

**ENNALTA MÄÄRÄTYN JA SYKEOHJATUN BLOKKIHARJOITTELUN
VERTAILU: KAHDEKSAN VIIKON INTENSIIVISEN HARJOITUSJAKSON
VAIKUTUKSET KESTÄVYSSUORITUSKYKYYN**

Olli-Pekka Nuutila

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2016

Ohjaaja: Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Nuutila, O-P. 2016. Ennalta määrätyn ja sykeohjatun blokkiharjoittelun vertailu: kahdeksan viikon intensiivisen harjoitusjakson vaikutukset kestävyysuorituskykyyn. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 82s.

Korkeaintensiteettisen kestävyysharjoittelun blokkiohjelmointi on havaittu tehokkaaksi tavaksi parantaa kestävyysuorituskykyä. Riittävän palautumisen merkitys korostuu kuormittavien harjoitusjaksojen aikana. Sykeohjatun harjoittelun ideana on ohjelmoida harjoittelua yksilöllisesti autonomisen hermoston toimintaan perustuen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla sykeohjatun ja ennalta määrätyn blokkiharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn ja hermolihasjärjestelmän toimintaan.

Tutkimus sisälsi kolmen viikon kontrollijakson sekä kahdeksan viikon harjoitusjakson. Tutkittavat olivat 19-37 -vuotiaita kestävyysharjoittelijoita miehiä, jotka jaettiin kontrollijakson aikana sykeohjattuun (SO, n=13) ja ennalta määrättyyn (EM, n=11) ryhmään. Harjoittelu sisälsi intervalliharjoituksia (4x4min, 90-95 %/HR_{max} ja 3x10x30s 95 %/V_{max}) sekä peruskestävyysharjoituksia. EM-ryhmän harjoittelu koostui HIT-blokeista (4-5 HIT/vko) ja palautusviikoista (1 HIT/vko). SO-ryhmän ohjelmoinnissa samat harjoitteet jaettiin kuuteen pienempään blokkiin. Blokkista toiseen siirtyminen tapahtui joka aamu tehdyn pikapalautumistestin perusteella. Blokkien välissä tehtiin ainoastaan matalaintensiteettistä harjoittelua. Tutkimuksen mittaukset sisälsivät 3000 metrin juoksun, hermolihasjärjestelmän testit (maksimijuoksunopeus, kevennyshyppy, jalkaprässi) sekä hapenottokyvyn testin juoksumatolla.

Molemmat ryhmät paransivat 3000 metrin juokсутulostaan tilastollisesti merkitsevästi (SO - 5.2 ± 2.4 %, $p < 0.001$; EM - 5.2 ± 3.1 %, $p = 0.001$). Samoin mattotestin maksimisuorituskyky-muuttujista V_{max} (SO 5.1 ± 3.2 %, $p < 0.001$; EM 2.7 ± 1.6 %, $p < 0.001$) sekä kehonpainoon suhteutettu ja absoluuttinen VO_{2max} paranivat niin SO- (6.0 ± 5.2 %, $p = 0.001$ ja 4.9 ± 5.8 %, $p = 0.011$) kuin EM-ryhmälläkin (4.1 ± 3.7 %, $p = 0.005$ ja 2.4 ± 3.6 %, $p = 0.036$). V_{max:n} osalta SO-ryhmän suhteellinen kehitys oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa verrattuna EM-ryhmään ($p = 0.033$). Hermolihasjärjestelmän testeissä kevennyshypyn suhteellinen kehitys pre-post -vertailussa oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa SO-ryhmässä kuin EM-ryhmässä ($p < 0.05$).

Blokkiharjoittelu vaikuttaisi parantavan kestävyysuorituskykyä tehokkaasti suhteellisen lyhyessä ajassa. Sekä sykeohjattu että ennalta määrätty ohjelmointi kehittivät kestävyysuorituskykyä, mutta palautumismittauksiin perustuva sykeohjattu harjoittelu vaikuttaisi toimivan V_{max:n} kehityksen perusteella paremmin kuin ennalta määrätty harjoittelu. Lisäksi sykeohjatun harjoittelun hyödyt näkyvät mahdollisesti hermolihasjärjestelmän suorituskyvyssä ja erityisesti kevennyshypyn kaltaisissa nopean voimantuoton suorituksissa.

Asiasanat: Kestävyysuorituskyky, VO_{2max}, blokkiharjoittelu, intervalliharjoittelu

KIITOKSET

Tämä pro gradu -tutkielma on osa laajempaa Liikuntabiologian laitoksen tutkimusprojektia, jota johti professori Keijo Häkkinen. Tutkimusta oli mukana tukemassa Firstbeat Technologies Oy, joka yhdessä Liikuntabiologian laitoksen kanssa vastasi tutkimuksen rahoituksesta. Tutkimuksesta valmistuu kaikkiaan kolme eri osa-alueisiin liittyvää pro gradu -tutkielmaa. Tämä tutkielma keskittyy sykeohjatun ja ennalta määrätyn blokkiharjoittelun vaikutusten vertailuun sekä kestävyysuorituskyvyn että hermolihasjärjestelmän toiminnan näkökulmasta. Haluan kiittää Firstbeatia ja sen henkilöstöä, jotka osallistumisellaan mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen, Liikuntabiologian laitoksen henkilöstöä ja projektissa avustaneita opiskelijoita, työni ohjaajaa sekä ennen kaikkea sitoutumisellaan ja korvaamattomalla panoksellaan mukana olleita tutkittavia.

