

**KESTÄVYYSKUNNON KEHITTÄMISEN YKSILÖLLISYYS JA
HARJOITTELUN ULKOPUOLISEN FYYSISEN AKTIIVISUUDEN YHTEYS
HARJOITUSVASTEEN VAIHTELUUN**

Juha Parviainen

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Kevät 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Juha Parviainen (2015). Kestävyyskunnan kehittymisen yksilöllisyys ja harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden yhteys harjoitusvasteen vaihteluun. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 55 s.

On tunnettua, että monet yksilötekijät, kuten kestävyyskunnan lähtötaso vaikuttavat voimakkaasti standardoidussa kestävyysharjoitteluohjelmassa saavutettavaan kehitykseen. Eräs mielenkiintoinen ja modernein mittaamenetelmin havaittavissa oleva tekijä on harjoittelun ulkopuolinen fyysinen aktiivisuus. Tässä työssä pyrittiin arvioimaan sen ja erityisesti levoksi luettavan matalan intensiteetin aktiivisuuden roolia yksilötason kehityksessä.

Tutkimusaineistona käytettiin kolmea kestävyysharjoitteluinterventiota, joissa osallistujina olivat varusmiehet, aktiiviset miehet ja urheilijat. Aineistoissa oli tilastoitu harjoittelun aikaista ja sen ulkopuolista fyysistä aktiivisuutta objektiivisin mittausmenetelmin. Mittausaineistosta etsittiin yksilöiden ominaisuuksia, harjoittelua ja aktiivisuutta kuvaavia piirteitä, joilla on yhteys saavutettuun kehitykseen. Arviointimenetelmänä käytettiin lineaarista regressioanalyysiä.

Tulokset olivat pääosin odotusten mukaisia. Kestävyyskunnan lähtötasolla oli vahva yhteys saavutettuun kehitykseen, ja matalan lähtötason omaavilla henkilöillä kehonpainoon suhteutetun hapenottokyvyn kehitys johtui enimmäkseen laihtumisesta. Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden osalta mielenkiintoisin löydös oli harjoitusvuorokauden levon yhteys kestävyyskunnan kehitykseen aktiivisten miesten aineistossa.

Havainnot vahvistivat olemassa olevia käsityksiä kehityksen yksilöllisyydestä. Yksilöllisyyden taustatekijöiden ja fyysisen aktiivisuuden roolin tarkentaminen vaatii yksityiskohtaista tutkimuksen asettelua ja tarkkaan harkittua vastemittareiden valintaa. Olennaista on myös pystyä havaitsemaan harjoittelun aiheuttama kokonaisuusmuutos yksilön fyysisessä aktiivisuudessa.

Avainsanat: kestävyyskunto, harjoitusvaste, fyysinen aktiivisuus

ABSTRACT

Juha Parviainen (2015). Individual differences in response to aerobic training and effects of non-exercise activity. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Master's thesis, 55 pp.

Several individual factors such as initial fitness level and gender contribute to training effect attained in standardized aerobic exercise program. Lately the non-exercise habitual physical activity has been suggested as an associated factor. This master's thesis studied the role of non-exercise activity for the individual differences in response to aerobic training. A special focus was put on low intensity activity.

The research material consisted of data from three aerobic exercise programs which were performed by military conscripts, physically active males and athletes. On each program the exercise and non-exercise physical activity had been measured by objective methods. Features describing the research participants, their training and physical activity were extracted from data. Finally a linear regression analysis was used to analyze the association of features to the individual response to the exercise program.

The results were mainly as expected. The initial level of cardiorespiratory fitness had strong association to the attained development. The main mechanism behind the response for the participants with low level initial fitness was a weight loss. On non-exercise physical activity, the most interesting and novel finding was the association of amount of rest on training day to the individual training response in physically active men.

The findings of the study reaffirmed the prevalent assumptions about individuality of the training response in aerobic exercise programs. Elaborating the factors behind the individuality and the role of non-exercise daily physical activity requires precise research frame and very careful selection of measured response variables. Detecting the overall change on the physical activity posed by the training program is essential for the future research on this topic.

Key words: Aerobic fitness, training response, physical activity

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
BMI	body mass index, kehon massaindeksi
BMR	basal metabolic rate, perusaineenvaihdunta
HDL	high density lipoprotein, kolesteroli
HRR	heart rate reserve, sykereservi
KIHU	Kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus
LV	left ventricular, (sydämen) vasen kammio
MET	metabolic equivalent of task, energiankulutuksen metabolinen ekvivalentti
PA	physical activity, fyysinen aktiivisuus
PAL	physical activity level, fyysisen aktiivisuuden taso
R ²	(tilastollisen mallin) selitysaste
RER	respiratory exchange ratio, hengitysosamäärä
RPE	rated perceived exertion, kuormittavuuden kokemus
SNP	single nucleotide polymorphism, (geenin) yksittäisen nukleotidin polymorfia
VO ₂ max	maksimaalinen hapenkulutus
VO ₂ peak	korkein havaittu hapenkulutus
VO ₂ R	hapenkulutusreservi
WHO	World Health Organization, Maailman terveysjärjestö

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	1
2	AEROBINEN SUORITUSKYKY	3
2.1	Merkitys hyvinvoinnille.....	3
2.2	Aerobisen suorituskyvyn kehittäminen	4
2.3	Aerobisen suorituskyvyn mittaaminen	6
2.3.1	VO _{2max}	6
2.3.2	Mittaustavat	6
3	HARJOITUSVASTE JA YKSILÖLLISYYS.....	9
3.1	Harjoitusvaste	9
3.1.1	Vasteen ilmeneminen.....	12
3.2	Harjoitusvasteen yksilöllinen vaihtelu.....	13
3.3	Yksilöllisyyden taustatekijät.....	15
3.3.1	Ikä, sukupuoli ja etninen tausta	15
3.3.2	Perintötekijät.....	16
3.3.3	Fyysinen aktiivisuus	17
3.3.4	Yhteenveto.....	18
4	FYYSINEN AKTIIVISUUS	20
4.1	Yleistä	20
4.2	Aktiivisuuden arviointi	21
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEEESIT.....	22
6	MENETELMÄT.....	24
6.1	Aineistot.....	24
6.1.1	AKTIIVIT.....	24
6.1.2	VARUSMIEHET	25
6.1.3	URHEILIJAT	26
6.1.4	Aineistojen esikäsittely.....	27

6.2	Tilastolliset analyysimenetelmät.....	30
7	TULOKSET	32
7.1	Harjoitusinterventioiden toteutuminen	32
7.2	Harjoitusinterventioiden vaikutukset.....	34
7.3	Kehityksen yksilökohtainen vaihtelu.....	36
7.3.1	Henkilön kestävyyskunnan perustason yhteys saavutettuun kehitykseen.....	37
7.3.2	Harjoittelun kokonaismäärän yhteys kestävyyskunnan kehitykseen	39
7.3.3	Painonmuutoksen yhteys havaittuun kestävyyskunnan kehitykseen	39
7.3.4	Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden yhteys kehitykseen.....	41
7.3.5	Levon määrän yhteys kestävyyskunnan kehitykseen.....	42
7.3.6	Palautusjaksoihin sitoutumisen yhteys kestävyyskunnan kehitykseen	44
8	POHDINTA	46

1 JOHDANTO

Kestävyyskunto on ihmisen terveyden ja toimintakyvyn kannalta keskeinen tekijä. On vahvaa näyttöä, että hyväkuntoisilla tietyt terveystermit ovat pienemmät ja hyväkuntoisten ikäihmisten elämänlaatu on huonokuntoisia parempi. Yhteiskunnallisella tasolla tällä on merkittävä kustannusvaikutus. Ihmisiä onkin kannustettu liikkumaan ja kehittämään kestävyyskuntoansa muun muassa kansallisten terveysohjelmien avulla.

Jo vuosikymmeniä sitten havaittiin kunnan kehityksessä olevan laajaa yksilökohtaista vaihtelua. Toisen henkilön kunto saattaa kehittyä kymmeniä prosentteja, kun taas toisen pysyä muuttumattomana vaikka molemmat noudattaisivat samaa standardoitua harjoitteluohjelmaa. Ilmiö herättää kysymyksiä. Mitkä tekijät liittyvät kestävyyskunnan kehityksen vaihteluun? Onko joidenkin henkilöiden kehityskyky luonnostaan pieni? Vai onko kyse harjoitusohjelman sopivuudesta? Voidaanko heikoimmin kehittyvien tilannetta parantaa harjoitusohjelmaa tai harjoittelutapoja kehittämällä?

Yksilöllisen harjoitusvasteen taustatekijöitä on selvitetty jo pitkään. Hyviä tiedonlähteitä ovat olleet laajat perhetutkimukset ja kaksostutkimukset. Tiettyjen perustekijöiden, kuten iän, sukupuolen ja perimän vaikutus on pystytty selvittämään karkealla tasolla. Vieläkään vaihtelun perimmäisiä syitä ei kuitenkaan täysin ymmärretä. Menetelmien kehittymisen ansiosta viime vuosina on pystytty pureutumaan tarkemmin muun muassa geneettisten tekijöiden ja arkiaktiivisuuden rooliin kestävyyskunnan kehityspotentiaalini selittäjinä.

Useimmat kestävyyskunnan harjoitusvastetta ja sen yksilöllisyyttä koskevat tutkimukset on toteutettu aiemmilta liikuntatottumuksiltaan melko inaktiivisilla henkilöillä. Todellisuudessa kestävyyskunto-ohjelmia toteuttavat ihmiset ovat usein kohtalaisen aktiivisia liikkujia tai urheilijoita. Urheilijoilla kestävyyskunnan tavoitetaso ja harjoittelun määrä ovat suuremmat kuin ainoastaan terveyshyötyjen toivossa harjoittelevien ihmisten. Samalla urheilijoiden kestävyyskunnan nousuvara kuitenkin on oletettavasti vähän harjoitelleita pienempi. Erityisesti tällaiselle ryhmälle kunnan kehityksen ja nousupotentiaalini luotettava arviointi ja harjoitusohjelman yksilökohtainen räätälöinti olisi hyödyllistä.

Tässä pro gradu tutkielmassa on pyritty luomaan katsaus kestävyyskunnan kehittymisen ja harjoitusvasteen vaihtelun taustatekijöihin. Kokeellisessa osiossa vasteen yksilöllistä vaihtelua on selvitetty kolmessa eriluonteisessa aineistossa: 1) työikäiset vapaa-ajallaan

aktiiviset miehet, 2) ammattimaisesti harjoittelevat urheilijat, 3) varusmiespalvelukseen osallistuvat nuoret miehet. Työssä on kiinnitetty erityistä huomiota fyysisen aktiivisuuden rooliin kestävyyskunnan kehittämisessä.

Yleisellä tasolla tutkimus pyrki vastaamaan kysymyksiin: millaisia ovat harjoitteluinterventioiden vaikutukset koehenkilöihin tutkituissa aineistoissa, mitkä ovat tärkeimmät yksilökohtaiseen vaihteluun yhteydessä olevat tekijät ja voidaanko niiden perusteella ennustaa yksilökohtaista kehitystä luotettavasti? Lisäksi oltiin kiinnostuneita siitä, miten koventunut harjoittelu muuttaa yleistä fyysistä aktiivisuutta. Ja onko yleisen fyysisen aktiivisuuden keventämisellä ja levolla harjoitusjakson aikana yhteyttä kestävyyskunnan kehittämiseen?

2 AEROBINEN SUORITUSKYKY

2.1 Merkitys hyvinvoinnille

Kestävyyskunnolla eli aerobisella kunnolla tarkoitetaan niiden elimistön rakenteiden ja toimintojen tilaa, jotka vastaavat elimistön kyvystä pitkäkestoiseen fyysiseen suoritukseen. Kestävyyskuntoon vaikuttavat keskeisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky siirtää happea työskenteleville lihaksille sekä lihasten kyky hyödyntää happea energiantuotantoon. Hyvä kestävyyskunto mahdollistaa suuren aerobisen energiantuottokyvyn, mikä ilmenee ominaisuutena vastustaa kuormituksen aiheuttamaa väsymystä. (Keskinen ym. 2010, 51; McArdle ym. 2010, 165)

Kestävyyskunnolla on laaja-alainen yhteys ihmisen hyvinvointiin ja sen on todettu ilmentävän suoraan sydän- ja verenkiertoelimistön terveyttä (Vuori ym. 2010, 93 - 94). Kestävyyskunnan parantuessa sepelvaltimotaudin, sydäninfarktin, aivohalvauksen ja metaboolisen oireyhtymän sekä kohonneen verenpaineen riski pienenee (Wilmore ym. 2001; Vuori ym. 2010, 403). Esimerkiksi erittäin laajassa, 4 361 norjalaista 20 – 90 vuotiasta miestä ja naista sisältäneessä tutkimuksessa Aspenes ym. (2011) totesivat hyvän aerobisen suorituskyvyn liittyvän vähentyneeseen kardiovaskulaaristen riskitekijöiden määrään, kuten lihavuuteen, verenpaineeseen ja epäedullisiin veren rasva-arvoihin.

Fogelholm (2010) arvioi systemaattisessa katsauksessaan kestävyyskunnan olevan lihavuutta merkityksellisempi kuolleisuutta määrittävänä tekijänä. Kolmeenkymmeneen kuuteen julkaisuun perustuvassa tarkastelussa ilmeni yleisen kuolleisuuden ja kardiovaskulaarisen kuolleisuuden olevan matalampi korkean painoindeksin ja hyvän kestävyyskunnan omaavilla henkilöillä kuin korkean painoindeksin ja heikon kestävyyskunnan henkilöillä. Ainoastaan diabetesriskin osalta matalan painoindeksin omanneet ja kestävyyskunnoltaan heikot henkilöt olivat edullisemmassa asemassa. Toisaalta hyvän aerobisen kunnan on havaittu vähentävän kuolleisuutta myös metaboolista oireyhtymää jo sairastavilla henkilöillä (Vuori ym. 2010, 457). Havainnon voi tulkita tarkoittavan sitä, että sairastuminen ei poissulje kuntoparannuksesta saatavia hyötyjä ja harjoittelulla voidaan kompensoida sairauden aiheuttamia riskejä.

Heikkoon kestävyyskuntoon johtaa vähäinen fyysisen aktiivisuuden ja liikunnan määrä (Vuori ym. 2010, 19). Elimistö sopeutuu matalaan fyysiseen rasi-tustasoon ja kyky pitkäkestoiseen

suoritukseen laskee. Liikkumattomuus on eräs tämän hetken suurimmista kansanterveydellisistä haasteista. Maailman terveysjärjestön (World Health Organization, WHO) tekemän arvioinnin mukaan vuonna 2002 kaksi kolmannesta Euroopan unionin alueen aikuisväestöstä (yli 15 vuotiaat) ei saavuttanut suositeltuja fyysisen aktiivisuuden määriä ja koko WHO:n Euroopan alueella liikkumattomuuden arvioitiin aiheuttavan vuosittain 600 000 ennen aikaista kuolemaa (Cavill ym. 2006).

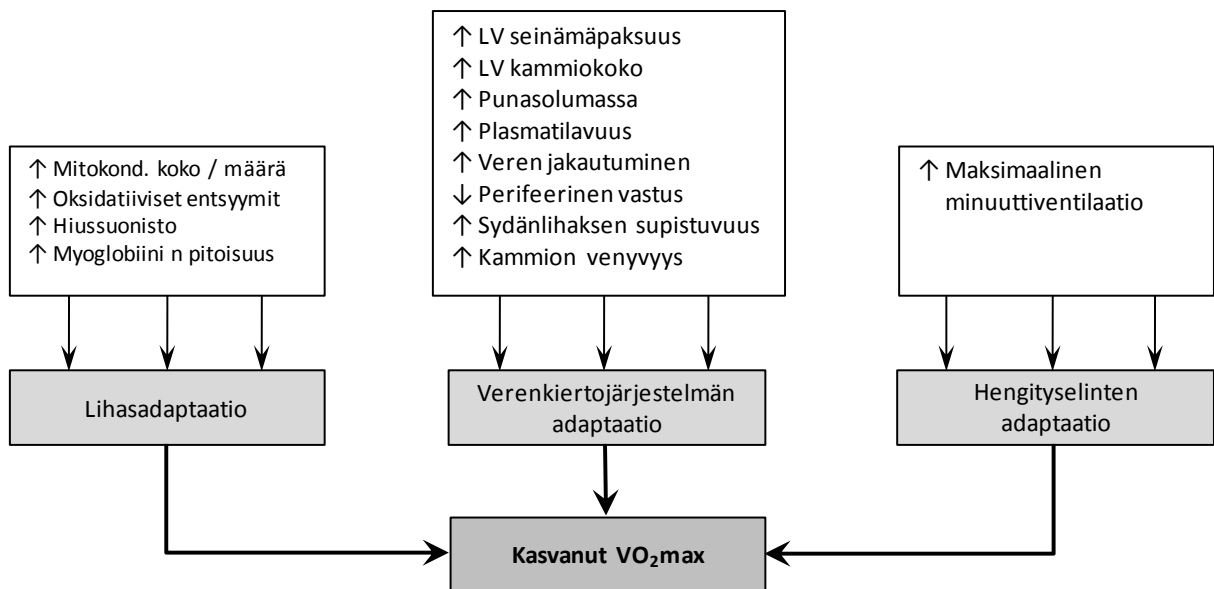
2.2 Aerobisen suorituskyvyn kehittäminen

Ihmiset kehittävät aerobista suorituskykyään tavoitellakseen hyvään kestävyyskuntoon liittyviä terveyshyötyjä tai saavuttaakseen urheilullisia päämääriä. Tavoitteenasettelu voi siten vaihdella laajalla skaalalla. Tavoite voi olla parantunut elämänlaatu tai mitattavissa oleva parannus suorituskyvyssä. Vastaavasti harjoittelun toteutus voi vaihdella kevyestä säännöllisestä ulkoilusta huolellisesti suunniteltuun ja erittäin raskaaseen harjoitusohjelmaan. Kestävyyskunnan kehittyminen noudattaa yleisiä suorituskyvyn kehittämisen perusperiaatteita (ylikuormitus, spesifisyys, adaptaatio). Harjoittelusta koituvaa suorituskykymuutosta kutsutaan harjoitusvasteeksi.

Ylikuormitus. Aerobisen suorituskyvyn kehittäminen edellyttää elimistön tavanomaista suurempaa kuormittamista. Kuormitus johtaa elimistön sopeutumiseen (adaptaatio) ja elimistö ikään kuin tottuu korkeampaan kuormitustasoon. Niinpä vasteen ja kehityksen ylläpito vaatii kuormituksen jatkuvaa nousua (progressio). Harjoitusvaikutuksen aiheuttava kuormitustaso on suhteessa siihen saakka vallinneeseen kuormitukseen, mistä seuraa, että harjoittelematon henkilö voi saavuttaa hyvän harjoitusvasteen pienelläkin harjoitusannoksella. Runsaasti harjoitelleella henkilöllä taas suuri osa elimistön mukautumispotentialista on käytetty eikä harjoitusannosta lisäämällä saada enää merkittävää harjoitusvastetta. (Vuori ym. 2010, 26; Powell ym. 2011)

Spesifisyys. Harjoittelu vaikuttaa vain niihin elimistön rakenteisiin ja toimintoihin joita se kuormittaa. Tämä spesifisyydeksi kutsuttu ilmiö koskee sekä harjoituksen laatua että vaikutuksen kohdetta. Niinpä pitkäkestoinen ja matalatehoinen harjoittelu kehittää nimenomaan lihasten aerobista energiantuottokykyä eikä lyhytkestoisissa ja intensiivisissä, glykolyyttistä energiantuotantoa vaativissa tehtävissä havaita suorituskyvyn parantumista. Spesifisyydestä johtuen juoksun aerobista suorituskykyä kehittää parhaiten juoksuharjoittelu eikä uinti tai polkupyöräily. (McArdle 2010, 453; Vuori ym. 2010, 26)

Adaptaatio. Aerobisen harjoittelun fysiologiset adaptaatiomekanismit liittyvät 1) lihasten kykyyn tuottaa ATP-molekyylejä hapen avulla, 2) verenkiertojärjestelmän ja 3) hengityselinten toiminnan tehostumiseen (kuva 1). Harjoittelu lisää solun ATP:n tuottamiseen erikoistuneiden soluelinten, mitokondrioiden, kokoa ja määrää, aerobisten entsyymien aktiivisuutta, kasvattaa lihaksen hiussuonistoa ja myoglobiini-konsentraatiota sekä edistää rasvan hyödyntämistä energianlähteenä matalatehoisessa liikunnassa. Lihasten hapenerotuskyky paranee, mikä voidaan havaita valtimo- ja laskimoveren happipitoisuuseron kasvuna. Verenkiertojärjestelmän osalta sydämen vasen kammio laajenee ja sydänlihas vahvistuu, mikä kasvattaa sydämen iskutilavuutta ja lisää minuuttitulavuutta. Seurauksena syketaajuus levon ja matalatehoisen liikunnan aikana laskee. Lisäksi veren punasolupitoisuus sekä plasman tilavuus nousevat ja elimistön kyky ohjata verenkiertoa työskenteleville lihaksille paranee. Hengityselinten toiminnan tehostuminen ilmenee maksimaalisen minuuttiventilaation kohoamisena, minkä taustalla on keuhkorakkuloiden hapenosapaineen ja hapen diffuusion kasvu keuhkorakkuloiden kapillaarisuonistossa. (McArdle 2004, 368-375; Midgley ym. 2006)



KUVA 1. Aerobisen harjoittelun fysiologiset adaptaatiomekanismit. LV = sydämen vasen kammio, ↑indikoi kasvua, ↓indikoi vähentymistä (mukailtu Midgley ym. 2006).

2.3 Aerobisen suorituskyvyn mittaaminen

2.3.1 VO_{2max}

Kestävyyskunnan parhaana mittarina pidetään maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}), joka on yksilöllinen kehon hapenkulutuksen yläraja (ACSM 2010, 72). Se ilmoitetaan yleensä absoluuttisena hengitettynä tilavuutena minuutissa (l/min) tai kehon painoon suhteutettuna (ml/kg/min). Hapenottokyky kertoo hengitys- ja verenkiertoelimistön eli sydämen, keuhkojen, verenkierron ja lihasaineenvaihdunnan yhteisestä suorituskyvystä. Maksimaalista hapenottokykyä fysiologisesti rajoittavat 1) lihasten kyky tuottaa ATP-molekyylejä hapen avulla, 2) verenkiertojärjestelmän tehokkuus ja 3) hengityselinten toimintakyky sekä näihin liittyvät osatekijät (kuva 1). Laajan tutkimusnäytön perusteella rajoitteista merkittävin on kardiorespiratorisen järjestelmän (sydämen, keuhkojen ja veren) kyky kuljettaa happea työskenteleville lihaksille (Bassett & Howley 1999). Maksimaalisen hapenottokyvyn nousua pidetään osoituksena positiivisesta harjoitusvaikutuksesta (Bassett & Howley 1999).

