen U:n teoriaa. Keskitehoinen akuutti liikunta parantaa monissa kognitiivisissa tehtävissä ainakin reaktioaikaa siinä missä intensiteetiltään korkean akuutin liikunnan vaikutukset ovat moniselitteisiä, joskin automatisoituneiden tehtävien osalta reaktioaika voi parantua (McMorris 2016). Tehtävän tuttuus siis näyttäisi muokkaavan liikunnan vaikutuksia. Käänteisen U:n teoriaa on kritisoitu erityisesti korkean intensiteetin liikunnan ”negatiivisten” vaikutusten osalta: voi olla, että vain kaikkein raskain, lähestulkoon voimavarat ylittävä liikunta, heikentäisi kognitiota verrattuna keskitehoiseen liikuntaan (McMorris 2016).

Liikkujan kognitiivisella kapasiteetilla eli yleisesti kognitioitehtävissä pärjäämisellä lienee myös merkitystä: vain kognitiivisesti heikompien tiedonkäsittelytoiminnot näyttävät parantuvan liikunnan seurauksena (Drollette ym. 2014; Koutsandréou ym. 2016). Kognitiivisesti heikomilla tarkoitetaan niitä, jotka suoriutuvat kognitioitehtävissä lähtötilanteessa keskimääräistä huonommin. On myös havaittu, että keskittymiskyky raskaan liikunnan jälkeen jopa paranee urheilijoilla mutta ei-urheilijoilla se huononee (Hüttermann & Memmert 2014). Tämä voisi viitata kuntotason moderoivaan vaikutukseen. Joka tapauksessa on huomattava, että tässä luvussa mainitut havainnot perustuvat vaihdellen eri ikäisillä tehtyihin tutkimuksiin: pelkästään nuorten kohdalla tilanne voi olla toisenlainen.

4.3 Liikunnan jälkeisten kognitiomuutosten mekanismit nuorilla

Liikkumisen kognitiovaikutukset välittyvät monen mekanismin kautta: molekyyli- ja solutasolla, aivojen toiminnallisten ja rakenteellisten muutoksien välityksellä ja osittain käyttäytymis- ja sosioemotionaalisten tekijöiden kautta (Stillman ym. 2016). Liikunnan kroonisten ja akuuttien vaikutusten taustat voivat poiketa toisistaan. Tässä alaluvussa keskitytään vain akuutteihin, eli heti tai ainakin samana päivänä, tapahtuvien kognitiomuutosten mekanismeihin.

Tiedetään, että liikkuminen kohottaa vireystilaa sympaattisen hermoston aktivoituessa, verenkierro vilkastuessa ja hermoimpulssien lisääntyessä, kun taas liikkumisen jälkeen parasympaattinen hermosto aktivoituu (UKK-instituutti 2022). Autonomisen hermoston muutokset vaikuttavat koko elimistön tasolla aivot mukaan lukien. Sympaattisen hermoston aikaansaamaa hypotalamus-aivolisäke-lisämunuaiskuori-akselin aktivoitumista pidetään yhtenä tekijänä liikunnan kognitiovaikutusten taustalla (Stillman ym. 2016). Tätä seuraa erilaisia fysiologisia muutoksia, kuten adrenaliinin ja noradrenaliinin erityksen lisääntymistä (Nienstedt ym. 2008, 541–543).

Muutkin hormonit vaikuttavat liikkumisen vasteisiin. Nuorten kognition paraneminen liikkumisen jälkeen voi johtua testosteronin ja mahdollisesti myös kortisolin, kohonneesta erityksestä ja niiden aiheuttamasta hermosolujen synapsien ja viejähaarakkeiden muutoksista (Koutsandréou ym. 2016). Tämä tosin saattaa koskea vain niitä nuoria, joiden hormonijärjestelmän reaktiivisuus vastaa jo aikuisen tasoa testosteronin ja kortisolin osalta (Koutsandréou ym. 2016).

Liikkumisen aikana aktivoituu myös aivojen otsalohko, joka vastaakin pitkälti toiminnanohjauksesta (UKK-instituutti 2022). Liikunnan kognitiovaikutukset mahdollisesti liittyvät osin aivosähkökäyrässä näkyviin herätepotentiaalien muutoksiin (Polich & Kok 1995). Akuutti liikunta siis aktivoi toiminnanohjauksen kannalta oleellisia aivoalueita johtaen myös verisuonten ja hermosolujen uudismuodostumisen kautta parempaan neuroplastisuuteen (Li ym. 2017). Tämä tarkoittaa aivojen rakenteellista ja toiminnallista muovautumiskykyä.

Tarkemmin sanottuna nuorten parempi kognitio akuutin liikunnan seurauksena voi selittyä lisääntyneiden aivoperäisten hermokasvutekijöiden (BDNF) aiheuttamalla synaptogeenisillä eli uusien hermosoluyhteyksien syntymisellä, insuliininkaltaisen kasvutekijä (IGF-1) ja verisuonien endoteelin kasvutekijän (VEGF) lisääntymisellä, katekoliamiinien vapautumisella ja veren

laktaattipistoisuuden kasvulla (Hillman ym. 2019). On myös mahdollista, että osa liikunnan kognitiovaikutuksista välittyy käyttäytymisen ja emotionaalisten muutosten kautta (Stillman ym. 2016). Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi motivaation, vireystilan tai mielialan kaltaisia tekijöitä, jotka niin ikään vaikuttavat keskushermoston toimintaan. Liikkumisen toiminnanohjaukseen kohdistuvien vaikutusten taustalla lienee siis monenlaisia fysiologisia tekijöitä, joista kaikkia ei täysin tunneta (Koutsandréou ym. 2016). Todennäköisesti vaikutukset ovat jonkinlainen yhdistelmä rakenteellisia, hermostollisia, hormonaalisia ja/tai aineenvaihdunnallisia muutoksia.

5 KESTÄVYYSTYYPPISEN LIIKUNNAN AKUUTIT VAIKUTUKSET TOIMINNAHOJAUKSEEN NUORILLA

Kestävyysliikunnan akuutteja vaikutuksia toiminnanohjaukseen on tutkittu paljon sen pitkäkestoisien vaikutusten ohella. Aikuisilla tätä on tutkittu enemmän kuin nuorilla (Koutsandréou ym. 2016). Joka tapauksessa myös lasten ja nuorten kohderyhmässä aiheesta on tehty erilaisia interventioita ja jopa systemaattisia katsauksia sekä meta-analyysejä.

Tutkimusten vertailtavuutta hankaloittaa interventioiden keskinäinen erilaisuus. Esimerkiksi toteutetun liikunnan piirteet sekä toiminnanohjauksen tai inhibition mittaamenetelmät vaihtelevat. Toisaalta erilaiset tutkimusasetelmat ja -menetelmät tuovat aiheen tarkasteluun lisää ulottuvuuksia.

On myös todennäköistä, että akuutin liikunnan vaikutusta toiminnanohjaukseen moderoi useampikin tekijä, kuten liikunnan tyyppi, intensiteetti, tiheys ja kesto sekä tutkittavien liikuntausta ja psykologiset tekijät (Koutsandréou ym. 2016). Psykologisilla tekijöillä voidaan tarkoittaa esimerkiksi tutkittavien motivaatiota, stressiä tai kognitiivisia kykyjä. Yksilölliset tekijätkin voivat siis vaikuttaa tulosten suuntaan ja suuruuteen.

Aihetta on siksi hyvä tarkastella laajasti eri tutkimusten valossa. Tutkimustietoa kokoavat systemaattiset katsaukset ja meta-analyysit antavat isoja suuntaviivoja mahdollisista akuutin liikunnan vaikutuksista siinä missä yksittäiset interventiot valottavat asiaa tarkkarajaisemmin, mutta epävarmemmin.

5.1 Kirjallisuushaun kuvaus

Tutkielman aihetta vastaava kirjallisuushaku suoritettiin tammikuussa 2024. Haku tehtiin ensin Medline (Ovid) -tietokannassa ja sitten tekoälyyn pohjautuvassa Elicit-tietokannassa. Kirjallisuushaku tehtiin erikseen isojen, kokoavien tutkimusten osalta (meta-analyysit ja systemaattiset katsaukset) ja yksittäisten interventioiden osalta. Tietokantojen ohella hakua täydennettiin valikoituneiden artikkeleiden lähdeluettelojen kautta.

Hakulauseke. Kirjallisuushaun lauseke muodostettiin tutkielman tutkimuskysymystä vastaavaksi. Kiinnostuksen kohteena olivat interventiotyyppiset tutkimusasetelmat. Koska taukoliikuntaa tarkastelevia tutkimuksia on niukasti, haku painotettiin sen lisäksi akuutin kestävyysliikunnan inhibitiovaikutuksiin. AND-operaattorilla yhdistettäviä sanaryhmiä oli yhteensä viisi, joihin kuhunkin sisältyi joukko OR-operaattorilla yhdistettäviä synonyymejä (taulukko 5). Medline (Ovid) -tietokantaan syötetty lopullinen ja kaikki synonyymisanat sisältävä hakulauseke löytyy liitteestä 1. Elicit -tietokannassa käytettiin kysymysmuotoista lauseketta: Does acute aerobic exercise have effect on inhibition in adolescents/children?

TAULUKKO 5. Kirjallisuushaussa käytetyt sanaryhmät ja niiden sisällön kuvaus.

| Hakusanaryhmä | Sanat, joista sanaryhmän synonyymit johdettiin |
|-------------------|---|
| Kohderyhmä | Lapset tai nuoret |
| Tutkimustyyppi | RCT-tutkimukset, meta-analyysit tai systemaattiset katsaukset |
| Liikunta | Kestävyysliikunta, fyysinen aktiivisuus tai taukoliikunta |
| Vaikutusajankohta | Akuutti liikunta tai akuutti vaikutus |
| Vastemuuttuja | Inhibitio, toiminnanohjaus tai niitä mittaavat testit |

Sisäänottokriteerit. Kirjallisuushaun hakuosumista valikoitiin katsaukseen mukaan tutkimusasetelmiltaan laadukkaita, vertaisarvioituja, tieteellisten lehtien julkaisemia, satunnaistettuja, kontrolloituja interventioita (RCT) ja sellaisista koostettuja meta-analyysejä sekä systemaattisia katsauksia. Tutkimusasetelmien rajauksen tarkoitus oli mahdollistaa myös kausaaliset tulkinnot. Tarkastellun altisteen oli oltava kokonaan tai osittain kestävyystyyppistä liikuntaa tai fyysistä aktiivisuutta. Ulkopuolelle rajattiin liikkumisen krooniset vaikutukset eli vaikutusta oli tutkittava akuutisti tai pienellä viiveellä, kuitenkin saman päivän sisällä. Vastemuuttujana oli oltava joko toiminnanohjaus kokonaisuutena, inhibitio sen osa-alueena tai molemmat. Katsauksen ulkopuolelle rajattiin tutkimukset, joiden kohderyhmä muodostui vain tiettyä sairautta sairastavista henkilöistä. Pääosin kohderyhmän tuli siis edustaa perusterveitä, mutta esimerkiksi ylipainoa, keskostaustaa tai neuroepätyypillisiä piirteitä ei rajattu ulkopuolelle. Tämä rajaus perustui siihen, että mainitut ominaisuudet eivät suoraan lukeudu sairaustiloiksi eikä niitä ole aina tutkittavien rekrytoinnissa kartoitettu. Tutkimusten kohderyhmän oli sisällettävä 7–18-vuotiaita nuoria ainakin osana aineistoa. Ikähaarukan rajautuminen koululaisiin perustuu siihen, että tämän tutkielman käsittelemään VERNA-aineistoon kuului juuri kouluikäisiä nuoria.

Kirjallisuushaun tulos. Kokonaisuudessaan kirjallisuushaulla löytyi 21 sisäänottokriteereihin sopivaa interventiota ja 10 kokoavaa tutkimusta, joista 7 oli meta-analyysejä ja 3 systemaattisia katsauksia. Kirjallisuuskatsaukseen valikoituneiden tutkimusten kertyminen on kuvattu taulukossa 6. Tämän tutkielman kirjallisuuskatsaukseen valikoituneiden tutkimusten näyttöä tarkastellaan ensin kokoavien tutkimusten ja sen jälkeen yksittäisten interventioiden osalta.

TAULUKKO 6. Kirjallisuushaun osumista kertyneet kriteereihin sopivat tutkimukset.

| | Medline (Ovid) | Elicit | Lähdeluettelot | Yhteensä |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|----------|
| Interventio- tutkimukset | 89 osumaa 12 sopivaa | 146 osumaa + 3 uutta sopivaa | + 6 uutta sopivaa | = 21 |
| Kokoavat tutkimukset | 17 osumaa 7 sopivaa | 16 osumaa + 2 uutta sopivaa | + 1 uusi sopiva | = 10 |

5.2 Systemaattisten katsauksien ja meta-analyysien havainnot

Moni kokoava tutkimus valottaa akuutin kestävyysliikunnan vaikutuksia nuorten toiminnanohjaukseen. Toiminnanohjaukselta on toisinaan mitattu kokonaisuutena ja joskus pilkottuna osiin, kuten kognitiiviseen joustavuuteen, työmuistiin ja inhibitioon. Tämän tutkimuksen mielenkiinnon kohteena on inhibitio, joka ei kuitenkaan toimi irrallaan muusta toiminnanohjauksesta. Siksi systemaattisten katsauksien ja meta-analyysien tuloksia tarkastellaan koko toiminnanohjauksen ja/tai inhibition näkökulmasta.

5.2.1 Systemaattiset katsaukset

Paschen ym. (2019) systemaattisen katsauksen mukaan 5–11-vuotiaiden keskitehoisella 10–50 minuuttia kestäväällä liikunnalla saattaa olla työmuistin ja inhibition reaktioaikaa edistävä vaikutus, mutta ei niinkään vaikutusta niiden tarkkuuteen. Ferreira Vorkapicin ym. (2021) systemaattisessa katsauksessa havaittiin, että 8–13-vuotiailla 20–60 minuuttia kestävänsä intensiteetiltään keskitehoisen tai raskaan kestävyysliikunnan jälkeen 2/2 interventiossa inhibitio parani, 2/3 interventiossa keskittymiskyky parani, 1/2 interventiossa työmuisti parani mutta vaikutuksia ei havaittu tiedonkäsittelyn nopeuteen 1/1 interventiossa. Katsaukseen sisältyneiden interventioiden tulosten efektikoot vaihtelivat pienestä suureen (Ferreira Vorkapic ym. 2021). Hie- man vanhempia eli 13–16-vuotiaita tutkivassa systemaattisessa katsauksessa 9–40 minuutin

akuutti kestävyysliikunta edisti 3/4 interventiossa toiminnanohjausta, 4/4 interventiossa muistia sekä 2/2 interventiossa keskittymiskykyä ja tarkkaavaisuutta (Li ym. 2017).

5.2.2 Meta-analyysit

Monissa meta-analyyseissä kohderyhmä oli laaja. Changin ym. (2012a) meta-analyysin mukaan 5–60-vuotiailla akuutti liikunta edistää hieman kognitiota. Tutkimuksessa tarkasteltiin pelkän inhibition sijaan laajasti kognitiota monentyyppisen liikunnan näkökulmasta. Liu ym. (2020) systemaattinen katsaus ja meta-analyysi osoitti 5–18-vuotiaiden akuutin 10–40 minuutin keskitehoisen kestävyys- ja taitoliikunnan edistävän hieman inhibitiota ja kognitiivista joustavuutta sekä keskinertaisesti työmuistia. Haverkampin ym. (2020) meta-analyysin mukaan 12–30-vuotiaiden 5–60 minuutin akuutilla kestävyystyyppisellä ja lihaskuntoliikunnalla on vaikutuskooltaan keskivahva positiivinen vaikutus prosessointinopeuteen, tarkkaavaisuuteen, toiminnanohjaukseen ja inhibitioon mutta ei vaikutusta kognitiiviseen joustavuuteen tai työmuistiin (Haverkamp ym. 2020).

Kolmannen meta-analyysin mukaan akuutti 5–50 minuutin korkean ja hieman pidempikestoisen keskitehoisen intensiteetin kestävyysliikunta paransi hieman toiminnanohjausta koko otannassa eli 6–60-vuotiailla (Moreau & Chou 2019). Toiminnanohjaus parani kaikkien osa-alueidensa eli inhibition, tarkkaavaisuuden, kognitiivisen joustavuuden ja työmuistin osalta. Korkean intensiteetin liikunta näytti vaikuttavan enemmän 14–18-vuotiaiden kuin 6–13-vuotiaiden toiminnanohjaukseen, mutta tutkimusten vähäisen määrän vuoksi varmaa eroa ryhmien välillä ei voida todeta (Moreau & Chou 2019).

Toisaalta Ludyga ym. (2016) meta-analyysissä iän merkitys näyttäytyy päinvastaisena: 6–12-vuotiailla lapsilla akuutin 10–60 minuutin liikunnan vaikutus toiminnanohjauksen aikamuuttujiin korostui muihin ikäryhmiin nähden ja liikunta vaikutti heidän toiminnanohjaukseensa kokonaisuudessaan enemmän kuin 13–17-vuotiailla nuorilla. Meta-analyysissä havaittiin akuutin, keskitehoisen kestävyysliikunnan edistävän kohtalaisesti toiminnanohjauksen aikamuuttujia ja hieman tarkkuutta 6–12-vuotiailla. Vastaavasti 13–17-vuotiailla toiminnanohjauksen tarkkuus parani hieman mutta toiminnanohjauksen aikamuuttujiin merkitsevää vaikutusta ei ollut. Vaikutukset toiminnanohjauksen osa-alueisiin, inhibitioon, kognitiiviseen joustavuuteen ja työmuistiin, olivat suuruudeltaan samaa luokkaa (Ludyga ym. 2016).

Verburghin ym. (2013) meta-analyysin mukaan akuutti fyysinen 10–40 minuutin harjoittelu paransi kohtalaisesti toiminnanohjausta, tarkemmin inhibitiota, yhtäläisesti sekä 6–12-vuotiailla että 13–17-vuotiailla. Niin ikään De Greeff ym. (2018) meta-analyysin mukaan 6–12-vuotiailla akuutti kestävyysliikunta edisti vähäisesti tai kohtalaisesti valikoivaa tarkkaavaisuutta ja inhibitiokykyä, vaikka kokonaisuudessaan vaikutus toiminnanohjaukseen ei ollut merkitsevä. Työmuistiin ja kognitiiviseen joustavuuteen akuutilla liikunnalla ei havaittu olevan vaikutusta (De Greeff ym. 2018).

5.2.3 Yhteenveto katsaustutkimuksista

Kirjallisuuskatsauksen seitsemän meta-analyysin ja kolmen systemaattisen katsauksen perusteella akuutin kestävyysliikunnan inhibiiovaikutukset näyttäytyvät yhtenevinä. Kaikkien edellä mainittujen tutkimusten mukaan inhibiio ja/tai koko toiminnanohjaus paranivat keski- tai korkeatehoisen kestävyysliikunnan jälkeen.

Tämän positiivisen vaikutuksen suuruusluokka oli pääasiassa kohtalainen tai vähäinen. Liikunnan kesto vaihteli tutkimuksissa 5–60 minuutin välillä. Lisäksi osassa tutkimuksista myös toiminnanohjauksen muut osa-alueet, työmuisti ja kognitiivinen joustavuus, paranivat.

5.3 Yksittäisten interventioiden havainnot inhibitiosta

Akuutin liikunnan vaikutusta inhibiioon on tutkittu erilaisten interventioasetelmien kautta. Useimmiten niissä on ollut altistena kestävyysliikuntaa. Inhibiio-testeinä toistuvat stroop-, flanker- ja d-2-testien versiot. Tulosten analysointi ja raportoinnin näkökulma vaihtelevat melko paljon interventioiden välillä. Osa tutkimuksista on raportoinut tuloksia inhibiioista ja-kaen sen reaktioaikaan ja tarkkuuteen sekä lisäksi testin vaikeustason mukaan (simple vs complex/ congruent vs incongruent). Harva tutkimus on raportoinut flanker-efektin. Tutkimusten keskinäinen erilaisuus tuo epävarmuutensa tulosten vertailuun.

5.3.1 Flanker-testillä mitatut vaikutukset inhibiioon

Joissakin interventioissa akuutin liikunnan ei ole havaittu edistävän flanker-testillä mitattua inhibiiota. Sogan ym. (2015) kahdessa erillisessä interventiossa reilun 10 minuutin keskitehoisella liikunnalla ei havaittu olevan vaikutusta 15–16-vuotiaiden inhibiioon. Myöskään neljässä

interventiossa 20 minuutin keskitehoisella kestävyysliikunnalla ei ollut vaikutusta inhibition reaktioaika- eikä tarkkuustuloksiin 8–10-vuotiailla (Kao ym. 2023), 11–12-vuotiailla (Lind ym. 2019) eikä 13–15-vuotiailla (Hogan ym. 2013; Stroth ym. 2009). Niin ikään puolen tunnin keskitehoinen harjoittelu ei parantanut inhibitiota 16–18-vuotiailla (Gejl ym. 2018) eikä tunnin korkean intensiteetin liikunta 12–13-vuotiailla (Hatch ym. 2021).

Toisaalta useissa interventioissa liikunnan on huomattu vaikuttavan akuutisti nuorten inhibitiioon flanker-testillä mitattuna. Osa tuloksista koskee nimenomaan inhibition tarkkuutta eli sitä, missä määrin vastaukset ovat oikein tai väärin.