KÄYTETYT LYHENTEET

BPM	sydämenlyöntiä minuutissa
EM	ennalta määrätty ryhmä
HF	korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu (0.15-0.40 Hz)
HIT	korkeaintensiteettinen intervalliharjoittelu
HR	syke
PK	peruskestävyys
SMIT	supramaksimaalinen intervalliharjoittelu
SO	sykeohjattu ryhmä
V_{\max}	maksiminopeus mattotestissä
$VO_{2\max}$	maksimaalinen hapenottokyky
1 RM	yhden toiston maksimi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY	3
2.1 Kestävyys suorituskyvyn osatekijät.....	3
2.2 Submaksimaalinen kestävyys	3
2.3 Maksimaalinen hapenottokyky.....	5
2.4 Taloudellisuus.....	8
2.5 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky	9
3 KESTÄVYYSHARJOITTELU.....	11
3.1 Kestävyys harjoittelun määritelmät	11
3.2 Intervalliharjoittelu	12
3.2.1 Aerobiset intervallit	12
3.2.2 Supramaksimaaliset intervallit	14
3.3 Kestävyys harjoittelun adaptaatiot.....	15
3.3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö	15
3.3.2 Perifeeriset adaptaatiot	17
4 KESTÄVYYSHARJOITTELUN OHJELMOINTI.....	19
4.1 Kestävyys harjoittelun ohjelmointimallit	19
4.2 Blokkiharjoittelu.....	22
4.3 Sykeohjattuun harjoitteluun perustuvat menetelmät	25
4.3.1 Sykevälivaihtelu palautumistilan arvioinnissa	25
4.3.2 Sykeohjattu harjoittelu.....	28

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	30
6 MENETELMÄT.....	32
6.1 Tutkittavat.....	32
6.2 Tutkimusasetelma.....	33
6.3 Harjoittelu.....	34
6.3.1 Harjoitusmuodot	34
6.3.2 Harjoittelun ohjelmointi	37
6.4 Mittaukset	39
6.4.1 Mittausohjeet- ja aikataulut	39
6.4.2 Kestävyyssmittaukset	40
6.4.3 Kehonkoostumus ja hermolihasjärjestelmän mittaukset	43
6.4.4 Palautumismittaukset.....	44
6.5 Tilastolliset analyysit.....	45
7 TULOKSET	46
7.1 Kehonkoostumus	46
7.2 Harjoittelu.....	46
7.3 Kestävyyssmittaukset.....	49
7.4 Hermolihasjärjestelmän testit	53
7.5 Palautumisindeksi.....	57
8 POHDINTA.....	59
LÄHTEET	69

1 JOHDANTO

Miten kovaa, kuinka pitkään ja kuinka usein? Näiden kysymysten parissa kestävyysurheilijat ja -valmentajat ovat tekemisissä lähes päivittäin. Kysymyksiin on olemassa useita erilaisia vastauksia, eikä alan tutkimuksissakaan olla päästy yksimielisyyteen kestävyysharjoittelun optimaalisesta ohjelmointimallista. Huippu-urheilijoiden harjoitusanalyseissa on havaittu melko usein esiintyvän 80/20-jakauma matalaintensiteettisen ja korkeaintensiteettisen harjoittelun välillä (Tonnesen ym. 2014). Samoin harjoittelun on havaittu erityisesti kilpailukaudella olevan polarisoitua, jolloin niin sanottu kynnysharjoittelu on melko vähäistä (Tonnesen ym. 2014).

Viime vuosina korkeaintensiteettisen kestävyysharjoittelun blokkiohjelmointi on todettu tehokkaaksi harjoitusmalliksi useissa tutkimuksissa (Breil ym. 2010; Ronnestad ym. 2016; Garcia-Pallares ym. 2010). Blokilla tarkoitetaan lyhyttä harjoitusjaksoa, jonka aikana keskitytään minimaaliseen määrään eri ominaisuuksia (2-3). Blokin sisällä on oltava suuri määrä harjoituksia, jotka tähtäävät nimenomaan halutun ominaisuuden kehittämiseen. Käytännössä tämä ohjaa siihen, että eri ominaisuuksia harjoitetaan peräkkäisillä eikä päällekkäisillä jaksoilla. Erityisesti huippu-urheilijat tarvitsevat kehittyäkseen suuria ärsykeitä ja intensiivistä harjoittelua, johon tarkasti kohdennetun blokkiharjoittelun on ajateltu vastaavan. (Issurin 2008.) Edelleen on kuitenkin hieman epäselvää, miksi blokkiohjelmoinnilla on saavutettu suurempaa kehitystä verrattuna perinteiseen malliin.

Sykeohjattu harjoittelu on melko uusi ohjelmointimalli, jossa harjoittelua ja erityisesti HIT-harjoittelua ohjelmoidaan autonomisen hermoston toimintaan perustuen. Mallin teoriana on, että erityisesti HIT-harjoittelu vaikuttaa elimistön toimintoja säätelevien parasympaattisen ja sympaattisen hermoston tasapainoon. Sykevälivaihtelun avulla voidaan arvioida sydämen autonomista säätelyä, jolloin sykevälivaihtelun laskemista pidetään negatiivisena ja nousua positiivisena signaalina elimistön palautumistilasta. (Kiviniemi ym. 2007; Vesterinen ym. 2016.) Blokkiharjoittelun ohjelmointia sykeohjatusti ei olla varsinaisesti vielä tutkittu. Tämän