Aerobista liikuntaa harrastamattomilla miehillä tyypillinen VO_{2max} arvo on 40 – 45 ml/kg/min. Naisilla maksimaalinen hapenottokyky on 15 – 30 prosenttia pienempi, johtuen muun muassa kehon korkeammasta rasvapitoisuudesta (McArdle 2004, 195). Kestävyysurheilijoilla arvot voivat olla huomattavasti korkeampia (miehillä > 80 ml/kg/min, naisilla > 70 ml/kg/min). (ACSM 2006, 314).

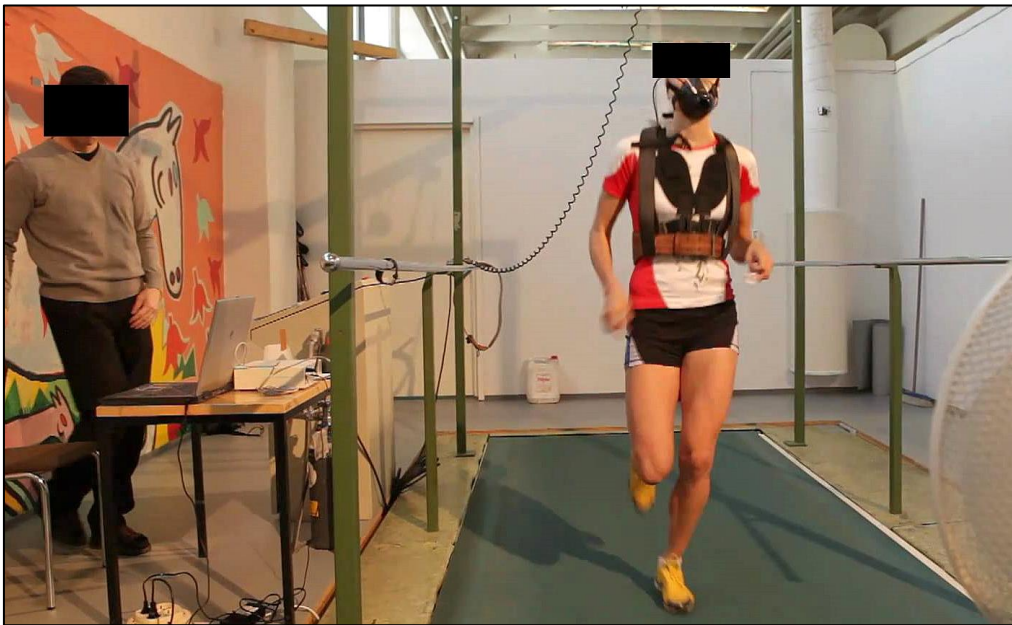
Tavanomaisesti maksimaalinen hapenottokyky kehittyy aikuisuuteen saakka. Keskimääräisesti kahdenkymmenenviiden ikävuoden jälkeen se alkaa laskea noin prosentin vuodessa, jota jatkuu noin seitsemääkymmeneenviiteen ikävuoteen saakka. Tämän jälkeen aerobisen kapasiteetin heikkeneminen on nopeampaa. Vanhenemiseen liittyvään kapasiteetin laskuun vaikuttaa merkittävästi henkilön fyysisen aktiivisuus. (ACSM 2006, 80.)

2.3.2 Mittaustavat

Hapenkulutus voidaan määrittää tarkasti mittaamalla hengityskaasuja fyysisen kuormituksen aikana (suora menetelmä) tai karkeasti sydämen syketaajuutta rekisteröimällä ja arvioimalla hapenkulutus syketaajuuteen perustuen (epäsuora menetelmä). Määritettäessä maksimaalista hapenkulutusta suoralla menetelmällä koehenkilö pyritään kuormittamaan uupumukseen saakka, jotta elimistön koko kapasiteetti tulisi esille. Suora menetelmä soveltuu parhaiten

terveille ja hyväkuntoisille. Erityisesti iäkkäiden ihmisten kannalta suora menetelmä on ongelmallinen, sillä heidän suorituskykyään rajoittaa lihasten heikkous eivätkä he välttämättä kykene työhön, joka tarvittaisiin maksimaalisen hapenkulutuksen saavuttamiseen (Bouchard ym. 1994, 173).

Käytetty kuormitustapa, aktiivisen lihasmassan määrä, ikä ja sukupuoli vaikuttavat kuormituskokeen tuloksena saatavaan hapenkulutusrvoon (Keskinen ym. 2010, 53). Mittaustilanteessa fyysisenä kuormituksena käytetään tavanomaisesti kävelyä, juoksumattoa tai polkupyöraergometria. Laboratoriossa toteutetuissa suorissa maksimaalisissa testeissä käytetään tyypillisesti juoksumattoa (kuva 2). Kävely tai juoksu on urheilemattomillekin sopiva kuormitustapa ja kuormitusintensiteetin säätö voidaan toteuttaa matolla tarkasti. Todellinen maksimaalinen hapenkulutus saavutetaan eri kuormitusmalleista helpoiten juoksumatolla. (McArdle 2004, 194.)



KUVA 2. Maksimaalinen kuormitustesti juoksumatolla (KIHU).

Suorassa testissä koehenkilö lopettaa kuormituksen uupumuksen tunteeseen perustuen, joten havaitun korkeimman hapenkulutuksen määrittely maksimaaliseksi kapasiteetiksi vaatii tulkintaa. Arvioinnin helpottamiseksi on sovittu kriteereistä, joiden tulee täytyä, jotta koehenkilön voidaan tulkita kuormittuneen riittävästi: 1) syke ei kohoa kuormitusta nostettaessa, 2) hengitysosamäärä (Respiratory Exchange Ratio, RER) ylittää arvon 1.1, 3) testin jälkeinen veren laktaattipitoisuus on korkeampi kuin 8 mmol/l. Mikäli testissä ei

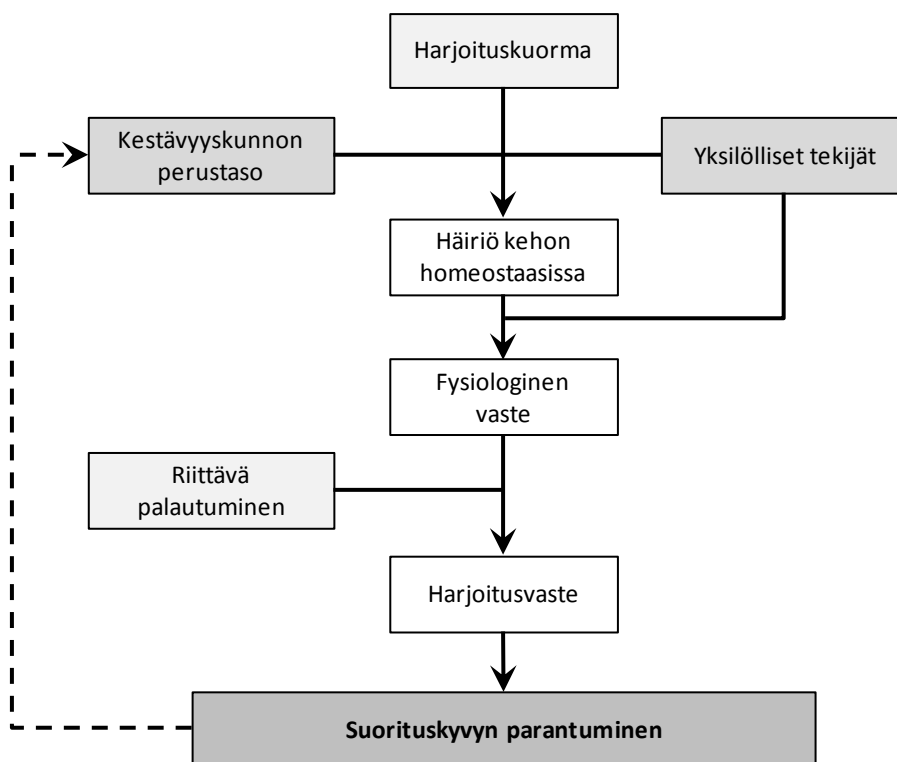
varmuudella saavuteta maksimaalista suoritusta esimerkiksi raajojen lihasväsymyksen vuoksi, voidaan tuloksesta käyttää käsitettä VO_{2peak} , jolla tarkoitetaan korkeinta havaittua hapenkulutusarvoa. (McArdle 2004, 189-190)

3 HARJOITUSVASTE JA YKSILÖLLISYYS

3.1 Harjoitusvaste

Harjoitusvasteella tarkoitetaan harjoittelun aiheuttamaa suorituskyvyn parantumista ja elimistön mukautumista sekä siitä seuraavaa fysiologisten indikaattoreiden, kuten veren HDL-kolesterolin pitoisuuden muutosta.

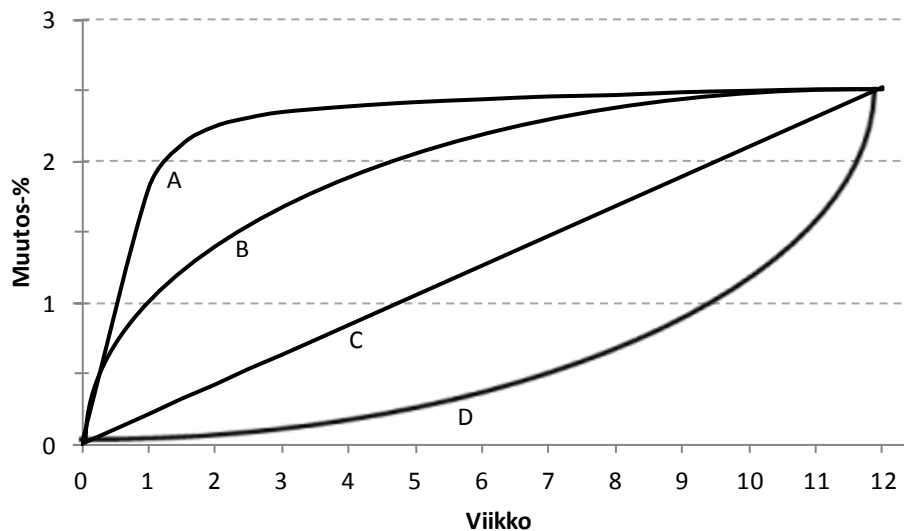
Harjoitusvasteelle ja sen kehittymiselle ei ole yleisesti hyväksyttyä mallia. Nummela (2010) on esittänyt mallin, joka sopii hyvin kirjallisuudesta saatavaan kokonaiskuvaan. Mallista muokattu näkemys on esitetty kuvassa 3. Siinä havainnollistetaan suorituskyvyn parantumiseen johtavat päätekijät ja tekijät, joihin yksilö voi vaikuttaa harjoitusvasteen tuottamiseksi – harjoituskuormaan ja palautumiseen.



KUVA 3. Harjoittelun ja harjoitusvasteen yleinen malli (mukailtu Nummela 2010).

Vasteen kehittyminen ei välttämättä ole lineaarista suhteessa harjoittelun määrään. Bouchard ym. (1994, 1034) esittävät samalle 12 viikon harjoitteluohjelmalle neljä erilaista vasteprofiilia (kuva 4). Vaste voi olla akuutti (A), jolloin suurin muutos tapahtuu ensimmäisten harjoitteluviikkojen aikana. Toisaalta vaste voi syntyä nopeasti ja jatkua hidastuen

harjoitteluohjelman ajan (B). Vaste voi myös olla tasainen koko ohjelman ajan (C), tai se voi olla viivästynyt (D), jolloin suurin muutos havaitaan vasta useiden viikkojen kuluttua.

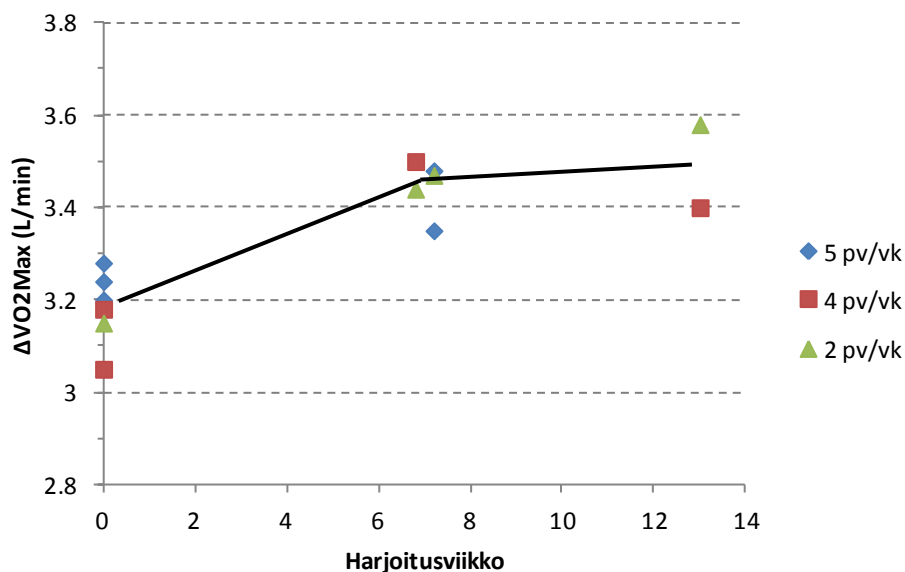


KUVA 4. Erilaisia vastemuotoja 12 viikon harjoitusohjelmalle. A = akuutti vaste, B = nopea ja hidastuva vaste, C = lineaarinen vaste, B = kiihtyvä vaste. (Bouchard ym. 1994, 1034).

Tarkasteltaessa aerobista suorituskykyä, tärkein harjoitusvastetta määrittävä tekijä on harjoittelun volyyymi eli kokonaismäärä. Volyymi muodostuu harjoittelun taajuudesta, intensiteetistä ja kestosta. Viime kädessä suorituskyvyn parantuminen riippuu kardiovaskulaarisen järjestelmän adaptaatiokyvystä. Useimmissa standardoiduissa kestävyysharjoitteluohjelmissa terveillä ihmisillä aerobinen suorituskyky nousee 10 – 30 prosenttia maksimaalisella hapenottokyvyllä mitattuna (VO_{2max}). Yleensä lähtötasoltaan heikoimmat henkilöt saavuttavat suhteellisesti suurimmat parannukset. (ACSM 2006, 314; ACSM 2010, 154.)

Harjoitusvasteen kannalta tärkein volyymin osatekijä on harjoittelun intensiteetti (McArdle 2010, 470). Yksiselitteistä optimaalista harjoitteluintensiteettiä parhaan harjoitteluvasteen saavuttamiseksi ei kuitenkaan ole osoitettavissa. Vaadittu intensiteetti näyttää vaihtelevan lähtötason mukaan (Midgley ym. 2006). Vähän harjoitelleilla 40 – 50 % VO_{2max} harjoitteluintensiteetti voi kehittää hapenottokykyä huomattavastikin. Sen sijaan esimerkiksi kestävyysurheilijat tarvitsevat kehittyäkseen huomattavasti korkeampia intensiteettejä. Joidenkin tutkimusten perusteella heille sopiva intensiteetti olisi 70 – 80 % VO_{2max} , kun taas toisten perusteella jopa 95 – 100 % VO_{2max} (Midgley ym. 2006).

Myös harjoitusvasteen kannalta sopivin harjoittelutaajuus on sidoksissa henkilön lähtötasoon. Wenger & Bell (1986) havaitsivat, että kahdesti viikossa toteutettu aerobinen harjoittelu tuotti positiivisen harjoitteluvasteen kestävyyskunnoltaan heikoilla henkilöillä, mutta hapenottokyvyn ylittäessä 50 ml/kg/min vasteeseen vaadittiin vähintään kolmesti viikossa toteutettu harjoittelu. Heikkotasoisilla korkeat harjoittelutaajuudet eivät välttämättä toteudu suurempana harjoitteluvasteena. Useassa tutkimuksessa on havaittu, ettei useampi harjoittelukerta paranna vastetta, etenkin, jos harjoittelun volyyymi pidetään vakiona (McArdle 2010, 475). Muun muassa Fox ym. (1975) ovat havainneet, että 13 viikkoa kestäneessä harjoitteluinterventiossa saavutetussa harjoitteluvasteessa ei ollut eroa olipa harjoittelua toteutettu kaksi, neljä tai viisi kertaa viikossa (kuva 5).



KUVA 5. Harjoitteluvaste eri taajuuksilla harjoitelleilla osallistujaryhmillä Fox ym. vuonna 1975 toteuttamassa tutkimuksessa.

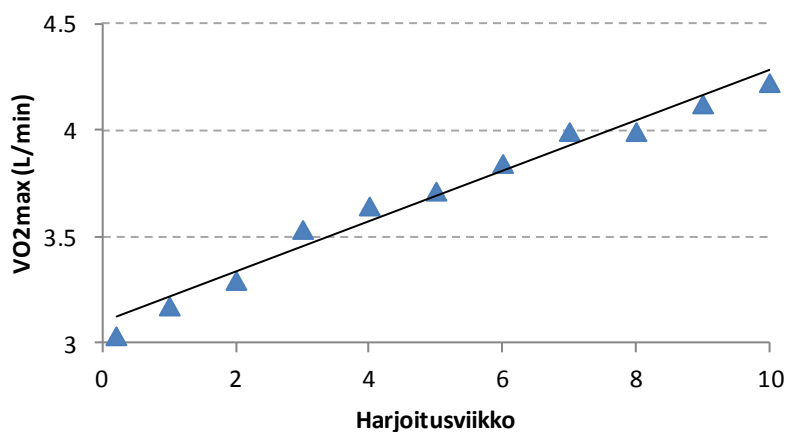
Harjoitteluvolyymin kolmannelle osatekijälle - kestolle - ei ole kynnysarvoa harjoitusvasteen aikaansaamiseksi. Kestävyyskunnoltaan erittäin heikkotasoisilla henkilöillä jopa kolmesta viiteen minuuttiin kestäneiden harjoittelujaksojen on havaittu parantavan aerobista suorituskykyä. Fyysisesti aktiivisilla henkilöillä taas pidempikestoinen harjoittelu ei tuota merkittävää harjoitusvastetta ellei harjoitusintensiiteetti ole riittävän korkea. (McArdle 2010, 471.)

Harjoitteluintensiiteetin merkityksellisempää osuutta keston nähden alleviivaa Swainin (2005) raportoima tutkimus, jossa raskaan intensiteetin harjoittelu (60% - 84%

hapenottokyvyn reservistä, VO_2R) todettiin tehokkaammaksi maksimaalisen hapenottokyvyn kehittäjäksi kuin energiankulutukseltaan yhtä suuri ja kestoaltaan pidempi harjoittelu kevyemmällä intensiteetillä (40% - 50% VO_2R).

3.1.1 Vasteen ilmeneminen

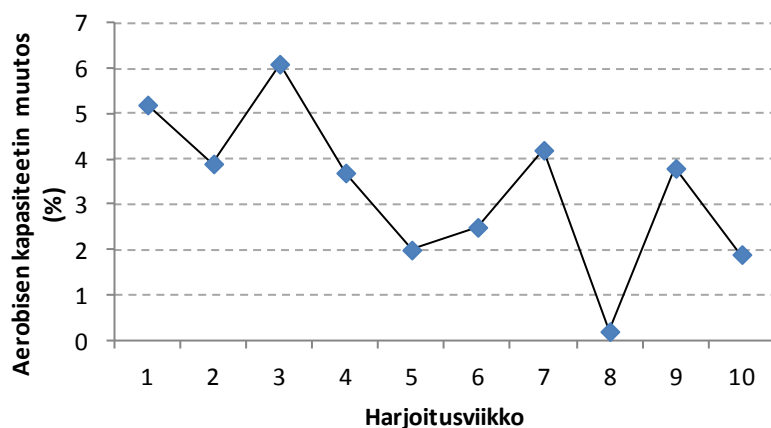
Kestävyyskunnan ja aerobisen kapasiteetin kehittäminen vaatii aikaa. Mitattavissa olevat muutokset ilmenevät tyypillisesti vasta muutamien viikkojen kuluttua harjoitusohjelman aloittamisesta (McArdle 2004, 368). Iäkkäillä kardiovaskulaarinen adaptaatio lisääntyneeseen aktiivisuuteen voi viedä 20 viikkoa tai kauemminkin (Powell ym. 2011). Kehittyminen on lineaarista, jos lähtötaso on matala ja harjoitusohjelma on riittävän vaativa ja progressiivinen (kuva 6). Hickson ym. (1977) havaitsivat maksimaalisen hapenottokyvyn nousevan keskimäärin 0.12 litraa/min viikossa kymmenen viikkoa kestäneen harjoitusohjelman aikana. Tutkimuksen harjoitusohjelma oli raskas. Kahdeksan koehenkilöä teki kolmena päivänä viikossa polkupyöräergometrillä intervalliharjoituksen, jossa tuli polkea kuusi kertaa viisi minuuttia kuormalla, joka vaati täyttä aerobista kapasiteettia. Kuormien välissä koehenkilöt polkivat kahden minuutin ajan 50 - 60 % VO_{2max} intensiteetillä. Lisäksi kolmena muuna viikonpäivänä koehenkilöt juoksivat 40 minuutin aikana niin pitkälle kuin pääsivät.



KUVA 6. Maksimaalisen hapenottokyvyn kehittyminen raskaan harjoitusohjelman aikana (mukailtu Hickson ym. 1977).

Suhteellisesti tarkasteltuna suurin aerobisen kapasiteetin kasvu saadaan harjoitusohjelman alkuvaiheessa ja kehitys hidastuu ohjelman edetessä (kuva 7) (Hickson ym. 1977). Kehityksen ylläpito vaatisi jatkuvaa volyymin ja ylikuormituksen lisäämistä, mikä ei ole

loputtomiin mahdollista. Ennen pitkää myös absoluuttinen kehitys vähenee ja henkilö lähestyy perintötekijöidensä määräämää hapenottokyvyn ylärajaa. (McArdle 2004, 368).



KUVA 7. Aerobisen kapasiteetin suhteellinen kehittyminen harjoitusohjelman aikana (mukailtu Hickson ym. 1977).

Volyymin kasvaessa ja harjoiteltaessa ylikuormituksen ylärajalla levon ja harjoittelun ohjelmoinnin merkitys korostuu. Mikäli kuormitus on kehon vastaanottokykyyn nähden liian suuri, adaptaatio heikkenee eikä toivottua harjoitusvastetta saavuteta. Pahimmillaan vaarana on ylikuormitus ja suorituskyvyn lasku. (Midgley ym. 2006.)