Flanker-testissä inhibition tarkkuuden, mutta ei reaktioajan, on havaittu paranevan n. 20 minuutin keskitehoisen kävelyn jälkeen verrattuna paikallaanoloon 9–10-vuotiailla (Hillman ym. 2009), 9–11-vuotiailla (Drollette ym. 2012) ja 8–11-vuotiailla (Raine ym. 2020). Tämä päti sekä kongruentteihin että inkongruentteihin vastauksiin (Drollette ym. 2012; Raine ym. 2020) tai vain inkongruentteihin vastauksiin (Hillman ym. 2009). Vastaava kävelyinterventio 8–10-vuotiailla ei muuttanut inhibition reaktioaikaa ja inhibition tarkkuus parani vain kognitioltaan heikommilla nuorilla (Drolletten ym. 2014). Samaten Gejl ym. (2018) havaitsivat 16–18-vuotiailla kevyen sekä keskitehoisen viiden minuutin kestävyysliikunnan olevan inhibitiota edistävää vain tarkkuuden osalta.

Osa flanker-testiä käyttäneistä interventioista oli tuloksiltaan päinvastaisia. Inhibition tarkkuuden sijaan sen reaktioaikaa paransi 20 minuutin HIIT-harjoittelu 8–10-vuotiailla (Kao ym. 2023). Viiden minuutin korkean intensiteetin liikunta 16–18-vuotiailla paransi sekä tarkkuutta että reaktioaikaa inhibitiossa (Gejl ym. 2018). Samaten Hatchin ym. (2021) interventiossa puoli tuntia korkealla intensiteetillä treenanneilla 12–13-vuotiailla parani sekä tarkkuustulos että reaktioaika etenkin 45 minuutin viiveellä mitattuna.

Flanker-efekti huomioitiin kolmessa tutkimuksessa. Hillmanin ym. (2009) ja Rainen ym. (2020) interventioissa liikunnan seurauksena flanker-efekti pieneni eli parani tarkkuuden mutta ei reaktioajan suhteen. Lindin ym. (2019) tutkimuksessa tilanne oli päinvastainen: flanker-efekti parani reaktioajan muttei tarkkuuden osalta.

5.3.2 Stroop-testillä mitatut vaikutukset inhibitioon

Osa interventioista mittasi inhibitiota stroop-testillä. Williams ym. (2020) interventiossa tunnin jalkapallon pelaamisella ei ollut 12–13-vuotiaiden inhibitiota edistävää vaikutusta stroop-testillä mitattuna. Peruyeron ym. (2017) interventiossa ei mitattu reaktioaikoja, vaan tarkkuutta. Tarkkuus paranikin 15–17-vuotiailla puolen tunnin keski/korkeatehoisen, mutta ei matalatehoisen, zumba-aerobicin jälkeen. Niin ikään Parkin ja Etnierin (2019) tutkimuksessa 15–16-vuotiailla 20 minuutin keskitehoinen kestävyysliikunta paransi inhibition tarkkuutta stroop-testillä mitattuna huomattavasti, mutta reaktioaikaa ei mitattu.

Sitä vastoin joissain tutkimuksissa vaikutuksia havaittiin ainoastaan stroop-suorituksen reaktioajassa. Inhibition reaktioaika lyhenyi puolen tunnin ajan korkealla intensiteetillä liikkuneilla 10–14-vuotiailla ylipainoisilla (Zhang ym. 2022b), 12–13-vuotiailla (Hatch ym. 2021) ja 11–15-vuotiailla (Browne ym. 2016) sekä keskitehoisen puolen tunnin liikunnan seurauksena ADHD:n omaavilla 8–13-vuotiailla (Chang ym. 2012b) ja ennenaikaisesti syntyneillä 9–12-vuotiailla (Chen ym. 2023). Näiden puolen tunnin liikuntainterventioiden mukaan liikunta ei vaikuttanut inhibition tarkkuustulokseen, vaikkakaan Changin ym. (2012b) tutkimuksessa tätä ei erikseen raportoitu. Reaktioaikaa, mutta ei tarkkuutta, parantava vaikutus havaittiin lisäksi vartin mittaisen keskitehoisen liikunnan jälkeen 8–9-vuotiailla (Lambrick ym. 2016) ja tunnin keskitehoisen koripallopelailun jälkeen 11–13-vuotiailla (Cooper ym. 2018).

Osa tutkimuksista eritteli tuloksia inkongruenttien ja kongruenttien tehtävien mukaan. Zhangin (ym. 2022b) mukaan reaktioaika parani yhtäläisesti kongruenttien, inkongruenttien ja neutraalien ärsykkeiden osalta. Toisaalta Brownen ym. (2016) ja Chenin ym. (2023) mukaan se parani vain inkongruenttien eli vaikeampien tehtävien kohdalla. Jos helppojen ja vaikeiden tehtävien reaktioaikojen ero näin pienenee, viittaa se flanker-efektiä vastaavaan ilmiöön. Tällöin poikkeavista ärsykkeistä häiriintyminen on vähäisempää. Harvemmin raportoituja tuloksia olivat myös kokonaistulos, jossa yhdistettiin sekä vastauksien tarkkuuden että reaktioajan tulokset. Aiemmin mainitussa Lambrickin ym. (2016) tutkimuksessa myös tämä kokonaistulos parani.

5.3.3 D2-testillä mitatut vaikutukset inhibitioon

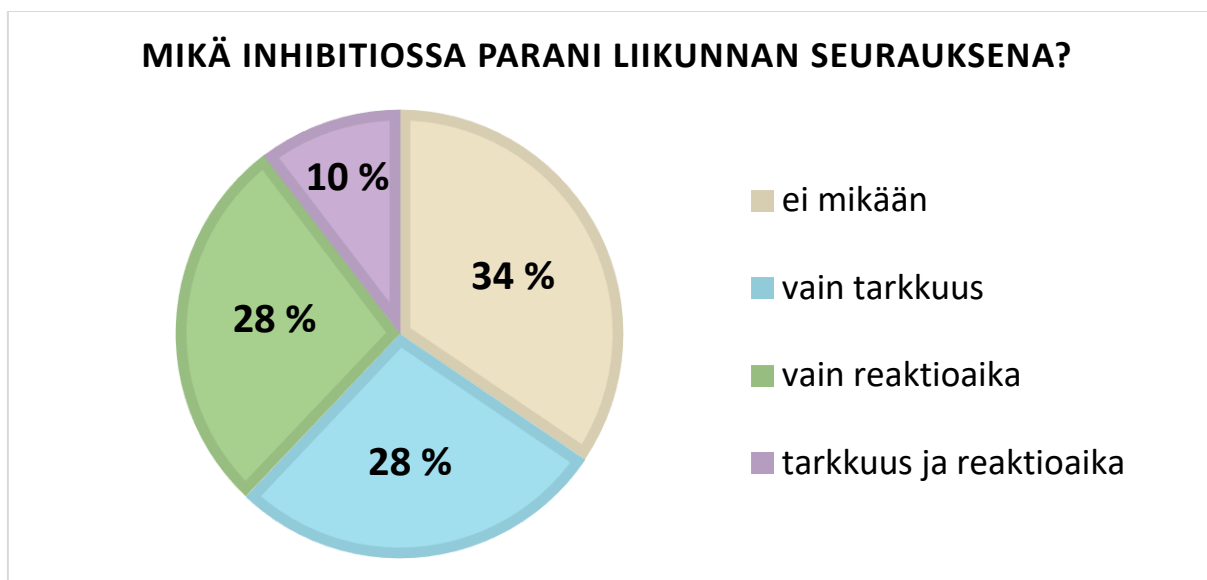
Muutamassa interventiossa inhibitiota tarkasteltiin d2-testillä, joka mittaa inhibition ohella valikoivaa tarkkaavaisuutta. Cooperin ym. (2018) interventiossa 11–13-vuotiailla keskitehoinen

tunnin koripallopelailu ei osoittanut liikunnalla olevan vaikutuksia d2-testin tuloksiin. Sen sijaan Altermannin ja Gröpelin (2023) tutkimuksessa 15–18-vuotiaiden inhibitio parantui kontrolliin verraten 25 minuutin keski/korkeatehoisen liikunnan jälkeen: d2-testissä sekä kokonaispisteet että reaktioaika parantuivat.

5.3.4 Yhteenveto interventiotutkimuksista

Yhteensä 21:ssä liikunnan akuutteja inhibitiovaikutuksia tutkivassa interventiossa tulokset olivat vaihtelevia. Osassa tutkimuksista oli tarkasteltu passiivisen kontrollin ohella useampaakin liikuntaryhmää, joissa liikunnan kesto ja/tai intensiteetti olivat erilaisia (Gejl ym. 2018; Hatch ym. 2021; Kao ym. 2023). Lisäksi muutamassa tutkimuksessa oli käytetty inhibition mittaamiseen useampaa mittaria (Hatch ym. 2021; Cooper ym. 2018). Näin ollen 21 interventiosta oli eriteltävissä 29 inhibitiotulosta.

Liikunta paransi inhibition molempia osa-alueita 3/29, vain nopeutta 8/29, vain tarkkuutta 8/29 ja ei lainkaan inhibitiota 10/29 tuloksen mukaan. Sama on esitetty prosentuaalisina osuuksina tulosten kokonaismäärään suhteutettuna kuvassa 2.



KUVA 2. Kirjallisuuskatsauksen interventioiden pohjalta esitetyt liikunnan jälkeiset inhibitiovaikutukset suhteellisina osuuksina kaikista 29 tarkastellusta tuloksesta.

5.4 Liikunnan vaikutusta muovaavat tekijät

On mahdollista, että akuutti kestävyysliikunta vaikuttaa nuorten inhibition eri tavoin riippuen henkilöön tai tutkimusasetelmaan liittyvistä tekijöistä. Aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella tällaisia tekijöitä voivat olla henkilöiden kuntotaso, kognition taso, liikunnan kognitiivinen haastavuus, liikunnan muoto, sen kesto, intensiteetti ja annos (kesto x intensiteetti) tai kognition mittaamenetelmä. Kestävyysliikunnan inhibiatiovaikutuksen voimakkuutta tai suuntaa voivat siis muovata useat eri tekijät, joita kutsutaan tällöin moderoiviksi tekijöiksi.

5.4.1 Kuntotaso ja painoindeksi

Kuntotason on esitetty olevan mahdollinen liikunnan vaikutuksia moderoiva tekijä (Tomporowski 2003). Kahdessa meta-analyysissä kuitenkin havaittiin, että tutkittavien kuntotaso ei moderoinut liikunnan vaikutuksia toiminnanohjaukseen (Ludyga ym. 2016; Moreau & Chou 2019). Lin ym. (2017) systemaattisen katsauksen mukaan fyysisen kunnan merkitys oli ristiriitainen ja riippui myös toiminnanohjauksesta mittaavasta testistä.

Joissakin interventiossa onkin havaittu heikompikuntoisten nuorten inhibition reaktioajan huonontuneen stroop-testin kongruenttien kohtien (Williams ym. 2020) ja myös inkongruenttien kohtien (Cooper ym. 2018) osalta 45 minuutin pallopelien jälkeen mitattuna siinä missä hyväkuntoisilla inhibition reaktioaika pysyi samana (Williams ym. 2020) tai parani (Cooper ym. 2018). Hoganin ym. (2013) interventio paljasti samansuuntaisia tuloksia keskitehoisen kestävyysliikunnan seurauksena. Inhibition tarkkuuteen kuntotasolla ei silti näytä olevan moderoivaa vaikutusta (Cooper ym. 2018; Williams ym. 2020).

Heikkokuntoisilla liikunta saattaa silti osittain edistää inhibition tarkkuutta, kun tarkastellaan virheitä vaikeammissa tehtävissä suhteessa helpompiin tehtäviin (Hogan ym. 2013). Erilainen mitattu muuttuja siis voi tuoda uusia vaikutuksia esiin. Kuitenkaan Strothin ym. (2009) interventiossa liikunta ei muuttanut inhibitiokykyä millään tavalla heikko- eikä hyväkuntoisilla.

Kehonkoostumuskin voi mahdollisesti muovata liikunnan vaikutuksia. Rainen ym. (2020) intervention mukaan vaikuttaa siltä, että painoindeksin perusteella painavammilla liikunnan vaikutus inhibition ei ole yhtä hyvä kuin vähemmän painavilla ja kaikkein painavimmilla liikunta

voi akuutisti jopa huonontaa inhibitiota sekä flanker-testin kongruenteissa että inkongruenteissa osioissa.

5.4.2 Kognition taso ja kehitystaso

Tämän tutkielman kirjallisuuskatsauksessa tuli ilmi, että akuutin liikunnan kognitiivisia vaikutuksia on tutkittu eri ikäisillä lapsilla ja nuorilla. Voisiko iällä tai kehitysvaiheella olla merkitystä liikunnan aiheuttamissa toiminnanohjauksen muutoksissa?

Moreaun ja Choun (2019) meta-analyysin mukaan tutkittavien ikä ei muovannut vaikutusta toiminnanohjauksen tuloksiin. Kuitenkin Ludygan ym. (2016) meta-analyysissä havaittiin elämän kehityksellisissä taitekohdissa ilmenevän herkkyyttä akuutin liikunnan positiivisille vaikutuksille, sekä varhaisnuorten että vanhempien aikuisten kohdalla.

Voi olla, että kyse on myös yksilöllistä taipumuksista, esimerkiksi kognitiivisesta kapasiteetista. Nimittäin kognitioltaan matala- ja korkeatasoisia vertailevassa tutkimuksessa havaittiin, että liikunnan seurauksena inhibition tarkkuus ei muuttunut kognitioltaan vahvoilla mutta parantui kognitioltaan heikommilla vertailuryhmänsä tasolle (Drollette ym 2014). Inhibition reaktioajassa ei kuitenkaan havaittu muutoksia kummallakaan ryhmällä.

5.4.3 Kognitiota painottava liikunta

Akuutin liikunnan kognitiovaikutusten on pohdittu olevan riippuvaisia myös liikunnan kognitiivisesta haastavuudesta (McMorris 2016). Haastavaksi mielletty liikunta voi tarkoittaa liikuntaa, joka edellyttää enemmän ympäristön havainnointia, sääntöjen muistamista tai strategioiden kehittämistä. Kyse voi olla monimutkaisemmista liikesarjoista tai pelillisestä liikunnasta siinä missä kognitiivisesti helppona voidaan pitää tyypillistä pyöräilyä tai juoksua (Paschen ym. 2019). Esimerkiksi kestävyysjuoksu sisältää yleensä enemmän automatisoitunutta liikkumista kuin vaikkapa keskittymiskykyä haastavat pallopelit (De Greeff ym. 2018).

Systemaattisessa katsauksessaan Paschen ym. (2019) tarkastelivat akuutin liikunnan vaikutuksia toiminnanohjauksen osa-alueisiin sen mukaan, onko itse liikunta kognitiivisesti haastavaa. *Kognitiivisesti helpon* liikunnan jälkeen työmuistin reaktioaika selkeästi parani mutta inhibition reaktioajan ja tarkkuuden sekä kognitiivisen joustavuuden reaktioajan osalta tulokset olivat

vaihtelevia. Työmuistin ja joustavuuden tarkkuuteen tällaisella liikunnalla ei ollut lainkaan vaikutusta.

Systemaattisen katsauksen mukaan *kognitiivisesti haastavalla* liikunnalla oli positiivisia vaikutuksia vain inhibition reaktioaikaan osassa interventioista (Paschen ym. 2019). De Greeffin ym. (2018) meta-analyysissä *kognitiota haastavalla* liikunnalla ei ollut vaikutusta toiminnanohjaukseen siinä missä *kognitiivisesti helppo* kestävyysliikunta edisti toiminnanohjauksen joitakin osa-alueita. Näiden epäyhtenevien tulosten valossa liikunnan kognitiivisen haastavuuden merkitys jää avoimeksi.

5.4.4 Liikkumisen muoto ja jaksotus

Liikunnan vaikutuksia voi tarkastella myös liikkumisen muodon, lajin ja kuormituksen rytmityksen mukaan. Meta-analyysin mukaan akuutin kestävyysliikunnan toiminnanohjausta edistävät vaikutukset eivät riippuneet liikuntalajista tai sen rytmityksestä eli siitä, oliko liikkuminen tasaisena jatkuvaa vai intervallityyppistä (Moreau & Chou 2019). Intervalliliikunnassa korkeatehoisemmat liikuntapätkät vuorottelevat palauttavien liikuntapätkien kanssa.

Yhdessä interventiossa havaittiin inhibition paranevan samoissa määrin eri liikuntamuotojen eli voima-, kestävyys- ja koordinaatioharjoittelun jälkeen (Altermann & Gröpel 2023). Interventioiden mukaan intervalliliikunta ja tasaisena jatkuva liikunta edistivät inhibition reaktioaikaa mutta eivät tarkkuutta sekä korkealla (Zhang ym. 2022b) että keskitehoisella intensiteetillä toteutettuna (Lambrick ym. 2016). Tosin keskitehoinen, intervallityyppinen liikunta näytti olevan hieman tasaisentyyppistä hyödyllisempää inhibition kannalta (Lambrick ym. 2016).

5.4.5 Liikunnan kesto ja annos

Kolmen meta-analyysin mukaan liikunnan kesto ei muuttanut sen toiminnanohjausta parantavan vaikutuksen suuruutta (De Greeff ym. 2018; Ludyga ym. 2016; Moreau & Chou 2019). Changin ym. (2012a) meta-analyysissä kuitenkin havaittiin, että vasta yli 11 minuuttia kestäväällä liikunnalla havaittiin merkitseviä, positiivisia vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen. Toisaalta tähän voivat vaikuttaa tarkastellut toiminnanohjauksen tai koko kognition osa-alueet. Edellä mainituissa meta-analyyseissä ei nimittäin eritelty liikunnan keston vaikutusta toiminnanohjauksen osa-alueiden mukaan.

Yhden meta-analyysin perusteella lyhyempikestoinen liikunta näytti edistävän pidempikestoista liikuntaa enemmän tarkkaavuutta ja kognitiivista joustavuutta, vaikka liikunnan intensiteetillä ei ollut vaikutusta (Haverkamp ym. 2020). He tarkastelivat tutkimuksessaan myös liikunta-annoksen (kesto x intensiteetti) moderoivia vaikutuksia. Se olikin käänteisesti yhteydessä tarkkaavuuteen. Annoksella ja kestolla ei kuitenkaan ollut vaikutuksia inhibition ja työmuistin muutoksiin.

Yksittäisissä interventioissa liikunnan keston on havaittu muovaavan liikunnan inhibitiivaikutuksia. Hatch ym. (2021) interventiossa inhibitiota paransi vain puolen tunnin mittainen korkean intensiteetin liikunta eikä tunnin mittainen vastaava liikunta. Toisen intervention mukaan inhibition tarkkuus parantui erikseen kevyen, keskitehoisen ja korkean intensiteetin viiden minuutin annoksella mutta ei 30 minuutin keskitehoisella liikunnalla verrattuna paikallaanoloon (Gejl ym. 2018). Samassa tutkimuksessa kuitenkin puolen tunnin keskitehoinen liikunta edisti inhibition reaktioaikaa verrattuna 5 minuuttia keskiteholla liikkuneisiin muttei paikallaan olleisiin nähden.

5.4.6 Liikunnan intensiteetti

Liikunnan keston ja annoksen ohella sen intensiteetti voi vaihdella. Voisiko liikunnan intensiteetillä olla merkitystä inhibition kannalta? Teoriatasolla on esitetty, että korkean intensiteetin liikunta voisi haitata sen jälkeen suoritettavan uuden tai vaikean kognitiivisen tehtävän tekoa (McMorris 2016) ja onkin rajallista tutkimusnäyttöä raskaan liikunnan heikentävän juuri toiminnanohjausta (McMorris 2008).

Moreaun ja Choun (2019) meta-analyysin mukaan korkean intensiteetin liikunta ei kuitenkaan eroa vaikutukseltaan keski- ja matalatehoisesta liikunnasta. Silti eriteltynä kaikkein rankimman liikunnan huomattiin edistävän enemmän toiminnanohjausta verrattuna matalan intensiteetin liikuntaan, mutta ei verrattuna paikallaanoloon (Moreau & Chou 2019). Tämä ei ainakaan tue edellä mainittua oletusta rasittavan liikunnan epäedullisista kognitiivaikutuksista. Toisaalta Changin ym. (2012a) meta-analyysin perusteella erittäin kevyt, matala- ja keskitehoinen akuutti liikunta edistivät kognitiivista suoriutumista siinä missä korkeatehoinen tai maksimaalinen liikunta ei vaikuttanut mitenkään. Kuitenkin samassa tutkimuksessa viiveellä mitattuna kognitiota paransivat kaikki muut intensiteetit paitsi erittäin kevyt, jonka vaikutukset olivatkin negatiivisia. Eniten viiveellä mitattua kognitiota edisti juuri korkeatehoinen liikunta. Niinpä Changin

ym. (2012a) meta-analyysi viittaisi siihen suuntaan, että liikunnan intensiteetin vaikutus riippuu myös mittausajankohdasta.