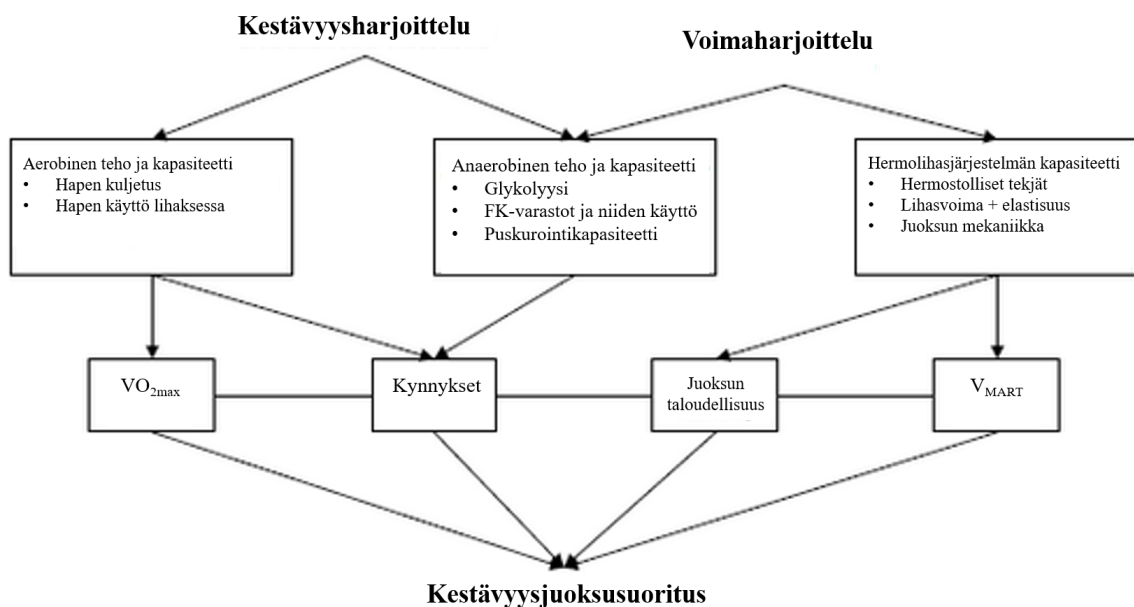
tutkimuksen tarkoituksena on vertailla ennalta määrätyn ja sykeohjatun blokkiharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn sekä hermolihasjärjestelmän toimintaan

.

2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

2.1 Kestävyysuorituskyvyn osatekijät

Maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat useat eri osatekijät, joista usein merkittävimpinä pidetään maksimaalista hapenottoa (VO_{2max}), aerobista ja anaerobista kynnyksatasoa, suorituksen taloudellisuutta sekä hermolihasjärjestelmän suorituskykyä. Suorituksen kesto, intensiteetti ja laji vaikuttavat eri tekijöiden painottumiseen. (Joyner & Coyle 2008; Rusko 2003, 2-16.) Kuvassa 1 on havainnollistettu kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat osatekijät mukailtuna Paavolaisen ym. (1999) tutkimuksesta.



KUVA 1. Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät mukailtuna Paavolaisen ym. (1999) tutkimuksesta.

2.2 Submaksimaalinen kestävyys

Submaksimaalinen kestävyys on pitkälti riippuvaista perifeerisistä tekijöistä kuten lihassolujen oksidatiivisesta kapasiteetista, erityisesti pitkissä suorituksissa glykogeenivarastojen koosta ja toisaalta lihassolujen kyvystä käyttää rasvahappoja energiaksi (McArdle ym. 2007, 459;

Hawley ym. 1997). Yleisimmin submaksimaalista kestävyyttä ilmaistaan kynnystasoina (nopeus, teho, hapenkulutus) tai suoritustehon suhteellisena osuutena maksimaalisesta tehosta pitkäkestoisessa yhtäjaksoisessa kuormituksessa (fractional utilization of VO_{2max}) (Jones 2006).

Erilaisia kynnysmääritelmiä on lukuisia. Suomessa vakiintuneina termeinä käytetään aerobista ja anaerobista kynnystä (Nummela 2007, 66-67). Aerobisen ja anaerobisen kynnysten määritelmät ovat perustuneet pitkälti Aunolan ja Ruskon (1986) kriteereihin liittyen veren laktaattipitoisuudessa sekä hengityskaasuissa havaittuihin muutoksiin. Muita usein tutkimuksissa esiintyviä kynnysmääritelmiä ovat laktaattikynnys (lactate threshold 1 ja 2), ventilaatiokynnys (ventilatory compensation point), OBLA (onset of blood lactate accumulation) sekä maximum lactate steady state. Kaikki edellä mainitut viittaavat muutospaikkaan aerobisen ja anaerobisen energiantuoton suhteessa, jonka tasolla ja alapuolella laktaatin tuotto sekä poisto ovat tasapainossa. Kynnystä pidetään viimeisenä suoritustehona, jolla suorituksen jatkuessa saavutetaan yhä steady state. (Ghosh 2004.)

Anaerobisen kynnysten taso käytännössä määrittää, millä tasolla kestävyysuoritusta kyetään ylläpitämään pitkäjaksoisesti. Suoritustehon ylittäessä kynnystason steady statea ei enää saavuteta, mistä on seurauksena suoritustehon lasku johtuen pääasiassa laktaatin muodostumisesta ja happamuuden lisääntymisestä työtä tekevissä lihaksissa. (Ghosh 2004.) Aerobisen kynnysten suoritustehoa kyetään ylläpitämään yhtäjaksoisesti useita tunteja (Meyer ym. 2000) ja anaerobisen vähintään 45-60 minuuttia (Urhausen ym. 1993; Baron ym. 2008). Baron ym. (2008) spekuloiivat, että neuraaliset tekijät vaikuttavat pitkäkestoiseen suoritukseen mahdollisesti enemmän kuin energiantuottoon tai verenkiertoelimistöön liittyvät. Pitkässä kestävyysuorituksessa fysiologisten muuttujien puolesta (laktaatti, syke, hapenkulutus) suoritustehoa pitäisi useimmiten kyetä ylläpitämään, vaikka yksilö ei niin käytännössä kokisikaan (Baron ym. 2008).