3.2 Harjoitusvasteen yksilöllinen vaihtelu

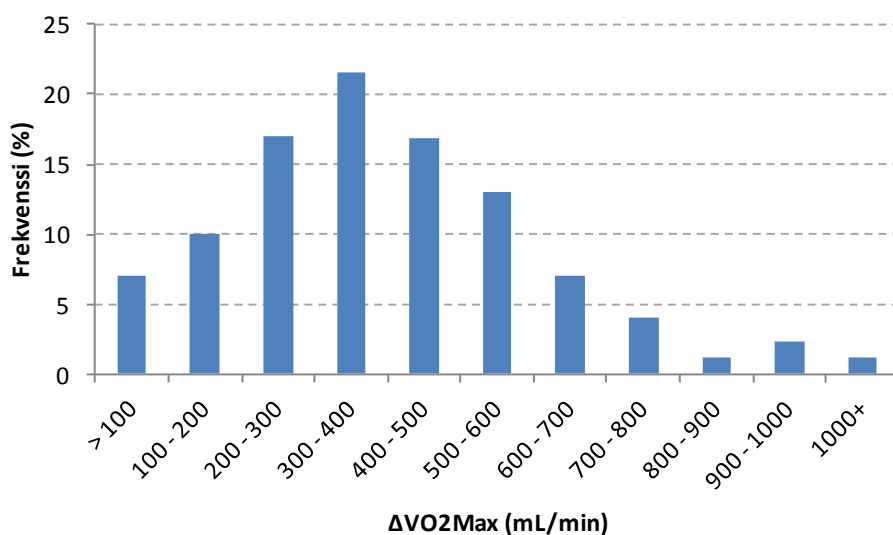
Yksilöt vastaavat fyysiseen harjoitteluun eri tavoin (McArdle 2010, 247). Vasteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat ikä, sukupuoli, terveydentila, ravitsemustila, peruskunto ja elintavat, kuten tupakointi ja fyysisen aktiivisuuden määrä. Lisäksi näiden kaikkien tekijöiden taustalla ovat perimän määräämät fysiologiset tekijät, jotka niin ikään vaikuttavat vasteeseen. Vasteen vaihtelu riippuu myös mitatusta vastemuuttujasta. (Bouchard ym. 1994, 1033.) Esimerkiksi harjoittelun aiheuttama HDL-kolesterolin vaste vaihtelee eri tavoin kuin verenpaineen vaste.

Tarkasteltaessa maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}) useimmissa harjoitus-interventiotutkimuksissa terveillä ihmisillä aerobinen suorituskyky nousee 10 – 30 prosenttia (ACSM 2006, 314). Yksilökohtainen vaihtelu voi kuitenkin olla huomattavasti laajempaa. Hautalan ym. (2009) mukaan useissa julkaistuissa kestävyysharjoitteluinterventioissa yksilötason vaste on vaihdellut lähes muuttumattomuudesta aina 40 prosentin parannukseen. Mitatun hapenottokyvyn on myös havaittu harjoittelusta huolimatta laskevan. Näissä

tapauksissa kysymys lienee yleensä mittaukseen liittyvästä ongelmasta eikä todellisesta fysiologisesta vasteesta, ellei kyse ole hapenottokykyä ylärajalla harjoittelevasta urheilijasta. Taulukossa 1 on esitetty kirjallisuudessa ilmoitettuja hapenottokyvyn vasteita ja sen vaihteluvälejä kestävyyskunnan harjoitteluohjelmissa

Tunnetussa amerikkalaisessa Health, Risk Factors, Exercise Training And Genetics (HERITAGE) perhetutkimuksessa 720 tervettä 17 – 65 vuotiasta henkilöä suorittivat 20 viikon kestävyysharjoitteluohjelman. Keskimääräinen nousu maksimaalisessa hapenottokyvyssä oli 348 ml/min, mikä vastasi 17 prosentin parannusta. Huolimatta identtisestä harjoitteluohjelmasta yksilötasolla nousu vaihteli laajasti. Parannusta ei saattanut ilmetä lainkaan tai se saattoi olla jopa 1 000 ml/min (kuva 8). (Bouchard ym. 2011).

Hautalan ym. (2006) toteuttamassa interventiotutkimuksessa standardoitu kahden viikon kestävyysharjoitteluohjelma tuotti keskimäärin 8 prosentin parannuksen (VO_{2peak}). Yksilötasolla vaste vaihteli välillä -5-22 prosenttia.



KUVA 8. Standardoidun kestävyysharjoitteluohjelman jälkeen havaittu harjoitusvasteen frekvenssijakauma 720 henkilöä käsittäneessä HERITAGE tutkimuksessa (Bouchard ym. 2011).

Harjoitusvasteen yksilöllinen vaihtelu on erityisen voimakasta lasten ja iäkkäiden keskuudessa (McArdle 2004, 364). Kohrtin ym. (1991) tutkimuksessa viisikymmentäkolme 60 – 71 vuotiasta miestä ja viisikymmentäseitsemän saman ikäluokan naista suoritti 9 – 12 kuukauden aerobisen harjoitusohjelman. Koehenkilöt harjoittelivat keskimäärin 3.9 ± 0.6

päivää viikossa ja 45 ± 5 minuuttia päivässä 80 ± 5 prosentin tasolla maksimaalisesta sykkeestä. Keskimääräinen parannus maksimaalisessa hapenottokyvyssä (VO_{2max} , ml/kg/min) oli 24 ± 12 prosenttia, ja parannuksen vaihteluväli oli 0 – 58 prosenttia. Karavirta ym. (2011) raportoivat 21 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun johtaneen 40 – 67 vuotiailla miehillä ja naisilla keskimäärin 9 ja 17 prosentin parannukseen (VO_{2peak}). Yksilökohtainen vaste vaihteli välillä -8-42 prosenttia.

TAULUKKO 1. Kirjallisuudessa ilmoitettuja hapenottokyvyn vasteita ja sen vaihteluvälejä kestävyyskunnan harjoitteluohjelmissa.

Tutkimus	n	Ikä (vuosi)	Sukup.	Kesto (viikkoa)	Vaste		Vaihteluväli
					ΔVO_{2max}	ΔVO_{2peak}	
Bouchard ym. (2001)	720	17 - 65	m, n	20	384 ± 202 ml/min		0 - 1000 ml/min
Dionne ym. (1991)	46	18-30	m	20	510 ml/min		60 - 1003 ml/min
Hautala ym. (2006)	91 (73)	41 ± 1	m, n	2	8 ± 6 %		-5 - 22 %
Hautala ym. (2012)	20	30 ± 3	m	8	6 ± 4 %		1 - 15 %
Karavirta ym. (2011)	175 (53)	40 - 67	m, n	21	9 % (m), 17 % (n)		-8 - 42 %
Kohrt ym. (1991)	110	60 - 71	m, n	39 - 52	24 ± 12 %		0 - 58 %

3.3 Yksilöllisyyden taustatekijät

Aerobisen suorituskyvyn yksilöllisen kehittymisen syyt ovat olleet tutkimusmielenkiinnon kohteena jo pitkään. Ensimmäisen laajemman tarkastelun aiheeseen tekivät Bouchard ja Rankinen vuonna 2001. Taustatekijöiksi on arveltu muun muassa ikää, sukupuolta, etnistä taustaa, peruskuntoa, harjoittelun määrää ja perimää. Tällä hetkellä näistä tärkeimpänä pidetään perimän roolia ja muilla katsotaan olevan vain kohtalainen merkitys, kun vertaillaan peruskunnoltaan ja harjoittelultaan tasavertaisia henkilöitä (Hautala 2012).

3.3.1 Ikä, sukupuoli ja etninen tausta

Harjoitusvasteen yksilöllisen vaihtelun on havaittu olevan erityisen voimakasta lasten ja iäkkäiden keskuudessa (McArdle 2004, 364), joten ikään liittyvät fysiologiset muutokset ovat eräs vaihtelua selittävä tekijä. Lasten osalta kysymys saattaa olla yksilöiden välisistä eroista kehitysvaiheessa. Korkea ikä ei ole este harjoitusvaikutukselle. Aiemmin mainitussa Kohrtin ym. (1991) tutkimuksessa keskimääräinen parannus maksimaalisessa hapenottokyvyssä (VO_{2max}) oli 24 ± 12 prosenttia, mitä tutkijat pitivät saman kokoluokan parannuksena kuin nuorilla aikuisilla, eikä aineiston sisällä nähty yhteyttä iän ja parannuksen välillä. Myöskään

Karavirran ym. (2011) toteuttamassa tutkimuksessa koehenkilön iällä ei todettu olevan suurta merkitystä hapenottokyvyn kehittymiseen.

Fysiologisista eroavaisuuksista johtuen naisten aerobinen kapasiteetti on keskimäärin pienempi kuin miehillä (McArdle 2004, 195). Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä absoluuttiseen harjoitusvasteeseen, mutta suhteellinen parannus on naisilla yleensä hiukan miehiä suurempi (ACSM 2006, 322). Bouchardin ja Rankisen vuonna 2001 julkaisemassa analyysissä HERITAGE tutkimuksesta, jossa 720 tervettä miestä tai naista suoritti 20 viikon kestävyysharjoitteluohjelman, todettiin molempien sukupuolten vasteiden olevan samaa suuruusluokkaa. Myöskään Skinner ym. (2001) eivät samasta aineistosta tekemässään tutkimuksessa löytäneet vasteen ja sukupuolen välille merkitsevää yhteyttä, kun vastetta tarkasteltiin suhteellisena maksimaalisen hapenottokyvyn muutoksena (ΔVO_{2max}). Yhtäläisestä muutoksesta sukupuolten välillä raportoivat myös Hautala ym. (2006).

Puhtaasti iäkkäillä henkilöilläkään toteutetuissa tutkimuksissa sukupuolella ei useinkaan ole nähty olevan merkittävää roolia vasteen muodostumiseen. Kohrt ym. (1991) aineistossa suhteellinen aerobisen kapasiteetin parannus oli molemmilla sukupuolilla keskimäärin yhtä suuri. Karavirran ym. (2011) tutkimuksessa naisilla oli merkitsevästi suurempi suhteellinen parannus suorituskäytössä (ΔVO_{2peak}) kuin miehillä, mutta ero selittyy naisten pienemmällä aloituskapasiteetilla.

Etnisen taustan merkitys maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen on erittäin pieni. Bouchard ja Rankinen (2001) totesivat koehenkilöiden ihonvärin (valkoihoinen tai tummaihoisen) selittävän vasteesta (ΔVO_{2max}) vain alle yhden prosentin. Myöskään Skinner ym. (2001) eivät havainneet merkitsevää eroa etnisten ryhmien välillä.

3.3.2 Perintötekijät

Ajatus perimän sisältämien geneettisten tekijöiden roolista saatiin jo 1980-luvulla toteutetuista kaksostutkimuksista, joissa havaittiin eri ympäristössä kasvaneiden identtisten kaksosten kehittyvän kestävyysharjoitteluohjelmassa yhtenevästi (McArdle 2004, 364; Rankinen & Bouchard 2011). HERITAGE tutkimusaineistossa havaittiin vahva harjoitusvasteen ja sukulaisuussuhteen yhteys Bouchard ym. (1999) toimesta. He totesivat perheiden välisen vaihtelun aerobisen kapasiteetin kehittämisessä olevan 2.5-kertainen perheiden sisäiseen vaihteluun nähden.

Genetiikan ja bioinformatiikan tutkimusmenetelmien kehittymisen myötä perimän sisältämien tekijöiden vaikutusta kestävyyskunnan kehittymiseen on päästy tutkimaan tarkemmin. Timmons ym. (2010) pyrkivät tunnistamaan harjoitusvasteeseen (VO_{2max}) liittyviä genejä kahdessa erillisessä tutkimuksessaan. Ensimmäisessä he tunnistivat 29 geenin transkriptia, jotka yhdistyivät voimakkaasti vasteeseen, ja vahvistivat havainnon toisessa tutkimuksessa. Tutkijoiden mukaan transkriptit eivät lisääntyneet harjoittelun seurauksena, mikä ilmentää vasteherkkyyden synnynnäisyyttä. Tutkijat tarkastelivat myös geenien yksittäisten nukleotidien polymorfiaa (Single-nucleotide Polymorphism, SNP). Yhdistämällä havainnot HERITAGE aineistoon, he pystyivät selittämään yhdentoista nukleotidin muutoksen avulla 23 prosenttia VO_{2max} vasteen vaihtelusta. Hiukan myöhemmin Bouchard ym. (2011) kykenivät vieläkin parempiin tuloksiin tunnistamalla 16 SNP:tä, jotka selittivät 45 prosenttia vaihtelusta.

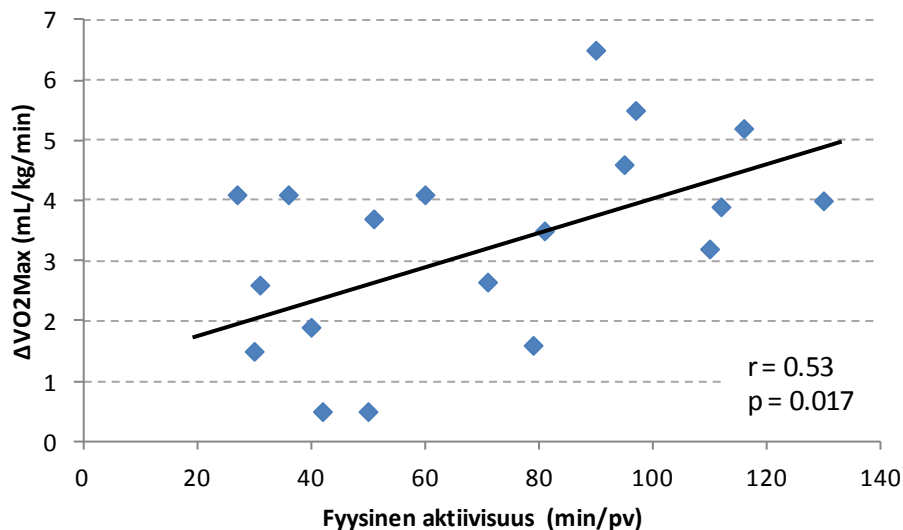
Saadut tulokset sopivat hyvin aiempaan näkemykseen, jossa vasteen suuruuden periytyvyyden arvioitiin olevan noin 50 prosenttia (Bouchard & Rankinen 2001). On kuitenkin huomattava, että kyseisten tutkimusten havaintoja ei ole vielä varmennettu muissa kestävyysharjoitteluinterventiotutkimuksissa (Bouchard 2012).

Epäselvää on mihin hapenottokyvyn fysiologisiin osatekijöihin (kuva 1) perintötekijät vaikuttavat. Royn ym. vuonna 2006 julkaiseman tutkimuksen mukaan geneettiset erot selittyvät erityisesti lihassolujen oksidatiivisella kapasiteetilla. Tutkimuksessa haettiin tekijöitä jotka selittävät hapenottokyvyn eroja 20 Afrikan amerikkalaisen ja 30 Euroopan amerikkalaisen naisen välille, jotka olivat liikuntatottumukseltaan sedentaarisia ja kehonkoostumukseltaan toistensa kaltaisia. Tulokset antoivat ymmärtää, että mitokondriaalinen lihasten oksidatiivinen kapasiteetti ja hapenkuljetuskyky määrittivät suurimman osan etnisten ryhmien välisistä eroista. Perimän sisältämiin vaikutuksiin sisältyvät luultavasti myös autonomisen hermoston säätelyn ja sykevälivaihtelun yhteydet harjoitusvasteeseen, joita on tutkittu Hautalan ym. (2009) ja Boutcherin ja Steinin (1995) toimesta.

3.3.3 Fyysinen aktiivisuus

Kestävyysharjoitteluohjelmaan osallistuvilla harjoittelu vie normaalisti vain pienen osan päivittäisestä ja viikoittaisesta ajasta. Jäljelle jää hyvin suuri aika, jonka viettotavalla saattaa olla merkitystä harjoitusvasteen kehittymisessä. Niinpä normaalin fyysisen aktiivisuuden taajuuden ja intensiteetin merkitys harjoitusadaptaatioon voi olla tärkeä. (Hautala ym. 2012.)

Hautalan ym. (2012) toteuttamassa tutkimuksessa mitattiin objektiivisesti kahden kymmenen 30 ± 3 vuotiaan miehen fyysistä aktiivisuutta kahdeksan viikon kestävyysharjoitteluohjelman ajan. Keskimääräinen kehitys aerobisessa kapasiteetissa (VO_{2max}) oli tyypillinen, 6.3 ± 4.1 prosenttia, kuten myös vasteen vaihteluväli, joka oli $-1.1-15.1$ prosenttia. Tutkijat jakoivat päivittäisen aktiivisuuden kertymät intensiteetti luokkiin ja vertasivat luokkien yhteyttä vasteeseen. He totesivat päivittäisen aktiivisuuden, joka saavuttaa vähintään kevyen tason ($> 15\% VO_{2R}$) korreloivan positiivisesti aerobisen kapasiteetin kehitykseen ($r = 0.53$, $p < 0.05$) (kuva 9). Huomioituaan lisäksi yksilökohtaisen kestävyyskunnan lähtötason he pystyivät selittämään 28 prosenttia vasteen vaihtelusta pelkästään päivittäisen kevyen aktiivisuuden ($15 - 35\% VO_{2R}$) määrällä.



KUVA 9. Vähintään kevyen tason ($> 15\% VO_{2R}$) saavuttavan päivittäisen aktiivisuuden yhteys harjoitteluohjelmassa parantuneeseen aerobiseen kapasiteettiin. (Hautala ym. 2012)

3.3.4 Yhteenveto

Käsittelyn tutkimustiedon perusteella iällä, sukupuolella ja etnisellä taustalla ei ole merkittävää roolia harjoitusvasteen yksilökohtaiseen vaihteluun. Perimän rooli vaikuttaa nykytiedon valossa vahvalta. Tarkkoja mekanismeja ei kuitenkaan vielä riittävästi tunneta. Vaikuttaa siltä, että myös harjoittelun ulkopuolisella fyysisellä aktiivisuudella eli käytännössä liikuntatottumuksilla on yhteys harjoitusvasteeseen ja siten aerobisen järjestelmän adaptaatioon. Lienee myös mahdollista, että perimällä ja liikuntatottumuksilla on vuorovaikutus, eli ne eivät ole välttämättä täysin erillisiä selitystekijöitä.

Ympäristön ja ravitsemuksen vaikutuksista harjoitusvasteeseen ei löytynyt tutkimustietoa. Mainittujen kaksostutkimusten perusteella voidaan olettaa, että perimän vaikutukset peittoavat ympäristön vaikutukset. Ravitsemuksella ja ruokailutottumuksilla voi arvella olevan jonkinlainen vaikutus harjoitusvasteeseen, mutta luultavasti tilanteessa, jossa ravinnosta saadaan riittävästi energiaa harjoitusohjelman läpi vientiin, vaikutus ei ole merkittävän suuri.

Mainitut taustatekijät summautuvat henkilön aerobiseksi kapasiteetiksi. Kestävyysharjoitteluinterventioissa aerobisen kapasiteetin lähtötasolla on yhteys odotettavissa olevaan parannuksen määrään siten, että matalan kapasiteetin henkilöillä parannus on yleensä suhteellisesti suurin. Vaikutus yksilötason vaihteluun kuitenkin häviää kun verrataan samalta lähtötasolta aloittavien henkilöiden harjoitusvasteen kehittymistä (Bassett & Howley 1999).

4 FYYSINEN AKTIIVISUUS

4.1 Yleistä

Fyysisellä aktiivisuudella tarkoitetaan lihasten tahdonalaisen toiminnan aiheuttamaa kehon liikettä, joka nostaa energiankulutuksen selvästi yli lepotason (ACSM 2010, 2). Määrittelyn näkökulma on fysiologinen ja se kattaa laajemman kokonaisuuden ihmisen toimintaa kuin liikunta, johon liittyy ajatus harrastamisesta ja usein tavoite jonkin fyysisen ominaisuuden kehittämiseksi. Arjen fyysinen kokonaisaktiivisuus vaikuttaa henkilön elimistön tilaan, terveyteen ja kestävyyskuntoon. Matala aktiivisuus johtaa helposti positiiviseen energiatalouteen ja lihomiseen sekä sen terveydelle haitallisiin seurannaisvaikutuksiin. (Vuori ym. 2010, 426.)

Fyysisellä aktiivisuudella saattaa olla oma kestävyyskunnosta erillinen yhteys ihmisen terveyteen ja terveysriskeihin. Ekblom-Bak ym. (2010) havaitsivat korkean fyysisen aktiivisuuden yhdistyvän mataliin rasva-arvoihin ja kolesterolitasoihin kardiovaskulaarisesta kunnosta riippumatta. Korkea fyysinen aktiivisuus yhdistyi mataliin rasva-arvoihin ja kolesterolitasoihin riippumatta kardiovaskulaarisesta kuntotasosta. Lisäksi korkea kuntotaso yhdistyi mataliin riskiarvoihin kaikissa mitatuissa tekijöissä riippumatta fyysisestä aktiivisuudesta. Tutkijoiden mukaan jopa pieni nousu fyysisessä aktiivisuudessa, joka ei aiheuta parannusta kardiovaskulaarisessa kunnossa assosioituu madaltuneeseen sydän- ja verisuonitautien riskiin.

Intensiivisellä liikunnalla ja harjoittelulla ei ole suurta merkitystä fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärään. Finni ym. (2014) tutkivat objektiivisin menetelmin liikuntaharjoittelun ilmenemistä reisilihasten päivittäisessä kokonaisaktiivisuudessa. He totesivat, ettei päivittäinen inaktiivisuus aika kerro intensiivisen liikunnan ja harjoittelun määrästä. Toisin sanoen istumatyötä tekevä ja intensiivistä liikuntaa harrastava henkilöä voidaan kokonaisuutta tarkasteltaessa pitää inaktiivisena henkilönä, vaikka hän harjoittelullaan pystyisikin ylläpitämään hyvää kestävyyskuntoa.

Fyysinen aktiivisuus voi käsittää toimintaa laajalla intensiteettiskaalalla. Toiminta voi olla pitkäaikaista ja vain hiukan energiankulutusta lisäävää, lyhytaikaista ja runsaasti energiaa kuluttavaa tai kaikkea näiden ääripäiden väliltä. Skaalan laajuus asettaa vaatimuksia keinoille, joilla fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä tarkastellaan. Aktiivisuutta on tarkasteltu

vertaamalla intensiteettiä maksimaaliseen hapenottookykyyn (VO_{2max}) tai maksimaaliseen sydämen sykkeeseen (HR_{max}), arvioimalla hapenkulutusreserviä (VO_2R) tai sydämen sykkeen reserviä (HRR) ja laskemalla energiankulutuksen metabolinen ekvivalentti (MET). (ACSM 2010, 2-3.)