Yksittäisten interventioiden havainnot ovat keskenään osittain yhteneviä. Peruyeron ym. (2017) interventio osoitti keski- ja korkeatehoisen puolen tunnin liikunnan parantavan inhibition tarkkuutta siinä missä matalatehoisempi samanmittainen liikunta ei ollut vaikutukseltaan aivan merkitsevä. Kaon ym. (2023) RCT-tutkimuksessa tarkasteltiin inhibitiota verraten keskenään akuutin HIIT-liikunnan, akuutin keskitehoisen liikunnan ja paikallaanolon vaikutuksia. Vain HIIT-ryhmällä parani inhibition reaktioaika.

Gejl ym. (2018) interventiossa korkean intensiteetin viiden minuutin liikunta edisti inhibition reaktioaikaa, mutta intensiteetiltään kevyet ja keskiraskaat liikuntapätkät eivät. Toisaalta inhibition tarkkuus parani yhtä lailla matala-, keski- ja korkeatehoisen viiden minuutin liikunnan seurauksena (Gejl ym. 2018). Lindin ym. (2019) interventiossa puolestaan havaittiin rasittavamman liikunnan muuttaneen flanker-efektiä paremmaksi verrattuna keskitehoisesti liikku-neisiin. Näiden yksittäisten interventioiden valossa näyttää siis siltä, että korkean intensiteetin liikunta vaikuttaa enemmän ainakin reaktioaikaan kuin matalamman intensiteetin liikunta.

5.4.7 Mittaustapojen- ja ajankohtien vaikutus

On mahdollista, että inhibition mittausajankohdalla tai -menetelmällä on merkitystä. Itse mit-taristakin saadut muuttujat, kuten tarkkuus, reaktioaika ja ne suhteessa tehtävän vaikeusasteeseen, voivat muuttua eri tavoin liikunnan seurauksena. Paschen ym. (2019) meta-analyysissä nuorten akuutilla liikunnalla on enemmän vaikutusta inhibition reaktioaikaan kuin sen tarkkuu-teen. Nämä inhibition osa-alueet näyttävät siis reagoivan eri tavoin akuuttiin liikuntaan.

Voisiko myös mittauksen viiveellä olla merkitystä? Moreaun ja Choun (2019) meta-analyysissä havaittiin, että mittausajankohta ei muovannut kestävyysliikunnan toiminnanohjausta paranta-vaa vaikutusta. Toisaalta pelkästään *intervalliliikuntaa* tarkastelevissa interventioissa heti lii-kuntapätkän jälkeen mitattuna toiminnanohjaus, inhibitiio mukaan lukien, oli tyypillisesti pa-rempi kuin yli 10 minuuttia liikunnan jälkeen testattuna (Moreau & Chou 2019). Changin ym. (2012a) meta-analyysin mukaan 10 minuutin sisällä liikunnan lopettamisesta kognitio heikentyi mutta parantui sen jälkeen ja pienempi positiivinen vaikutus havaittiin vielä 20 minuutin vii-veellä mitattuna. Myös vuorokauden ajalla voi olla merkitystä, sillä akuutti liikunta näyttää

edistävän kognitiota aamulla muttei enää myöhemmin iltapäivällä tai illalla (Chang ym 2012a). Näiden meta-analyysien perusteella liikunnan inhibiatiovaikutuksen voi siis todeta painottuvan reaktioaikaan ja mittauksen viiveen voi olettaa pienentävän havaittua vaikutusta, joka tulee mahdollisesti esiin vain aamuaikaan mitattuna.

Yksittäisissä interventioissa mittauksen ajankohdan merkitys vaihtelee. Hillmanin ym. (2009) intervention mukaan liikunnan edullinen vaikutus toiminnanohjaukseen näkyy heti sekä vajaan puolen tunnin viiveellä mitattuna (Hillman ym. 2009). Lambrickin ym. (2016) interventiossa reaktioajan osalta parantunut stroop-tulos havaittiin heti keskitehoisen liikunnan jälkeen mitattuna sekä 15 minuutin ja 30 minuutin päästä mitattuna. Kaikki interventiot eivät kuitenkaan antaneet näin yksiselitteistä tulosta. Esimerkiksi Sogan ym. (2015) interventiossa havaittiin, että liikunnan *aikainen* inhibiatio oli huonompi kuin liikunnan jälkeen mitattu, vaikka liikunta ei jälkeempään parantanutkaan inhibitiota paikallaanoloon nähden.

Mittauksen ajankohdan lisäksi inhibitiota mittaavien tehtävien vaikeustaso voi vaihdella. Hatch ym. (2021) interventiossa yksinkertaisen tason stroop-testissä reaktioaika parani puoli tuntia rankasti treenanneilla vain, kun mittaus oli tehty 45 minuuttia treenin jälkeen. Samaa ei havaittu kuitenkaan heti liikunnan jälkeen mitattuna. Sen sijaan kompleksisemmän stroop-tehtävän ja tarkkuuden osalta tulokset eivät muuttuneet kummassakaan mittauspisteessä. Liikunta siis saattaisi vaikuttaa eri tavoin helppoihin ja vaikeisiin testin osiin.

Stroop-testin ohella Hatch ym. (2021) interventiossa käytettiin flanker-testiä. Sen kongruentissa eli helpommassa versiossa reaktioaika oli puoli tuntia liikkuneilla heti ja myöhemmin treenin jälkeen mitattuna kontrollia parempi, tarkkuus sen sijaan parani vain viivästetysti. Vaikeamassa eli inkongruentissa versiossa reaktioaika parani puoli tuntia liikkuneilla vain viivästetysti mitattuna ja tarkkuus ei lainkaan (Hatch ym. 2021). Cooperin ym. (2018) interventiossa pallonpölyn inhibitiota nopeuttava vaikutus inkongruenttien tehtävien osalta ilmeni heti ja 45 minuuttia pelailun jälkeen, mutta tarkkuus ei parantunut. Yksittäisiä interventioita tarkastelemalla huomataankin, että tulos voi olla erilainen riippuen monesta mittausmenetelmään liittyvästä tekijästä: inhibition osasta (tarkkuus/reaktioaika), valitusta testistä, sen osien vaikeustasosta (kongruentti/inkongruentti) sekä mittauksen ajankohdasta.

5.5 Taukoliikunnan vaikutus toiminnanohjaukseen

Tutkielman kirjallisuuskatsauksessa havaittiin nuoria koskevien tutkimusten keskittyvän kerta-luontoisen liikunnan akuutteihin vasteisiin, joita on saatettu mitata myös viiveellä liikuntaker-ran jälkeen. Nuoria käsitteleviä tutkimuksia ei ole tehty pitkäkestoisen istumisen aikaisen, päät-täisen liikunnan vaikutuksista samana päivänä mitattuun inhibitioon.

Aikuisilla on kuitenkin asiaa tutkittu jopa systemaattisen katsauksen verran, mutta siinä tulok-sista ei voitu vetää vankkaa johtopäätöstä liikuntataukojen hyödyllisyydestä kognition suhteen (Chueh ym. 2022). Katsauksen tulokset silti viittaavat siihen suuntaan, että taukoliikunnan on oltava intensiteetiltään ja toistojen tiheyden osalta riittävää, jotta vaikutuksia kognitioon voisi näkyä. Esimerkiksi puolen tunnin välein kolme minuuttia keskitehoista kävelyä voi parantaa inhibitiota nuorilla naisilla (Christmas ym. 2019).

Toisaalta myös matalan intensiteetin liikunta voi vaikuttaa edullisesti toiminnanohjaukseen, jos sitä kertyy tunnin välein 10–30 minuutin jaksoissa (Mullane ym. 2017) kun taas viiden minuutin reipas kävely tunnin välein toteutettuna ei näytä vaikuttavan aikuisten inhibitioon (Ber-gouignan ym. 2016). Näin ollen voi todeta, että aikuisilla taukoliikunta voi parantaa toiminnan-ohjausta, mikäli liikunnan tiheys, intensiteetti ja kesto ovat riittäviä (Chueh ym. 2022). Tarkka kynnys riittävälle liikuntavolyymille jää silti kysymysmerkiksi.

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA MENETELMÄT

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää pitkäkestoisen istumisen aikaisen kestävyystyyppisen, pätkittäisen intervalliliikunnan vaikutusta nuorten toiminnanohjauksen osa-alueeseen, inhibition. Toisena tavoitteena oli tutkia, ovatko intensiteetiltään keski- ja korkeatehoisen taukoliikunnan vaikutukset keskenään erilaisia. Keskitehoisesta kestävyystyyppisestä intervalliliikunnasta käytetään lyhennettä MIIE (moderate-intensity interval exercise) ja vastaavasti korkeatehoisesta kestävyystyyppisestä intervalliliikunnasta lyhennettä HIIE (high-intensity interval exercise).

6.1 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Luvussa 5 esitellyn kirjallisuuskatsauksen perusteella akuutilla kestävyysliikunnalla on nuorten inhibitiota hieman tai kohtalaisesti edistävä vaikutus. Epäselväksi jää, mikä liikkumisen määrä ja intensiteetti riittäisi saavuttamaan näitä vaikutuksia. Korkeatehoisella liikunnalla lienee suurempi vaikutus ainakin inhibition reaktioaikaan. Pätkittäisen taukoliikunnan inhibitiovaikutuksista ei kuitenkaan löydy tietoa nuorten osalta. Kyseiseen tutkimusaukkoon pyritään löytämään vastauksia tässä tutkielmassa.

Tutkielman tutkimuskysymykset:

1. Onko pitkäkestoisen istumisen aikaisilla, kestävyystyyppisillä intervalliliikuntapätkillä vaikutusta nuorten inhibition tarkkuuteen ja reaktioaikaan koulupäivää vastaavan istumisjakson aikana?
2. Eroavatko kestävyystyyppisen keski- ja korkeatehoisen intervallimuotoisen taukoliikunnan inhibitiovaikutukset toisistaan?

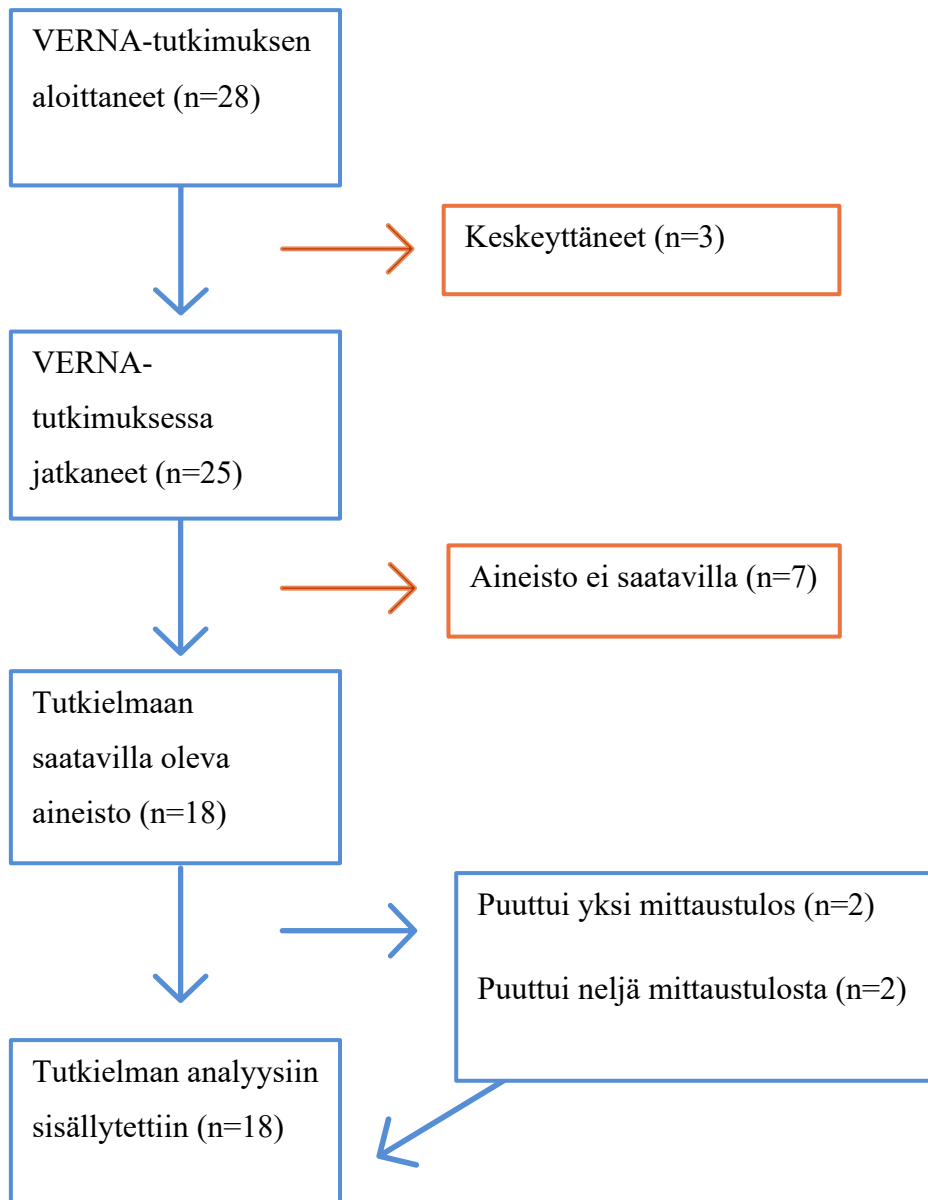
Hypoteesit. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltuun tutkimusnäyttöön nojaten tässä tutkielmassa oletetaan istumista tauottavan, pätkittäisen kestävyysliikunnan edistävän hieman nuorten inhibition tarkkuutta ja reaktioaika. Lisäksi pidetään mahdollisena, että verrattuna keskitehoiseen liikuntaan korkean intensiteetin taukoliikunnalla on voimakkaampi vaikutus inhibition reaktioajan osalta. Kummankaan intensiteetin liikunnalla ei oleteta olevan negatiivisia vaikutuksia nuorten inhibition.

6.2 Aineisto ja tutkittavat

Gradun aineisto pohjautuu Vascular and brain health, ExeRcise, and Nutrition in Adolescents (VERNA) -tutkimukseen (ISRCTN11803379). Kyseinen tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopiston Liikuntatieteellisessä tiedekunnassa ja Jyväskylän yliopiston monitieteisessä aivotutkimuskeskuksessa 2022 vuoden elokuusta 2023 vuoden marraskuuhun. VERNA-tutkimukseen rekrytoitiin Jyväskyläläisistä kouluista 12–14-vuotiaita nuoria, joista yhteensä 28 aloitti tutkimukset.

Kouluilta pyydettiin rekrytointiin lupa ja opettajille annettiin tiedote, joka jaettiin Wilman kautta koteihin. Tämän perusteella kiinnostuneet saivat ottaa yhteyttä tutkimuksen järjestäjään. Sisäänottokriteerien mukaan tutkimukseen hyväksyttiin perusterveet 12–14-vuotiaat, joilla ei ollut sydän-, aineenvaihdunta- eikä hermolihasjärjestelmän sairauksia ja joilla oli riittävän hyvä näkö.

Tähän tutkielmaan sisällytettiin VERNA-tutkimukseen osallistuneista 28 nuoresta yhteensä 18 nuorta (kuva 3). Tutkielmasta pois jätetyt koehenkilöt olivat joko osallistumisensa keskeyttäneitä tai sellaisia, joiden flanker-tulokset eivät olleet vielä saatavilla. Tutkielmaan mukaan otetuista suurimmalta osalta oli saatu flanker-testin tulokset kaikista 12 mittauspisteestä. Kahdelta tutkittavalta puuttui neljän mittauspisteen tulokset ja kahdelta tutkittavalta yhden mittauspisteen tulokset. Myös heidät sisällytettiin tutkielman analyysiin.



KUVA 3. Vuokaavio tutkielmaan valikoituneista VERNA-tutkimuksen osallistujista. Mukaan analyysiin otettiin myös ne neljä tutkittavaa, joilta puuttui osa mittaustuloksista.

6.3 Tutkimuksen eettisyys

VERNA-tutkimuksen tutkimusprotokolla on saanut puoltavan lausunnon Keski-Suomen hyvinvointialueen alueellisen lääketieteellisen tutkimuseettisen toimikunnan toimesta vuonna 2022 (Research Ethics Committee of the Hospital District of Central Finland). Tutkimuksessa on noudatettu Helsingin julistuksen (Declaration of Helsinki) vuonna 2008 päivitetyn version mukaisia eettisiä periaatteita lääketieteelliselle ja muulle ihmiseen kohdistuvalle tutkimustyölle

(WMA 2008). Toteutuksessa on tasa-arvolain mukaisesti huomioitu syrjimättömyys ja yhdenvertaisuus sekä osallistujien että työntekijöiden suhteen (Laki naisten ja miesten välisestä tasa-arvosta 609/1986).

Itsemääräämisoikeus. Tutkittavat antoivat suostumuksensa osallistumisesta ja heidän huoltajansa antoivat kirjallisen suostumuksen lapsen tutkimukseen osallistumisesta. Huoltajien ohella alaikäisille tutkittaville on annettu ikätasolleen ymmärrettävissä olevaa tietoa tutkimuksesta ja heidän itsemääräämisoikeuttaan on kunnioitettu. Tutkittavat ovat tienneet voivansa keskeyttää tutkimuksen milloin tahansa.

VERNA-tutkimuksen mahdolliset hyödyt ja haitat. Tutkittavat saavat tietoa verenkierto- ja hengityselimistönsä kunnosta. Tutkimuksissa toteutettava liikunta saattaa aiheuttaa epämiellyttäviä tuntemuksia, kuten hengästymistä, sykkeen nousua ja väsymistä. On myös mahdollista, ettei tutkimus tuota suoria hyötyjä tutkittaville.

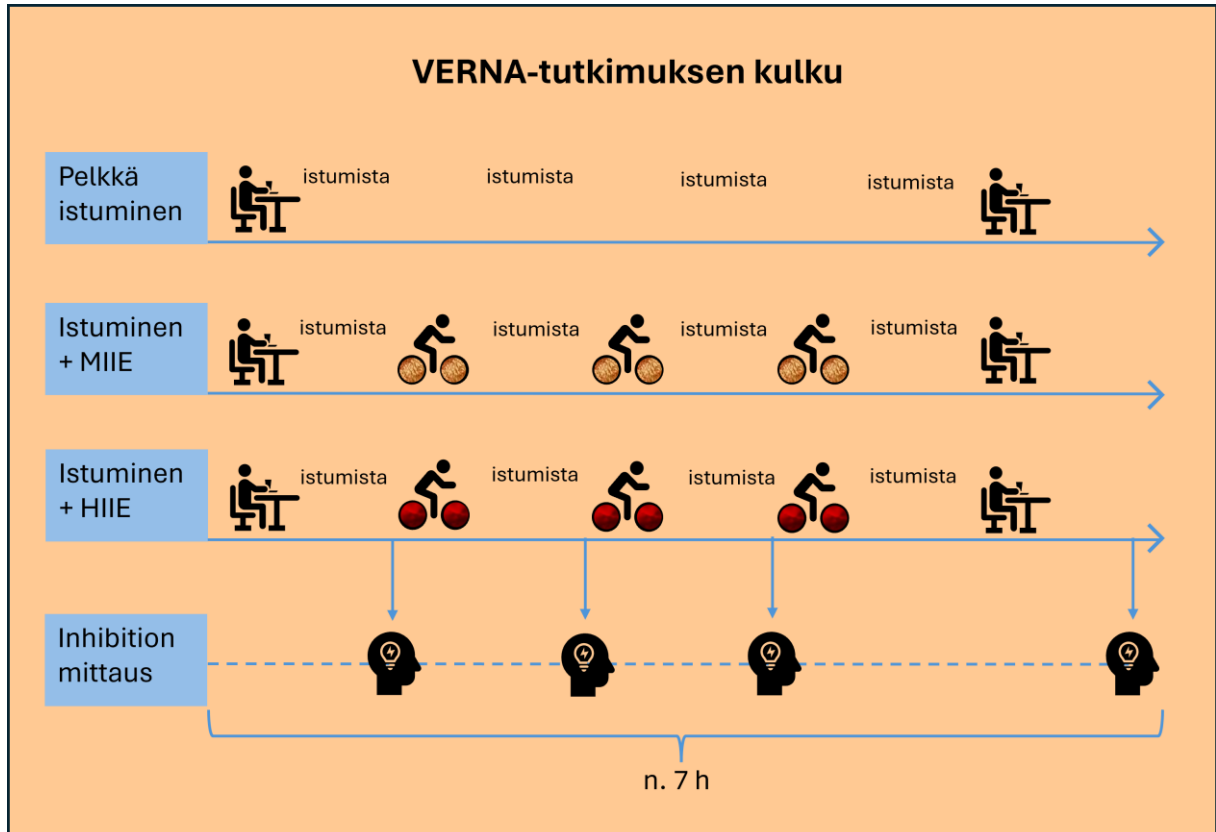
Tutkielman eettisyys. Tässä tutkielmassa noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä. Aineistoa käsitellään ja tallennetaan Jyväskylän yliopiston ohjeiden mukaisesti. Tutkielmaan tarvittava data saadaan pseudonyymissä muodossa ja vain niiltä osin kuin tutkielman analyysit edellyttävät. Tietosuojaa huomioidaan erityisellä huolellisuudella, koska aineisto sisältää muun muassa terveystietoja. Näin aineiston luottamuksellisuus, eheys ja käytettävyys pyritään takaamaan. Tutkielman valmistuessa sen tekijän pääsy aineistoon lakkaa ja tutkielma kokonaisuudessaan julkaistaan Jyväskylän yliopiston julkaisuarkistossa (JYX 2024).