Anaerobisen kynnysten ja 10 kilometrin juoksuuorituksen välillä on havaittu useissa tutkimuksissa merkitseviä korrelaatioita (Santos-Concejero 2014; Bird ym. 2003; Powers ym. 1983). Myös lyhyemmillä juoksumatkoilla 3000 metristä 5000 metriin kynnysnopeuden ja

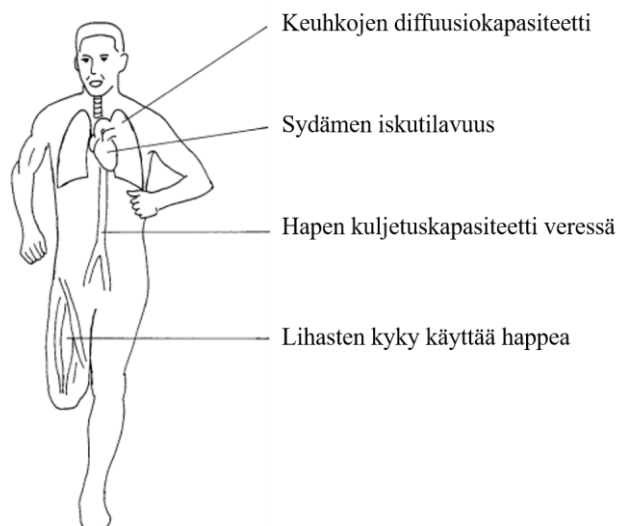
juoksuosuorituksen välillä on havaittu korrelaatioita (Weltman ym. 1990; Grant ym. 1997; Epperson ym. 1999). Erityisen hyvin kynnystaso vaikuttaisi erottelevan kestävyysosuorituskykyä, kun on kyse homogeenisestä joukosta (Noakes ym. 1990). Harjoittelulla on vaikutusta kykyyn ylläpitää suoritustehoa pitkässä kuormituksessa. Kestävyysurheilijat voivat kyetä ylläpitämään kynnystason tehoa kaksinkertaisesti harjoittelemattomia kauemmin (Coyle & Joyner 2008). Anaerobisen kynnystason kehittymisen kautta kestävyysosuorituskyky voi parantua ilman muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä (Bishop ym. 1998).

2.3 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalista hapenottokykyä on pidetty merkittävänä kestävyysosuorituskyvyn mittarina jo 1920-luvun Hill:n ym. (1924) pioneeritutkimuksista lähtien. Maksimaalinen hapenottokyky ilmaistaan tavanomaisesti suurimpana mitattuna hapenkulutuksen arvona minuuttia kohden (Nummela 2007, 67). Kestävyyslajeissa, joissa kannatellaan omaa kehonpainoa, hapenkulutus ilmaistaan kehonpainoon suhteutettuna (ml/kg/min). Tämän lisäksi se voidaan ilmaista absoluuttisena arvona (l/min). Maksimaalista hapenkulutuksen tasoa kyetään ylläpitämään korkeintaan noin kymmenen minuutin ajan (Morton & Billat 2000). Tämän vuoksi kynnystasojen rooli kestävyysosuorituskykyä selittävänä tekijänä kasvaa suorituksen keston pidentyessä. Merkitseviä korrelaatioita on kuitenkin havaittu maksimaalisen hapenottokyvyn sekä kestävyysosuorituskyvyn osalta juoksumatkoilla aina 3000 metristä maratoniin (Emerick ym 1998; Noakes ym. 1990; Housh ym. 1988). Toisin kuin kynnysten osalta, maksimaalinen hapenottokyky erottelee kestävyysosuoritusta merkittävästi heterogeenisessä joukossa, mutta ei niinkään homogeenisessä (Noakes ym. 1990). Yksilöllisiä maksimaalisia hapenottolukemia on julkaistu hyvin harvoin. Todistettavasti korkeimmat hapenottolukemat ovat olleet 90 ml/kg/min luokkaa, kun taas liikkumattomalla ihmisellä ne ovat 30 ml/kg/min tasoa (Rusko 2003, 2).

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät voidaan karkeasti jakaa sentraalisiin sekä perifeerisiin tekijöihin. Sentraaliset tekijät viittaavat hapenkuljetukseen keuhkoista lihaksiin ja perifeeriset tekijät hapen hyödyntämiseen lihaksessa. Edelleen on hieman epäselvää, ovatko sentraaliset vai perifeeriset tekijät yleisemmin maksimaalista hapenottokykyä rajoitta-

va tekijä. Jonkinlaiseen konsensuskseen on kuitenkin päästy siitä, että pienillä lihasryhmillä työskenneltäessä pääasiassa perifeeriset tekijät rajoittavat suoritusta ja suurten lihasryhmien työskentelyssä puolestaan sentraaliset tekijät ovat useimmiten suoritusta rajoittava tekijä. (Basset & Hawley 2000.) Kuvassa 2 on havainnollistettu maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät.



KUVA 2. Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät. Mukailtu Basset:n ja Howleyn (2000) kuvasta.

Sentraalisista tekijöistä keuhkotuuletusta ei yleensä pidetä maksimaalista hapenottokykyä rajoittavana tekijänä (Basset & Howley 2000). Kuitenkin huippu-urheilijoilla, joiden sydämen minuuttitilavuus on suuri ja verenkiertoaika keuhkon kapillaareissa lyhyt, voidaan havaita hapen desaturaatiota valtimoveressä (Dempsey ym. 1984). Hengitystyöhön liittyen on myös havaittu, että pitkäkestoisissa intensiivisissä suorituksissa hengityslihasten on mahdollista väsyä, mikä puolestaan voi vaikuttaa negatiivisesti suoritustehoon (McArdle ym. 2007, 468). Kestävyysurheilijoilla hengityslihasten kuluttaman energiamäärän on todettu olevan pienempää verrattuna harjoittelemattomiin, jolloin happea riittää enemmän muille työtä tekeville lihaksille (McArdle ym. 2007, 468).

Kestävyysurheilijoiden sydämen maksimaalinen minuuttitilavuus voi olla jopa 40 litraa minuutissa, kun taas liikkumattomalla se on noin 15 litraa minuutissa (Rusko 2003, 2). Sydämen

minuuttitulavuutta ja iskuutilavuutta voidaankin pitää merkittävänä maksimaalista hapenotto-
kykyä rajoittavana tekijänä erityisesti, jos suuret lihasryhmät ovat käytössä. (Bassett & How-
ley 2000; Rowell 1986). On arvioitu, että jopa 70-80 % maksimaalisen hapenottoyvyn rajoi-
tuksista liittyvät nimenomaan maksimaaliseen minuuttitulavuuteen (Cerretelli & Di Prampero
1987).