4.2 Aktiivisuuden arviointi

Fyysistä aktiivisuutta arvioitaessa tarkastellaan aktiivisuuden määrää, toistuvuutta ja kuormittavuutta. Tarkastelu perustuu yleisimmin MET-lukujen (Metabolic Equivalent of Task) käyttöön. MET-luvut ilmaisevat aktiivisuuden intensiteettiä energiankulutuksen suhteena perusaineenvaihdunnan (BMR, Basal Metabolic Rate) tasoon. Aktiivisuus, jonka kuormittavuus on 5 MET yksikköä, tarkoittaa liikuntaa, jonka aikana energiaa kulutetaan viisinkertaisesti lepotilaan nähden. Fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärä saadaan kuormittavuuden ja aktiivisuusajan tulona, jolloin laskentayksiköksi saadaan MET min tai MET h. Arvio aktiivisuuden energiankulutuksesta saadaan hyödyntämällä tietoa tai arviota perusaineenvaihdunnan tasosta (kcal/h). (Vuori ym. 2010. 78-82)

Arviointimenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään; subjektiivisiin, omaan arvioon perustuviin menetelmiin ja objektiivisiin, erilaisiin mittalaitteisiin perustuviin menetelmiin. Subjektiivisissä menetelmissä tutkittavan fyysistä aktiivisuutta selvitetään kyselyiden ja haastattelujen avulla tai henkilö pitää päiväkirjaa liikkumisestaan. Mittalaitteisiin perustuvassa lähestymistavassa hyödynnetään yleisimmin sykemittaria tai kiihtyvyyssanturia, joka havainnoi käveltyjä askelia tai kehon tai raajan liikettä. Sekä subjektiivisissä että objektiivisissä menetelmissä on omat etunsa ja rajoituksensa. Laitteeseen perustuva mittaus ei takaa tarkkaa arviota. Siinä tutkittavan oma näkemys aktiivisuudestaan ei kuitenkaan vaikuta tulokseen. (ACSM 2006, 136-143.)

American College of Sport Medicine organisaation ohjeistuksen mukaan luotettavin ja tarkin fyysisen aktiivisuuden arviointi saavutetaan yhdistämällä sekä subjektiivisia että objektiivisiä menetelmiä (ACSM 2006, 143). Powell ym (2011) käsittelee julkaisussaan mittausmenetelmien heikkouksia ja suosittelee suhtautumaan laitteiden antamiin mittaustuloksiin varauksellisesti sekä niin ikään yhdistämään laitteisiin ja itse arvioon perustuvia mittaustapoja.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa kestävyyskunnan yksilölliseen kehitykseen liittyviä tekijöitä kolmessa kestävyysharjoitteluinterventiossa. Tarkastelussa pyrittiin selvittämään erityisesti yleisen fyysisen aktiivisuuden, levon määrän ja harjoitteluohjelman palautusjaksoihin sitoutumisen yhteyttä kehitykseen. Opinnäytetyön aineistona oli kolmessa eri tutkimuksessa kerätyt aineistot. Harjoitteluinterventioiden toteuttaminen ja osallistujien mittaaminen ei kuulunut tähän pro gradu työhön.

Tutkimushypoteesit:

1. Henkilön kestävyyskunnan perustasolla on yhteys saavutettavaan kehitykseen.

Laajassa HERITAGE tutkimuksessa iän, sukupuolen, etnisen taustan ja kestävyyskunnan perustason arvioitiin määrittävän yhteensä noin 11 prosenttia kehityksen vaihtelusta 20 viikon harjoitteluinterventiossa (Skinner et al. 2001). Tutkimuksen 633 osallistujan keskimääräinen perustaso oli matala ($31.8 \pm 8.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Aineistossa, joka sisältää kestävyyskunnoltaan sekä heikkoja että korkeatasoisia henkilöitä perustason vaikutus nousee oletettavasti korkeammaksi.

2. Harjoittelun kokonaismäärällä on yhteys kestävyyskunnan kehitykseen.

Kirjallisuuden mukaan tärkein kestävyyskunnan kehitystä määrittelevä tekijä on harjoittelun kokonaismäärä, joka voidaan jakaa keston, intensiteettiin ja taajuuteen (ACSM 2010, 154). Henkilöiden, jotka harjoittelivat pitkään ja toistuvasti korkealla intensiteetillä odotettiin saavuttavan suurimman vasteen.

3. Painonmuutoksella on yhteys havaittuun kestävyyskunnan kehitykseen.

Tarkasteltaessa kestävyyskuntoa henkilön painoon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn avulla, voidaan painonmuutoksen vaikutusta kestävyyskuntoon pitää ilmeisenä. Intervention aikana vähentynyt kehon paino tuottaa suuremman hapenottokyvyn arvon ilman, että elimistön absoluuttisessa hapenkulutuksessa tapahtuu kehitystä. Muun muassa Berg et al. (1995) havaitsivat, että seitsemällä nuorella naisiihtäjällä yhden vuoden kestäneestä harjoittelu- ja kilpailuohjelmasta seurannutta suorituskykyparannusta selitti parhaiten kehon rasvan vähentyminen. Painonmuutoksen ei kuitenkaan voi olettaa yksin selittävän kestävyyskunnan kehitystä. Esimerkiksi aiemmin esillä olleessa HERITAGE tutkimuksessa havaittu

keskimääräinen hapenottokyvyn parannus oli suhteellisesti paljon suurempi kuin painonmuutos (Skinner et al. 2001).

4. Harjoittelun ulkopuolisella fyysisellä aktiivisuudella on yhteys kestävyyskunnan kehitykseen.

Hautala ym. (2012) esittivät ajatuksen, että yleinen fyysinen aktiivisuus yhdessä progressiivisen kestävyysharjoittelun kanssa vaikuttaa erilaisen harjoitusvasteen syntymiseen yksilöiden välillä. He havaitsivat merkitsevän yhteyden harjoittelun ulkopuolisen kevyen fyysisen aktiivisuuden (15 – 35 % VO₂R) määrän ja kestävyyskunnan kehityksen välillä ($r = 0.53$, $p < 0.05$) liikunnallisesti aktiivisia miehiä sisältäneessä harjoitteluinterventiossa. Tässä tutkimuksessa yleisen fyysisen aktiivisuuden vaikutusta haluttiin tarkastella tiheämmällä intensiteettiskaalalla ja myös harjoittelukuormitukseltaan raskaammissa aineistoissa.

5. Levon määrällä on yhteys kestävyyskunnan kehitykseen.

Harjoittelusta palautuminen ja kehon sopeutuminen kuormitukseen vaatii lepoa. Riittävä lepo on erityisen tärkeää kilpaurheilijoille. Hyvin palautunut urheilija voi kestää suurempia harjoitusmääriä ja toteuttaa laadukkaampia harjoitteita, mikä todennäköisesti tukee suorituskyvyn parantumista (Bartnett, 2006). Tässä yhteydessä hypoteesi ei keskittynyt ainoastaan harjoittelun jälkeiseen levon määrään, vaan se käsitteli laajemmin tutkimushenkilöiden lepomäärää koko intervention aikana, johon elintavoilla on luultavasti merkittävä vaikutus. Levolla tarkoitettiin < 1 MET aktiivisuutta kiihtyvyyssanturilla mitattuna.

6. Palautusjaksoihin sitoutumisella on yhteys kestävyyskunnan kehitykseen.

Levon määrän tarkastelun lisäksi oletettiin, että säännöllinen vuorokautinen leporytmi, joka ilmenee vähäisenä yöaikaisena aktiivisuutena ja periodisoidussa harjoitteluohjelmassa selvänä levon lisääntymisenä palautusjaksojen aikana, vaikuttaa positiivisesti kestävyyskunnan kehitykseen.

6 MENETELMÄT

6.1 Aineistot

Tutkimus käsitteli kolmea lähtökohdiltaan erilaista kestävyysharjoitteluinterventioaineistoa. Aineistot edustivat 1) fyysisesti aktiivisia työikäisiä miehiä (AKTIIVIT), 2) peruskoulutuskautta suorittavia varusmiehiä (VARUSMIEHET) ja 3) lähes ammattimaisia urheilijoita (URHEILIJAT).

Mittaustavat olivat aineistoissa yhtenäiset. Osallistujien pituus, paino ja aerobinen suorituskyky mitattiin ennen interventiota ja sen jälkeen. Tavanomaista fyysistä aktiivisuutta mitattiin vuorokauden ympäri käyttäen ranteessa pidettävää kiihtyvyyssanturiin perustuvaa aktiivisuusmittaria (Polar Active™, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Harjoittelun aikana osallistujat käyttivät sykemittaria (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) syketiedon tallentamiseksi. Kaikki kolme tutkimusta olivat paikallisten eettisten komiteoiden hyväksymiä, ja osallistujat antoivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta.

6.1.1 AKTIIVIT

Aineistossa AKTIIVIT kaksikymmentä fyysisesti aktiivista työikäistä miestä toteutti kahdeksan viikkoa kestäneen liikuntaintervention. Osallistujien terveys- ja harjoitteluhistoria selvitettiin haastattelemalla. Osallistujiksi valikoitiin tupakoimattomia, painoindeksiltään alle $32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, terveydentilaltaan normaaleja ja viime kuukausien aikana säännöllisesti yli kolme kertaa viikossa fyysisesti harjoitelleita henkilöitä. Liikuntainterventio oli progressiivinen ja sykeohjattu. Se koostui neljästä kuuteen harjoituksesta viikossa (kolmesta kymmeneen tuntia viikossa), jotka toteutettiin intensiteetillä 80 – 90 prosenttia tai yli 90 prosenttia aerobisen kynnnyksen sykkeestä. Harjoittelutapana oli hölkkä tai juoksu. Tarkempi kuvaus interventiosta löytyy Hautalan ym. (2012) julkaisusta.

Osallistujien kestävyyskunto ennen interventiota ja sen jälkeen määritettiin suoralla maksimaalisella hapenottookykytestillä. Testi suoritettiin juoksumatolla aloittaen nopeudesta $8.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ja nostaen kuormitusta $1.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ minuutin välein uupumukseen saakka. Suorituksen aikana ventilaatiota ja hengityskaasujen vaihtoa mitattiin M909 ergospirometrilla (Medikro, Kuopio, Suomi). Kestävyyskunnan tasoa kuvaavaksi $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvoksi luettiin korkein havaittu hapenkulutuksen minuuttikeskiarvo. Vaikkei kaikkien osallistujien

tapauksessa pystytty todentamaan hapenkulutuksen tasaantumista ennen suorituksen päättymistä, katsottiin kaikkien osallistujien täyttäneen kirjallisuudessa esitetyt suorituksen maksimaalisuuskriteerit (hengitysosamäärä > 1.1 ja huippusyke 10 lyönnin sisällä iän perusteella arvioidusta maksimisykkeestä).

Osallistujien fyysistä aktiivisuutta mitattiin 24 tuntia vuorokaudessa ranteessa pidettävällä Polar ActiveTM (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) aktiivisuusmittarin prototyypillä. Laite perustuu 1-D -kiihtyvyyssanturiin. Mitatusta anturitiedosta laitevalmistaja arvioi fyysisen aktiivisuuden intensiteetin MET-arvoina puolen minuutin resoluutiolla. Harjoittelun aikainen syketieto tallennettiin Polar RS800 sykemittarilla (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi).

6.1.2 VARUSMIEHET

Aineistossa VARUSMIEHET oli seurattu Kainuun prikaatin varusmiehiä kahdeksan viikkoa (55 päivää) kestäneen peruskoulutuskauden ajan. Alkuperäiseen tutkimukseen (Tanskanen ym. 2011) osallistui 57 varusmiestä, jotka oli satunnaisesti valittu 84 terveydentilaltaan kelpokkaan vapaaehtoisen joukosta. Tähän pro gradu -työhön saatiin 34 peruskoulutuskauden läpäisseen varusmiehen mittaustiedot.

Varusmiesaineisto eroaa muista tässä tutkimuksessa käytetyistä aineistoista siinä, että harjoitteluintensiteettiä ei oltu suhteutettu yksilön lähtötasoon. Armeijan peruskoulutus on sama kaikille varusmiehille ja sen aiheuttamassa fyysisessä kuormituksessa ei periaatteessa ole eroja yksilöiden välillä. Voidaankin olettaa, että kestävyyskunnoltaan heikompiin varusmiehiin kohdistuu suhteellisesti suurempi fysiologinen kuormitus ja harjoitusvaikutus kuin kunnoltaan hyvätasoisiin varusmiehiin.

Peruskoulutuskausi sisältää runsaasti ohjattua ja pakollista liikuntaa, kuten marsseja, taisteluharjoituksia ja urheilua. Kahden ensimmäisen viikon ajan harjoittelua on keskimäärin 2 tuntia päivässä, jonka jälkeen määrä nousee 3-4 tuntiin päivässä. Marsseilla varusmiehet kantavat mukanaan noin 20 kg painavaa taisteluväriä. Harjoittelua tapahtuu myös maastossa ja yöaikaan. Peruskoulutuskauden aikana varusmiehet suorittivat neljä pidempää, kahdesta kahdeksaan tuntiin kestänyttä marssia. Lisätietoja liikuntainterventiosta on saatavilla julkaisuista Tanskanen ym. (2009) ja Tanskanen ym. (2011).

Tutkimukseen valittujen varusmiesten kestävyyskunnan taso (VO_{2max} , $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) määritettiin suoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä kolmesti peruskoulutuskauden

aikana (viikoilla 1, 5 ja 8). Testilaitteena käytettiin juoksumattoa. Testiprotokollassa osallistujat lämmittelivät kolme minuuttia kävelemällä $4.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nopeudella ja hölkkäämällä $6.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nopeudella (mattokulma 1%). Testin aloitusnopeus oli $4.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Kuormitusta nostettiin kolmen minuutin välein lisäämällä mattonopeutta keskimäärin $1.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ja mattokulmaa yhdellä asteella, mikä yhdessä vastasi $6.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ teoreettisen hapenkulutuksen lisäystä. Testi suoritettiin uupumukseen saakka. Ventilaatiota ja hengityskaasujen vaihtoa mitattiin jatkuvatoimisella hengityskaasuanalysointilaitteella (Jaeger Oxygen Pro, VIASYS Healthcare GmbH, Hoechst, Saksa) jokaisesta hengitysyksiköstä (breath-by-breath). Kestävyyuskunnan tasoa kuvaavaksi $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvoksi luettiin korkein havaittu hapenkulutuksen minuuttikeskiarvo. Lisäksi testattavilta mitattiin suorituksen aikainen sydämen syke viiden sekunnin resoluutiolla (Polar 810i, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) ja suorituksen päätteeksi laktaattiarvo sormenpääverenäytteestä (LactatePro, Arkray, Japani).

Varusmiesten fyysistä aktiivisuutta pyrittiin mittaamaan 24 tuntia vuorokaudessa ranteessa pidettävällä Polar ActiveTM (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) aktiivisuusmittarin prototyypillä. Laitteen tallennuskapasiteetti oli 24 tuntia, joten varusmiesten oli siirrettävä tallenne tietokoneelle joka päivä. Siirron aikana aktiivisuuden mittaus ei ollut mahdollista, minkä vuoksi jokaisesta vuorokausitallenteesta puuttui mittausta vähintään aineiston siirron vaatiman ajan verran. Varusmiehet käyttivät mittalaitteita vain palveluksen aikana, joten aineistossa ei ole tietoa viikonloppuvapaalla tapahtuneesta fyysisestä aktiivisuudesta. Kerätystä anturitiedosta laitevalmistaja arvioi fyysisen aktiivisuuden intensiteetin MET-arvoina minuutin resoluutiolla. Syketietoa tallennettiin jatkuvatoimisesti sekä harjoittelun että sen ulkopuoliselta ajalta sykemittarilla (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi).

6.1.3 URHEILIJAT

Aineistossa URHEILIJAT mitattiin kuuden mies- ja kuuden naisampumahiihtäjän harjoittelua ja fyysistä aktiivisuutta yhteisellä peruskuntokaudella sijoittuneella harjoitusleirillä. He toteuttivat noin kaksitoista viikkoa (78 päivää) kestäneen periodisoidun kestävyysharjoitteluohjelman, joka sisälsi kaksi kevyempää 18 ja 23 päivää kestänyttä harjoittelujaksoa, kaksi raskaampaa 10 päivää kestänyttä harjoittelujaksoa ja 4-5 päivän palautusjakson jokaisen harjoittelujakson päätteeksi. Harjoittelutavat vaihtelivat ohjelman

aikana sisältäen muun muassa juoksua ja rullahiihtoa. Harjoittelun intensiteettiä ohjattiin yksilökohtaisesti tavoitesykkeen perusteella.

Harjoitusleirille osallistuneiden urheilijoiden kestävyyskunnan taso mitattiin suoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä ennen harjoitteluohjelman aloitusta. Harjoitusohjelman aikana osallistujien kehitystä seurattiin submaksimaalisilla suorituskykytesteillä. Kahdentoista harjoitteluviikon jälkeen kestävyyskunnan taso määritettiin jälleen suoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä. Hapenottokykytestit suoritettiin juoksumatolla. Juoksusuorituskykyä kuvattiin aineistossa Polar-juoksuindeksillä, joka kertoo juoksun tehokkuudesta. Indeksiperustuu syke- ja nopeustietojen mittaamiseen suorituksen aikana (Polar 2015).

Urheilijoiden päivittäistä fyysistä aktiivisuutta mitattiin ranteessa pidettävällä Polar Active™ (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) aktiivisuusmittarilla. Osallistujia ohjeistettiin käyttämään laitetta 24 tuntia vuorokaudessa. Mitatusta anturitiedosta laitevalmistaja arvioi fyysisen aktiivisuuden intensiteetin MET-arvoina puolen minuutin resoluutiolla. Harjoittelun aikainen syketieto tallennettiin sykemittarilla (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi).

6.1.4 Aineistojen esikäsittely

Kaikkien kolmen tutkimusaineiston aktiivisuusmittausten kattavuus ja suorituskykymittausten luotettavuus tarkastettiin. Mikäli henkilöltä puuttui yhtenäinen yli 7 päivän mittausjakso, hänet poistettiin aineistosta. Maksimihapenottokykytestien maksimaalisuuskriteerien täytyminen varmistettiin AKTIIVIT- ja VARUSMIEHET-aineistojen osallistujilta. Kriteereissä vaadittiin 1) sykkeen olevan vähintään 10 lyönnin sisällä testattavan iän perusteella arvioidusta maksimista, 2) hengitysosamäärä $RER > 1.1$, 3) testin jälkeinen veren laktaattiarvo $8-15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, jos arvo oli mitattu ja 4) korkea (> 17) kuormittavuuden kokemusta mittaava Borgin RPE-arvo, jos arvoa oli tiedusteltu. Kriteerejä täyttämättömät henkilöt poistettiin aineistosta. Tarkastelun jälkeen AKTIIVIT-aineistoon jäi 19, VARUSMIEHET-aineistoon 26 ja URHEILIJAT-aineistoon 12 tutkimushenkilöä.

Aineistojen minuuttiresoluution kiihtyvyyden- ja sykemittauksista laadittiin päiväkohtainen aktiivisuustieto, jossa aktiivisuus ilmoitettiin minuuttimäärinä absoluuttisissa (MET) ja suhteellisissa (VO_2R) intensiteetti-alueissa. Päivän vaihtuminen määriteltiin oletetun keskimääräisen vuorokausirytmien mukaan, AKTIIVIT- ja URHEILIJAT-aineistoissa vuorokausi vaihtui klo 23 ja VARUSMIEHET-aineistossa klo 22. Vastaavasti yöajaksi

katsottiin aikavälit klo 23-07 ja klo 22-06. Absoluuttisten intensiteettien luokkarajat määriteltiin seuraavasti: < 1 MET (nukkuminen), 1-2 MET (istuminen), 2-3 MET (seisominen), 3-4 MET (kevyesti rasittava liikunta), 4-7 MET (kohtalaisesti rasittava liikunta) ja ≥ 7 MET (voimakkaasti rasittava liikunta), luokkarajan kuuluessa ylempään luokkaan. Suhteelliset intensiteettiluokat kuvasivat fyysisen aktiivisuuden aikana jäljellä olevaa hapenottokyvyn reserviä (VO_2R). Arvot laskettiin vähentämällä minuuttikohtaisista absoluutti-intensiteettiarvoista 1 MET ja suhteuttamalla jäljelle jäänyt MET-lukema maksimaaliseen aerobiseen kapasiteettiin. Päivittäinen maksimaalinen kapasiteetti arvioitiin intervention kuntotestauskertojen välille linearisoimalla. Maksimaaliseen aerobiseen kapasiteettiin suhteutettu fyysisen suorituksen intensiteetti kuvaa yksilökohtaista rasitusta ja harjoitusvaikutusta absoluuttisia intensiteettiluokkia paremmin (Howley, 2001). Suhteelliset VO_2R -luokat määritettiin aineistoista 10 prosentin välein (0 – 10 % VO_2R ... 90 – 100 % VO_2R).

Absoluuttiset ja suhteelliset päivittäiset fyysiset aktiivisuudet laskettiin aineistoihin erikseen harjoittelun ajalta ja harjoittelun ulkopuoliselta ajalta. Lisäksi aineistoissa ilmoitettiin summattu kokonaisaktiivisuus. Harjoitteluajan määrittely toteutettiin eri tavoin riippuen aineistosta ja sykemittauksen saatavuudesta. AKTIIVIT- ja URHEILIJAT-aineistoissa harjoittelu-aika oli yksiselitteisesti aika, jolloin tutkimukseen osallistuja käytti sykemittaria. VARUSMIEHET-aineistossa määrittely oli harjoittelun ulkopuolelle ulottuvien sykemittausten vuoksi monimutkaisempi. Jos sekä syke- että aktiivisuusmittaus olivat saatavilla harjoitteluajaksi määräytyi mittausaika, jossa toteutuvat seuraavat ehdot:

1. Sykkeen perusteella arvioidun intensiteetin kymmenen minuutin keskiarvo on yli 3.5 MET ja aktiivisuusmittauksen perusteella arvioitu kymmenen minuutin keskiarvo on yli 2 MET.
2. Sykkeen perusteella arvioidun intensiteetin minuuttikeskiarvo on yli 1.2 MET.

Ehto 2. tarkoittaa arvion minuuttitasolle ja poistaa harjoittelun sisältämät lepoaika. Mikäli vain syketieto oli saatavilla, harjoittelu-aika määräytyi samoin ehdoin lukuun ottamatta aktiivisuusmittausten keskiarvoa.