6.4 Tutkimuksen kulku

Tutkittavat kävivät mittauslaboratoriolla yhteensä neljä kertaa. Ensimmäisessä tapaamisessa kysyttiin taustatietoja ja mitattiin kehonkoostumus sekä kestävyyskunto ja ventilaatiokynnys. Loput kolme kertaa olivat varsinaisia interventio päiviä.

Kolmesta interventio päivästä kahteen kuului joko keski- tai korkeatehoista intervallityyppistä pyöräilyä ja yhteen pelkkää istuskelua. Näiden päivien järjestys satunnaistettiin ja istumispäivä toimi kontrolliasetelmana. Kyseessä oli siis satunnaistettuihin, kontrolloituihin interventioihin (RCT) lukeutuva ristikkäiskoe eli crossover -asetelma, jossa tutkittavat toimivat itsensä verrokkina.

Tutkittavat saivat jokaisen tutkimuspäivän aikana kaksi ateriaa: aamupalan ennen interventiota sekä runsasrasvaisen ja -sokerisen aterian myöhemmin ennen päivän viimeistä inhibitiomittausa. Tutkimuksen kulkua on havainnollistettu kuvassa 4.



KUVA 4. VERNA-tutkimuksen kolmen interventiopäivän sisällöt. Inhibitiota mitattiin flanker-testillä kunakin päivänä neljä kertaa.

6.5 Kehonkoostumus ja taustatiedot

Kehonpainoa ja -koostumusta mitattiin InBody 720 -bioimpedanssi-laitteella (Biospace, Seoul, Etelä-Korea) noin kolmen tunnin paaston jälkeen. Mittauksesta saatiin tiedot kehonpainosta, rasva- ja lihasmassasta sekä rasvaprosentista. Pituus mitattiin yleisesti käytössä olevalla, seinään kiinnitetyllä pituusmitalla. Lisäksi tutkittavilta kysyttiin lomakkeella vanhempien koulutustaso ja kotitalouden tulotaso. Koulutus oli luokiteltu viiteen kategoriaan: kansakoulu, keski- tai peruskoulu, ylioppilastutkinto, ammatillinen tutkinto ja korkeakoulututkinto. Kotitalouden tulotaso oli jaettu seitsemään kategoriaan: 0–13 999 €, 14 000–19 999 €, 20 000–39 999 €, 40 000–69 999 €, 70 000–99 999 €, 100 000–119 999 € ja >120 000 € vuodessa.

6.6 Liikunnan kuormittavuuden määrittäminen

Liikunnan kuormittavuus määritettiin nousujohteisen, maksimaalisen polkupyöraergometrites-tin tulosten avulla. Tämä suoritettiin Ergoline 100K -mallisella (Ergoline, Bitz, Saksa) polku-pyöraergometrillä. Testissä tutkittava istui ensin 2 minuuttia pyörän päällä ja lämmitteli sitten 3 minuuttia 20 watin teholla. Sen jälkeen pyöräilyn kuormittavuutta nostettiin aina yhdellä wa-tilla kolmen sekunnin välein ja näin jatkettiin uupumukseen saakka. Tutkittavat polkivat pyörää tahdilla 70–80 kierrosta minuutissa.

Hengityskaasuja mitattiin istumisesta aina palautumiseen asti Vyntus™ CPX Metabolic Cart (Vyaire Medical, USA) -laitteella, joka kalibroitiin ennen testejä valmistajan ohjeen mukaisesti. Ventilaatiokynnys 1 määritettiin hyödyntämällä ventilaation, hiilidioksidintuoton ja hapenku-lutuksen suhteita sekä V-slopea. V-slope kertoo hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton suh-teen käännekohdasta, jossa hiilidioksidin tuotto alkaa kasvaa suhteessa hapenkulutukseen (Schneider ym. 1993). Ventilaatiokynnyksen lisäksi rekisteröitiin testissä saavutettu maksimaa-linen työteho (watti), korkein hengitysosamäärä eli RER, huippuhapenkulutus eli VO₂peak (ml/min) sekä kehonpainoon (ml/kg/min) ja kehon rasvattomaan massa (ml/rasvaton massa/min) suhteutettu VO₂peak.

Ventilaatiokynnyksestä ja maksimaalisesta työtehosta saatiin laskettua kullekin tutkittavalle keskitehoisen liikunnan tehoalue. Interventiopäivien liikuntapätkien tehot määritettiin siten, että keskitehoiset pätkät tapahtuivat teholla 90 % ventilaatiokynnyksestä (watti) ja korkeatehoi-set teholla 90 % korkeimmasta saavutetusta työtehosta (watti).

Keskitehoisen ja korkeatehoisen liikunnan työmäärät laskettiin toisiaan vastaaviksi, niin että korkeatehoista liikuntaa kertyi yhteensä 9 minuuttia ja keskitehoista liikuntaa saman työmäärän verran.

6.7 Intervention kuvaus

Varsinaisten interventiopäivien välillä oli 2–3 vuorokautta ja niiden järjestys satunnaistettiin. Yhtenä interventiopäivänä nuori istui noin seitsemän tuntia ilman fyysistä aktiivisuutta. Yhtenä interventiopäivänä noin seitsemän tunnin istumista tauotettiin kolmesti keskitehoisella kestä-

vyystyyppisellä intervallipyöräilyllä. Pyöräily tehtiin Monark Ergomedic 839E -mallisella polkupyöräergometrillä (Monark Exercise Ab, Ruotsi). Liikuntakerran aikana toistettiin yhden minuutin pätkiä (90 % ventilaatiokynnyksestä watteina) joiden välissä oli matalatehoista pyöräilyä 20 watin teholla. Kolmesta taukoliikuntapätkästä kertyi liikkumista yhteensä noin 12–13 minuutin verran.

Keskitehoisen liikunnan määrä mukautettiin korkeatehoisen liikunnan työmäärään alkutapaa- misessa selvitetyn ventilaatiokynnyksen ja maksimikuorman perusteella. Koska keskitehoinen ja korkeatehoinen harjoittelu vastasivat näin työmäärältään toisiaan, saattoi kohtuukuormitteisten intervallipätkien määrä vaihdella hieman tutkittavien välillä.

Yhtenä tutkimuspäivänä istumista tauotettiin puolestaan korkeatehoisella intervallityyppisellä pyöräilyllä kolmesti noin seitsemän tunnin istumisen aikana. Yhden liikuntakerran aikana pyöräiltiin kolme minuutin pätkää teholla 90 % korkeimmasta saavutetusta työtehosta (watti). Näiden intervallien välissä oli aina 75 sekuntia palauttavaa pyöräilyä 20 watin teholla. Yhteensä kolmesta korkeatehoisesta taukoliikuntakerrasta kertyi 9 minuuttia liikkumista kyseisen päivän aikana.

6.8 Inhibition mittaukset

Alkukartoituksessa tutkittavat saivat myös tutustua inhibitiota mittaavaan flanker-testiin intervention aikaisen oppimiseffektin minimoimiseksi.

Flanker-testi. Kaikkina kolmena tutkimuspäivänä inhibitiota mitattiin flanker-testillä neljä kertaa. Testi suoritettiin istuen erillisessä, ääni- ja magneettieristetyssä huoneessa MEG-laitteen istuimella. Tehtävä ohjeineen ilmestyi näytölle ja tutkittavalla oli kädessään ohjain, jossa oli vasen ja oikea vastauspainike. Näytöllä näkyi kerrallaan aina yksi viiden kirjaimen kirjainrivi. Tutkittavan tuli katsoa rivin keskimmäistä kirjainta (E, F, M tai N) ja painaa vasemmanpuoleista nappia kirjaimien E ja M kohdalla ja oikeanpuoleista nappia kirjaimien F ja N kohdalla. Tehtävä piti suorittaa mahdollisimman tarkasti ja nopeasti. Ohjeet olivat tutkittaville tutut alkumittauksista ja ne myös kerrattiin ennen jokaista flanker-testiä.

Inhibitiomuuttujat. Flanker-tehtävän vastauksista saatiin laskettua tarkkuusmuuttuja eli oikeiden vastausten suhteellinen osuus kaikista vastauksista. Tätä kutsutaan jatkossa lyhyemmin

tarkkuudeksi tai tarkkuustulokseksi. Inhibition tarkkuus on tulkittavissa sitä paremmaksi, mitä suuremman arvon muuttuja saa. Toisena inhibitiomuuttujana toimii reaktioaika oikeiden vastausten osalta (ms). Inhibition reaktioaika on sitä parempi, mitä pienempi on tämän muuttujan arvo. Tarkkuus ja reaktioaika ovat myös aiemmissa aihepiiriä tutkivissa tutkimuksissa yleisimmin käytettyjä muuttujia (Liu ym. 2020; Ludyga ym. 2016; Verburch ym. 2013).

6.9 Tilastolliset menetelmät

Tutkielman tilastollinen analysointi toteutettiin keväällä 2024 IBM SPSS Statistics 28 -ohjelmistolla (IBM Corp., Armonk, NY USA). Aineistosta saatiin kuvailevat perustiedot seuraavista tekijöistä: ikä, vanhempien koulutus ja kotitalouden tulotaso, rasvaprocentti sekä kuntomuuttujista korkein työteho (watti), korkein syke (bpm), korkein hengitysosamäärä (RER) ja absoluuttinen sekä kehon painoon ja rasvattomaan massa suhteutetut VO₂peak arvot. Näistä perustiedoista raportoitiin kaikkia koskien sekä sukupuolittain keskiarvo ja keskihajonta tai luokitteluasteikollisista muuttujista frekvenssit ja yleisin luokka.

Lineaarinen sekamalli. Tutkimusaineistoon -ja kysymyksiin soveltuvaksi tilastolliseksi menetelmäksi valikoitui monitasomalleihin lukeutuva lineaarinen sekamalli. Se sopii pieniin aineistoihin, joissa on korreloituneita havaintoja, kuten toistomittauksia samoilta henkilöiltä (Ellonen & Kaakinen 2021). Vastemuuttujien varianssit saavat olla suuruudeltaan erilaisia, mutta vastemuuttujien jäännösvirheiden tulisi olla normaalisti jakautuneita (Mäntymaa 2020). Lineaarinen sekamalli on lähtökohtaisesti jatkuville vastemuuttujille, kun taas selittävät muuttujat voivat olla myös luokitteluasteikollisia. Malli sallii myös puuttuvat mittaukset yksittäisissä mittauspisteissä. Linearisessa sekamallissa voidaan tarkastella erikseen kiinteitä (fixed) sekä satunnaisia (random) vaikutuksia ja samoista muuttujista rakennetuista malleista voidaan valita paras esimerkiksi BIC-arvoa tulkitsemalla (Ellonen & Kaakinen 2021).

Mallin sopivuus tarkistettiin jäännösten ja poikkeavien havaintojen osalta. Jäännösten normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin jäännösten vinouden, huipukkuuden, histogrammin, kvantiilikuvion sekä Kolmogorov-Smirnov ja Shapiro-Wilk-normaalisuustestien mukaan. Tarkkuusmuuttuja oli selkeästi normaalijakautunut, mutta reaktioaikamuuttujan jakauma lievästi kaksihuipainen ja vino. Jakaumaa korjattiin tekemällä reaktioaikamuuttujaan neliöjuurimuunnos. Poikkeavien tai puuttuvien havaintojen osalta vastemuuttujien arvot käytiin läpi silmämääräisesti.

Vastemuuttajat. Tutkielman vastemuuttujina toimivat flanker-testistä saatu tarkkuustulos sekä reaktioaika (ms). Kumpikin niistä on jatkuva, suhdelukuasteikollinen muuttuja. Kunkin mittauskerran tarkkuustulos tarkoitti oikein menneiden vastausten määrää jaettuna kaikkien vastausten määrällä eli oikein menneiden vastusten suhteellista osuutta kaikista vastauksista. Reaktioaika kertoi siitä, kauanko oikein menneeseen vastaukseen kului keskimäärin aikaa (ms) yhden mittauskerran aikana.

Selittävät muuttajat. Mallin selittävinä tekijöinä toimivat interventioasetelma, mittauspiste (indeksimuuttuja) ja interventioasetelma x mittauspiste (interaktio). Interventioasetelma oli luokitteluasteikollinen muuttuja, joka sisälsi kolme asetelemaa: passiivinen tutkimuspäivä (kontrolli), keskitehoisella liikunnalla (MIIE) tauotettu istumispäivä ja korkeatehoisella liikunnalla (HIIE) tauotettu istumispäivä. Interventioasetelman muuttujasta tehtiin dummy-muuttujat, joita käytettiin analyysissä verrattaessa referenssiluokkaan kahta muuta luokkaa. Mallin indeksimuuttuja kuvasi kunkin tutkimuspäivän neljää mittauspistettä. Muista tekijöistä vakioitiin ikä ja sukupuoli.

Tilastoanalyysien toteutus. Analyysi toteutettiin erikseen tarkkuuden ja reaktioajan suhteen. Ensin vertailtiin kontrollia kahteen liikunta-asetelmaan ja sen jälkeen vertailu toistettiin vain MIIE- ja HIIE-asetelmien välillä. Ensimmäisenä mainitussa referenssiluokkana toimi kontrolliasetelma ja jälkimmäisessä vertailussa MIIE-asetelma. Yhteensä tehtiin siis neljä eri analyysiä. Kunkin analyysin sisällä tehtiin myös kuusi eri random-vaikutusten mallia, joiden välisiä BIC-arvoja verrattiin toisiinsa. Lopulliseksi analyysiksi valittiin aina se malli, joka oli BIC-arvoltaan pienin.

Tulosten tulkinta. Tutkimuskysymyksen mukaisesti tarkasteltiin sitä, erosivatko inhibition tarkkuus – ja reaktioaikatuloksien muutokset ajan myötä eri interventioasetelmien välillä. Ajalla tarkoitetaan kunkin interventiopäivän neljää mittauspistettä. Näin ollen mielenkiinnon kohteena oli interventioasetelman ja mittauspisteen yhteisvaikutus eli interaktio ja tämän tuloksen p-arvo. Tuloksien merkitsevyysarvona käytettiin yleistä tilastollisessa testauksessa käytettyä viiden prosentin riskirajan mukaista p-arvoa $<0,05$ (Karjalainen 2015, 220–221).

7 TULOKSET

Tutkielman tulososiossa esitellään aineiston kuvailevien tietojen jälkeen varsinaiset inhibitiota koskevat tulokset. Ne on jaoteltu inhibition reaktioajan ja tarkkuuden mukaan. Molempien muuttujien osalta tarkastelussa ovat MIIE:n ja HIIE:n vertailu kontrolliin sekä MIIE:n ja HIIE:n keskinäinen vertailu.

7.1 Aineiston kuvailu

Tutkielmassa tarkastellun joukon taustatiedot on esitetty taulukossa 7. Tutkittavat olivat keskimäärin 13-vuotiaita vaihdellen 12–14-ikävuoden välillä. Valtaosan vanhemmat olivat korkeakoulutettuja. Kaikkien tutkittavien kotitalouksien vuositulot olivat keskitasoa korkeammat: noin 75 prosentilla ainakin kaksinkertaiset verrattessa koko maan asuntokuntien käytettävissä olevaan rahatulujen mediaaniin (Tilastokeskus 2022).

Nuorten keskimääräinen rasvaprosentti (Javed ym. 2015) ja maksimaalinen hapenottokyky (Ruiz ym. 2016; Welk ym. 2011) olivat normaalit suhteessa ikään ja sukupuoleen, mutta yksilöllinen vaihtelu oli melko suurta.

TAULUKKO 7. Tutkielmassa käytetyn VERNA-tutkimuksen osa-aineiston kuvailevat tiedot. Taulukkoon raportoitu keskiarvo (keskihajonta). Luokitteluasteikollisista muuttujista (koulutus- ja tulotaso) raportoitu frekvenssit, joista merkitty yleisin luokka *-merkillä.

| | | Kaikki n=18 | Tytöt n=10 | Pojat n=8 |
|--|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Ikä | | 12,8 (0,8) | 12,6 (0,7) | 13,0 (0,9) |
| Koulutustaso, vanhempi 1 | ylioppilastutkinto | 1 | 1 | 0 |
| | ammattillinen tutkinto | 2 | 0 | 2 |
| | korkeakoulututkinto | 14* | 8* | 6* |
| Koulutustaso, vanhempi 2 | ylioppilastutkinto | 0 | 0 | 0 |
| | ammattillinen tutkinto | 5 | 4 | 1 |
| | korkeakoulututkinto | 11* | 5* | 6* |
| tulotaso e/vuosi: 40 000 – 69 999 € | | 4 | 2 | 2 |
| tulotaso e/vuosi: 70 000 – 99 999 € | | 5* | 3* | 2 |
| tulotaso e/vuosi: 100 000 – 119 999 € | | 5* | 2 | 3* |
| tulotaso e/vuosi: > 120 000 € | | 2 | 1 | 1 |
| Rasvaprosentti | | 19,4 (8,8) | 21,8 (8,6) | 16,5 (8,8) |
| VO ₂ peak ml/min | | 2265,8 (493,0) | 2150,7 (405,1) | 2409,6 (580,2) |
| VO ₂ peak ml/kg/min | | 46,4 (8,9) | 44,7 (7,2) | 48,5 (10,8) |
| VO ₂ peak ml/rasvaton massa/min | | 57,3 (6,6) | 57,0 (4,3) | 57,7 (9,0) |
| Korkein syke (bpm) | | 194 (7) | 195 (7) | 193 (6) |
| Korkein työteho (W) | | 197 (37) | 186 (32) | 212 (40) |
| korkein RER, hengitysosamäärä | | 1,2 (0,07) | 1,2 (0,06) | 1,1 (0,04) |

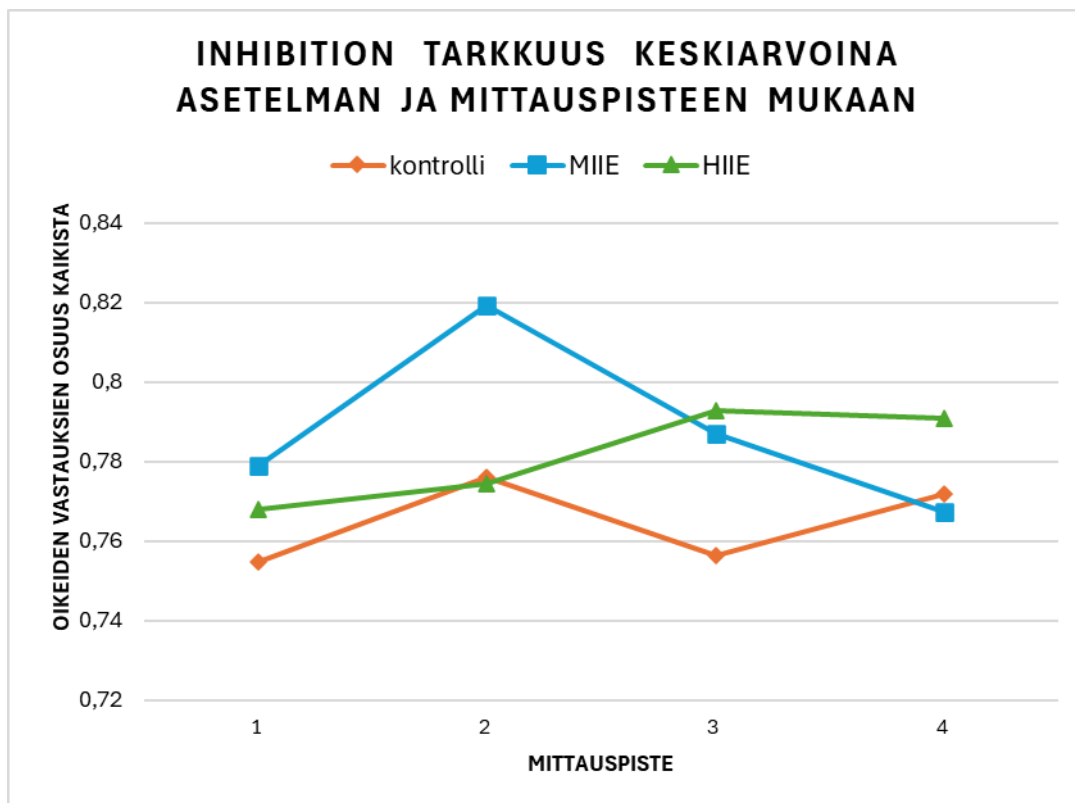
7.2 Tulokset inhibition mittauksissa

Tutkimuksen päätuloksena tarkasteltiin interventioasetelman ja mittauspisteen yhdysvaikutusta eli ajassa tapahtuvien muutosten eroa asetelmien välillä (englanniksi interaction). Inhibition keskimääräiset tarkkuuden ja reaktioajan tulokset asetelman ja mittauspisteen mukaan näkyvät kuvissa 5 ja 6. Liitteistä 2 ja 3 löytyvät tarkkuuden ja reaktioajan asetelmakohtaiset tunnusluvut ja luottamusvälit mittauspisteen mukaan. Tuloksissa mainitaan lisäksi muiden selittävien tekijöiden päävaikutukset (englanniksi main effect) inhibitioon.