Veren hapenkuljetuskapasiteettiin vaikuttavat punasolu- ja hemoglobiinimassa (Mäirbaurl
2013). Hapenkuljetuskapasiteetin vaikutukset hapenottokykyyn on todistettu tutkimuksissa,
joissa on tehty verensiirtoja (Spriet ym. 1986) tai veren hemoglobiinimassaa on lisätty keino-
tekoisesti (Durussel ym. 2013). Molemmissa tapauksissa havaittiin merkittävää kehitystä
maksimaalisessa hapenottokyvyssä (+8 %) ja Durusselin ym. (2013) tutkimuksessa lisäksi
maksimaalisessa juoksusuorituksessa (3000m, -6 %) ilman varsinaista kestävyysharjoittelua.
Hapenkuljetuskapasiteetin ohella veritulavuus vaikuttaa hapenottokykyyn välillisesti iskuutila-
vuuden kautta. Veritulavuus vaikuttaa suoraan lihaksista sydämeen palaavan laskimoveren
määrään. Suurempi laskimopaluu kasvattaa iskuutilavuutta sydänlihaksen venyessä ja näin
maksimaalinen sydämen minuuttitulavuus kasvaa. (Rusko 2003, 3.)

Lihastason perifeerisistä tekijöistä mitokondrioiden määrä ja koko sekä niiden oksidatiivisten
entsyymien aktiivisuus (Bompa & Haff 2009, 293) sekä kapillaarisuonten määrä lihaksissa
vaikuttavat aerobiseen kapasiteettiin. A-vO₂-ero (valtimo- ja laskimoveren välinen happiero)
suurenee, kun myös korkean verenvirtauksen aikana lihakset kykenevät hyödyntämään hap-
pea tehokkaammin (Basset & Hawley 2000). Erityisesti pelkästään pienten lihasryhmien
työskennellessä perifeeriset tekijät ovat usein aerobista kapasiteettia rajoittava osa-alue (Saltin
ym. 1976).

Maksimaalisen hapenottoyvyn kehitystä voidaan pitää hyvin yksilöllisenä. Homogeenisella
joukolla ja samanlaisella harjoitusohjelmalla maksimaalisen hapenottoyvyn kehitys voi
vaihdella negatiivisesta muutoksesta yli 30 % kehitykseen (Vollaard ym. 2009). Yleisesti voi-
daan sanoa, että kehitys on useimmiten melko pientä jo huippuvaiheessa olevilla urheilijoilla
(Arrese ym. 2005). Arresen ym. (2005) kolmen vuoden seurantatutkimuksen aikana miesur-
heilijat paransivat maksimaalista kestävyysuoritustaan 1.77 % ja naisurheilijat 0.69 % ilman

merkittäviä muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Harjoitustaustan ohella myös perimän on havaittu vaikuttavan maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen. Bouchard:n ym. (1999) tutkimuksessa havaittiin 2,5-kertainen varianssi maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksessä perheiden välillä verrattuna perheiden sisäiseen varianssiin.

2.4 Taloudellisuus

Suorituksen taloudellisuutta mitataan yleensä epäsuorasti tasavauhtisen submaksimaalisen suorituksen hapenkulutuksen avulla (Barnes & Kilding 2015). Jotta yksilöiden välinen vertailu on mahdollista, hapenkulutus ilmaistaan joko painoon suhteutettuna tai se muutetaan muotoon ml/kg/km (Foster & Lucia 2007). Taloudellisuuden on havaittu selittävän juoksusuoritusta erityisesti homogeenisessa joukossa, jossa VO_{2max} sekä kynnykset ovat samalla tasolla (Morgan ym. 1989). Harjoitelleilla juoksijoilla voi olla jopa 30 % eroja suorituksen taloudellisuudessa (Daniels & Daniels 1992).

Suorituksen taloudellisuuteen vaikuttavat monet tekijät kuten energiantuoton tehokkuus, yksilölliset antropometriset ominaisuudet, suoritustekniset tekijät sekä hermolihasjärjestelmän tehokkuus ja kyky varastoida elastista energiaa (Barnes & Kilding 2015). Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn on viime vuosina tutkittu runsaasti. Suorituksen taloudellisuuden paraneminen nimenomaan hermolihasjärjestelmän toiminnan tehostumisen kautta on yksi merkittävimmistä voimaharjoittelun vaikutuksista (Taipale ym. 2010; Vikmoen ym. 2016).

Erytisesti suorituksen keston pidentyessä taloudellisuuden merkitys kasvaa. On ehdotettu, että 5 % lasku juoksusuorituksen energiankulutuksessa voi parantaa juoksusuorituskykyä 4 %. (Di Prampero ym. 1993.) Esimerkiksi Paavolaisen ym. (1999) tutkimuksessa vastaavat havainnot olivat 8.1 % ja 3.1 % ilman muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Toisaalta myös vastakkaisia havaintoja on tehty. Billat:n ym. (2003) tutkimuksessa juoksun taloudellisuus maratonnopeudella oli heikompaa kenialaisilla huippujuoksijoilla verrattuna hieman heikompiin. Keskiarvoiset hapenkulutukset olivat tässä tapauksessa 195 ml/kg/min vs. 210 ml/kg/km (Billat ym. 2003). Moosesin ym. (2015) tutkimuksessa kenialaisten huippujuoksi-

joiden taloudellisuus ei korreloinut kilpailumenestyksen kanssa. Pelkkä suorituksen taloudellisuus ei siis välttämättä erottele huippujuoksijoita heikompi-tasoista pidemmälläkään juoksu-matkoilla.