Mittaustietojen perusteella arvioitiin vuorokauden energiankulutus ja fyysisen aktiivisuuden taso (PAL, Physical Activity Level) erikseen kunkin vuorokauden päivä- ja yöajalle. Energiankulutustiedon lähteenä käytettiin ensisijaisesti sykemittausta, jos syketieto oli

saatavilla. Muussa tapauksessa lähteenä oli aktiivisuusmittaus. Mittauksista tuotetut energiankulutusarviot perustuvat laitevalmistajan (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) kehittämiin algoritmeihin. PAL-arvo määritettiin jakamalla saatu energiankulutus perusaineenvaihdunnan tasolla (BMR, Basal Metabolic Rate). Yksilökohtainen perusaineenvaihdunnan taso estimoitiin Schofieldin yhtälöillä (Schofield, 1985). Schofieldin yhtälöt määrittelevät keskimääräisen perusaineenvaihdunnan (KJ/pv) tietyn ikäiselle ja painoiselle miehelle tai naiselle. Yhtälöt perustuvat empiirisiin tutkimuksiin. Esimerkiksi 30 – 60 vuotiaalle miehelle yhtälö on $BMR = 74 * W + 3653$, missä W on henkilön paino.

Päiväkohtaisista aineistoista laskettiin omatekoisten Matlab-skriptien (Mathworks Inc., Natick, USA) avulla seuraavia tunnuslukuja, joilla pyrittiin kuvaamaan kestävyysharjoitteluintervention yksilökohtaista toteutusta:

- harjoittelun kokonaismäärä intervention aikana absoluuttisissa ja suhteellisissa intensiteetti-tiluokissa (min), esimerkiksi $T_{\Sigma 4-7 \text{ MET}} = 1\ 636$ minuuttia ja $T_{\Sigma 90-100\% \text{ VO}_{2R}} = 242$ minuuttia.
- fyysisen aktiivisuuden toistuvuus intervention aikana (krt)
- viikoittaisten harjoittelu- ja aktiivisuusmäärien keskiarvo intensiteetti-tiluokittain (min)
- viikoittaisten harjoittelu- ja aktiivisuusmäärien muutos intervention aikana ($\Delta \text{min} \cdot \text{viikko}^{-1}$)
- absoluuttisten aktiivisuusmäärien (min) suhteet ja niiden muutos intervention aikana, esimerkiksi $T_{\Sigma > 2 \text{ MET}} / T_{\Sigma 1-2 \text{ MET}} = 0.31$.

Viikolla tarkoitetaan tässä yhteydessä seitsemän päivän jaksoa, ei kalenteriviikkoa. Harjoittelun kokonaismäärää lukuun ottamatta tunnusluvut laskettiin vain niiden päivien osalta, joiden mittaustiedon katsottiin olevan riittävän kattavaa. Raja-arvona käytettiin 660 minuuttia vuorokaudessa. Muutosta kuvaavana tunnuslukuna käytettiin pienimmän neliösumman menetelmällä sovitetun suoran kulmakerrointa.

Fyysisen aktiivisuuden toistuvuutta arvioitiin interventiossa havaittujen päivien lukumäärinä seuraaville ehdoille 1) päivän aikana alle 120 minuuttia kevyttä, kohtuullista tai voimakasta aktiivisuutta, 2) päivän aikana yli 30 minuuttia kestänyt kohtuullinen tai voimakas aktiivisuus, 3) päivän aikana yli 60 minuuttia kestänyt kohtuullinen tai voimakas aktiivisuus, 4) päivän aikana yli 90 minuuttia kestänyt kohtuullinen tai voimakas aktiivisuus, 5) päivän aikana yli 30

minuuttia kestänyt voimakas aktiivisuus, 6) päivän aikana yli 60 min kestänyt voimakas aktiivisuus ja 7) päivän aikana yli 90 min kestänyt voimakas aktiivisuus.

Harjoittelun ja fyysisen aktiivisuuden keskimääräistä muutosta intervention aikana pyrittiin hahmottamaan sovittamalla viikoittaisiin harjoittelu- ja aktiivisuusmääriin suora ja käyttämällä suoran kulmakerrointa muutoksen tunnuslukuna. Suoran sovitus tehtiin painotettua pienimmän neliösumman menetelmää hyödyntävän Robust-regression (Mathworks, 2012) avulla. Interventioiden viimeinen viikko jätettiin sovitukselta pois, sillä usein aktiivisuuksien kokonaismäärä viimeisellä viikolla oli tavanomaista pienempi puuttuvien mittauspäivien vuoksi.

Tutkimushenkilöiden elämäntavoista ajateltiin saatavan lisätietoa absoluuttisten aktiivisuusmäärien suhteilla ja niiden kehityksellä intervention aikana. Aineistoista laskettiin yksilökohtaisesti keskimääräinen viikoittaisen aktiivisen liikkumisen ja istumisen suhde, aktiivisen liikkumisen ja levon suhde, kohtalaisen tai voimakkaan aktiivisuuden ja kevyen aktiivisuuden suhde sekä näiden muutos aiemmin kuvatun painotetun lineaarisen sovituksen avulla. Absoluuttisten luokkien tyypittely perustuu aktiivisuuden intensiteettiin, joten esimerkiksi päivittäinen istumismäärä on vain arvio todellisuudesta. Aktiiviseksi liikkumiseksi katsottiin seisominen sekä kevyesti, kohtalaisesti ja voimakkaasti rasittava liikunta. Levoksi katsottiin nukkuminen ja istuminen.

URHEILIJAT-aineiston voimakkaan periodisen luonteen vuoksi mainitut tunnusluvut määritettiin koko interventioajan lisäksi myös erikseen harjoittelu- ja palautusjaksoille.

6.2 Tilastolliset analyysimenetelmät

Korrelaatiotarkastelu. Aineistojen muuttujien välisiä lineaarisia yhteyksiä selvitettiin korrelaatiotarkastelulla. Korrelaation tunnuslukuna käytettiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerrointa (r). Saaduille korrelaatiokertoimille laskettiin tilastollinen merkitsevyystaso (p -arvo) testaamalla nollahypoteesi (ei korrelaatiota) vaihtoehtoista kaksisuuntaista hypoteesia (korrelaatiokerroin ei ole nolla) vastaan. Lisäksi korrelaation perusteella ilmoitettiin selitysaste (R^2). Joissain tapauksissa kahden tunnusluvun välisestä riippuvuudesta haluttiin poistaa kolmannen yhteisen tekijän vaikutus. Tällöin tunnuslukujen välinen lineaarinen korrelaatio laskettiin käyttäen osittaiskorrelaatiomenetelmää. Korrelaatiokertoimen itseisarvo > 0.5 tulkittiin voimakkaaksi riippuvuudeksi, > 0.3

kohtalaiseksi riippuvuudeksi ja > 0.1 vähäiseksi riippuvuudeksi. Tulosten tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin p-arvoa < 0.05 .

Havaitut mielenkiintoiset riippuvuudet esitettiin hajontakuvaajina, joihin visualisoitiin lineaarinen regressiosuora ja sen 95 prosentin luottamusväli. Korrelaatiotarkastelu suoritettiin Matlab-laskentaympäristössä (Mathworks, Inc., Natick, USA) hyödyntäen Statistical Toolbox™ laajennuksen funktioita.

Vaikuttavuus. Harjoitusinterventoiden vaikuttavuutta vertailtiin Cohen's d (Cohen 1977) tunnusluvun avulla. Tavoitteena oli tuottaa intervention vaikuttavuuden määrälle ja suunnalle yksikäsitteinen arvo, jolla voidaan verrata eri interventioita toisiinsa. Cohen's d määritellään

$$d = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{s},$$

missä \bar{x}_1 on vastemuuttujan keskiarvo ennen interventiota, \bar{x}_2 vastemuuttujan keskiarvo intervention jälkeen ja s yhteinen keskihajonta (Dunlap ym. 1996). Vastemuuttujajoukkojen keskihajonnat eri ajanhetkillä tulee olettaa yhtä suuriksi (Dunlap ym. 1996). Laskenta toteutettiin Matlab-laskentaympäristössä (Mathworks, Inc., Natick, USA).

7 TULOKSET

7.1 Harjoitusinterventoiden toteutuminen

Tutkittujen aineistojen (AKTIIVIT, URHEILIJAT, VARUSMIEHET) koehenkilöt noudattivat annettua harjoitusohjelmaa melko täsmällisesti. Tarkkaa koehenkilöiden osallistumisaktiivisuutta määrättyihin harjoitusohjelmiin ei tunnettu, mutta osallistumista voitiin arvioida mitattujen harjoittelumäärien perusteella. Keskimääräiset päivittäiset ja viikoittaiset harjoittelumäärät on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Harjoittelun ja muun fyysisen aktiivisuuden mittaukset aineistoissa.

		AKTIIVIT				VARUSMIEHET				URHEILIJAT			
Intervention kesto	(vk)	8				8				12			
Koehenkilömäärä		19				26				12 (M+N)			
		\bar{x}	σ	Min	Max	\bar{x}	σ	Min	Max	\bar{x}	σ	Min	Max
Mittausten määrä													
Harjoittelu													
Mittauspäiviä	(pv)	30.1 ± 4.6		[24 , 40]		39.9 ± 2.4		[34 , 43]		60.0 ± 3.8		[51 , 65]	
Kattavuus	(%)	53.8 ± 8.3		[43 , 71]		72.5 ± 4.4		[62 , 78]		76.9 ± 4.8		[65 , 83]	
t/pv	(t)	1.1 ± 0.2		[1 , 2]		5.5 ± 1.3		[3 , 9]		3.0 ± 0.2		[3 , 3]	
Fyysinen aktiivisuus													
Mittauspäiviä	(pv)	54.9 ± 2.3		[48 , 56]		37.5 ± 2.6		[27 , 40]		76.7 ± 2.6		[70 , 78]	
Kattavuus	(%)	98.0 ± 4.1		[86 , 100]		68.2 ± 4.7		[49 , 71]		98.3 ± 3.3		[90 , 100]	
t/pv	(t)	22.3 ± 0.6		[21 , 23]		17.0 ± 1.3		[13 , 19]		20.3 ± 2.2		[14 , 22]	
Mitt. > 660 min/pv	(pv)	54.2 ± 2.5		[47 , 56]		34.6 ± 3.4		[21 , 38]		74.2 ± 5.6		[59 , 77]	
Kattavuus	(%)	96.7 ± 4.5		[84 , 100]		62.9 ± 6.1		[38 , 69]		95.1 ± 7.1		[76 , 99]	
Mitattu harjoittelu ja fyysinen aktiivisuus intensiteetti luokittain													
Harjoittelu													
Yhteensä	(t/vk)	4.2 ± 1.0		[2.9 , 7.1]		27.3 ± 6.8		[13.0 , 45.7]		13.4 ± 1.5		[10 , 16]	
< 1 - 3 MET	"	0.0 ± 0.0		[0 , 0.1]		1.2 ± 0.4		[0.4 , 1.9]		1.4 ± 0.5		[0.7 , 2.5]	
3 - 4 MET	"	0.0 ± 0.0		[0 , 0.1]		6.1 ± 1.6		[3.1 , 9.7]		0.7 ± 0.2		[0.4 , 1.1]	
4 - 7 MET	"	0.5 ± 0.6		[0 , 2.4]		16.6 ± 5.2		[7.0 , 30.6]		2.4 ± 0.5		[1.7 , 3.6]	
> 7 MET	"	3.6 ± 1.2		[0.8 , 6.4]		3.4 ± 1.1		[1.7 , 5.9]		9.0 ± 1.1		[7.1 , 11]	
Fyysinen aktiivisuus													
Yhteensä	(t/vk)	156.5 ± 4.4		[148 , 162]		79.8 ± 8.4		[45.2 , 90.5]		138.5 ± 14.8		[97 , 148]	
< 1 - 3 MET	"	144.4 ± 4.5		[137 , 153]		69.4 ± 6.6		[40.5 , 76.6]		126.1 ± 16.9		[77 , 140]	
3 - 4 MET	"	9.4 ± 3.2		[4.5 , 15.8]		8.1 ± 2.4		[3.3 , 13.6]		6.7 ± 3.0		[3.1 , 11.6]	
4 - 7 MET	"	2.3 ± 0.7		[0.8 , 3.6]		1.7 ± 0.9		[0.7 , 3.8]		4.5 ± 1.5		[1.8 , 7.5]	
> 7 MET	"	0.4 ± 0.3		[0.1 , 0.8]		0.7 ± 0.3		[0.2 , 1.5]		1.2 ± 0.5		[0.7 , 2.4]	

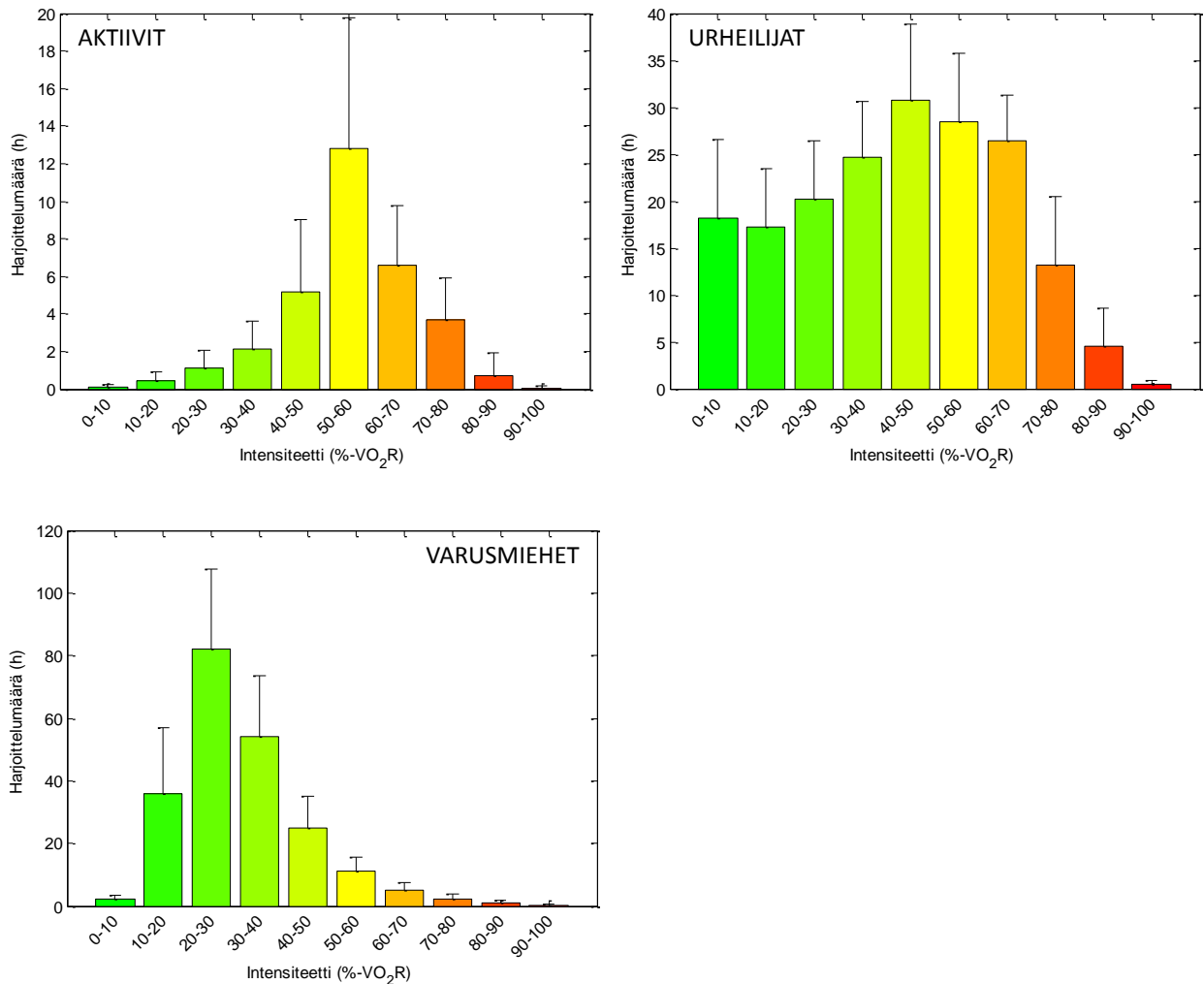
Liikunnallisesti aktiiviset miehet (AKTIIVIT) harjoittelivat keskimäärin 4.18 ± 1.03 tuntia viikossa, josta 3.64 ± 1.22 tuntia tapahtui korkeimmalla yli 7 MET intensiteetillä. Varusmiehet (VARUSMIEHET) harjoittelivat huomattavasti enemmän, keskimäärin 27.29 ± 6.84 tuntia viikossa. Heillä harjoittelu jakaantui laajalti eri intensiteettitasoille. Valtaosa 16.63 ± 5.15 t/vk

kuitenkin tapahtui kohtalaisella 4 – 7 MET intensiteetillä. Urheilija-aineistossa (URHEILIJAT) harjoittelu- ja lepojaksosten yhteinen keskimääräinen harjoittelumäärä oli 13.41 ± 1.52 tuntia viikossa. Tästä 9.03 ± 1.06 tuntia suoritettiin korkeimmalla yli 7 MET intensiteetillä. Sykereservin intensiteettijakaumat (kuva 10) osoittavat, että varusmiesten harjoittelu tapahtui pääasiassa alle 50 % VO_2R intensiteetillä, kun taas aktiivisten miesten ja urheilijoiden harjoittelu yli 50 % VO_2R intensiteetillä.

Fyysistä aktiivisuutta (PA) oli mitattu aineistoissa kattavasti. Keskimääräiset päivittäiset ja viikoittaiset mittausmäärät sekä luotettavien mittauspäivien lukumäärä löytyvät taulukosta 2. Luotettavina pidettiin mittauspäiviä, joissa aktiivisuusmittausta oli saatu kerättyä yli 11 tuntia. Varusmiesaineiston osalta on huomattava, että mittaukset puuttuvat palveluksesta vapailta päiviltä.

AKTIIVIT-aineistossa fyysistä aktiivisuutta mitattiin keskimäärin 156.54 ± 4.37 tuntia viikossa, mikä on huomattavan suuri osuus viikon 168 tunnista. Suurin osa mitatusta aktiivisuudesta asettui matalaan, lepoa, istumista ja seisomista kuvaavaan < 1 - 3 MET intensiteettiluokkaan. VARUSMIEHET-aineistossa fyysistä aktiivisuutta mitattiin keskimäärin 79.82 ± 8.38 tuntia viikossa, josta niin ikään valtaosa sijoittui matalan intensiteetin luokkaan. Vähäistä tuntimäärää selittävät muita aineistoja korkeampi päivittäinen harjoittelu-aika sekä palveluksesta vapailta päiviltä puuttuneet mittaukset. URHEILIJAT-aineistossa keskimääräinen viikoittainen aktiivisuusmittaus oli 138.49 ± 14.80 tuntia. Keskiarvoa laskee yhden osallistujan säännöllinen aktiivisuusmittarin käyttämättömyys yöaikana. Mitatusta aktiivisuudesta suurin osa sijoittuu jälleen matalan intensiteetin luokkaan, mutta kohtalaisen (4 – 7 MET) ja korkean intensiteetin (> 7 MET) luokkiin sijoittuu huomattavasti enemmän viikkotunteja kuin muissa aineistoissa, 4.54 ± 1.54 tuntia ja 1.17 ± 0.47 tuntia.

Kaikissa interventioaineistoissa havaittiin poikkeavia koehenkilöitä. AKTIIVIT-aineistossa yhden osallistujan aktiivisuusmittaus oli kestänyt kahdeksan viikon sijasta seitsemän viikkoa. Varusmiesaineistossa eräällä osallistujalla aktiivisuuden mittauspäiviä oli selvästi muita vähemmän (27 kpl). Myös URHEILIJAT-aineistossa yksi osallistuja poikkesi muista PA-mittausten osalta. Hän ei ollut käyttänyt aktiivisuusmittaria yöaikana.



KUVA 10. Osallistujien keskimääräinen harjoittelun intensiteettijakauma sykereservillä mitattuna.

7.2 Harjoitusinterventioiden vaikutukset

Harjoitusintervention vaikutukset näkyivät jokaisessa aineistossa (taulukko 3). Kehon paino ja painoindeksi (BMI) keskimäärin pienenevät kaikissa aineistoissa, mutta eivät kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi. Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) parani AKTIIVIT- ja VARUSMIEHET-aineistoissa. AKTIIVIT-aineistossa keskimääräinen muutos oli 3.45 ± 1.67 ml/kg/min, $p < 0.001$ ja VARUSMIEHET-aineistossa 4.30 ± 3.50 ml/kg/min, $p < 0.001$. URHEILIJAT-aineistossa keskimääräinen maksimaalisen hapenottokyvyn parannus oli selvästi muita aineistoja vähäisempi, eikä se ollut tilastollisesti merkitsevää (1.24 ± 3.52 ml/kg/min, $p = ns$). Merkitsevää muutosta ei havaittu myöskään tarkasteltaessa URHEILIJAT-aineistoa sukupuoliryhmittäin. Mattotestin juoksuaika parani 1.66 ± 1.13 min, $p < 0.001$

AKTIIVIT-aineistossa ja 1.29 ± 1.55 min, $p < 0.001$ VARUSMIEHET-aineistossa. Myös URHEILIJAT-aineistossa käytetyssä laskennallisessa juoksuindeksissä havaittiin merkitsevä parannus (3.72 ± 3.12 , $p < 0.01$).

TAULUKKO 3. Painon, painoindeksin, hapenottokyvyn ja juoksuajan/-indeksin muutos aineistoissa.