7.2.1 Inhibition tarkkuus flanker-testissä

Kontrollin vertailu MIIE- ja HIIE-asetelmiin. Inhibition tarkkuuden muutos päivän aikana ei eronnut verrattaessa MIIE-asetelmaa kontrolliin eli istumisasetelmaan ($p=0,749$). Tarkkuuden muutos ei eronnut myöskään HIIE-asetelman ja kontrollin välillä ($p=0,904$). Muista selittävästä muuttujista ainoa merkitsevä tekijä oli ikä ($p<0,001$). Luottamusvälien tarkastelussa havaittiin, että inhibition tarkkuus oli yleisesti parempi 14-vuotiaiden ryhmässä verrattuna 12- ja 13-vuotiaisiin, mutta 12- ja 13-vuotiaiden välillä ei ollut merkitsevää eroa.

MIIE- ja HIIE-asetelmien vertailu. Inhibition tarkkuuden muutoksessa ei havaittu merkitseviä eroja myöskään verrattaessa liikuntakäsittelyjä eli MIIE- ja HIIE-asetelmia keskenään ($p=0,788$). Muista selittävästä tekijöistä vain iällä oli merkitsevä vaikutus inhibition tarkkuuteen ($p=0,001$). Luottamusväleistä nähtiin, että 14-vuotiaiden inhibitio oli tarkkuuden osalta parempi kuin 13-vuotiailla. 12- ja 13-vuotiaiden ja 12- ja 14-vuotiaiden välillä ei ollut merkitseviä eroja.

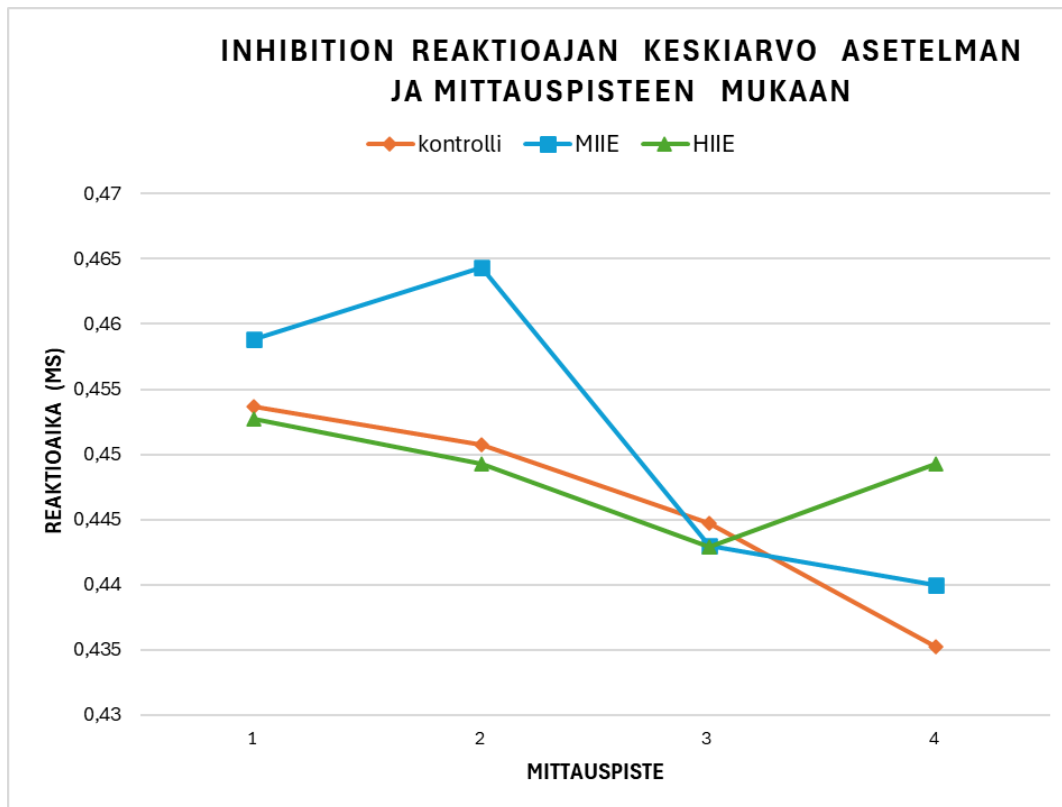


KUVA 5. Kolmen eri interventioasetelman keskiarvoiset tulokset inhibition tarkkuudessa neljässä mittauspisteessä. Isompi tarkkuuden arvo tarkoittaa parempaa inhibitiota. Interventioasetelman ja mittauspisteen yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

7.2.2 Inhibition reaktioaika flanker-testissä

Kontrollin vertailu MIIE- ja HIIE-asetelmiin. Inhibition reaktioajan muutoksessa ei havaittu eroa kontrolli- ja MIIE-asetelman välillä ($p=0,928$) eikä myöskään kontrolli- ja HIIE-asetelman välillä ($p=0,939$). Muiden selittävien tekijöiden päävaikutukset reaktioaikaan eivät olleet merkitseviä.

MIIE- ja HIIE-asetelmien vertailu. MIIE- ja HIIE-asetelmien vertailussa inhibition reaktioajan muutos ei eronnut asetelmien välillä ($p=0,890$). Myöskään muilla selittävillä tekijöillä ei ollut vaikutusta reaktioaikaan.



KUVA 6. Kolmen eri interventioasetelman keskiarvoiset tulokset inhibition reaktioajassa neljässä mittauspisteessä. Lyhyempi reaktioaika viittaa parempaan inhibitioon. Interventioasetelman ja mittauspisteen yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

7.2.3 Yhteenveto tuloksista

Tutkittavien inhibition tarkkuuden ja reaktioajan muutokset päivän mittaan eivät eronneet eri interventioasetelmien, eli kontrollin, MIIE:n ja HIIE:n, välillä. Pitkäkestoisen istumisen katkaisuilla keski- tai korkeatehoisilla liikuntapätkillä ei siis ollut vaikutusta 12–14-vuotiaiden nuorten inhibitioon flanker-testillä mitattuna.

Muiden selittävien tekijöiden moderoivia vaikutuksia ei analysoitu. Kuitenkin nuoren korkeampi ikä oli yhteydessä parempaan inhibition tarkkuuteen, mutta ei sen reaktioaikaan.

8 POHDINTA

Ennako-olettamuksesta poiketen tässä tutkielmassa liikunnalla ei ollut inhibitiota edistäviä vaikutuksia mutta ei myöskään sitä heikentäviä vaikutuksia. Liikunnan kognitiovaikutusten on oletettu muuttuvan intensiteetin lisääntyessä ja vaikuttaessa verenkiertoon sekä hermokasvutekijöiden eritykseen (Hillman ym. 2008; Li ym. 2017). Käänteisen U:n teorian perusteella juuri keskitehoinen liikunta edistäisi kognitiota optimaalisesti, mutta korkeatehoinen heikentäisi sitä samalle tasolle kuin hyvin matala kuormitus tai paikallaanolo (McMorris 2016). Tämän tutkielman tulos ei tue mainittua teoriaa: keski- ja korkeatehoinen liikunnan inhibiatiovaikutuksilla ei ollut eroa. Myös aiempien kokoavien tutkimusten perusteella kertaluontoisen liikunnan intensiteetin merkitys on jäänyt epäselväksi (Chang ym. 2012a; Li ym. 2017; Moreau & Chou 2019).

Toisaalta käänteisen U:n teoriasta poiketen aiemmissä yksittäisissä tutkimuksissa on havaittu korkeatehoisemman liikunnan edistävän inhibition reaktioaikaa enemmän kuin matalamman intensiteetin liikunta (Gejl ym. 2018; Kao ym. 2023). Siksi myös tässä tutkielmassa korkeatehoinen liikunnan reaktioaika-vaikutusten oletettiin olevan positiivisia ja keskitehoista liikuntaa suurempia. Hypoteesi ei kuitenkaan osoittautunut todeksi. Vaikka kumpikaan liikunta ei edistänyt inhibitiota, eivät ne myöskään huonontaneet sitä. Havainto siis tukee käsitystä, että istumista tauottavalla liikunnalla ei ole ainakaan haittavaikutuksia nuorten inhibitioon.

8.1 Tulokset suhteessa aiempiin tutkimuksiin

Tämän tutkielman tulos on osin ristiriidassa aiempien tutkimusten kanssa. Kirjallisuuskatsauksessa mainittujen yksittäisten interventioiden 29 tuloksesta kaksi kolmasosaa (66 %) osoitti akuutin liikunnan parantavan inhibitiota merkitsevästi (kts. sivut 27–30). Valtaosa niistä paransi joko inhibition reaktioaikaa tai tarkkuutta ja harvempi kumpaakin osa-aluetta. Toisaalta reilu kolmannes (34 %) kirjallisuuskatsauksen interventioiden tuloksista viittasi siihen, ettei akuutti kestävyysliikunta vaikuta nuorten inhibitioon lainkaan (kts. sivut 27–30).

Tämän tutkielman tulos on vielä selvemmissä ristiriidassa aiempien kolmen systemaattisen katsauksen ja kuuden meta-analyysin kanssa, jotka kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin. Systemaattiset katsaukset ja meta-analyysit kertovatkin tarkemmin ilmiön kokonaiskuvasta. Kaikkien niiden mukaan akuutti, keski- tai korkeatehoinen kestävyysliikunta edistää nuorten inhibitiota (kts. sivut 25–27). Vaikutus on suuruusluokaltaan useimmiten kohtalainen tai pieni. Sen sijaan

tämän tutkielman analyysit eivät viitanneet edes pieneen merkitsevään vaikutukseen, vaikka hypoteettisesti niin oletettiin. Toisaalta tutkielmassa liikunta ei myöskään heikentänyt nuorten inhibitiota, mikä on linjassa aiemman tutkimusnäytön kanssa (Ferreira Vorkapic ym. 2021; Haverkamp ym. 2020; Liu ym. 2020; Ludyga ym. 2016).

Aiempien tutkimusten mukaan liikunta edistää etenkin inhibition reaktioaikaa (Browne ym. 2016; Chen ym. 2023; Hatch ym. 2021; Kao ym. 2023; Paschen ym. 2019; Zhang ym. 2022b) ja todennäköisimmin vaikutus reaktioaikaan saadaan korkeatehoisella liikunnalla (Gejl ym. 2018; Kao ym. 2023). Tässä tutkielmassa oletettiin löytyvän samansuuntaisia tuloksia liikunnan intensiteetin osalta. Tutkielmassa tarkasteltiin erikseen keski- ja korkeatehoisten liikuntapätkien vaikutusta inhibitioon, mutta ne eivät eronneet toisistaan eivätkä kontrolliasetelmasta.

8.2 Mahdollisia syitä tutkielman poikkeaville tuloksille

Syitä tämän tutkielman poikkeavaan tulokseen voi olla monia. Suurin osa aiemmistakin interventioista tarkasteli juuri keski- ja/tai korkeatehoista kestävyysliikuntaa, mutta useimmiten kertaluontoinen liikunta kesti kerrallaan pidempään (5–60 min/kerta) kuin VERNA- interventiossa (3–4 min/kerta kolmesti tutkimuspäivänä). Onkin mahdollista, että liikunnan kestolla on merkitystä kognitiovaikutusten ilmenemiseen (Chang ym. 2012a). Toisaalta VERNA:ssa lyhyitä liikuntapätkiä toistettiin kolmesti pitkäkestoisen istumisjakson aikana. Vastaavaa taukoliikuntatyypistä asetelmaa ei ole käytetty aiemmissa, nuoria koskevissa tutkimuksissa. Kuitenkin aikuisten naisten inhibition on havaittu kohenevan, kun paikallaanoloa on tauotettu kolmen minuutin keskitehoisella kävelyllä puolen tunnin välein (Christmas ym. 2019), mikä tosin oli tiheämmin toistuvaa kuin VERNA-tutkimuksessa.

Voikin olla, että taukoliikunnan tulisi olla useammin toistuvaa tai kerrallaan pitkäkestoisempaa, jotta se vaikuttaisi inhibitioon. Ainakin aikuisilla paikallaanoloa tauottavan liikunnan kognitiovaikutusten on arveltu ilmenevän vasta, kun liikunta on tarpeeksi usein toistuvaa ja intensiteetiltään sekä kestoaltaan riittävää (Chueh ym. 2022). Riittävyuden kynnyksistä tai rajoista ei tosin aikuistenkaan kohdalla ole tarpeeksi tutkimusnäyttöä.

Liikunnan rytmitys. Lisäksi on huomioitava VERNA-intervention liikuntapätkien sisältäneen nimenomaan intervalliliikuntaa. Herää siis kysymys, voiko intervalliliikunta olla vaikutukseltaan erilaista kuin tasaisena jatkuva liikunta? Moreaun ja Choun (2019) meta-analyysin mukaan

akuutti intervalliliikunta ja tasainen liikunta edistivät toiminnanohjausta yhtäläisesti, joskin Lambrickin ym. (2016) intervention mukaan juuri intervalliliikunnalla näyttää olevan tasaista liikuntaa suuremmat vaikutukset inhibitioon. Niinpä kestävyysliikunnan intervallityyppisyys tuskin selittää tämän tutkielman poikkeavaa tulosta.

Inhibition mittausajankohta. VERNA-tutkimuksessa inhibitiota mitattiin verrattain myöhään, noin tunnin viiveellä edellisestä liikuntatuokiosta (viimeinen mittaus yli tunnin viiveellä). Tällöin se ei täysin vertaudu liikunnan akuutteihin vaikutuksiin, joita taas useimmat aiemmat interventiot mittasivat. Moreaun ja Choun meta-analyysin (2019) mukaan toiminnanohjaus on parempi heti intervallityyppisen liikkumisen jälkeen kuin yli 10 minuutin viiveellä mitattuna. Changin ym. (2012a) meta-analyysi osoitti päinvastoin kognition akuutisti heikkenevän mutta paranevan juuri 11–20 minuuttia liikunnan jälkeen, pienemmän positiivisen vaikutuksen säilyessä myös 20 minuutin viiveellä. Koska meta-analyysit käsittelevät kokonaisuutena toiminnanohjausta (Moreau & Chou 2019) ja kognitiivista suoriutumista (Chang ym. 2012a), tuloksia ei voi suoraan peilata liikunnan inhibitiovaikutuksiin. Suunta joka tapauksessa näyttäisi olevan se, että liikunnan aiheuttamat kognitiota edistävät vaikutukset hiipuvat jonkin ajan kuluessa. On siis mahdollista, että VERNA-tutkimuksessa inhibition oletettu paraneminen olisikin ilmennyt aikaisemmin mitattuna. Toisaalta aiemmissä, yksittäisissä interventioissa inhibition on havaittu paranevan myös 30 minuuttia (Hillman ym. 2009; Lambrick ym. 2016) ja jopa 45 minuuttia (Cooper ym. 2018; Hatch ym. 2021) liikkumisen jälkeen. Tosin näissä interventioissa liikuntarupeamien kestot olivat huomattavasti pidempiä (15–60 min) kuin VERNA-interventiossa.

Liikunnan kesto. Meta-analyysien valossa liikunnan kesto ei muuta sen toiminnanohjausta edistävän vaikutuksen määrää (De Greef ym. 2018; Ludyga ym. 2016; Moreau & Chou 2019). Näiden meta-analyysien tarkastelemien interventioiden liikuntarupeamat olivat pääasiassa kymmeniä minuutteja eli pidempikestoisia kuin VERNA-interventiossa (noin 3–4 minuutin pätkiä). Niinpä tämän tutkielman tulokset eivät ole täysin verrattavissa aiempien meta-analyysien tuloksiin. Puolestaan Changin ym. (2012a) meta-analyysin mukaan vasta yli 11 minuutin kestoinen liikunta parantaa kognitiivista suoriutumista. On siis mahdollista, että liikunnan lyhytkestoisuudella on jonkinlaista vaikutusta tämän tutkielman tulokseen, etenkin yhdistettynä mittausajankohdan myöhäisyyteen. Pidempikestoisen liikunta ja aiemmin mitattu inhibitio olisivat saattaneet tuoda positiivisia inhibitiovaikutuksia esiin.

Yhteisestä temasta huolimatta aiemmat interventiot ja niitä kokoavat isommat tutkimukset eroavat melko paljon tämän tutkielman aineistona olleesta VERNA-interventiosta. Aiemmissä interventioissa liikunnan vaikutukset näyttäytyivät vaihtelevina sen mukaan, oliko mitattu inhibition reaktioaikaa vai tarkkuutta, mikä testi oli käytössä, verrattiinko vaikeita testin osia helppoihin ja milloin inhibitiota mitattiin. Tutkimusasetelmat olivat myös erilaisia liikuntamuodon, liikunnan keston ja tutkittavien taustatekijöiden suhteen. Onkin mahdollista, että liikunnan kesto ja muoto muovaavat liikunnan vaikutuksia (Li ym. 2017). Näin ollen aiempien tutkimusten vertailua VERNA-tutkimukseen on tulkittava varauksella ja mieluiten verrattava mahdollisimman samankaltaisia interventioita toisiinsa.

8.3 Tutkielman tulokset suhteessa muihin ristikkäiskokeisiin

Kirjallisuuskatsaukseen sisältyi seitsemän ristikkäiskokeena toteutettua interventiota, joista useimmissa liikuntavälineenä toimi polkupyöräergometri. Myös VERNA-interventio oli ristikkäiskoe ja siinäkin käytettiin polkupyöräergometriä. Tutkittavien ollessa itsensä verrokkeja, eri asetelmiin osallistuvien tutkittavien ominaisuudet vastaavat täysin toisiaan. Tällöin sekoittavia tekijöitä voi olettaa olevan vähemmän kuin kontrolliryhmän omaavissa interventioissa. Erityisesti pienessä otannassa ristikkäiskoeasetelma voi olla parempi vaihtoehto kuin joukon satunaistaminen ryhmiin (Lim & In 2021). Samankaltaisuuden vuoksi on hyvä verrata tämän tutkielman tuloksia tarkemmin juuri ristikkäiskokeisiin.

Ristikkäiskokeet 20 minuutin liikunnasta. Aiempien tutkimusten mukaan ristikkäiskoe, jossa nuoret pyöräilivät ergometrillä 20 minuuttia keskitehoisesti, ei parantanut flanker-testin reaktioaikaa tai tarkkuutta noin 14-vuotiailla (Hogan ym 2013; Stroth ym. 2009), mutta paransi huomattavasti stroop-testin tarkkuutta noin 16-vuotiailla 5 minuuttia liikunnan jälkeen mitattuna (Park & Etnier 2019). Näiden sekalaisia tuloksia saaneiden tutkimusten valossa VERNA-osa-aineistosta saatu tulos ei näytäkään kovin yllättävältä. Toisaalta Hoganin ym. (2013) tutkimuksen alaryhmäanalyysissä hyväkuntoisten inhibition reaktioaika parani huonokuntoisiin verraten. Tässä tutkielmassa ei verrattu hyvä- ja huonokuntoisia keskenään. Mainitut kolme interventiota muistuttavat VERNA-tutkimusta ristikkäiskokeen ja polkupyöräergometrin käytön osalta, mutta liikuntamäärät ovat aiemmissä tutkimuksissa suuremmat. Pyöräilyn sijaan keskitehoista 20 minuutin kävelyä tutkineen Drolletten ym. (2012) ristikkäiskoe osoitti inhibition tarkkuuden pysyvän tasollaan liikunnan jälkeen siinä missä se paikallaanolon jälkeen laski. Vastaavaa ei tässä tutkielmassa kuitenkaan havaittu.

Ristikkäiskokeet 30 minuutin liikunnasta. Myös puolen tunnin ristikkäiskokeena toteutettujen liikuntainterventioiden inhibiatiovaikutukset ovat vaihtelevia. Puolen tunnin keskitehoinen liikunta paransi heti sen jälkeen mitattuna stroop-testin inkongruenttien kohtien reaktioaikoja noin 11-vuotiailla ennenaikaisesti syntyneillä nuorilla (Chen ym. 2023), mutta ei vaikuttanut flanker-testillä mitattuun inhibitioon noin 18-vuotiailla nuorilla vastaavan ergometri-pyöräilyn jälkeen (Gejl ym. 2018). Hatchin ym. (2021) ristikkäiskokeessa 12–13-vuotiaiden puolen tunnin, mutta ei tunnin mittainen, korkeatehoinen intervallityyppinen juoksu paransi inhibition tarkkuutta ja etenkin reaktioaikaa. Tulokset kuitenkin vaihtelivat akuutin ja viiveellä tehdyn mittauksen välillä sekä tehtävien vaikeustason mukaan. Vastaavia vertailuja ei tähän tutkielmaan sisällynyt, mutta VERNA-aineistosta olisi myöhemmin mahdollista tutkia erikseen inkongruenttien ja kongruenttien tehtävien sujumista.

Gejl ym. (2018) tarkastelivat puolen tunnin ohella myös viisi minuuttia kestävän liikunnan vaikutuksia. Viiden minuutin matala-, keski- ja korkeatehoinen liikunnan seurauksena inhibition tarkkuus parani ja korkeatehoinen liikunnan osalta myös reaktioaika parani. Kokonaisuudessaan aiempien ristikkäiskokeena toteutettujen interventioiden sekä tämän tutkielman tulokset ovat kirjavia eivätkä tarjoa yhtenevää kokonaiskuvaa. Aiempien ristikkäiskokeiden perusteella onkin todennäköistä, että inhibitiomittauksen ajoitus, inhibitiotehtävien vaikeustaso, tutkittavien ominaisuudet tai liikunnan kesto ja intensiteetti voivat muovata liikunnan inhibiatiovaikutuksia.