2.5 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky

Hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn voidaan nähdä vaikuttavan myös kestävyys-suorituskykyyn (Noakes 1988). Hermostoon ja lihastason liittyvistä tekijöistä tahdonalainen aktivaatio, lihassolujakauma, elastisen energian hyödyntäminen sekä väsymys hermolihasjärjestelmän tasolla voivat kaikki vaikuttaa kestävyys-suoritukseen (Paavolainen 1999, 23-25). Useissa yh-distetyn voima- ja kestävyys-harjoittelun tutkimuksissa on havaittu kehitystä kestävyys-suorituksessa (V_{max} , juoksuaika) ilman muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä (Taipale 2010; Storen ym. 2008; Paavolainen ym. 1999). Ilmiö viittaa siihen, että hermolihasjärjestel-mässä tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa positiivisesti myös kestävyys-suorituskykyyn.

Ronnestad:n ja Mujikan (2014) mukaan parantunut voimantuottonopeus voi vähentää aikaa, joka vaaditaan tietyn voimatason saavuttamiseen liikesyklin aikana. Lyhyempi supistusaika voi ainakin teoreettisesti mahdollistaa suuremman verimäärän kiertämisen lihaksessa, koska aika, jolloin veri ei pääse lihakseen pienenee. Lisäksi nopeampi voimantuottoaika mahdollis-taa suuremman voimantuoton vakioajalla tai pidemmän palautumis- ja rentoutumisajan lii-kesyklissä. (Ronnestad & Mujika 2014.) Maksimivoiman kasvu voi vähentää aktivoitun lii-hasmassan määrää samalla absoluuttisella submaksimaalisella teholla (Ploutz ym. 1994). Paa-volaisen ym. (1999, 63) tutkimuksessa korkeampitasoisilla juoksijoilla oli lyhyempi kontakti-aika jarrutusvaiheessa, suurempi suhteellinen esiaktivaatio sekä pienempi suhteellinen agonis-tien iEMG-aktivaatio työntövaiheessa.

On tärkeää huomioida etenkin puhuttaessa voimantuottonopeuksista, että esimerkiksi Häkki-nen ym. (2002) sekä Mikkola ym. (2012) havaitsivat yhdistetyn voima-ja kestävyys-harjoitte-lun mahdollisesti häiritsevän nimenomaan nopean voimantuoton kehittymistä, varsinkin jos harjoitusjakso on pitkä ja harjoituskuorma on suuri. Myös Ronnestad:n ym. (2012) mukaan erityisesti runsas kestävyys-harjoittelun määrä voi heikentää niin maksimivoiman kuin voi-

mantuottonopeudenkin kehittymistä. Toivottujen adaptaatioiden saavuttamiseksi harjoittelun oikea rytmitys on siis avainasemassa.

3 KESTÄVYYSHARJOITTELU

3.1 Kestävyysharjoittelun määritelmät

Kestävyysharjoittelussa jaottelu erilaisiin intensiteetteihin voidaan tehdä monella tapaa. Yleisimmin jaottelu perustuu sykelukemaan suhteessa maksimisykkeeseen sekä veren laktaattipitoisuuteen ja sen muutoksiin. Seiler (2012, 31) jaottelee harjoitusalueet viiteen osaan. Taulukossa 1 on esitelty tyypillinen hapenkulutus, syke ja laktaattilukema eri intensiteettialueilla. Viiden alueen ohella yleisesti käytössä on myös kolmen alueen malli, jossa alue 1 tarkoittaa alle aerobisen kynnyksen tehoa, alue 2 tehoa aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välissä ja alue kolme tehoa anaerobisen kynnyksen yläpuolella. (Seiler 2012, 32.) Kolmeen eri sykealueeseen jaottelun etuna voidaan nähdä sen yksinkertaisuus, jolloin esimerkiksi aloittelevan tai kokemattoman urheilijan on helpompi toteuttaa harjoitus halutulla teholla. Puhuttaessa huippu-urheilijoista tarkempi viiden sykealueen jako voi kuitenkin olla käyttökelpoisempi. (Seiler 2012, 32.) Tutkimuksissa jako eri intensiteettialueille tehdään usein vielä karkeammin LIT- ja HIT-harjoitteluun, joista LIT (low intensity training) viittaa alle aerobisen kynnyksen tehtävään matalaintensiteettiseen peruskestävyysharjoitteluun ja HIT (high intensity training) yli aerobisen tai anaerobisen kynnyksen tapahtuvaan korkeaintensiteettiseen vauhti- tai maksimikestävyysharjoitteluun (Seiler & Tonnesen 2009).

Kestävyysharjoittelu eri tehoalueilla voidaan jakaa tasavauhtiseen harjoitteluun, intervalliharjoitteluun sekä vauhtileikkelyihin (fartlek). Peruskestävyysharjoittelu toteutetaan tavanomaisesti tasavauhtisena harjoituksena. Vauhti- ja maksimikestävyysharjoituksissa käytetään tasavauhtisten harjoitusten lisäksi intervalliharjoituksia, joissa työ- ja palautusjaksot vuorottelevat. (Bompa & Haff 2009, 301.)

TAULUKKO 1. Hapenkulutus suhteessa maksimiin, syke suhteessa maksimiin ja veren laktaattipitoisuus eri intensiteettialueilla. (Seiler & Tonnesen 2009)

Intensiteettialue	VO2 (%/max)	Syke (%/max)	Laktaatti (mmol/l)
1	45-65	55-75	0.8-1.5
2	66-80	75-85	1.5-2.5
3	81-87	85-90	2.5-4
4	88-93	90-95	4-6
5	94-100	95-100	6-10

3.2 Intervalliharjoittelu

3.2.1 Aerobiset intervallit

Intervalliharjoittelu voidaan jakaa pidempiin aerobisiin intervaleihin (HIIT) sekä lyhyempiin anaerobisiin intervaleihin (SMIT). HIT-intervalleissa suoritusteho on yleensä anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välissä (Laursen & Jenkins 2002). SMIT-harjoituksissa puolestaan suoritusteho ylittää maksimaalisen aerobisen tehon. (Gist ym. 2014) Molemmilla intervallityypeillä on tutkimuksissa saatu aikaan merkittävää kehitystä kestävyysuorituskyvyssä (Helgerud ym. 2007; Burgomaster ym. 2008). Intervalliharjoittelun ylipäänsä on todettu olevan tehokkaampi tapa kehittää maksimaalista kestävyysuorituskykyä verrattuna tasavauhtiseen harjoitteluun ainakin lyhyissä harjoitusinterventioissa (Milanovic ym. 2015).