		AKTIIVIT				VARUSMIEHET				URHEILIJAT			
Intervention kesto	(vk)	8				8				12			
Osallistujamäärä	(kpl)	19				26				12 (M+N)			
		\bar{x}	σ	Min	Max	\bar{x}	σ	Min	Max	\bar{x}	σ	Min	Max
Ikä	(v)	29.68 ± 2.67		[25 , 34]		19.1 ± 0.33		[19 , 20]		24.83 ± 4.76		[20 , 34]	
Pituus	(m)	1.80 ± 0.06		[1.7 , 1.9]		1.77 ± 6.87		[1.5 , 1.9]		1.70 ± 0.10		[1.5 , 1.9]	
Paino	(kg)	81.7 ± 10.9		[66 , 108]		74.6 ± 14.7		[55 , 105]		65.23 ± 8.72		[52 , 79]	
Δ Paino	(kg)	-1.11 ± 1.93		[-4.0 , 1.4]		-2.04 ± 4.16		[-7.9 , 9.1]		-0.12 ± 1.22		[-2.7 , 1.2]	
BMI	(kg*m ²)	25.1 ± 2.99		[21 , 32]		23.97 ± 4.67		[17 , 38]		22.43 ± 1.30		[20 , 25]	
Δ BMI	(kg*m ²)	-0.35 ± 0.59		[-1.2 , 0.4]		-0.71 ± 1.32		[-2.7 , 2.7]		-0.04 ± 0.40		[-0.8 , 0.5]	
VO _{2max}	(ml/kg/min)	53.65 ± 7.45		[36.6 , 67.3]		43.16 ± 6.44		[29 , 56]		59.82 ± 7.77		[50 , 74]	
Δ VO _{2max}	(ml/kg/min)	3.45* ± 1.67		[0.6 , 6.6]		4.3* ± 3.50		[-4.5 , 9.5]		1.24 ± 3.52		[-2.7 , 7.4]	
Juoksu aika/-indeksi	(min)	13.83 ± 4.13		[6.0 , 21.0]		15.04 ± 3.03		[10.5 , 24.0]		56.79 ± 8.04		[46.0 , 70.7]	
Δ Juoksu aika/-ind.	(min)	1.66* ± 1.13		[-1.0 , 3.0]		2.29* ± 1.55		[-3.0 , 4.5]		3.72* ± 3.13		[-0.6 , 8.15]	
PAL, päivä	(MET)	2.32 ± 0.17		[2.1 , 2.7]		3.08 ± 0.22		[2.8 , 3.7]		2.87 ± 0.24		[2.6 , 3.4]	
PAL, yö	(MET)	0.98 ± 0.02		[0.9 , 1.0]		1.11 ± 0.04		[1.0 , 1.2]		1.12 ± 0.12		[1.0 , 1.4]	

* $p < 0.001$

Vaikuttavuusluvun (Cohen's d) perusteella intervention vaikutus suorituskykyyn oli voimakkainta Kainuun prikaatin varusmiesaineistossa (taulukko 4). AKTIIVIT-aineistossa suurempi vaikutus kohdistui maksimaaliseen hapenottokykyyn kuin juoksu aikaan. URHEILIJAT-aineistossa taas interventio vaikutti voimakkaimmin juoksu indeksiin eikä niinkään maksimaaliseen hapenottokykyyn. Kehon painon ja painoindeksin vaikuttavuusluvut jäävät kaikissa aineistoissa pieniksi, mikä johtuu osallistujien fyysisen koon hajonnasta ja suhteellisesti vähäisestä painon muutoksesta.

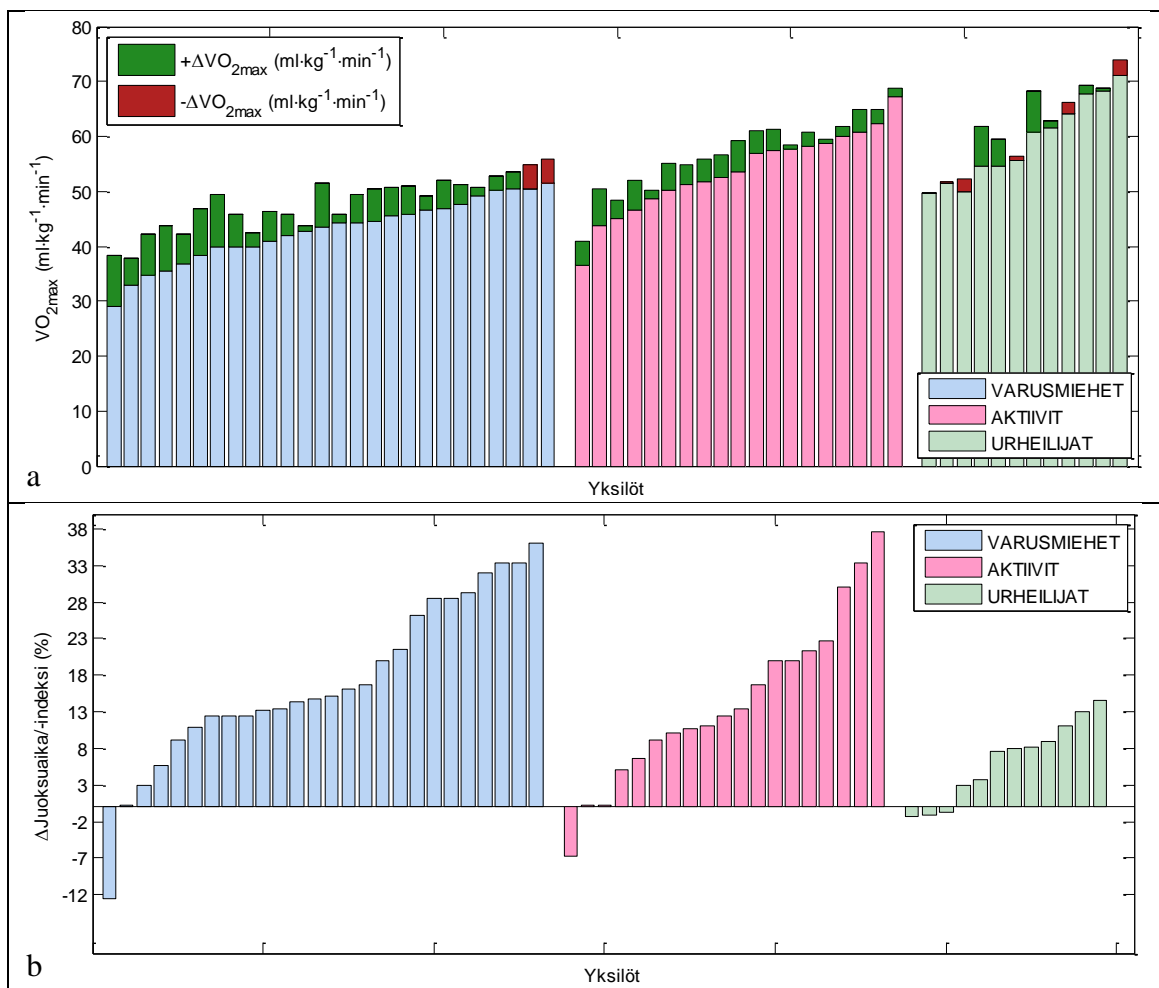
TAULUKKO 4. Interventioiden vaikuttavuusluvut (Cohen's d) painolle, painoindeksille, hapenottokyvylle ja juoksuajalle/-indeksille.

	AKTIIVIT	VARUSMIEHET	URHEILIJAT
Δ Paino	-0.10	-0.14	-0.01
Δ BMI	-0.12	-0.15	-0.03
Δ VO _{2max}	0.46	0.67	0.16
Δ Juoksu aika/-ind.	0.40	0.76	0.46

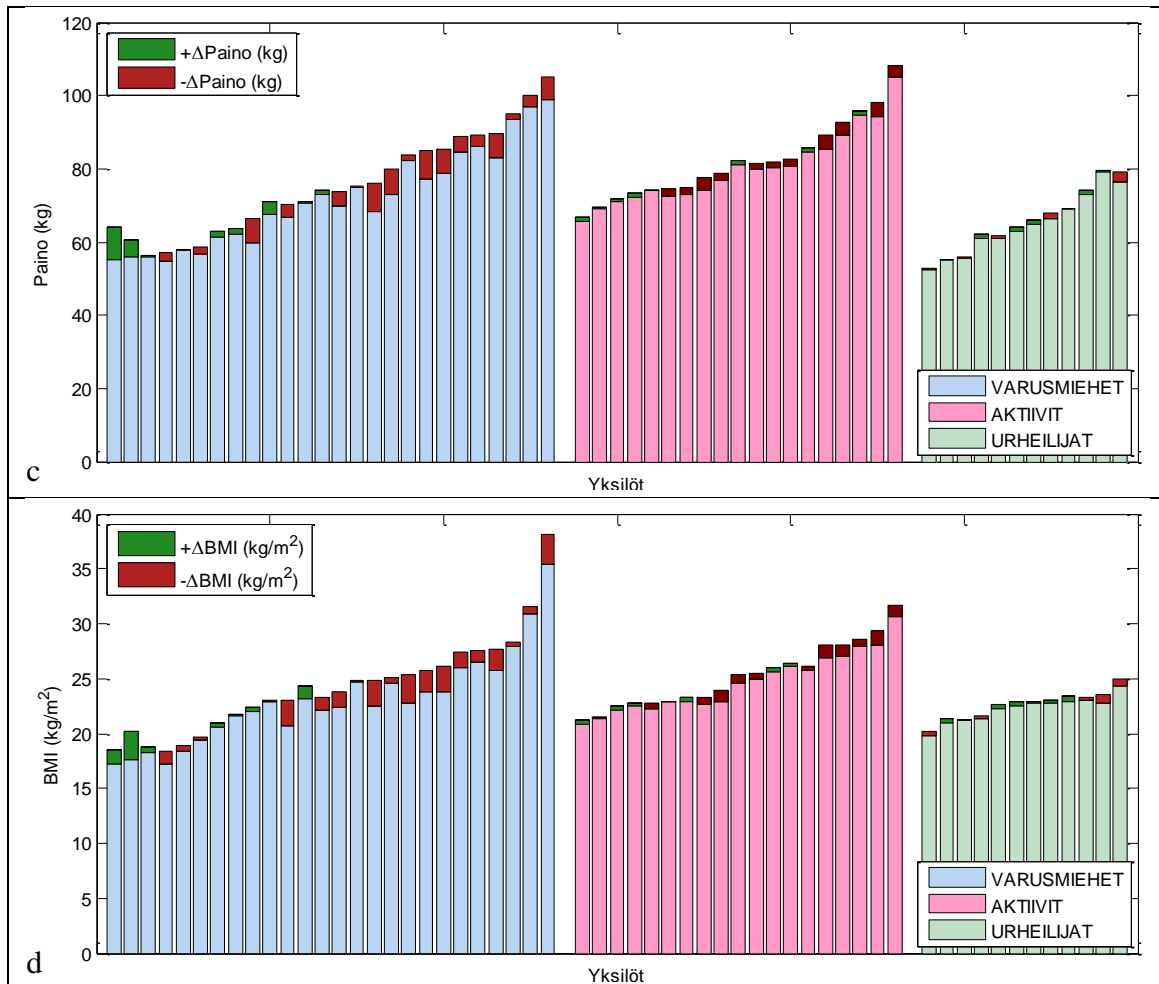
7.3 Kehityksen yksilökohtainen vaihtelu

Kestävyysharjoitteluinterventioissa mitattujen hapenottokyvyn, juoksun, kehonpainon ja BMI:n muutosten jakaumat on esitetty kuvassa 11 a-d. Juoksusuorituskyvyn muutoksen osalta on tarkasteltu muutosprosenttia, sillä juoksuajojen muutos ei ole vertailukelpoinen erilaisten mattotestiprotokollien välillä eikä sitä voi verrata URHEILIJAT-aineistossa käytettyyn juoksuindeksiin. Kuvaajista voidaan havaita, että koehenkilöiden välillä on merkittäviä eroja kaikissa vastemuuttujissa.

Yksilökohtainen kestävyyskunnan kehitys VO_{2max} -arvolla mitattuna vaihteli AKTIIVIT-aineistossa välillä 0.6-6.6 $ml/kg/min$, VARUSMIEHET-aineistossa välillä -4.5-9.5 $ml/kg/min$ ja URHEILIJAT-aineistossa välillä -2.7-7.4 $ml/kg/min$. Suhteellisen kehityksen vaihteluvälit olivat vastaavasti 1.0-15.1 %, -8.2-31.3 % ja -4.8-13.3 %.



KUVA 11 a-b. Hapenottokyvyn ja juoksuajan/-indeksin muutoksen yksilökohtainen vaihtelu kestävyysharjoitteluinterventioissa.



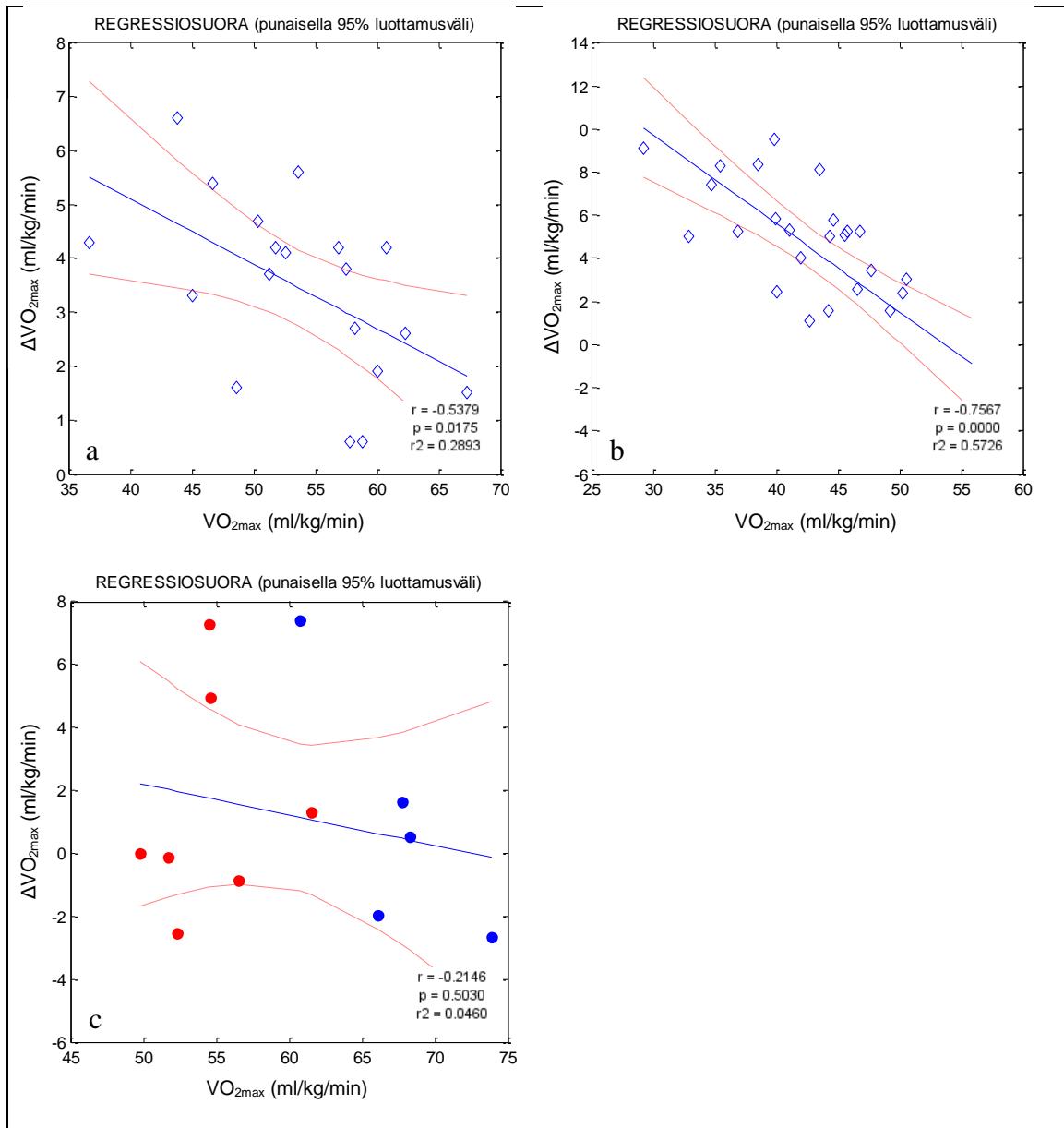
KUVA 11 c-d. Kehon painon ja painoindeksin muutoksen yksilökohtainen vaihtelu kestävyysharjoitteluinterventioissa.

7.3.1 Henkilön kestävyyskunnan perustason yhteys saavutettuun kehitykseen

Vastemuuttujien visualisointi (kuva 11) antaa viitteitä kestävyyskunnan perustason vaikutuksesta saavutettuun kehitykseen. Kehitys vaikuttaa olleen suurinta hapenottokyvyltään matalatasoisilla henkilöillä. Asian todentavan korrelaatioanalyysin tulokset on esitetty aineistoittain kuvassa 12.

Kestävyyskunnan perustason yhteys kehitykseen on voimakasta aktiivisten miesten aineistossa ($r = -0.538$, $p < 0.05$) ja erittäin voimakasta varusmiesaineistoissa ($r = -0.757$, $p < 0.001$). Sen sijaan perustasoltaan kovimmassa, urheilijoita sisältäneessä aineistossa selvää yhteyttä ei ole, kun tarkastelussa ovat mukana sekä mies- että naisurheilijat ($r = -0.215$, $p = ns$).

Havaitut korrelaatiokertoimet ovat negatiivisia ja sovitetut lineaariset mallit laskevia suoria, joten korkea perustaso yhdistyy matalaan interventiossa saavutettuun kehitykseen. AKTIIVIT-aineistossa perustaso selittää 28.9 prosenttia ja VARUSMIEHET-aineistossa 57.3 prosenttia yksilöllisestä kehityksen vaihtelusta. Varusmiesaineistossa lähtötason vaikutus on erityisen voimakas.



KUVA 12. a) Hapenottokyvyn kehityksen ja lähtötason välinen yhteys AKTIIVIT-aineistossa, b) VARUSMIEHET-aineistossa, c) URHEILIJAT-aineistossa (pun. = nainen, sin. = mies).

7.3.2 Harjoittelun kokonaismäärän yhteys kestävyyskunnan kehitykseen

Harjoittelun määrän ja intensiteetin yhteyttä kestävyyskunnan kehitykseen interventioiden sisällä tutkittiin vertaamalla henkilön viikoittaista harjoittelun kestoa ja harjoittelun taajuutta koko intervention aikana saavutettuun kehitykseen.

AKTIIVIT-aineistossa ei havaittu merkitsevää yhteyttä viikoittaisen harjoitteluajan ja kestävyyskunnan kehityksen välillä yhdessäkään absoluuttisessa intensiteettiluokassa. Suhteellisissa intensiteettiluokissa saatiin merkitsevä yhteys kehityksen ja luokan 0 – 10 % VO_2R välille ($r = -0.615$, $p < 0.05$). Yhteys kuitenkin häviää, kun lähtötaso kontrolloitiin osittaiskorrelaation avulla ($r = -0.344$, $p = ns$). Myös harjoittelutaajuuden ja kehityksen välille syntyi merkitsevä negatiivinen korrelaatio luokille ”yli 30 minuuttia kestäneelle kestänyt kohtuullinen tai voimakas aktiivisuus” ($r = -0.461$, $p < 0.05$) ja ” yli 60 min kestänyt kohtuullinen tai voimakas aktiivisuus” ($r = -0.510$, $p < 0.05$), joka hävisi, kun osittaiskorrelaation avulla kontrolloitiin lähtötaso.

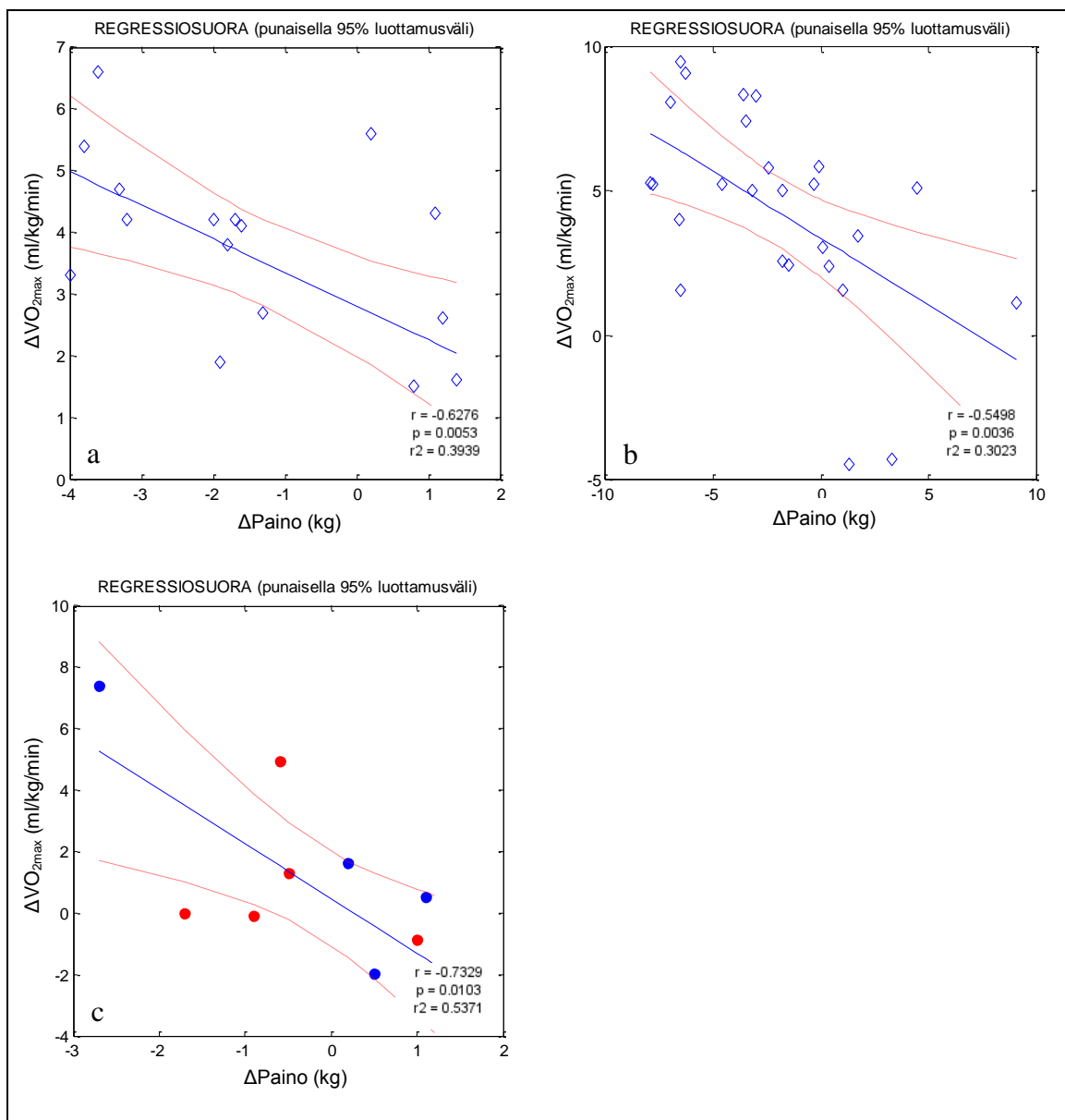
URHEILIJAT- ja VARUSMIEHET-aineistoista ei havaittu merkitsevää, lähtötasosta riippumatonta yhteyttä viikoittaisen harjoitteluajan ja kestävyyskunnan kehityksen välille absoluuttisissa tai suhteellisissa intensiteettiluokissa. Niin ikään harjoittelutaajuuden ja kehityksen välille ei löydetty yhteyttä millään tapahtumakertojen laskentaehdolla.