Tutkimusasetelmien eroavaisuus. Aiemmissä ristikkäiskokeissa on analysoitu kertaluontoisen 5–30 minuutin liikunnan akuutteja inhibiatiovaikutuksia heti tai muutamien minuuttien viiveellä mitattuna. Interventiot eroavat siis tässä tutkielmassa tarkastellusta VERNA-interventiosta, jossa simuloitiin pitkäkestoista istumista ja sen aikaisia muutaman minuutin pyöräilyrupeamia, joiden jälkeen inhibitiota mitattiin viiveellä. Tässä tutkielmassa analysoidun osa-aineiston koko oli myös verrattain pieni (n=18) muihin ristikkäiskokeisiin nähden, joissa oli 20, 22, 30, 35, 36, 38 ja jopa 52 osallistujaa. VERNA-osa-aineiston pieni koko saattaa heikentää tutkielmassa käytettyjen analyysien tilastollista voimaa.

Tutkittavien ikä. VERNA-tutkimuksen ja muiden ristikkäiskokeena toteutettujen interventioiden osallistujien demografiset tekijät poikkeavat myös toisistaan. Esimerkiksi tarkastellut ikäryhmät vaihtelevat ristikkäiskokeiden välillä, vaikka kaikissa tutkittiinkin juuri nuoria. Nuorilla muutamankin vuoden erilainen ikähaitari voi vaikuttaa tuloksiin, mikäli inhibiatiovaikutus on

herkkä kehitysvaiheelle. Aiemmista iän vaikutuksen huomioivista meta-analyyseistä toinen osoitti varhaisnuoruuden taitekohdassa olevan herkkyyttä liikunnan positiivisille inhibiiovaikutuksille (Ludyga ym. 2016), mutta toisen meta-analyysin mukaan iällä ei ole moderoivaa vaikutusta (Moreau & Chou 2019). Tämän tutkielman analyyseissä havaittiin vain, että nuoren korkeampi ikä on yhteydessä parempaan inhibition tarkkuuteen. Yhteys ei kuitenkaan kerro siitä, että ikä varsinaisesti muovaisi liikunnan vaikutuksia.

Tutkittavien kognition taso. Iän lisäksi muutkin tutkittavien ominaisuudet, kuten kognitiivinen kapasiteetti, saattavat vaikuttaa tutkielman tulokseen. Drolletten ym. (2014) tutkimuksessa vain kognitioltaan heikompien inhibition tarkkuus parani. Tässä tutkielmassa osallistujien kognitiivista tasoa ei kuitenkaan kartoitettu erikseen.

Tutkittavien kehonkoostumus. Myös fyysisten ominaisuuksien raportointitavat poikkesivat tutkimusten välillä. Kaikissa aiemmissa, tässä luvussa mainituissa, ristikkäiskokeissa oli mitattu tutkittavien pituus, paino ja painoindeksi (BMI). Yhdessäkään ei raportoitu tarkemmin rasvaprosenttia, mutta Hatch ym. (2021) mittasivat vyötärönympäryksen ja ihopoimujen paksuuden summan. VERNA-tutkimuksessa mitattiin bioimpedanssilla rasvaprosentti, joka vaihtelikin aineistossa melko paljon (keskihajonta vajaa 9 %). Toistaiseksi ei ole tutkittu, voisiko nuorten kehonkoostumus muovata liikunnan jälkeisiä inhibiiovaikutuksia. Painoindeksinkin moderaatiota on tutkittu vain vähän: yhdessä tutkimuksessa korkeimman painoindeksin omaavilla inhibiio jopa heikentyi liikunnan jälkeen (Raine ym. 2020). Toisaalta (Zhang ym. 2022b) tutkimuksessa havaittiin ylipainoisten nuorten inhibition reaktioajan parantuneen puolen tunnin korkeatehoisen liikunnan seurauksena mutta tätä ei verrattu normaalipainoisiin nuoriin. On myös muistettava, ettei painoindeksi kerro totuutta kehonkoostumuksesta.

Tutkittavien kuntotaso. Vain kahdessa aiemmassa ristikkäiskokeessa oli mitattu tutkittavien kuntotaso maksimaalisena hapenottokykynä (Drollette ym. 2012; Gejl ym. 2018). Drolletten ym. (2012) noin 10-vuotiaita tarkastelevassa tutkimuksessa VO₂max (ml/kg/min) oli samaa tasoa kuin 12–14-vuotiaiden VO₂peak (ml/kg/min) VERNA-osa-aineistossa eli ikään nähden Drolletten ym. (2012) tutkittavien kuntotaso vaikutti olleen hieman parempi. Kuitenkin kuntotason hajonta oli VERNA-osa-aineistossa suurempaa. Sen sijaan VERNA-osa-aineiston VO₂peak-arvojen hajonta oli lähes puolet pienempää kuin VO₂max-arvojen Gejlin ym. (2018) interventiossa. Gejl ym. (2018) interventiossa tutkittavat olivat lähes täysi-ikäisiä ja keskimää-

räinen VO₂max olikin huomattavasti korkeampi kuin VERNA-osa-aineiston VO₂peak. Kummassakin kuntotason voi sanoa olevan normaalilla tasolla ikään nähden ja kuntotason hajonnan olevan melko suurta. Onkin mahdollista, että tutkittavien fyysisen kunnan vaihtelevuus muovaa tämän tutkielman tulosta. Fyysisen kunnan moderoivaa merkitystä on tutkittu koskien kerta-luontoista liikuntaa. Kahden laajaa ikähaarukkaa tarkastelevan meta-analyysin mukaan tutkittavien kuntotaso ei moderoi liikunnan vaikutuksia toiminnanohjaukseen (Ludyga ym. 2016; Moreau & Chou 2019), mutta yksittäisissä interventioissa tulokset ovat olleet kirjavia.

Kahdessa aiemmassa ristikkäiskokeessa mitattiin myös korkeinta saavutettua työtehoa (Hogan ym. 2013; Stroth ym. 2009), joka osaltaan kuvastaa maksimaalista kestävyys suorituskykyä. Keskimääräiset lukemat olivat selkeästi alemmat kuin VERNA-osa-aineistossa. Maksimaalisen työtehon vaikutuksesta liikunnan inhibiatiovaikutusten ilmenemiseen ei ole toistaiseksi näyttöä.

Joka tapauksessa on mahdollista, että tutkittavien fyysisillä ominaisuuksilla on vaikutusta liik-kumisen jälkeisiin muutoksiin inhibitiossa. Tässä tutkielmassa nuorten kestävyyskunto ja ke-honkoostumus vaihtelivat melko paljon. Se voi muovata tuloksia, mikäli inhibition paranemi-nen koskisi todellisuudessa vain kunnoltaan ja kehonkoostumukseltaan tietynlaisia nuoria. Isommassa aineistossa olisikin mahdollista selvittää alaryhmäanalyysin, vaikuttaako istumi-sen aikainen taukoliikunta eri tavoin erilaisen kunnan tai kehonkoostumuksen omaavilla nuo-rilla.

Tutkittavien sosioekonominen asema. Sosioekonomisen aseman taustatietoja mainittiin vain yh-dessä aiemmassa ristikkäiskokeessa (Chen ym. 2023), mutta koulutusvuosien määrä eri kult-tuurissa hankaloittaa muuttujien vertaamista VERNA:ssa mitattuihin koulutustasoihin. Tämän tutkielman aineistossa valtaosa nuorista oli keskimääräistä parempituloisista perheistä, joissa vanhemmilla oli korkeakoulutus. Tällä valikoitumisella voi olla vaikutuksensa tutkielman tu-lokseen, mikäli sosioekonominen asema muovaisi liikkumisen inhibiatiovaikutuksia. Sosioeko-nomisen aseman merkitys olisikin kiinnostava jatkotutkimuksen aihe, sillä sitä ei aiemmin ole tässä yhteydessä tutkittu. Kaiken kaikkiaan ristikkäiskokeet poikkeavat toisistaan monin tavoin, minkä vuoksi tulokset eivät ole täysin rinnastettavissa toisiinsa.

8.4 Tulosten luotettavuus

Tämän tutkielman tuloksen luotettavuuteen vaikuttavat sekä tekoprosessiin että tutkimusaineistoon liittyvät tekijät. Tutkielmaprosessin vahvuuksiin lukeutuvat aiheen rajausta, täsmällinen kysymysten asettelu, huolellinen taustatietojen ja kirjallisuuskatsauksen koostaminen sekä tarkkuus tilastoanalyysin toteutuksessa. Pohdinnassa ja johtopäätöksissä on pyritty avoimuuteen ja moninäkökulmaisuuuteen. Tutkielmassa on sovellettu yliopisto-opinnoissa kertynyttä tietotaitoa sekä menetelmäosaamista. Lisäksi aihealueen tuntemuksessa ja VERNA-aineiston tulkinnaassa on hyödynnetty neuvontaa kokeneemmilta asiantuntijoilta eli tutkielman ohjaajilta, Eero Haapalalta ja Petri Jalangolta.

Tutkielmaprosessin heikkoutena voidaan nähdä aikataulullinen este saada käyttöön koko VERNA-tutkimuksen aineisto. Osa-aineistoon sisältyi kuitenkin valtaosa tutkittavista eli tilastollinen analyysi oli mahdollista toteuttaa. Tilasto-analyysien luotettavuutta voi heikentää se, etteivät lineaarisen sekamallin oletukset täysin täyttyneet. Analyysissä kuitenkin pyrittiin käyttämään aineistoon parhaiten soveltuvaa mallia ja esimerkiksi reaktioaikamuuttujan normaalista poikkeavaa jakaumaa korjattiin neliöjuurimuunnoksella. Tilastoanalyysin toistettavuutta parantaa mallin toteutuksen ja muuttujien tarkka kuvaus.

Valmiin aineiston käytössä voi olla riski, että intervention kulku ja menetelmät eivät tule riittävän tutuiksi. Tässä tutkielmassa riskiä vähensi se, että tutkielman tekijä pääsi seuraamaan aineistonkeruuta ja sai tarkkaa tietoa tutkimuksen toteutuksesta suoraan tutkimuksen johtajalta. Avoimuus tutkimuksellisista menetelmistä tukee osaltaan tämänkin tutkielman luotettavuutta ja toistettavuutta. VERNA-tutkimus on toteutettu eettisesti hyväksytyin suunnitelman mukaisesti, laadukkaassa tutkimuslaboratoriossa ja aiheeseen perehtyneiden asiantuntijoiden toimesta.

Rekrytointi. VERNA-tutkimuksen rekrytointi tapahtui tiedottamalla tutkimuksesta useisiin kouluihin, mikä on mahdollistanut monenlaisten nuorten osallistumisen tutkimukseen. Rekrytointitapa vähentää tutkittavien valikoitumisesta koituvaa harhaa. Valikoitumista ei voi kuitenkaan täysin poissulkea, mikä voikin vaikuttaa tutkielman tuloksen yleistettävyyteen (kts. sivu 63).

Koeasetelma. VERNA-tutkimuksen selkeä vahvuus on siinä käytetty ristikkäiskoeasetelma, jossa tutkittavia ei satunnaisteta ryhmiin. Samojen henkilöiden osallistuessa kaikkiin kolmeen interventio päivään, tutkittavien ominaisuudet kussakin asetelmassa (kontrolli, MIIE, HIIE) vastaavat toisiaan. Tämä vähentää sekoittavien tekijöiden riskiä. Verrattuna perinteiseen satunnaistettuun interventioon saman osallistujamäärän sisältävä ristikkäiskokeen tulos on myös tulkinnallisesti tarkempi (Sibbald & Roberts 1998). Toisin sanoen ristikkäiskoeasetelmasta on mahdollista saada tilastollisesti luotettavia tuloksia verrattain pienemmällä otannalla.

Otanta. Tutkielmassa käytettiin kuitenkin vain osa-aineistoa eli 18/28 osallistujan mittaustuloksia. Tämä lisää riskiä, että mahdollista merkitsevää tilastollista vaikutusta ei löydetä, vaikka se isommalla otannalla olisikin nähtävissä. Olemassa oleva ilmiö tai vaikutus voi nimittäin jäädä löytymättä, mikäli tutkimuksen tilastollinen voima jää liian pieneksi (Raittio & Reito 2020). Näin voi tapahtua etenkin silloin, jos ryhmien välinen ero tai korrelaatio on pieni mutta silti olemassa. Tässä tutkielmassa ei tehty erikseen analyysiä tilastollisesta voimasta, mutta VERNA-tutkimuksen suunnitelmassa päädyttiin laskennallisesti otoskokoon, joka mahdollistaa 80 prosentin tilastollisen voiman pilottidatan perusteella.

Siirtävä vaikutus. Ristikkäiskokeessa luotettavuutta voi heikentää se, että aiempi käsittely voi vaikuttaa edelleen seuraavien käsittelyjen tuloksiin (Sibbald & Roberts 1998). Kyseessä on siirtävä vaikutus (englanniksi carry-over effect). Tätä voidaan ehkäistä pitämällä käsittelyjen välinen aika riittävän pitkänä (Sarna 2012). Aiempien tutkimusten perusteella akuutin liikunnan inhibiatiovaikutus todennäköisesti pienenee jo tunnin sisällä liikunnan lopettamisesta (Chang ym. 2012a; Moreau & Chou 2019). Tarkempaa tutkimusta juuri akuutin liikkumisen inhibiatiovaikutusten säilymisestä ei ole tehty. Tiedetään kuitenkin, että liikkumisen vaikutukset aineenvaihduntaan ja säätelytoimintoihin ovat todennäköisesti muutamista minuuteista pariin päivään kestäviä (Vuori 2020a). Liikkumisen kognitiovaikutusten taustalla on oletettu olevan juuri elimistön aineenvaihdunnallisia mekanismeja (Hillman ym. 2019; Koutsandréou ym. 2016; Stillman ym. 2016). Niinpä parin päivän taukoa käsittelyjen välillä voidaan pitää riittävänä. VERNA-tutkimuksessa kontrollipäivän, MIIE-päivän ja HIIE-päivän välillä olikin aina 2–3 vuorokautta.

Käsittelyjen järjestys. Interventio päivien järjestyksen vaikutusta tuloksiin ei erikseen analysoitu, joten täysin tätä riskiä ei voida poissulkea. Flanker-testi tuli jokaisella testikerralla tutkit-

taville tutummaksi eli voidaan olettaa viimeisimmän interventiopäivän tuloksien olevan keskimäärin parempia. VERNA-tutkimuksessa kuitenkin satunnaistettiin kolmen eri interventiopäivän järjestys, mikä vähentää järjestyksen vaikutusta tuloksiin esimerkiksi oppimisefektin kautta.

Oppimisefekti. Oppimisefektiä voi vähentää myös se, että tutkittavat saivat tutustua flanker-testiin alkumittausten aikana eli ennen interventiokäsittelyjä. Testi ei siis ollut kenellekään uusi ensimmäisellä varsinaisella mittauksella. Toisaalta testi tehtiin jokaisen kolmen interventiopäivän aikana neljä kertaa. Tällöin päivän aikana tutkittavien tuntuma testiin voi vahvistua ja suoritus parantua toistojen kautta. Tällaisen vahvistuman ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa tutkielman tuloksiin. Tutkielmassa nimittäin verrattiin inhibition *muutoksen* suuruutta kolmen eri interventiopäivän välillä eikä esimerkiksi päivän ensimmäisen ja viimeisen mittauksen välillä.

Tilannetekijät. Tutkielman tuloksen luotettavuuteen saattavat vaikuttaa erilaiset sekoittavat tai muovaavat tekijät, joiden kattava huomioon ottaminen on metodologisesti haastavaa. Vaikka tutkittavat ovat ristikkäiskoeasetelman ansioista samat, voivat kartoittamattomat tilannetekijät vaikuttaa tulokseen. Esimerkiksi tutkittavien liikunnallinen aktiivisuus ja ruokailu edellisenä päivänä, yönunen laatu sekä ympäristötekijät, kuten sää ja kulkuväline tutkimuspaikalle, voivat vaihdella interventiopäivien välillä samalla tutkittavalla. Myös psyykkiset tekijät, kuten stressi, motivaatio tai sosiaalinen vuorovaikutus saattavat muovata tuloksia. Toisaalta kaikkien tilannetekijöiden kartoittaminen ei ole mahdollista ja se olisi myös eettinen kysymys lisätessään tutkittavien taakkaa.

Interventiopäivät. Interventiopäivien järjestämisessä oli kuitenkin huomioitu useita sekoittavia tekijöitä. Interventiokerrat alkoivat aina aamulla. Tutkittaville ei siten ehtinyt kertyä valveillaolon ajalta fyysistä ja psyykkistä kuormitusta siinä määrin kuin myöhempään ajankohtaan mennessä olisi voinut kertyä. Interventiokertojen sijoittuminen lähes samaan kellonaikaan aamulla vähentää vuorokausirytmien sekoittavaa vaikutusta. Toisaalta sitä ei otettu huomioon, oliko tutkittavalla takanaan koulupäiviä vai lomaa. Joka tapauksessa interventiot pyrittiin ajoittamaan siten, ettei niitä edeltäviin päiviin kuulunut poikkeavia tapahtumia, kuten jalkapallo-ottelua tai muuta merkittävää.

Fyysinen aktiivisuus ja ruokailu. VERNA-tutkimuksessa oli kartoitettu tutkittavien edellisten päivien ravitsemus sekä liikunta-aktiivisuus. Näitä tietoja ei kuitenkaan huomioitu tämän tutkielman analyyseissä, mikä voi vaikuttaa tuloksiin. Intervention luotettavuutta tukee osaltaan se, että liikunta tutkimusaamuina oli kielletty. Ruokailun vaikutus oli otettu huomioon ohjeistetulla paastolla ja tutkittavien energiantarpeeseen suhteutettujen kahden aterian tarjoamisella tutkimuspäivien aikana. Interventio-päivät toteutettiin aina samassa tilassa ja mittaajille tutun protokollan mukaisesti. Tämä vähentää riskiä mittaustilanteiden vaihteluun eri tutkittavien ja eri interventio-päivien välillä.

Liikuntakäsittelyt. Verratessa eri intensiteetillä suoritettujen liikuntakertojen vaikutuksia, on huomioitava käsittelyjen työmäärien yhtenevyys. Näin vältetään virhetulkinnoilta, kuten liikunnan keston vaikutuksen sekoittumiselta intensiteetin vaikutukseen. MIIE- ja HIIE-käsittelyissä liikunnan työn määrät oli laskettu toisiaan vastaaviksi. Määritelmä perustui jokaisen tutkittavan henkilökohtaiseen ventilaatiokynnykseen ja maksimaaliseen työkuormaan, jotka mitattiin nousujohteisella, maksimaalisella polkupyöräergometritestillä. Yksilöllisesti määritellyt liikkumisen tehoalueet ja liikuntakäsittelyjen työmäärien yhtenevyys parantavat tuloksien luotettavuutta.

Mittausmenetelmä. VERNA-tutkimuksessa käytettiin flanker-testiä, joka on yleisesti käytetty inhibition mittari nuorilla (Best & Miller 2010). Inhibition mittaamiseen ei kuitenkaan ole olemassa niin sanottua kultaista standardia eli selkeästi pätevintä arviointimenetelmää. Tämä voi osaltaan heikentää tutkimuksen validiteettia: mitataanko juuri sitä ilmiötä, jota on tarkoituskin mitata? Kognitiivisten toimintojen eri osa-alueita ei voi mitata täysin toisistaan erikseen ja flanker-testissä tarvitaankin inhibition ohella työmuistia, tarkkaavaisuutta ja keskittymiskykyä. Toisaalta tutkimukseen valittu flanker-testi on monissa tutkimuksissa käytetty ja se pohjautuu tieteelliseen käsitykseen inhibition roolista keskittymisen suuntaamisessa ja häiriötekijöiden sivuuttamisessa (Diamond 2013). Testi edellyttää aakkosten osaamista, riittävää näköä sekä sanallisten ohjeiden ymmärrystä. Nämä edellytykset täytyvätkin perusterveillä 12–14-vuotiailla nuorilla.

Kaiken kaikkiaan tämän tutkielman luotettavuutta ja toistettavuutta tukevat huolellinen työskentelyote ilman sidonnaisuuksia, neuvonta kokeneemilta asiantuntijoilta ja tutkielman aineistona toimineen VERNA-intervention metodologiset vahvuudet. Käytetty tilastoanalyysi oli aineistoon soveltuva, mutta tuloksen luotettavuutta voi heikentää osa-aineiston pieni koko.

8.5 Eettisyys ja yhteiskunnallinen vaikuttavuus

Pro gradu -tutkielma on työstetty hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Koko tutkielman ajan on huomioitu luotettavuus, rehellisyys, arvostus ja vastuunkanto eli hyvän tieteellisen käytännön kantavat periaatteet. VERNA-tutkimuksen osa-aineiston käytöstä on sovittu kyseisen tutkimuksen johtajan, Eero Haapalan, kanssa. Tässä tutkielmassa käytettyä aineistoa on käsitelty tietoturvallisesti pseudonyymissä muodossa ja Jyväskylän yliopiston ohjeiden mukaisesti. Tutkielmassa on hyödynnetty vain tutkimuksen kannalta oleellisia tietoja. Terveystietojen lukeutuessa erityisiin henkilötietoryhmiin on niiden käsittelyssä noudatettu erityistä huolellisuutta.