Aerobisissa intervaleissa yksi tärkeä tavoite on maksimoida aika lähellä maksimaalista hapenkulutusta. Mittarina käytetään usein 90-95 % tasoa maksimaalisesta (Rozenek ym. 2007; Wakefield & Glaster 2009). Tavanomaisia aerobisia intervalliprotokollia ovat esimerkiksi 4x4 min, 5x6 min sekä 4x8 min 2-3 minuutin palautuksella (Helgerud ym. 2007; Ronnestad ym. 2015; Seiler ym. 2013). Taulukossa 2 on esitelty muita tutkimuksissa käytettyjä intervalliprotokollia.

TAULUKKO 2. Kestävyysharjoittelututkimuksissa käytettyjä intervalliprotokollia.

Aerobiset intervallit (HIIT)	Intensiteetti	Palautus
47x15 s (Helgerud ym. 2007)	90-95/HR _{max}	15 s
16x3x30 s (Ronnestad ym. 2015)	max.	15 s/3 min
5x2 min (Nybo ym. 2010)	>95 HR _{max}	2 min
4x4 min (Helgerud ym. 2007)	90-95/HR _{max}	3 min
5x6 min (Ronnestad ym. 2015)	max.	2.5 min
4x8 min (Seiler ym. 2013)	max.	2 min
Supramaksimaaliset intervallit (SMIT)	Intensiteetti	Palautus
7-8x20 s (Tabata ym. 1996)	170 %/ VO _{2max}	10 s
4-6x30 s (Burgomaster ym. 2008)	All-out	4 min
8x60 s (Mckay ym. 2009)	120/ VO _{2max}	60 s

Aerobisten intervallien on havaittu kehittävän erityisesti kestävyys suorituskykyyn liittyviä sentraalisia tekijöitä kuten sydämen maksimaalista minuutti- ja iskutilavuutta (Helgerud ym. 2007; Daussin ym. 2007). Muita mahdollisia sentraalisia vaikutusmekanismeja ovat plasma- ja veritilavuuden kasvu (Convertino 1991) sekä parantunut lämmönsietokyky (Armstrong ym. 1998). Perifeeriset tekijät eivät todennäköisesti ole yhtä suuressa roolissa. Weston ym. (1997) sekä Kohn ym. (2011) eivät havainneet muutoksia kolmen ja kuuden viikon HIT-jakson jälkeen juoksijoiden lihasten oksidatiivisessa kapasiteetissa. On kuitenkin näyttöä, että HIT-harjoittelu voi kehittää rasvahappojen hyödyntämistä energiaksi myös kovatasoisilla urheilijoilla (Billat 2001). Harjoitteleilla kuntoilijoilla ja huippu-urheilijoilla HIT-harjoittelun aiheuttamat muutokset maksimaalisessa hapenottokyvyssä sekä suorituksen taloudellisuudessa voivat olla melko pieniä, vaikka maksimisuoritus tai aika-ajosuoritus olisivatkin kehittyneet. Sen sijaan harjoittelemattomilla tai vähän harjoitteleilla intervalliharjoitusjaksojen aikaansaama

kehitys maksimaalisessa hapenottokyvyssä sekä muissa kestävyysmuuttujissa on suhteessa suurempaa. (Laursen & Jenkins 2002.)

Aerobisen kapasiteetin ohella lihasten happamuuden puskurointikapasiteetin parantuminen voi olla yksi kestävyys suorituskykyä kehittävä tekijä, johon HIT-harjoittelu vaikuttaa. Westonin ym. (1997) tutkimuksessa jo kolmen viikon HIT-harjoittelu paransi happamuuden puskurointikapasiteettia lihaksissa. Puskurointikapasiteetin kasvu korreloi merkitsevästi 40 kilometrin aika-ajosuorituksen kanssa (Weston ym. 1997). Myös Harris ym. (2007) sekä Edge ym. (2006) havaitsivat viiden viikon HIT-harjoittelun aikana kehitystä maksimaalisen hapenottokyvyn ja anaerobisen kynnystehon lisäksi lihasten puskurointikapasiteetissa.

3.2.2 Supramaksimaaliset intervallit

Supramaksimaaliset intervallit ovat luonteeltaan anaerobisia ja tavallisesti kestoltaan puolesta minuutista minuuttiin. Intensiteetit vedoissa ylittävät maksimaalisen hapenottokyvyn ja voivat vaihdella 105 % maksimaalisesta aerobisesta tasosta aina all-out -tyyppisiin suorituksiin. Paljon tutkittu menetelmä on niin sanottu Wingate-malli, jossa 30 sekunnin all-out vetoja suoritetaan 4-6 kappaletta, tavanomainen palautus vetojen välillä on 4-5 minuuttia. (Burgomaster ym. 2008; 2005.) Taulukossa 2 on esitelty tutkimuksissa usein käytettyjä protokollia.

SMIT-intervalleja sisältäneissä tutkimusprotokollissa on havaittu selkeitä muutoksia maksimaalisessa kestävyys suorituskyvyssä. Supramaksimaalisten intervallien on havaittu aiheuttavan muutoksia nimenomaan lihastasolla, jolloin esimerkiksi glykogeenivarastojen koko ja oksidatiivisten entsyymien aktiivisuudet ovat kasvaneet sekä kapillaarisuonten määrä on lisääntynyt. SMIT-harjoittelun sentraaliset ja verenkiertoelimistöön liittyvät adaptaatiot sen sijaan vaikuttaisivat olevan melko pieniä. (Zinner ym. 2016; Macpherson ym. 2011; Burgomaster ym. 2005; 2008.)