7.3.3 Painonmuutoksen yhteys havaittuun kestävyyskunnan kehitykseen

Jokaisessa aineistossa havaittiin merkitsevä lineaarinen yhteys painonmuutoksen ja kestävyyskunnan kehityksen välillä, kun kestävyyskuntoa kuvattiin kehon painoon suhteutetulla hapenkulutuksella ($VO_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). AKTIIVIT-aineistossa painonmuutos selitti 39.4 prosenttia ($r = -0.628$, $p < 0.01$), VARUSMIEHET-aineistossa 30.2 prosenttia ($r = -0.550$, $p < 0.01$) ja URHEILIJAT-aineistossa 53.7 prosenttia ($r = -0.733$, $p = 0.01$) kestävyyskunnan kehityksen vaihtelusta (kuva 13 a-c). Painonmuutoksella ei ollut yhteyttä absoluuttisen hapenottokyvyn muutokseen ($\Delta VO_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$). Yhteyden korrelaatio on heikko erityisesti AKTIIVIT- ja VARUSMIEHET-aineistoissa eikä sillä ole tilastollista merkitsevyyttä missään tutkituista aineistoista.

Painonmuutoksen yhteyden kestävyyskunnan kehitykseen osoittauduttua merkitseväksi, haluttiin selvittää mitkä interventioissa mitatut tekijät liittyvät painonmuutokseen. Vahvoja

painonmuutokseen yhteydessä olevia tekijöitä AKTIIVIT-aineistossa olivat painoindeksi intervention alussa ($r = -0.679$, $p = 0.001$), istumista kuvaavan aktiivisuuden kehitys intervention aikana ($r = 0.604$, $p < 0.01$) ja keskimääräinen vuorokauden kokonaisenergiankulutus ($r = -0.537$, $p < 0.05$) intervention aikana. VARUSMIEHET-aineistossa painonmuutokseen olivat voimakkaasti yhteydessä muun muassa painoindeksi intervention alussa ($r = -0.604$, $p = 0.001$), nukkumista kuvaavan aktiivisuuden määrä ($r = 0.520$, $p < 0.01$) ja kevyen aktiivisuuden määrän kehitys peruskoulutuskauden aikana ($r = -0.476$, $p < 0.05$).



KUVA 13. Hapenottokyvyn kehityksen ja painonmuutoksen välinen yhteys a) AKTIIVIT-aineistossa, b) VARUSMIEHET-aineistossa, ja c) URHEILIJAT-aineistossa (pun. = nainen, sin. = mies).

URHEILIJAT-aineistossa vahvoja yhteyksiä painonmuutokseen havaittiin kohtalaisen intensiteetin harjoittelumäärän kehityksellä ($r = 0.753$, $p < 0.01$), 0 - 10% VO_2R intensiteetin harjoittelun kehityksellä ($r = -0.627$, $p < 0.05$) ja seisomista kuvaavan fyysisen aktiivisuuden määrällä ($r = 0.590$, $p < 0.05$).

7.3.4 Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden yhteys kehitykseen

Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden yhteyttä kehitykseen selvitettiin vertaamalla absoluuttisia ja suhteellisia viikoittaisen aktiivisuuden intensiteettiä luokkia toteutuneeseen kehitykseen jokaisessa kolmessa aineistossa. Sekä kehitys että tietyssä määrin aktiivisuuden määrä riippuvat henkilön kestävyyskunnan perustasosta, minkä vuoksi vertailu suoritettiin osittaiskorrelaation avulla perustasoa (VO_{2max} aloitusmittaus) kontrolloiden (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Hapenottokyvyn kehityksen ja harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä luokkien osittaiskorrelaatiot hapenottokyvyn lähtötasolla kontrolloituna. Urheilijoilta ei havaittu yli 80 % VO_2R intensiteetin fyysistä aktiivisuutta harjoittelun ulkopuolella.

Aktiivisuusluokka	AKTIIVIT		VARUSMIEHET		URHEILIJAT	
	<i>r</i>	<i>p-arvo</i>	<i>r</i>	<i>p-arvo</i>	<i>r</i>	<i>p-arvo</i>
Nukkuminen	0.022	0.930	-0.348	0.089	0.337	0.310
Istuminen	-0.452	0.059	-0.137	0.513	0.430	0.187
Seisominen	0.377	0.123	0.272	0.189	-0.438	0.178
Kevyt	0.399	0.100	0.156	0.456	-0.327	0.327
Kohtalainen	-0.566	0.014	0.285	0.168	-0.100	0.770
Voimakas	-0.001	0.997	0.091	0.667	-0.165	0.628
0-10 % VO_2R	-0.402	0.098	0.106	0.614	0.353	0.287
10-20 % VO_2R	0.515	0.029	0.190	0.364	-0.507	0.112
20-30 % VO_2R	-0.276	0.268	-0.029	0.889	-0.246	0.466
30-40 % VO_2R	-0.543	0.020	0.286	0.166	-0.330	0.321
40-50 % VO_2R	-0.012	0.963	0.458	0.021	-0.331	0.321
50-60 % VO_2R	0.106	0.675	0.106	0.614	-0.065	0.849
60-70 % VO_2R	-0.106	0.675	-0.158	0.449	-0.216	0.523
70-80 % VO_2R	-0.062	0.806	-0.259	0.212	-0.175	0.607
80-90 % VO_2R	0.333	0.177	-0.040	0.850	-	-
90-100 % VO_2R	-0.159	0.528	0.050	0.814	-	-

Tilastollisesti merkitseviä osittaiskorrelaatioita saatiin AKTIIVIT-aineistossa yhdelle absoluuttiselle (kohtalainen fyysinen aktiivisuus, $r = -0.566$, $p < 0.05$) ja kahdelle

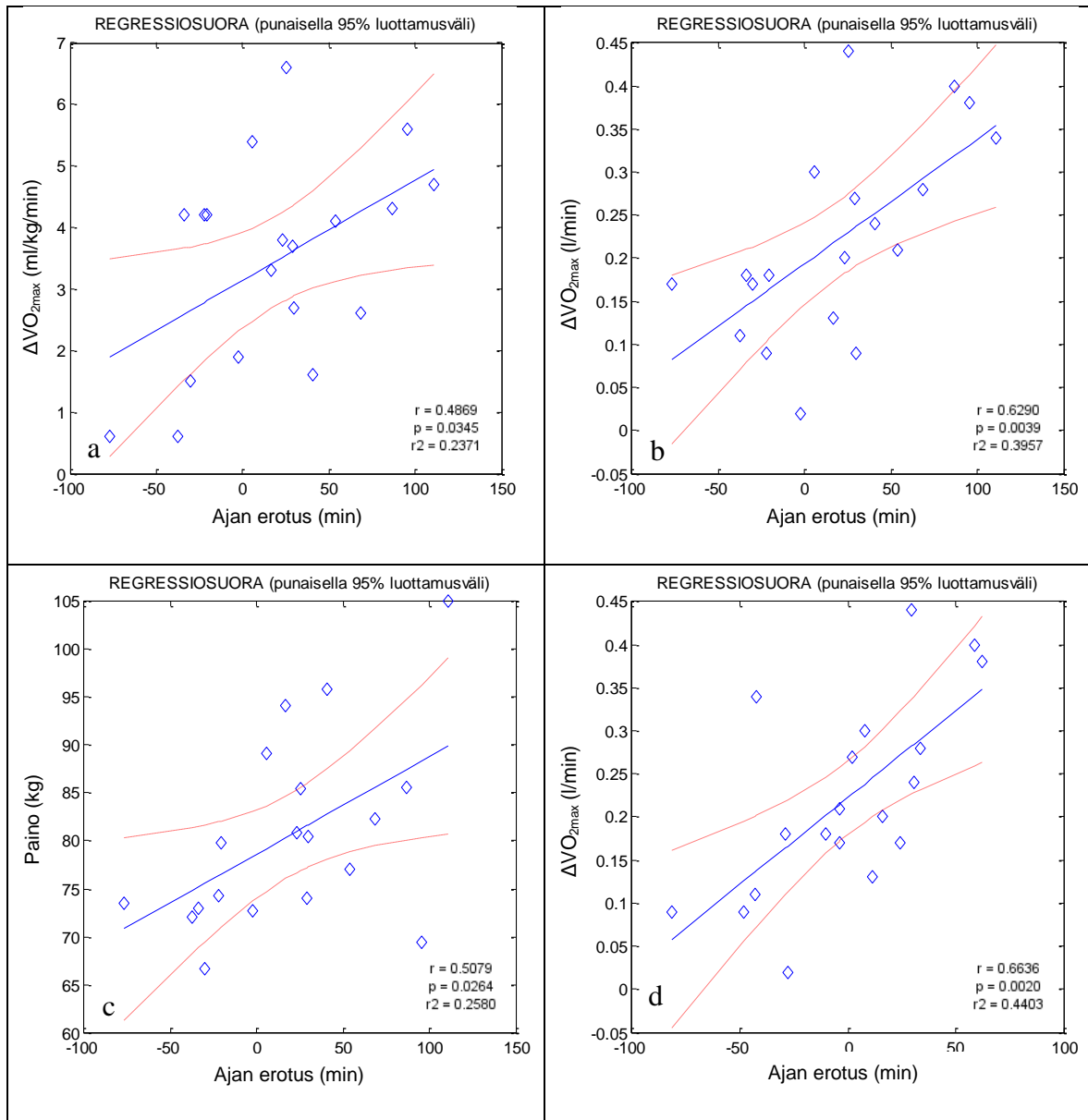
suhteelliselle aktiivisuuluokalle (10 – 20 % VO_2R , $r = 0.515$, $p < 0.05$ ja 30 – 40 % VO_2R , $r = -0.543$, $p < 0.05$). Varusmiesaineistossa merkitsevä yhteys saatiin yhdelle suhteelliselle aktiivisuusluokalle (40 – 50 % VO_2R , $r = 0.458$, $p < 0.05$). URHEILIJAT-aineistossa ei saatu merkitsevää yhteyttä minkään aktiivisuusluokan ja kestävyyskunnan kehityksen välille, kun perustasoa kontrolloitiin.

7.3.5 Levon määrän yhteys kestävyyskunnan kehitykseen

Lepomäärän yhteyttä kestävyyskunnan kehitykseen tutkittiin kahdella tapaa, 1) vertaamalla interventioajan keskimääräistä lepoaikaa toteutuneeseen kehitykseen ja 2) vertaamalla fyysiseltä kuormitukseltaan kevyiden ja raskaiden päivien välistä keskimääräistä lepoajan eroa toteutuneeseen kehitykseen. Lepoaikojen ero tutkittiin sekä kyseisen vuorokauden että seuraavan vuorokauden aikana tapahtuneesta levosta. Tässä yhteydessä levolla tarkoitetaan mitattua vuorokautista < 1 MET intensiteetin aktiivisuusmäärää, joka pääasiassa kuvaa osallistujan nukkumista.

Yhdessäkään kolmesta aineistosta ei havaittu yhteyttä keskimääräisen vuorokautisen lepoajan ja kestävyyskunnan kehityksen tai muun suorituskykymuuttujan kehityksen välillä.

AKTIIVIT-aineistossa kuormitukseltaan kevyiksi tulkittiin harjoittelua sisältämättömät päivät ja kuormitukseltaan raskaiksi > 60 minuuttia voimakasta harjoittelua sisältäneet päivät. Aineistossa havaittiin merkitsevä positiivinen riippuvuus lisääntyneen harjoitteluvuorokauden aikaisen levon ja hapenottokyvyn kehityksen välillä. Riippuvuus oli voimakkaampi absoluuttisen hapenottokyvyn (VO_2 l*min⁻¹) kehitykseen ($r = 0.629$, $p < 0.01$) kuin suhteelliseen hapenottokyvyn (VO_2 ml*kg⁻¹*min⁻¹) kehitykseen ($r = 0.487$, $p < 0.05$). Painonmuutokseen lisääntyneellä harjoitteluvuorokauden aikaisella levolla ei ollut yhteyttä ($r = -0.034$, $p = ns$). Merkitsevä yhteys havaittiin sen sijaan lisääntyneen levon ja henkilön kehonpainon välillä ($r = 0.508$, $p < 0.05$). Kuvaajat mainituista merkitsevistä riippuvuuksista on esitetty kuvassa 14. Tarkasteltaessa harjoitteluvuorokauden jälkeistä lepoa, saatiin lisääntyneen levon ja absoluuttisen hapenottokyvyn kehitykselle välille kohtalaisen vahva riippuvuus ($r = 0.664$, $p < 0.01$). Suhteellisen hapenottokyvyn kehitykseen sillä ei ollut merkitsevää yhteyttä.



KUVA 14. a) Suhteellisen hapenottoyvyn kehityksen ja voimakasta harjoittelua sisältäneen vuorokauden normaalista poikkeavan lepomäärän välinen yhteys, b) Absoluuttisen hapenottoyvyn kehityksen ja voimakasta harjoittelua sisältäneen vuorokauden normaalista poikkeavan lepomäärän välinen yhteys, c) Intervention jälkeisen painon ja voimakasta harjoittelua sisältäneen vuorokauden normaalista poikkeavan lepomäärän välinen yhteys, d) Absoluuttisen hapenottoyvyn kehityksen ja voimakasta harjoittelua sisältäneen vuorokauden jälkeisen normaalista poikkeavan levon yhteys. Kaikki kuvaajat ovat AKTIIVIT-aineistosta.

Varusmiesaineistossa päivittäinen fyysinen aktiivisuus oli intensiteetiltään pääasiassa kohtalaista ja aktiivisuusmäärät olivat suuret. Niinpä fyysisesti raskaaksi päiväksi määriteltiin yli 300 minuuttia kohtalaista tai voimakasta aktiivisuutta sisältänyt päivä ja fyysisesti kevyeksi päiväksi alle 120 minuuttia, mutta kuitenkin yli 10 minuuttia kohtalaista tai

voimakasta aktiivisuutta sisältänyt päivä. Merkitseviä riippuvuuksia kestävyyskunnan kehityksen ja raskaan ja kevyen päivän lepomäärän erotuksen välillä ei havaittu tarkasteltaessa kyseessä olevaa harjoitteluvuorokautta tai sitä seuraavaa vuorokautta.

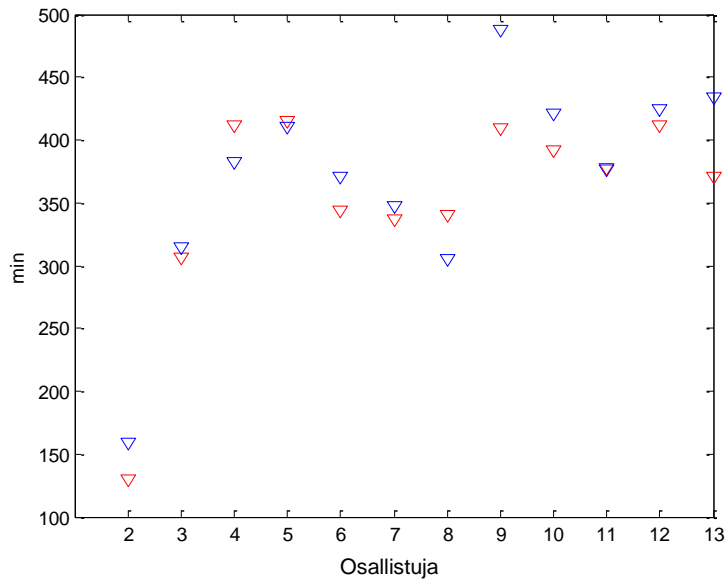
URHEILIJAT-aineistossa päivittäiset aktiivisuusmäärät olivat niin ikään suuria. Harjoittelu oli pääasiassa intensiteetiltään voimakasta (taulukko 2). Kuormittavana päivänä pidettiin yli 120 minuuttia voimakasta aktiivisuutta sisältänyttä harjoittelupäivää ja kevyenä päivänä alle 30 minuuttia voimakasta aktiivisuutta sisältänyttä päivää. Merkitseviä riippuvuuksia kestävyyskunnan ja kuormittavan ja kevyen päivän lepomäärän erotuksen välillä ei havaittu tarkasteltaessa kyseessä olevaa harjoitteluvuorokautta tai sitä seuraavaa vuorokautta.

7.3.6 Palautusjaksoihin sitoutumisen yhteys kestävyyskunnan kehitykseen

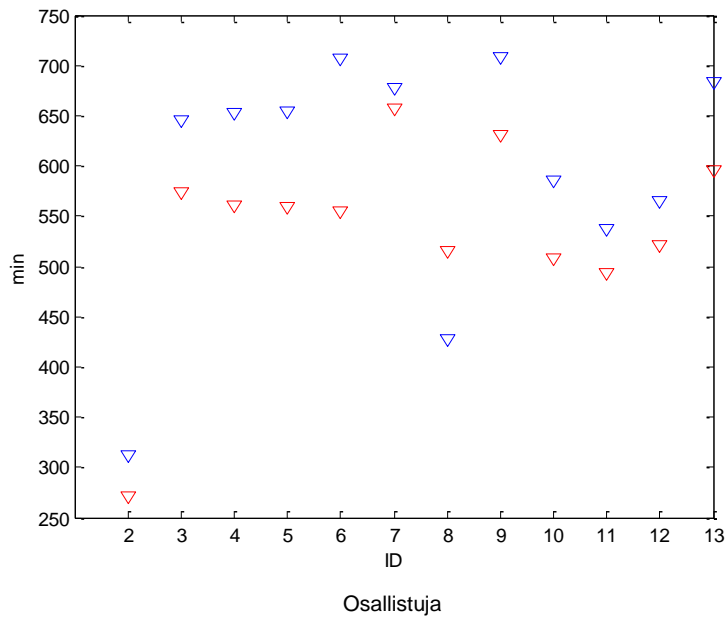
URHEILIJAT-aineistosta selvitettiin periodisoidun harjoitusohjelman palautusjaksoihin sitoutumista ja sen merkitystä yksilökohtaiseen kehitykseen. AKTIIVIT- ja VARUSMIEHET-interventioissa ei käytetty tarkasti periodisoitua harjoitusohjelmaa, joten ne sivuutettiin analyysistä.

Kuvassa 15 a-b. on esitetty mitatut keskimääräiset päivittäiset nukkumista ja istumista kuvaavat aktiivisuusmäärät yksilöittäin. Vain kahdella osallistujalla kahdestatoista keskimääräinen vuorokauden < 1 MET aktiivisuusmäärä (nukkuminen) oli palautusjaksolla merkitsevästi harjoittelujaksoa pienempi. Istumista kuvaavan 1-2 MET aktiivisuuden osalta saatiin merkitsevä ero jaksojen välille viidelle osallistujalle. Jokaisella heistä istumista kuvaavaa aktiivisuutta oli enemmän palautusjaksolla.

Harjoittelu- ja palautusjaksojen keskimääräisten nukkumismäärien erotuksen ja yksilökohtaisen kestävyyskunnan kehityksen välillä ei havaittu merkitsevää lineaarista riippuvuutta. Kuten ei myöskään keskimääräisen harjoittelu- ja palautusjaksojen istumismäärien erotuksen ja kestävyyskunnan kehityksen välillä. Mainittakoon, että harjoittelu- ja palautusjaksojen nukkumista kuvaavan aktiivisuuden määrien erotuksen ja osallistujan iän välillä nähtiin merkitsevä yhteys ($r = 0.666$, $p < 0.05$). Iäkkäämmät osallistujat nukkuivat palautusjaksoilla enemmän kuin harjoittelujaksoilla, toisin kuin nuoremmat osallistujat.



KUVA 15. a) URHEILIJAT-aineiston yksilökohtaiset keskimääräiset päivittäiset < 1 MET aktiivisuusmäärät harjoittelujaksolla (punainen) ja palautusjaksolla (sininen). Merkitsevät erot aktiivisuusmäärien välillä osallistujilla nro. 13 ($p < 0.05$) ja nro. 9 ($p < 0.01$).



KUVA 15. b) URHEILIJAT-aineiston osallistujakohtaiset keskimääräiset päivittäiset 1-2 MET aktiivisuusmäärät harjoittelujaksolla (punainen) ja palautusjaksolla (sininen). Merkitsevät erot aktiivisuusmäärien välillä osallistujilla nro. 4 ($p < 0.05$), 5 ($p < 0.05$), 6 ($p < 0.001$), 10 ($p < 0.01$) ja 13 ($p < 0.05$).

8 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää kestävyyskunnan kehityksen yksilöllistä vaihtelua ja erityisesti harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden roolia vaihtelun taustatekijänä. Tutkimusaineistoina käytettiin kolmea kestävyysharjoitteluinterventiota, joissa osallistujina olivat varusmiehet, aktiiviset miehet ja urheilijat. Harjoituskertojen lisäksi aineistoissa oli tilastoitu harjoitusten aikaista ja sen ulkopuolista fyysistä aktiivisuutta objektiivisin mittausten menetelmin. Aineistoista tehdyt havainnot olivat pääosin odotusten mukaisia. Kestävyyskunnan lähtötasolla oli vahva yhteys saavutettavaan kehitykseen, ja matalan lähtötason omaavilla henkilöillä kehonpainoon suhteutetun hapenottokyvyn kehitys johtui enimmäkseen laihtumisesta. Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden osalta vahvin uusi löydös oli harjoitusvuorokauden levon yhteys kestävyyskunnan kehitykseen aktiivisten miesten aineistossa.

Interventiot olivat luonteeltaan erilaisia. Varusmiesaineistossa oli mitattu miesalokkaiden ($n = 34$) kahdeksan viikon peruskoulutuskautta. Varusmiesten absoluuttinen harjoituskuorma oli yhtä suuri, kuormitustapa vaihteleva ja harjoituskerrat pitkiä, jopa 4 tuntia. Varusmiesaineistossa osallistujien peruskuntotaso oli kaikkein vaihtelevin. Aktiivisten miesten aineisto muodostui niin ikään kahdeksan viikon mittaisesta liikuntainterventiosta. Osallistujajoukko ($n=20$) oli valikoitu melko homogeeniseksi. Se sisälsi iältään, terveydentilaltaan ja liikuntatottumuksiltaan toistensa kaltaisia henkilöitä. Harjoituskuorma oli progressiivinen ja yksilökohtainen (sykeohjattu). Lisäksi harjoitustapana käytettiin pelkästään hölkkää tai juoksua. Urheilija-aineisto koostui 12 viikon mittaisesta mies- ja naisampumahiihtäjien ($n = 6 + 6$) peruskuntokauden leiristä. Heidän harjoittelunsa oli tarkimmin ohjelmoitua, sisältäen kevyempiä ja raskaampia harjoittelujaksoja sekä palautusjaksoja. Kuormitustaso oli yksilöity sykeohjauksella. Kuormitustapa vaihteli, ollen pääasiassa kuitenkin juoksua ja rullahiihtoa.