Liikuntatieteellinen tutkimus lukeutuu lääketieteelliseen, ihmisen psyykkiseen ja/tai fyysiseen koskemattomuuteen kajoavaan tutkimukseen (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2019). Fyysisen kunnan mittaamista, fyysistä rasitusta ja elintarvikkeiden nauttimista sisältävässä VERNA-tutkimuksessa puututaan ihmisen fyysiseen koskemattomuuteen. Tutkimus on saanut Keski-Suomen hyvinvointialueen alueellisen lääketieteellisen tutkimuseettisen toimikunnan puoltavan lausunnon. VERNA-tutkimuksessa on huomioitu alaikäisten tutkittavien turvallisuus, yhdenvertaisuus, itsemääräämisoikeus ja tutkimuksen mahdolliset hyödyt sekä haitat. VERNA-tutkimuksen eettisyyttä on kuvattu tarkemmin tämän tutkielman menetelmäosuudessa.

VERNA-aineistosta saadaan tietoa liikkumisen vaikutuksista nuorten tiedonkäsittelytoimintoihin. Tietoa voidaan mahdollisesti soveltaa nuorten terveyden, hyvinvoinnin, akateemisen suoriutumisen sekä koulutuksen tasa-arvoisessa edistämisessä. Lisäksi tutkimustietoa voisi hyödyntää koulujen fyysistä aktiivisuutta tukevissa käytännöissä, esimerkiksi taukoliikunnan ja lihasvoimin kuljettujen koulumatkojen osalta. Näin ollen VERNA-tutkimus kytkeytyy YK:n kestävä kehityksen Agendan 2030 osa-alueisiin: numero 3 terveyttä ja hyvinvointia, 4 hyvä koulutus ja 11 kestävät kaupungit ja yhteisöt (UN 2023).

Tämän tutkielman aihe kytkeytyy yhteiskuntamme ajankohtaisiin ilmiöihin, kuten nuorten pitkäkestoiseen istumiseen ja liikkumisen vaikutuksiin kognitiivisen toimintakyvyn näkökulmasta. Lapsuuden ja nuoruuden elintapojen tiedetään suuntaavan aikuisuudenkin elintapoja, joiden vaikutus kumuloituu iän myötä (Huttunen 2020). Tutkielma saattaakin tarjota arvokasta tietoa, jolla voi olla merkitystä nuorten opiskelun ja arjen sujumisen kannalta.

8.6 Tulosten käytännön merkitys

Yleistettävyys. Tutkielman tuloksen yleistettävyys riippuu tutkittavien rekrytoinnin kriteereistä ja osa-aineistoon lukeutuneiden tutkittavien ominaisuuksista. Suomessa lähes kaikki 12–14-vuotiaat käyvät peruskoulun, joten koulujen kautta rekrytointi mahdollistaa monenlaisten nuorten osallistumisen. Toisaalta rekrytointi juuri Jyväskyläläisistä kouluista ei ota huomioon mahdollisia maantieteellisiä eroja nuorten terveydessä ja muissa ominaisuuksissa. Osa-aineiston sukupuolijakauma oli melko tasainen: tyttöjä oli noin 56 % ja poikia noin 44 %. Osallistujien ominaisuuksista kehonkoostumus- ja kestävyyskunnan taso vaihtelivat eli tulos on yleistettävissä niiltä osin useimpiin nuoriin. Tutkittavien perheiden sosioekonominen asema kuitenkin oli pääsääntöisesti korkea, jolloin tutkielman tulosta ei voida yleistää tämän ryhmän ulkopuolelle. Kokonaisuudessaan tutkielmassa käytetty otos edustaa 12–14-vuotiaita, perusterveitä, keskisuomalaisia, peruskoulua käyviä, hyvätuloisten perheiden nuoria. Tuloksen yleistettävyyttä heikentää kuitenkin osa-aineiston pieni koko.

Käytännön merkitys. Tämän tutkielman tulos ei itsessään toimi perusteena nuorten istumisen aikaisille liikuntatauoille inhibition edistämiseksi. Joka tapauksessa liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille (2021) korostaa runsaan ja pitkäkestoisen istumisen välttämistä. Istumisen tauottamisella on myös fyysiset perusteensa: runsas istuminen lisää nuorten alttiutta lihavuudelle, muille kardiometabolisille riskitekijöille (Cliff ym. 2016), psyykkisille ongelmille (Zhang ym. 2022a) ollen yhteydessä myös monien kansantautien kohonneeseen riskiin (Pesola ym. 2016). Vastaavasti liikkuminen voi lapsilla ja nuorillakin vähentää pitkäaikaissairauksien vaaratekijöitä, parantaa fyysistä kuntoa ja tukea minäkuvaa sekä terveellistä kehonkoostumusta (Vuori 2020b). Keski- ja korkeatehoisen liikkumisen tiedetään myös akuutisti parantavan monia nuorten kognition osa-alueita, kuten muistia, tarkkaavaisuutta, prosessointinopeutta, kiteytyntä älykkyyttä ja toiminnanohjausta (Hillman ym. 2019). Aiempi näyttö liikuntataukojen hyödyistä onkin hyvä muistaa, vaikkei juuri tämän tutkielman tulos osoittanut lyhyiden liikuntapätkien edistävän inhibitiota. Toisaalta tutkielman tulos liikkumisen haitattomuudesta inhibition suhteen sinänsä tukee nuorten liikkumisen suosituksia.

Suomalaiset nuoret istuvat runsaasti 13-vuotiaiden istuessa keskimäärin lähes 9 tuntia päivässä (Husu ym. 2022). VERNA-tutkimuksen asetelma vastaakin nuorten tyypillistä koulupäivää, jonka aikana istutaan pitkiä aikoja. Samantyyppisiä interventioita ei ole tietävästi tehty aiem-

min nuorilla. Nuorten istumistottumuksia simuloivan tutkimusasetelman toistaminen voisi parhaimmillaan antaa hyvin käytäntöön sovellettavaa tietoa nuorten kognition tukemisesta. Ainutlaatuisen tutkimusasetelman vertaaminen aiempaan kirjallisuuteen onkin osoittanut uusia tutkimuksellisia aukkoja, jotka tarjoavat perusteita tulevalle tutkimukselle.

8.7 Johtopäätökset ja jatkotutkimuksen tarve

Tämän tutkielman perusteella istumista tauottava lyhytkestoinen kestävyysliikunta ei paranna, mutta ei myöskään heikennä, nuorten inhibitiota. Vaikka aiempien yksittäisten interventioiden tulokset ovat osin hajanaisia, yhdessä koko aiempi tutkimusnäyttö meta-analyyseineen ja katsauksineen osoittaa akuutin kestävyysliikunnan tukevan nuorten toiminnanohjausta ja inhibitiota.

Tutkielmassa käytetyn tutkimusasetelman ainutlaatuisuus, otannan pienuus ja tutkielman tuloksen ristiriitaisuus aiemman tutkimusnäytön kanssa rajoittavat varmojen johtopäätösten vetämistä. Vaikka tämän tutkielman tulos ei viittaa pitkäkestoisen istumisen aikaisen taukoliikunnan positiivisiin inhibiatiovaikutuksiin, on tuloksia tulkittava varauksella. On myös huomioitava aiemman tutkimusnäytön koskevan lähinnä nuorten akuutin liikunnan vaikutuksia taukoliikunnan sijaan.

Lisätutkimusta tarvitaankin selvittämään, millä intensiteetillä toteutettuna ja mikä määrä kestävyystyypistä taukoliikuntaa kerrallaan voisi riittää tukemaan nuorten inhibitiota. Jatkossa olisi kiinnostavaa selvittää, riippuuko liikunnan vaikutus inhibiotehtävän vaikeustasosta: esimerkiksi kokonaista VERNA-aineistoa voisi tarkastella erikseen flanker-testin kongruenttien ja inkongruenttien tehtävien osalta. Jatkossa olisi tarpeen tutkia myös, muovaavatko liikunnan inhibiatiovaikutuksia demografiset tekijät, kuten ikä, sukupuoli ja sosioekonominen asema, tai nuorten yksilölliset ominaisuudet, kuten kognitiiviset kyvyt, kehonkoostumus ja kuntotaso. Koska VERNA-tutkimuksen asetelma on aiemmista interventioista poikkeava, vastaavanlaisia interventioita olisi kiinnostava toistaa isommalla otannalla ja alaryhmäanalyysijä hyödyntäen.

Joka tapauksessa kognitiivisen suoriutumisen perustana olevalla toiminnanohjauksella, ja sen myötä inhibitiolla, on paikkansa nuorten arjen ja opiskelun sujumisessa. Siksi toiminnanohjausta tukevat ja nuorten arkeen soveltuvat liikkumisen käytännöt olisi hyvä tuntea tarkemmin.

Tämän tutkielman tulos antaa suuntaviivoja tuleville tutkimuksille. Tutkimuksellisiin aukiin puretuvaa lisätutkimusta voisi parhaimmillaan soveltaa esimerkiksi liikkumisen suosituksen tarkentamiseen ja nuorten koulupäivien suunnitteluun.

LÄHTEET

- Alen, M. & Rauramaa, R. (2020). Liikunnan vaikutukset elinjärjestelmittain. Teoksessa I. Vuori, S. Taimela & U. M. Kujala (toim.) Liikuntalääketeiede. 3. painos. Helsinki: Duodecim, 30–53.
- Altermann, W., & Gröpel, P. (2023). Effects of acute endurance, strength, and coordination exercise interventions on attention in adolescents: A randomized controlled study. *Psychology of Sport and Exercise* 64, 102300. doi:10.1016/j.psychsport.2022.102300.
- Audiffren, M. (2016). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise: current data and future perspectives. Teoksessa T. McMorris (toim.) *Exercise-Cognition Interaction: neuroscience perspectives*. London: Elsevier Academic Press, 147–166. doi:10.1016/B978-0-12-800778-5.00007-4.
- Banich, M. T., & Compton, R. J. (2018). *Cognitive neuroscience*. 4. painos. Cambridge: University Press.
- Bergouignan, A., Legget, K. T., De Jong, N., Kealey, E., Nikolovski, J., Groppel, J. L., Jordan, C., O'Day, R., Hill, J. O. & Bessesen, D. H. (2016). Effect of frequent interruptions of prolonged sitting on self-perceived levels of energy, mood, food cravings and cognitive function. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 13 (1), 1–12. doi:10.1186/s12966-016-0437-z.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development* 81 (6), 1641–1660. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x.
- Browne, R. A. V., Costa, E. C., Sales, M. M., Fonteles, A. I., de Moraes, J. F. V. N., & de França Barros, J. (2016). Acute effect of vigorous aerobic exercise on the inhibitory control in adolescents. *Revista Paulista de Pediatria* 34, 154–161. doi:10.1016/j.rppede.2016.01.005.
- Carlson, S. M. (2016). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology* 28 (2), 595–616. doi:10.1207/s15326942dn2802_3.
- Carrasco-Uribarren, A., Ortega-Martínez, A., Amor-Barbosa, M., Cadellans-Arróniz, A., Cabanillas-Barea, S., & Bagur-Calafat, M. C. (2023). Improvement of in-school physical activity with active school-based interventions to interrupt prolonged sitting: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20 (2), 1636. doi:10.3390/ijerph20021636.

- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012a). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research* 1453, 87–101. doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068.
- Chang, Y. K., Liu, S., Yu, H. H., & Lee, Y. H. (2012b). Effect of acute exercise on executive function in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology* 27 (2), 225–237. doi:10.1093/arclin/acr094.
- Chen, F. T., Feng, S. H., Nien, J. T., Cheng, Y. T., Chen, Y. C., & Chang, Y. K. (2023). Effects of acute moderate-intensity exercise on executive function in children with preterm birth: A randomized crossover study. *Early Human Development* 183, 105795. doi:10.1016/j.earlhumdev.2023.105795.
- Christmas, B. C., Taylor, L., Cherif, A., Sayegh, S., & Bailey, D. P. (2019). Breaking up prolonged sitting with moderate-intensity walking improves attention and executive function in Qatari females. *PloS ONE* 14 (7), e0219565. doi:10.1371/journal.pone.0219565.
- Chueh, T. Y., Chen, Y. C., & Hung, T. M. (2022). Acute effect of breaking up prolonged sitting on cognition: A systematic review. *BMJ Open* 12 (3), 1–9. doi:10.1136/bmjopen-2021-050458.
- Cliff, D. P., Hesketh, K. D., Vella, S. A., Hinkley, T., Tsiros, M. D., Ridgers, N. D., Carver, A., Veitch, J., Parrish, A.-M., Hardy, L. L., Plotnikoff, R. C., Okely, A. D., Salmon, J. & Lubans, D. R. (2016). Objectively measured sedentary behaviour and health and development in children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews* 17 (4), 330–344. doi:10.1111/obr.12371.
- Cohen, J. F., Gorski, M. T., Gruber, S. A., Kurdziel, L. B. F., & Rimm, E. B. (2016). The effect of healthy dietary consumption on executive cognitive functioning in children and adolescents: a systematic review. *British Journal of Nutrition* 116 (6), 989–1000. doi:10.1017/S0007114516002877.
- Cooper, S. B., Dring, K. J., Morris, J. G., Sunderland, C., Bandelow, S., & Nevill, M. E. (2018). High intensity intermittent games-based activity and adolescents' cognition: Moderating effect of physical fitness. *BMC Public Health* 18, 1–14. doi:10.1186/s12889-018-5514-6.
- Creemers, N., Foster, C., P Porcari, J., L Cress, M., & J de Koning, J. (2017). The physiological mechanism behind the talk test. *Kinesiology* 49 (1), 3–8. doi:10.26582/k.49.1.15.

- Davis, H. L., & Pratt, C. (1996). The development of children's theory of mind: The working memory explanation. *Australian Journal of Psychology* 47, 25–31. doi:10.1080/00049539508258765.
- De Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport* 21 (5), 501–507. doi:10.1016/j.jsams.2017.09.595.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology* 64, 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- Douchamps, J. (1988). A metatheoretical approach of operational performance. Teoksessa J. P. Leonard (toim.) *Vigilance: methods, models and regulation*. Frankfurt: Studies in Industrial and Organizational Psychology, 23–34.
- 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. doi:10.1016/j.dcn.2013.11.001.
- Drollette, E. S., Shishido, T., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2012). Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 44 (10), 2017–2024. doi:10.1249/MSS.0b013e318258bcd5.
- Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. *Psychological Review* 66 (3), 183–201. doi: 10.1037/h0047707.
- Ekelund, U., Poortvliet, E., Yngve, A., Hurtig-Wennlöv, A., Nilsson, A., & Sjöström, M. (2001). Heart rate as an indicator of the intensity of physical activity in human adolescents. *European Journal of Applied Physiology* 85 (3), 244–249. doi:10.1007/s004210100436.
- Ellonen, N & Kaakinen, M. (2021). *Monitasomallit*. Teoksessa *Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 8.4.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/regressio/monitasomallit/>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics* 16 (1), 143–149. doi:10.3758/BF03203267.

- Ferreira Vorkapic, C., Alves, H., Araujo, L., Joaquim Borba-Pinheiro, C., Coelho, R., Fonseca, E., Oliveira, A. & Dantas, E. H. (2021). Does physical activity improve cognition and academic performance in children? A systematic review of randomized controlled trials. *Neuropsychobiology* 80 (6), 454–482. doi:10.1159/000514682.
- Fogelholm, M. (2020). Fyysisen aktiivisuuden ja liikunnan arviointi. Liikunta lapsena ja nuorena. Teoksessa I. Vuori, S. Taimela & U. M. Kujala (toim.) *Liikuntalääketiede*. 3. painos. Helsinki: Duodecim, 77–91.
- Gejl, A. K., Bugge, A., Ernst, M. T., Tarp, J., Hillman, C. H., Have, M., Froberg, K. & Andersen, L. B. (2018). The acute effects of short bouts of exercise on inhibitory control in adolescents. *Mental Health and Physical Activity* 15, 34–39. doi:10.1016/j.mhpa.2018.06.003.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 312–7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition* 53 (2), 129–153. doi:10.1016/0010-0277(94)90068-X.
- Gilbert, S. J., & Burgess, P. W. (2008). Executive function. *Current Biology* 18 (3), 110–114. doi:10.1016/j.cub.2007.12.014.
- Gilmore, G. R., Smith, A. L., Dickinson, F. B., Crosswell, A. D., Mendes, W. B., & Whitehurst, L. N. (2024). Sleep/wake regularity influences how stress shapes executive function. *Frontiers in Sleep* 3, 1359723. doi:10.3389/frsle.2024.1359723.
- 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), 11594. doi:10.3390/ijerph182111594.
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., van Ewijk, H., Oosterlaan, J. & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences* 38 (23), 2637–2660. doi:10.1080/02640414.2020.1794763.
- Hildebrand, M. & Ekelund, U. (2017). The assesment of physical activity. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine*. Oxford: Oxford University Press, 303–311.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience* 9 (1), 58–65. doi:10.1038/nrn2298.

- Hillman, C. H., Logan, N. E. & Shigeta, T. T. (2019) A review of acute physical activity effects on brain and cognition in children. *Translational Journal of the ACSM* 4 (17), 132–136. doi:10.1249/TJX.000000000000101.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience* 159 (3), 1044–1054. doi:10.1016/j.neuroscience.2009.01.057.
- Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & Brosnan, M. (2013). The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents. *Experimental Brain Research* 229, 85–96. doi:10.1007/s00221-013-3595-0.
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: an introduction to behavior theory*. Appleton-Century. Viitattu 2.3.2024. <https://psycnet.apa.org/record/1944-00022-000>
- Husu P., Jussila A. M., Tokola K., Vähä-Ypyä H. & Vasankari T. (2022). Liikemittarilla mitatun liikkumisen, paikallaanolon ja unen määrä. Teoksessa S. Kokko & L. Martin (toim.) *Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytyminen Suomessa LIITU-tutkimuksen tuloksia 2022*. Valtion liikuntaneuvoston julkaisuja 2023:1, 31–46. <https://www.liikuntaneuvosto.fi/wp-content/uploads/2023/03/Lasten-ja-nuorten-liikuntakayttaytyminen-Suomessa-2022-2.pdf>
- Huttunen, J. (2009). Mistä terveys syntyy? Duodecim Terveyskirjasto -verkkosivu. Viitattu 16.8.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00928>
- Hüttermann, S., & Memmert, D. (2014). Does the inverted-U function disappear in expert athletes? An analysis of the attentional behavior under physical exercise of athletes and non-athletes. *Physiology & Behavior* 131, 87–92. doi:10.1016/j.physbeh.2014.04.020.
- Iannetta, D., Keir, D. A., Fontana, F. Y., Inglis, E. C., Mattu, A. T., Paterson, D. H., Pogliaghi, S. & Murias, J. M. (2021). Evaluating the accuracy of using fixed ranges of METs to categorize exertional intensity in a heterogeneous group of healthy individuals: implications for cardiorespiratory fitness and health outcomes. *Sports Medicine* 51 (11), 2411–2421. doi:10.1007/s40279-021-01476-z.
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2020). An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports Medicine* 50 (10), 1729–1756. doi:10.1007/s40279-020-01322-8.
- Javed, A., Jumean, M., Murad, M. H., Okorodudu, D., Kumar, S., Somers, V. K., Sochor, O. & Lopez-Jimenez, F. (2015). Diagnostic performance of body mass index to identify

- obesity as defined by body adiposity in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Pediatric Obesity* 10 (3), 234–244. doi:10.1111/ijpo.242.
- JYX. (2024). Jyväskylän yliopiston julkaisuarkisto. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2024. <https://jyx.jyu.fi/>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Kallio, J., Kulmala, J., & Tammelin, T. (2021). Näkökulmia lasten ja nuorten liikkumisen mittaamiseen ja tulosten tulkintaan. *Liikkuva koulu*. Verkkosivu. Viitattu 12.3.2024. <https://liikkuvakoulu.fi>
- Kamijo, K. (2016). Physical activity, fitness and cognition: Insights from neuroelectric studies. Teoksessa T. McMorris (toim.) *Exercise-Cognition Interaction: neuroscience perspectives*. London: Elsevier Academic Press, 211–226.
- Kao, S. C., Baumgartner, N., Noh, K., Wang, C. H., & Schmitt, S. (2023). Acute effects of intense interval versus aerobic exercise on children's behavioral and neuroelectric measures of inhibitory control. *Journal of Science and Medicine in Sport* 26 (6), 316–321. doi:10.1016/j.jsams.2023.05.003.
- Karjalainen, L. (2015). *Tilastotieteen perusteet. 2. uudistettu painos*. Keuruu: Pii-Kirjat.
- Kauranen, K. (2021). *Kuormitusfysiologia*. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 176. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura.
- Kettunen, K., Lindberg, N., Castaneda, A., Tuulio-Henriksson, A., & Autti, T. (2009). Aivojen kehityksen sukupuolierot – korrelaatio psykiatristen häiriöiden kirjoon. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 125 (11), 1185–1193. <https://www.duodecimlehti.fi/duo98095>
- Kochanska, G., Murray, K. T., & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood: continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental Psychology* 36 (2), 220–232. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10749079/>
- Kokko, S., Martin, L., Villberg, J., Simonsen, N., Husu, P., Vasankari, T., Suomi, K., Ng, K., Tokola, K., Vähä-Ypyä, H., Koski, P., Hirvensalo, M., Laukkanen, A., Palomäki, S., Huotari, P., Lyyra, N., Rajala, K., Kämppi, K., Hakonen, H., . . . Appelqvist-Schmidlechner, K. (2023). Tiivistelmä. Teoksessa S. Kokko & L. Martin (toim.) *Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytyminen Suomessa: LIITU-tutkimuksen tuloksia 2022*. Valtion liikuntaneuvoston julkaisuja 2023:1, 6–7. <https://www.liikuntaneuvosto.fi/wp-content/uploads/2023/03/Lasten-ja-nuorten-liikuntakayttaytyminen-Suomessa-2022-2.pdf>