Yhteistä aineistoille oli osallistujien hyvä sitoutuminen harjoitukseen ja fyysisen aktiivisuuden mittausten kattavuus (taulukko 2). Jokaisessa aineistossa kattaviksi luettujen mittauspäivien osuus oli yli 90 prosenttia. Aktiiviset miehet ja urheilijat mittasivat aktiivisuuttaan joka päivä keskimäärin yli 20.5 tuntia, varusmiesten jäädessä keskimäärin 17 tuntiin. Varusmiehiltä puuttuivat mittaukset viikonloppuvapaiden ajalta.

Kestävyysharjoitteluinterventio aiheutti harjoitusvasteen kaikissa kolmessa tutkituista aineistoista. Muutoksia havaittiin osallistujien juoksusuorituskyvyssä, hapenottokyvyssä, kehonpainossa ja painoindeksissä. Muutokset olivat voimakkaimpia varusmiesaineistossa ja vähäisimpiä urheilija-aineistossa. Keskimääräinen interventioiden vaikuttavuus suhteelliseen hapenottokykyyn VO_{2max} oli varusmiehillä +10 %, aktiivisten miehillä +6 % ja urheilijoilla +2 %. Kirjallisuustarkastelun perusteella arvot ovat tavanomaisia tai hiukan sitä matalampia. Huomionarvoinen seikka on myös aineistojen välinen ero pääasiallisessa vasteessa. Varusmiehillä intervention vaikutus oli lähinnä laihduttava, kun taas urheilijoilla juoksusuorituskykyä kehittävä.

Yksilökohtainen vaihtelu oli suurta jokaisessa interventiossa. Maksimaalisella hapenottokyvyllä mitattuna aktiivisten miesten aineistossa muutoksen vaihteluvälin pituus oli 6 ml/kg/min, varusmiesaineistossa 14 ml/kg/min ja urheilija-aineistossa 10 ml/kg/min. Varusmies- ja urheilija-aineistoissa havaittiin myös negatiivista kehitystä. Vaihteluvälit ovat vastaavista harjoitteluinterventioista julkistettujen tulosten perusteella hyvin tyypilliset (mm. Bouchard ym. 2001, Dionne ym. 1991).

Sekä varusmies- että aktiivisten miesten aineistoissa hapenottokyvyn kehitys oli suurinta osallistujilla, joiden lähtötaso oli matala. Varusmiesaineistossa lähtötaso selitti jopa lähes 60 % yksilöllisestä kehityksen vaihtelusta. Urheilija-aineistossa sen sijaan vastaavaa ei havaittu. Havainto on linjassa kirjallisuudessa esitetyn arvion kanssa, jonka mukaan lähtötaso vahva kehitystä indikoiva tekijä kun osallistujien välinen tasoskaala on laaja (Midgley 2006).

Osallistujien, jotka harjoittelivat paljon ja suurella intensiteetillä ei havaittu saavuttavan missään aineistossa merkittävästi suurempia harjoitusvasteita. Harjoittelun kokonaismäärällä ei siten nähty olevan yhteyttä yksilökohtaiseen kehitykseen. Yhteyden puuttuminen johtunee harjoitteluohjelmien yksilökohtaisista ohjelmoinneista suhteelliseen kuormitukseen perustuen ja muiden tekijöiden suuremmasta roolista vasteeseen. Aktiivisten miesten aineistossa havaittu negatiivinen korrelaatio kehityksen ja suhteellisen harjoituskuormituksen määrän 0-10 % VO_{2R} välillä selittyy sillä, että kestävyyskunnoltaan kovatasoisilla, joilla kehityspotentiaali on pieni, harjoittelun aikainen kuormitus saattaa satunnaisesti olla suhteellisesti hyvinkin matala tai heidän sykkeensä palautuu harjoituksen aikana nopeasti lepotasolle. Kovatasoisille ohjelmoitu heikkotasoisempia suurempi harjoittelutaajuus selittää myös lähtötasolla kontrollointia kestävämmät negatiiviset korrelaatiot kestävyyskunnan kehityksen ja voimakasintensiteettisten aktiivisuuksien toistuvuuden välillä.

Harjoitusintervention aikaisella painonmuutoksella havaittiin olevan erittäin vahva yhteys kestävyyskunnan kehitykseen kaikissa aineistoissa, kun kestävyyskunnan mittarinäkätetään kehon painoon suhteutettua maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max} ml/kg/min). Varusmiesaineistossa painonmuutos selitti 30.2 % vaihtelusta, aktiivisten miesten aineistossa 39.4 % ja urheilija-aineistossa 53.7 %. Mittausteknisesti havainto on tietenkin ilmeinen, koska mittari kuvaa kehonpainoon suhteutettua hapenkulutusta. Se kuitenkin osoittaa, että kyseistä mittaria käytettäessä havaittu kehitys johtuu muutoksista kahdessa erillisessä komponentissa, hapenkulutuksessa ja kehon painossa. Fyysiseltä aktiivisuudeltaan matalatasoisilla henkilöillä harjoitteluintervention pääasiallinen vaikutusmekanismi on ymmärrettävästi laihtuminen. Tätä tukee havainto lähtötilanteen painoindeksin yhteydestä painonmuutokseen sekä aktiivisten miesten aineistossa että varusmiesaineistossa. Lähtötilanteen korkea painoindeksi ennakoii painonpudotusta intervention aikana. Kestävyyskunnoltaan kovatasoisilla henkilöillä painonmuutos taas nousee merkitseväksi tekijäksi, koska absoluuttisen hapenottokyvyn kehityspotentiaali on pieni ja paino reagoi nopeasti muutoksiin kehon energiataloudessa.

Tutkituissa aineistoissa painonmuutosta näyttää ajavan fyysinen kokonaisaktiivisuus. Aktiivisten miesten aineistossa istumista kuvaavan aktiivisuuden lisääntyminen harjoitusohjelman aikana johti painon kasvuun. Varusmiesaineistossa todettiin nukkumista kuvaavan aktiivisuuden määrän johtavan painon kasvuun. Urheilija-aineistossa painon kasvuun johti seisomista kuvaavan fyysisen aktiivisuuden määrä. Urheilijoilla painonmuutokseen vahvin yhteys oli mielenkiintoisesti kohtalaisen intensiteetin harjoittelumäärän kehityksellä. Tämä herättää kysymyksen suorittavatko urheilijat harjoitteita, jotka tähtäsivät lihassmassan kasvattamiseen? Sellaisista ei kuitenkaan harjoitusohjelman kuvauksessa kerrottu.

Harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden yhteydelle kestävyyskunnan kehitykseen löydettiin tukea aktiivisten miesten ja varusmiesten aineistoista muttei urheilija-aineistosta. Aktiivisten miesten negatiiviset merkitsevät korrelaatiot intensiteetti- luokissa ”kohtalainen” ja ”30-40 % VO_{2R} ” johtuu luultavimmin siitä, että henkilöt, jotka olivat vapaa-ajallaan aktiivisia ja esimerkiksi pyöräilivät, eivät merkittävästi laihtuneet ja saaneet sen myötä parannusta VO_{2max} tulokseensa. Intensiteetti- luokan ”10-20 % VO_{2R} ” positiivinen korrelaatio ja luokan ”0-10 % VO_{2R} ” lähes merkitsevä negatiivinen korrelaatio taas ilmentäneet sitä, että henkilöt jotka lisäsivät fyysistä kokonaisaktiivisuuttaan intervention aikana paransivat hapenottokykyään. Parannus syntyi mitä todennäköisimmin laihtumisen seurauksena.

Varusmiesten tapauksessa tarkastelua vaikeuttaa harjoittelun ja harjoittelun ulkopuolisen ajan epäselvä raja. Intensiiviteettialueen ”40-50 % VO₂R” merkitsevä yhteys johtuneet hetkittäisistä fyysisistä kuormituksista joka tapahtui harjoitteluksi määritellyn ajan ulkopuolella. Urheilijoilla harjoittelun ulkopuolisen aktiivisuuden vaikutus kestävyyskunnan on ymmärrettävästi pieni, koska kestävyyskunnan kehitys interventiossa oli kokonaisuutena vähäistä.

Keskimääräisellä vuorokautisella levon määrällä ei ollut tutkituissa aineistoissa yhteyttä kestävyyskunnan kehitykseen. Sen sijaan sekä hapenottokyvyn kehityksen ja lisääntyneen harjoitteluvuorokauden lepomäärän välille että hapenottokyvyn kehityksen ja lisääntyneen harjoitteluvuorokauden jälkeisen lepomäärän välille havaittiin yhteys aktiivisten miesten aineistossa. Huomattava on, että yhteys oli absoluuttisen hapenottokyvyn kehitykseen eikä kehon painoon suhteutetun hapenottokyvyn kehitykseen, joten intervention aikana mahdollisesti saavutettu painonpudotus ei vaikuttanut tulokseen. Mielenkiintoisesti osallistujan paino kuitenkin korreloi harjoitusvuorokautena lisääntyneeseen lepoon. Erityisesti painavat henkilöt lisäsivät voimakkaaseen harjoitteluun liittyvää lepomäärää. Havainnot antavat viitteitä siitä, että lepo on merkityksellinen tekijä kestävyysharjoitteluohjelmassa tai harjoitteiden on oltava niin intensiivisiä, että osallistuja kaipaa lepoa harjoittelun jälkeen.

Varusmies- ja urheilija-aineistoissa levon määrän ja kehityksen välille ei havaittu yhteyttä. Varusmiesaineistossa havaitsemista hankaloitti sekä ohjattu lepoaika, joka oli kaikille osallistujille sama että vaikea harjoittelultaan raskaiden ja kevyiden päivien erottelu. Urheilija-aineistossa intervention toteutustapa tarjosi hyvän mahdollisuuden yhteyden havaitsemiseen, mutta ilmeisesti interventiossa saavutettu kestävyyskunnan kehitys jäi liian vähäiseksi.

Periodisoidun harjoitusohjelman palautumisjaksoihin sitoutumista tutkittiin urheilija-aineistossa. Vain alle puolet osallistujista oli havaittavasti lisännyt lepoaikaansa (< 2 MET fyysinen aktiivisuus) 4-5 päivää kestäneillä harjoitteluohjelman palautusjaksoilla. Tarkkaa harjoitteluohjelman osallistujille annettua käyttäytymisohjeistusta palautusjaksolle ei tiedetty, mutta sekä heikon sitoutumisen että matalan kestävyyskunnan kehityksen tason vuoksi yhteyttä palautusjaksolla lisätyn matalan aktiivisuuden määrän ja kestävyyskunnan kehityksen välille ei todettu.

Jo ennen tässä esitettyä tutkimustyötä oli osoitettu, että kestävyyskunnan kehittyminen on yksilöllistä (mm. Kohrt ym. 1991) ja että harjoittelun ulkopuolinen fyysinen aktiivisuus voi vaikuttaa harjoitusohjelmassa saavutettavaan kehityksen määrään (Hautala 2012). Tämän työn tulokset vahvistavat kyseisiä näkemyksiä. Laadukkaasti toteutetuista harjoitusinterventioista huolimatta esille nousi asioita, jotka tulisi huomioida jotta aiheesta voitaisiin tuottaa tarkempaa tietämystä.

Harjoitusinterventioon osallistuminen voi muuttaa merkittävästi henkilön elintapoja ja kokonaisaktiivisuutta. Harjoittelun lisäksi kyseinen kokonaisuus ajaa kestävyyskunnan kehitystä. Kokonaisuutoksen tunnistamiseksi osallistujilta olisi mitattava tavanomainen fyysisen aktiivisuuden taso riittävältä ajalta ennen intervention toteuttamista.

Kestävyyskunnan kehityksen taustalla on monia tekijöitä, joita on vaikea yksilöidä ilman erittäin yksityiskohtaista tutkimuksen asetelua ja tarkkaan harkittua vastevastemittarin valintaa. Yksittäisellä mittarilla ei voida saavuttaa täydellistä kuvaa harjoittelua seuraavasta kestävyyskunnan kehityksestä (Vollaard 2009). Mikäli kestävyyskunnan mittarina käytetään henkilön painoon suhteutettua maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}), on hyväksyttävä, että vasteeseen sisältyvät hapenkulutukseen liittyvien fysiologisten muutosten lisäksi kaikki henkilön painoon vaikuttavat tekijät. Erityisesti harjoittelun ulkopuolisen fyysisen aktiivisuuden roolin selvittämiseksi olisi tärkeää määritellä vaste tarkoin, sillä fyysinen kokonaisaktiivisuus vaikuttaa todennäköisesti sekä aerobisen energijärjestelmän toimintakykyyn että kehon energiatalouteen.

Nykyaikaisen mittausteknologian avulla objektiivinen harjoitusintensiteetin ja fyysisen aktiivisuuden mittaaminen on helppoa, eikä se rajoita harjoittelun suorittamista tai haittaa arkirutiineja. Tutkimuksen kannalta haasteena on syntyvän raakatiedon jalostaminen oikeaoppisesti ja tutkimuksen tarkoitusta palvelevalla tavalla. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa toteutettua päivittäisen aktiivisuuden laskentaa absoluuttisissa intensiteetti-alueissa ja varusmiesaineiston päivittäisen harjoitusajan laskentaa voi perustellusti kritisoida epätarkkuudesta.

Tässä työssä saatuja tuloksia voidaan pohtia myös yksilötason ohjauksen ja harjoittelun ohjelmoinnin kannalta. Tulokset viittaavat siihen, että mikäli halutaan parantaa kestävyyskuntoa painoon suhteutetulla hapenottokyvyllä mitattuna, kannattaa lisätä fyysistä kokonaisaktiivisuutta kehon rasvamäärän vähentämiseksi ja harjoitella korkealla

intensiteetillä muistaen levätä harjoittelun jälkeen. Levon merkityksen osoittaminen vaatii kuitenkin lisätutkimuksia tarkoitukseen soveltuvan koeasetelman avulla.

LÄHTEET

American College of Sports Medicine., Thompson, W.R., Gordon, N.F. & Pescatello, L.S. 2010. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 8. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

American College of Sports Medicine., Kaminsky, L. (toim). 2006. ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription. 5 painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Aspenes, S.T., Nilsen, T.I., Skaug, E.A., Bertheussen, G.F., Ellingsen, O., Vatten, L. & Wisløff, U. 2011. Peak oxygen uptake and cardiovascular risk factors in 4,631 healthy women and men. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43 (8), 1465-1473.

Bartnett, A. 2006. Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes – Does it Help?. *Sports Medicine* 39 (9), 781 – 796.

Bassett, D. & Howley, E. 1999. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (1), 70-84.

Berg, K., Latin, R. & Hendricks, T. 1995. Physiological and physical performance changes in female runners during one year of training. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation* 5 (49), 311-319.

Bouchard, C. 2012. Genomic predictors of trainability. *Experimental physiology* 97 (3), 347-352.

Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J.S., Wilmore, J.H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A.S. & Rao, D.C. 1999. Familial aggregation of Vo_2max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology* 87 (3), 1003-1008.

Bouchard, C. & Rankinen, T. 2001. Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (6), 446-451.

Bouchard, C., Sarzynski, M.A., Rice, T.K., Kraus, W.E., Church, T.S., Sung, Y.J., Rao, D.C. & Rankinen, T. 2011. Genomic Predictors of Maximal Oxygen Uptake Response to Standardized Exercise Training Programs. *Journal of Applied Physiology* 110, 1160-1170.

Bouchard, C., Shephard, R. & Stephens, T. 1994. Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement. Toronto: Human Kinetics Publishers.

Boutcher, S. & Stein, P. 1995. Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology* 70, 75-80.

Cavill, N., Kahlmeier, S. & Racioppi, F. 2006. Physical activity and health in Europe: Evidence for action, Denmark: World Health Organization.

Cohen, J. 1977. Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Psychology Bulletin* 7,

103-108.

Dionne FT, Turcotte L., Thibault MC., Boulay MR., Skinner JS. & Bouchard C. 1991. Mitochondrial DNA sequence polymorphism, VO₂max, and response to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (2), 177-185.

Dunlap, W., Cortina, J., Vaslow, J. & Burke, M. 1996. Meta-Analysis of Experiments With Matched Groups or Repeated Measures Designs. *Psychological Methods* 1 (2), 170-177.

Ekblom-Bak, E., Hellénus, M., Ekblom, Ö., Engström, L. & Ekblom, B. 2010. Independent associations of physical activity and cardiovascular fitness with cardiovascular risk in adults. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation* 17 (2), 175-180.

Finni, T., Haakana, P., Pesola, A.J. & Pullinen, T. 2014. Exercise for fitness does not decrease the muscular inactivity time during normal daily life. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24 (1), 211-219.

Fogelholm, M. 2010. Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obesity Review* 11 (2), 202-221.

Fox, E., Bartels, R., Billings, C., O'Brien, R., Bason, R. & Mathews, D. 1975. Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *Journal of Applied Physiology* 38 (3), 481-484.

Haskell, W.L., Blair, S.N. & Hill, J.O. 2009. Physical activity: Health outcomes and importance for public health policy. *Preventive Medicine* 49 (4), 280-282.

Howley, E. 2001. Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (6), 364-369.

Hautala, A.J., Kiviniemi, A.M. & Tulppo, M.P. 2009. Individual responses to aerobic exercise: The role of the autonomic nervous system. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 33 (2), 107-115.

Hautala, A., Kiviniemi, A., Mäkikallio, T., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. & Tulppo, M. 2006. Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology* 96, 535-542.

Hautala, A., Martinmaki, K., Kiviniemi, A., Kinnunen, H., Virtanen, P., Jaatinen, J. & Tulppo, M. 2012. Effects of habitual physical activity on response to endurance training. *Journal of Sports Sciences* 30 (6), 563-569.

Hickson, R.C., Bomze, H.A. & Holloszy, J.O. 1977. Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *Journal of Applied Physiology* 42 (3), 372-376.

Karavirta, L., Häkkinen, K., Kauhanen, A., Arija-Blázquez, A., Sillanpää, E., Rinkinen, N. & Häkkinen, A. 2011. Individual Responses to Combined Endurance and Strength Training in Older Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43 (3), 484-490.

- Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. 2. painos. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura.
- Kohrt, W.M., Malley, M.T., Coggan, A.R., Spina, R.J., Ogawa, T., Ehsani, A.A., Bourey, R.E., Martin, W.H. & Holloszy, J.O. 1991. Effects of gender, age, and fitness level on response of VO₂max to training in 60-71 yr olds. *Journal of Applied Physiology* 71 (5), 2004-2011.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2010. *Exercise Physiology - Nutrition, Energy, and Human Performance*. 7. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2004. *Essentials of Exercise Physiology*. 2. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Midgley, A., McNaughton, L. & Wilkinson, M. 2006. Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners?, *Sports Medicine* 36 (2), 117-132.
- Nummela, A. 2010, Methods for monitoring overreaching and overtraining in athletes. Esitelmä 5.2.2010. Tampere React IV seminar, Tampere.
- Polar, 2012, Polar tuotetuki – Juoksuindeksitoiminto. Viitattu 25.5.2015. http://www.polar.com/fi/Tuki/Juoksuindeksi_toiminto
- Powell, K.E., Paluch, A.E. & Blair, S.N. 2011. Physical Activity for Health: What Kind? How Much? How Intense? On Top of What?. *Annual Review of Public Health* 32 (1), 349-365.
- Rankinen, T. & Bouchard, C. 2011. Genetic Predictors of Exercise Training Response. *Current Cardiovascular Risk Reports* 5 (4), 368-372.
- Roy, J., Hunter, G., Fernandez, J., McCarthy, J., Larson-Meyer, E., Blaudeau, T. & Newcomer, B. 2006. Cardiovascular factors explain genetic background differences in VO₂max. *American Journal of Human Biology* 18 (1), 454-460.
- Schofield, W.N. 1985. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition - Clinical Nutrition* 39, 5-41.
- Skinner, J.S., Gagnon, J., Leon, A.S., Mandel, S., Rao, D.C., Wilmore, J.H. & Bouchard, C. 1999. Classification of Responders and Non-Responders To Standardized Training: the Heritage Family Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31 (5), 315.
- Skinner, J.S., Jaskólski, A., Jaskólska, A., Krasnoff, J., Gagnon, J., Leon, A.S., Rao, D.C., Wilmore, J.H. & Bouchard, C. 2001. Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology* 90 (5), 1770-1776.
- Swain, David. 2005. Moderate or Vigorous Intensity Exercise: Which is Better for Improving Aerobic Fitness?. *Preventive Cardiology* 8 (1), 55-58.
- Tanskanen, M., Uusitalo, A., Häkkinen, K., Nissilä, J., Santtila, M., Westerp, K. & Kyröläinen H. 2009. Aerobic fitness, energy balance and body mass index are associated with training load assessed by activity energy expenditure. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in*

Sports 19 (6), 871-878.

Tanskanen, M., Uusitalo, A., Kinnunen, H., Häkkinen, K., Kyröläinen, H. & Atalay, M. 2011. Association of Military Training with Oxidative Stress and Overreaching. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43 (8), 1552-1560.

Timmons, J.A., Knudsen, S., Rankinen, T., Koch, L.G., Sarzynski, M., Jensen, T., Keller, P., Scheele, C., Vollaard, N.B.J., Nielsen, S., Åkerström, T., MacDougald, O.A., Jansson, E., Greenhaff, P.L., Tarnopolsky, M.A., van Loon, L.J.C., Pedersen, B.K., Sundberg, C.J., Wahlestedt, C., Britton, S.L. & Bouchard, C. 2010. Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans. *Journal of Applied Physiology* 108 (6), 1487-1496.

Vollaard, NB., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, PL., Timmons, JA. & Sundberg, CJ. 2009. Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 106 (5), 1479-1486.

Vuori, I., Taimela, S. & Kujala, U. 2010. *Liikuntalääketiede*. 3. uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Wilmore, J., Stanforth, P., Gagnon J., Rice, T., Mandel, S., Leon, A., Rao, D., Skinner, J. & Bouchard, C. 2001. Heart rate and blood pressure changes with endurance training: The HERITAGE Family Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (1), 107-116.

Wenger, H. & Bell, G. 1986. The Interactions of Intensity, Frequency and Duration of Exercise Training in Altering Cardiorespiratory Fitness. *Sports Medicine* 3 (5), 346-356.