- Kokko, S. (2022). Sami Kokko: Liikkuminen hiipuu Suomessa iän myötä erityisen paljon – arjessa liikutaan entistä vähemmän, vapaa-ajalla ohjatusti entistä enemmän. Blogiteksti. Viitattu 8.8.2024. <https://www.sivista.fi/blogi/sami-kokko-liikkuminen-hiipuu-suomessa-ian-myota-erityisen-paljon-arjessa-liikutaan-entista-vahemman-vapaa-ajalla-ohjatusti-entista-enemman/>
- Korhonen, L. (2021). Kasvu ja kehitys eri ikäkausina. Duodecim Terveyskirjasto -verkkosivu. Viitattu 8.2.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/pla00018>
- Koski, P. & Hirvensalo, M. (2022). Lasten ja nuorten liikunnan merkitykset ja esteet. Teoksessa S. Kokko & L. Martin (toim.) Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytyminen Suomessa LIITU-tutkimuksen tuloksia 2022. Valtion liikuntaneuvoston julkaisuja 2023:1, 48–57. <https://www.liikuntaneuvosto.fi/wp-content/uploads/2023/03/Lasten-ja-nuorten-liikuntakayttaytyminen-Suomessa-2022-2.pdf>
- Kutinlahti, E. (2018). MET – energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari. Duodecim Terveyskirjasto -verkkosivu. Viitattu 11.3.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01039>
- Koutsandréou F., Niemann, C., Wegner, M. & Budde H. (2016). Acute exercise and cognition on children and adolescents: The role of testosterone and cortisol. Teoksessa T. McMorris (toim.) Exercise-Cognition Interaction: neuroscience perspectives. London: Elsevier Academic Press, 283–294.
- Laki naisten ja miesten välisestä tasa-arvosta 609/1986. (1986). Viitattu 14.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1986/19860609>
- Lakka, T. A. (2006). Liikunnan terveysvaikutukset riippuvat myös geeneistä. Duodecim lääketieteellinen aikakauskirja, 122 (24), 2939–2941.
- Lambrick, D., Stoner, L., Grigg, R., & Faulkner, J. (2016). Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8–10 years. *Psychophysiology* 53 (9), 1335–1342. doi:10.1111/psyp.12688.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology* 21 (1), 59–80. doi:10.1348/026151003321164627.
- Liikkumissuositus 7–17-vuotiaille lapsille ja nuorille. (2021). Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisusarja 2021:19. Viitattu 6.2.2024. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162984>

- Liikunta. Käypä hoito -suositus 2016. (2016). Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Kardiologisen Seuran asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. Viitattu 11.3.2024. <https://www.kaypahoito.fi/hoi50075>.
- Lind, R. R., Beck, M. M., Wikman, J., Malarski, K., Krstrup, P., Lundbye-Jensen, J., & Geertsen, S. S. (2019). Acute high-intensity football games can improve children's inhibitory control and neurophysiological measures of attention. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 29 (10), 1546–1562. doi:10.1111/sms.13485.
- Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N., & Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport* 20 (9), 841–848. doi:10.1016/j.jsams.2016.11.025.
- Lim, C. Y., & In, J. (2021). Considerations for crossover design in clinical study. *Korean journal of anesthesiology* 74 (4), 293–299. doi:10.4097/kja.21165.
- Li, S., Guo, J., Zheng, K., Shi, M., & Huang, T. (2022). Is sedentary behavior associated with executive function in children and adolescents? A systematic review. *Frontiers in Public Health* 10, 832845. doi:10.3389/fpubh.2022.832845.
- Liu, S., Yu, Q., Li, Z., Cunha, P. M., Zhang, Y., Kong, Z., Lin, W., Chen, S. & Cai, Y. (2020). Effects of acute and chronic exercises on executive function in children and adolescents: a systemic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology* 11, 554915. doi:10.3389/fpsyg.2020.554915.
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology* 53 (11), 1611–1626. doi:10.1111/psyp.12736.
- 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.
- Lääketieteen sanasto. (2021). Kognitio. Duodecim Terveyskirjasto -verkkosivu. Viitattu 9.1.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt04223>
- 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. doi:10.3389/fphys.2021.682233.
- Martin, L., Kokko, S., Villberg, J., Suomi, K. & Ng, k. (2022). Itsearvioitu liikunta-aktiivisuus, liikuntatilanteet, liikkumisympäristöt ja liikkumisen seurantalaitteet. Teoksessa S.

- Kokko & L. Martin (toim.) Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytyminen Suomessa LIITU-tutkimuksen tuloksia 2022. Valtion liikuntaneuvoston julkaisuja 2023:1, 16–29. <https://www.liikuntaneuvosto.fi/wp-content/uploads/2023/03/Lasten-ja-nuorten-liikuntakayttaytyminen-Suomessa-2022-2.pdf>
- McMorris, T. (2008). Exercise and cognition: towards an inter-disciplinary model. *The Open Sports Medicine Journal* 2 (1), 60–68. doi:10.2174/1874387000802010060.
- McMorris, T. (2016). History of research into the acute exercise-cognition interaction: a cognitive psychology approach. Teoksessa T. McMorris (toim.) *Exercise-Cognition Interaction: neuroscience perspectives*. London: Elsevier Academic Press, 1–28.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology* 41 (1), 49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734.
- Moisala, M. & Kosola, S. (2019). Aivotutkija: Jo pelkkä kännykän näkeminen voi rasittaa keskittymiskykyä. Yle-videohaastattelu. Viitattu 24.2.2024. <https://yle.fi/a/3-10591431>
- Moreau, D., & Chou, E. (2019). The acute effect of high-intensity exercise on executive function: a meta-analysis. *Perspectives on Psychological Science* 14 (5), 734–764.
- Mullane, S. L., Buman, M. P., Zeigler, Z. S., Crespo, N. C., & Gaesser, G. A. (2017). Acute effects on cognitive performance following bouts of standing and light-intensity physical activity in a simulated workplace environment. *Journal of Science and Medicine in Sport* 20 (5), 489–493. doi:10.1016/j.jsams.2016.09.015.
- Mäntymaa, P. (2020). Lineaarinen sekamalli rekisteripohjaisen lasten ja nuorten neuvolaja kouluterveysaineiston analyysivälineenä. Helsingin yliopisto. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. Tilastotieteen Pro Gradu -tutkielma. Viitattu 8.4.2024. <https://helda.helsinki.fi/items/4f77fc6b-b921-4853-8070-729d2f8a010a>
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist S-E. (2008). *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. 15–17. painos. Helsinki: WSOY.
- Nummela, A. (2021). Sykerajat ja kynnysarvot kestävyysarjoittelussa. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2024. <https://sportslab.fi/sykerajat-ja-kynnysarvot-kestavyysarjoittelussa/>
- Opetushallitus. (2023). Lasten ja nuorten fyysisen toimintakyvyn lasku on tasaantunut. Tiedote: Move!-mittaukset 2023. Viitattu 6.2.2024. <https://www.oph.fi/fi/uutiset/2023/lasten-ja-nuorten-fyysisen-toimintakyvyn-lasku-tasaantunut>

- Park, S., & Etnier, J. L. (2019). Beneficial effects of acute exercise on executive function in adolescents. *Journal of Physical Activity and Health* 16 (6), 423–429. doi:10.1123/jpah.2018-0219.
- Paschen, L., Lehmann, T., Kehne, M., & Baumeister, J. (2019). Effects of acute physical exercise with low and high cognitive demands on executive functions in children: A systematic review. *Pediatric Exercise Science* 31 (3), 267–281. doi:10.1123/pes.2018-0215.
- Pearson, N., Braithwaite, R. E., Biddle, S. J., van Sluijs, E. M., & Atkin, A. J. (2014). Associations between sedentary behaviour and physical activity in children and adolescents: a meta-analysis. *Obesity Reviews* 15 (8), 666–675. doi:10.1111/obr.12188.
- Perrotta, G. (2019). Executive functions: definition, contexts and neuropsychological profiles. *Journal of Neuroscience Neurological Surgery* 4 (3), 1–4. doi:10.31579/2578-8868/077.
- Peruyero, F., Zapata, J., & Pastor, D. (2017). The acute effects of exercise intensity on inhibitory cognitive control in adolescents. *Frontiers in Psychology* 8, 921. doi:10.3389/fpsyg.2017.00921.
- Pesola, A., Pekkonen, M., & Finni, T. (2016). Miksi liiallinen istuminen on vaarallista? *Duodecim* 132 (21), 1964–1971. <https://www.duodecimlehti.fi/duo13381>
- Peters, S. (2020). The development of executive functions in childhood and adolescence and their relation to school performance. Teoksessa M. S. C. Thomas, D. Mareschal & I. Dumontheil (toim.) *Educational neuroscience: development across the life span*. 1. painos. New York: Routledge, 225–243.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology* 41(2), 103–146. doi:10.1016/0301-0511(95)05130-9.
- Poon, K. (2018). Hot and cool executive functions in adolescence: Development and contributions to important developmental outcomes. *Frontiers in Psychology* 8, 2311. doi:10.3389/fpsyg.2017.02311.
- PsychDB. (2021a). Luria Sequence (Luria's Test). Verkkosivu. Viitattu 25.2.2024. <https://www.psychdb.com/neurology/neuro-exam/luria>
- PsychDB. (2021b). Stroop Test. Verkkosivu. Viitattu 25.2.2024. <https://www.psychdb.com/cognitive-testing/stroop#primer>
- Raine, L. B., Kao, S. C., Drollette, E. S., Pontifex, M. B., Pindus, D., Hunt, J., Kramer, A. F. & Hillman, C. H. (2020). The role of BMI on cognition following acute physical activity

- in preadolescent children. *Trends in Neuroscience and Education* 21, 100143. doi:10.1016/j.tine.2020.100143.
- Raittio, L. & Reito A. 2020. Tilastollinen voima. Tilastokunto-verkkosivu. Viitattu 23.5.2024. <https://www.tilastokunto.fi/tilastollinen-voima/>
- Reinert, K. R., Po' e, E. K., & Barkin, S. L. (2013). The relationship between executive function and obesity in children and adolescents: a systematic literature review. *Journal of obesity* (1), 820956. doi:10.1155/2013/820956.
- Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A model of the development of frontal lobe functioning: findings from a meta-analysis. *Applied Neuropsychology* 12 (4), 190–201. doi:10.1207/s15324826an1204_2.
- Ruiz, J. R., Cavero-Redondo, I., Ortega, F. B., Welk, G. J., Andersen, L. B., & Martinez-Vizcaino, V. (2016). Cardiorespiratory fitness cut points to avoid cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 50 (23), 1451–1458. doi:10.1136/bjsports-2016-097195.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica* 53 (1), 61–97. doi:10.1016/0001-6918(83)90016-1.
- Sarna, S. (2012). Sanasto. Helsingin yliopisto: Kliinisen biostatistiikan kurssi. Verkkosivu. Viitattu 17.6.2024. <https://www.mv.helsinki.fi/home/sarna/Opetus/Sanasto>
- Schneider, D. A., Phillips, S. E., & Stoffolano, S. H. A. N. (1993). The simplified V-slope method of detecting the gas exchange threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (10), 1180-1184. doi: 10.1249/00005768-199310000-00015.
- Sibbald, B., & Roberts, C. (1998). Understanding controlled trials crossover trials. *BMJ* 316 (7146), 1719–1720. doi:10.1136/bmj.316.7146.1719.
- Singh, A. S., Saliassi, E., Van Den Berg, V., Uijtdewilligen, L., De Groot, R. H., Jolles, J., Andersen, L. B., Bailey, R., Chang, Y. K., Diamond, A., Ericsson, I., Etnier, J. L., Fedewa, A. L., Hillman, C. H., McMorris, T., Pesce, C., Pühse, U., Tomporowski, P. D. & Chinapaw, M. J. (2019). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: a novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *British Journal of Sports Medicine*, 53 (10), 640–647. doi:10.1136/bjsports-2017-098136.
- Soga, K., Shishido, T., & Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise* 16, 7–17. doi:10.1016/j.psychsport.2014.08.010.

- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences* 9 (2), 69–74. doi:10.1016/j.tics.2004.12.005.
- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2016). Mediators of physical activity on neurocognitive function: a review at multiple levels of analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* 10, 626. doi:10.3389/fnhum.2016.00626.
- Strommen, E. A. (1973). Verbal self-regulation in a children's game: impulsive errors on "Simon Says". *Child Development* 44 (4), 849–853. doi: 10.2307/1127737.
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research* 1269, 114–124. doi:10.1016/j.brainres.2009.02.073.
- Sundgot-Borgen, C. & Sundgot-Borgen, J. (2017). Nutrition and eating disorders. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.). *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine*. Oxford: Oxford University Press, 625–633.
- THL. (2024). Liikunta. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2024. <https://thl.fi/aiheet/elintavat-jaravitsemus/liikunta>
- Tilastokeskus. (2022). Asuntokuntien tulot ja tulojen rakenne alueittain. Koko maa, 2022: käytettävissä oleva rahatulo, mediaani. Viitattu 1.2.2024. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__tjt/statfin_tjt_pxt_118w.px/table/tableViewLayout1/
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica* 112 (3), 297–324. doi:10.1016/S0001-6918(02)00134-8.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2019). Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakoarviointi Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje 2019. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja 3/2019. Viitattu 11.6.2024. https://tenk.fi/sites/default/files/2021-01/Ihmistieteiden_eettisen_ennakoarvioinnin_ohje_2020.pdf
- UKK-instituutti. (2024a). Kestävyyskunto. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2024. <https://ukkinstituutti.fi/fyysinen-kunto/kunnon-osa-alueet/kestavyyskunto/>
- UKK-instituutti. (2022). Liikkumisen vaikutukset. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2024. <https://ukkinstituutti.fi/liikkuminen/liikkumisen-vaikutukset/>
- UKK-instituutti. (2024b). Paikallaanolon terveysvaikutukset. Verkkosivu. Viitattu 22.9.2024. <https://ukkinstituutti.fi/liikkuminen/liikkumisen-vaikutukset/paikallaanolon-terveyshaitat/>

- UN. (2023). The 17 goals. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2024. <https://sdgs.un.org/goals>
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J., & Oosterlaan, J. (2013). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 48 (12), 973–979. doi:10.1136/bjsports-2012-091441.
- Vuori I. (2020a). Liikunta, kunto ja terveys. Teoksessa I. Vuori, S. Taimela & U. M. Kujala (toim.) *Liikuntalääketiede*. 3. painos. Helsinki: Duodecim, 16–29.
- Vuori I. (2020b). Liikunta lapsena ja nuorena. Teoksessa I. Vuori, S. Taimela & U. M. Kujala (toim.) *Liikuntalääketiede*. 3. painos. Helsinki: Duodecim, 145–170.
- Welk, G. J., Laurson, K. R., Eisenmann, J. C., & Cureton, K. J. (2011). Development of youth aerobic-capacity standards using receiver operating characteristic curves. *American Journal of Preventive Medicine* 41 (4), 111–116. doi:10.1016/j.amepre.2011.07.007.
- WHO (2020). Fyysisen aktiivisuuden suositukset. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2024. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/337001/9789240014886-eng.pdf?sequence=1>
- Williams, R. A., Cooper, S. B., Dring, K. J., Hatch, L., Morris, J. G., Sunderland, C., & Nevill, M. E. (2020). Effect of football activity and physical fitness on information processing, inhibitory control and working memory in adolescents. *BMC Public Health* 20, 1–14. doi:10.1186/s12889-020-09484-w.
- WMA. (2008). Declaration of helsinki – ethical principles for medical research involving human subjects. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2024. <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- Xue, Y., Yang, Y., & Huang, T. (2019). Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 53 (22), 1397–1404. doi:10.1136/bjsports-2018-099825.
- Zhang, J., Yang, S. X., Wang, L., Han, L. H., & Wu, X. Y. (2022a). The influence of sedentary behaviour on mental health among children and adolescents: A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Journal of Affective Disorders* 306, 90–114. doi:10.1016/j.jad.2022.03.018.
- Zhang, L., Wang, D., Liu, S., Ren, F. F., Chi, L., & Xie, C. (2022b). Effects of acute high-intensity interval exercise and high-intensity continuous exercise on inhibitory function

of overweight and obese children. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (16), 10401. doi:10.3390/ijerph191610401.

LIITE 1. Kirjallisuuskatsauksessa Medline (Ovid) -tietokantaan syötetty hakulauseke.

adolescent* OR child* OR young OR youngster* OR youth OR teenager* OR kid*

AND

meta-analysis OR systematic review OR RCT OR randomized controlled trial OR randomised controlled trial OR clinical trial

AND

aerobic exercise OR exercise OR physical activity OR physical training OR physical exertion OR physical conditioning OR motor activity OR ambulatory activity OR walking OR running OR bicycling OR cycling OR biking OR exercise bouts OR bouts of exercise OR activity bouts OR active breaks OR physical activity breaks

AND

acute effect OR acute bout* OR acute response* OR effects of acute OR acute exercise OR acute physical activity OR acute aerobic exercise OR acute physical exertion

AND

inhibition OR inhibitory function OR inhibitory control OR flanker OR flanker task OR flanker test OR eriksen* flanker task OR eriksen* flanker test OR stroop test OR stroop color-word test OR stroop colour-word test OR classical stroop task OR color-word interference test OR colour-word interference test OR digit span OR span test OR cognition OR neurocognition OR cognitive OR cognitive control OR cognitive flexibility OR executive function OR executive control OR supervisory attentional system OR attention OR attentiveness OR concentration OR self-regulation OR self-control OR reaction time OR reaction speed OR reaction rate OR reaction velocity OR response time OR response selection OR speed of response OR working memory OR short-term memory OR memory OR problem solving OR reasoning OR trail making test OR behavior rating inventory of executive function OR behaviour rating inventory of executive function OR wisconsin card sorting test OR verbal fluency task* OR original continuous performance test OR tower of OR card sorting

LIITE 2. Inhibition tarkkuuden asetelmakohtaiset tunnusluvut mittauspisteen mukaan.

| asetelma | mittauspiste | keskiarvo | 95 % luottamusväli | | keskihajonta |
|-----------|--------------|-----------|--------------------|--------|--------------|
| | | | alempi | ylempi | |
| istuminen | 1 | 0,756 | 0,682 | 0,828 | 0,142 |
| | 2 | 0,776 | 0,713 | 0,839 | 0,127 |
| | 3 | 0,756 | 0,687 | 0,826 | 0,139 |
| | 4 | 0,772 | 0,708 | 0,836 | 0,128 |
| MIIE | 1 | 0,779 | 0,726 | 0,832 | 0,103 |
| | 2 | 0,819 | 0,778 | 0,861 | 0,080 |
| | 3 | 0,787 | 0,732 | 0,842 | 0,108 |
| | 4 | 0,768 | 0,705 | 0,830 | 0,122 |
| HIII | 1 | 0,768 | 0,706 | 0,831 | 0,117 |
| | 2 | 0,774 | 0,714 | 0,834 | 0,117 |
| | 3 | 0,792 | 0,732 | 0,854 | 0,119 |
| | 4 | 0,791 | 0,739 | 0,843 | 0,101 |

LIITE 3. Inhibition neliöjuurimuunnetun reaktioajan asetelmakohtaiset tunnusluvut mittauspisteen mukaan.

| asetelma | mittauspiste | keskiarvo | 95 % luottamusväli | | keskihajonta |
|-----------|--------------|-----------|--------------------|--------|--------------|
| | | | alempi | ylempi | |
| istuminen | 1 | 0,673 | 0,654 | 0,691 | 0,036 |
| | 2 | 0,669 | 0,643 | 0,696 | 0,052 |
| | 3 | 0,666 | 0,647 | 0,685 | 0,038 |
| | 4 | 0,658 | 0,632 | 0,684 | 0,053 |
| MIIE | 1 | 0,676 | 0,652 | 0,700 | 0,047 |
| | 2 | 0,681 | 0,667 | 0,695 | 0,028 |
| | 3 | 0,665 | 0,649 | 0,681 | 0,030 |
| | 4 | 0,662 | 0,639 | 0,685 | 0,044 |
| HIII | 1 | 0,671 | 0,646 | 0,697 | 0,048 |
| | 2 | 0,669 | 0,648 | 0,690 | 0,041 |
| | 3 | 0,665 | 0,650 | 0,680 | 0,030 |
| | 4 | 0,670 | 0,656 | 0,684 | 0,027 |