SMIT-harjoittelun aikaansaamat muutokset lihastasolla voivat tapahtua melko nopeasti. Jo kahden viikon jälkeen kolmen viikoittaisen harjoitussession seurauksena on havaittu merkittävää kehitystä lihasten oksidatiivisessa potentiaalissa (Sloth ym. 2013). Adaptaatioiden no-

peus on usein hidastunut ensimmäisten viikkojen jälkeen kuten esimerkiksi Slothin ym. (2013) tapauksessa ($VO_{2max} + 6.8\%$ kahden viikon jälkeen vs. $+ 9.6\%$ kahdeksan viikon jälkeen). Useimpien supramaksimaalisia intervalleja sisältäneiden tutkimusten harjoittelu on koostunut pyöräilystä, mutta esimerkiksi Cicioni-Kolskyn ym. (2013) tutkimuksessa harjoittelu toteutettiin juosten. SMIT- ja HIT-harjoittelua verranneessa tutkimuksessa 3000 metrin juoksusuoritus kehittyi ryhmällä identtisesti, mutta maksimijuoksunopeus sekä repeated sprint ability kehittyivät SMIT-ryhmällä HIT-ryhmää enemmän. Sekä aerobisilla että supramaksimaalisilla intervalleilla voidaan siis kehittää kestävyysuorituskykyä mutta eri vaikutusmekanismien kautta.

3.3 Kestävyysharjoittelun adaptaatiot

3.3.1 Hengitys- ja verenkiertoelimistö

Maughan ym. (1997, 44) listasivat kestävyysuorituskykyä potentiaalisesti rajoittavat sentraaliset tekijät hengitys- ja verenkiertoelimistöön liittyen. Hengityselimistön osalta ventilaatio, alveolaarinen ventilaatio ja hapen diffuusio voivat osaltaan rajoittaa aerobista kapasiteettia. Verenkiertoelimistössä puolestaan sydämen iskutilavuus, veren hemoglobiinikonsentraatio ja veritilavuus ovat oleellisia tekijöitä kestävyysuorituskyvyn kannalta. (Maughan ym. 1997, 44.) Sentraalisista tekijöistä erityisesti sydämen iskutilavuuden on havaittu korreloivan merkittävästi kestävyysuorituskyvyn kanssa (Wagner ym. 1991). Sydämen iskutilavuudessa tapahtuukin muutoksia kroonisen kestävyysharjoittelun myötä. Tummuvooren (2004) kuuden ja puolen vuoden seurantatutkimuksessa hiihtäjillä havaittiin merkittäviä muutoksia vasemman kammion massassa (+ 55 g), tilavuudessa (+ 28 ml) sekä iskutilavuudessa (+ 25 ml). Muutoksista tilavuuden kasvu tapahtui lähinnä ensimmäisen kolmen vuoden aikana, kun taas seinämien paksuuntuminen tapahtui jälkimmäisen kolmen vuoden aikana. (Tummuvoori 2004, 49-63.)

Adaptaatiot sydämessä tapahtuvat käytännössä kahta eri reittiä. Sydänlihaksen hypertrofia on luonteeltaan eksentristä, kun puhutaan volyyymiylukuormituksesta. Kun taas puhutaan paineylikuormituksesta, hypertrofia on luonteeltaan konsentrista. Yleisesti voidaan sanoa, että

konsentrisen kuormitus vaikuttaa kammion seinämän paksuuteen, kun taas eksentrisen vaikuttaa kammion tilavuuteen. (McArdle ym. 2007, 460.) Kestävyysharjoittelun ärsykkeet sydämelle ovat luonteeltaan enimmäkseen volyymikuormitukseen perustuvia eksentrisiä, mutta adaptaatiot ovat osittain laji- ja harjoitusmuotospesifejä. Konsentrista kuormitusta sydämelle aiheuttavat erityisesti voimaharjoittelun tai painin kaltaiset lajit, joissa sydän joutuu työskentelemään suurta painetta vasten. (Mihl ym. 2008.) Toisaalta myös esimerkiksi pyöräilyssä ja soudussa, joissa on mukana osittain isometristä lihastyötä ja systolinen verenpaine voi olla melko korkea (>200 mmHg), aiheutuu sydämelle eksentrisen kuormituksen lisäksi konsentrista kuormitusta (Shapiro 1992; Clifford ym. 1994).

Pidempikestoisen kestävyysharjoittelun aiheuttamien morfologisten muutosten ohessa myös lyhyempien harjoitusjaksojen myötä on havaittu muutoksia sydämen iskutilavuudessa. Erityisesti kovatehoisen intervalliharjoittelun on todettu kasvattavan maksimaalista iskutilavuutta. (Helgerud ym. 2007; Daussin ym. 2007; Wood ym. 2016.) Aiemmin ajateltiin, että sydämen iskutilavuuden kasvu kuormituksen aikana tasaantuu jo melko matalilla harjoitusintensiteeteillä. Sittemmin on kuitenkin todettu, että erityisesti korkeatasoisilla urheilijoilla iskutilavuus voi kasvaa liki maksimaalisen aerobiseen suoritustehoon saakka (Wang ym. 2011; Gledhill ym. 1994).

Veritilavuus voi kasvaa melko nopeasti 10-20 % jo kuuden kestävyysharjoitussession jälkeen. Kestävyysurheilijoiden veritilavuus voi olla jopa 35 % korkeampi harjoittelemattomiin verrattuna. Plasmavolyymi toisaalta palaa hyvin nopeasti harjoittelua edeltäneelle tasolle, jos harjoittelu lopetetaan. (McArdle ym. 2007, 463-464.) Menz ym. (2015) eivät havainneet muutoksia kolmen viikon HIT-harjoitusjakson aikana hemoglobiinimassassa, plasmavolyymissa tai veritilavuudessa. Myöskään Helgerud ym. (2007) eivät havainneet muutoksia veritilavuudessa intervalliharjoittelun seurauksena. Voi siis olla, että hematologiset muutokset ovat harjoituspesifejä. Kestävyysurheilijoiden suhteelliset hemoglobiiniarvot ovat melko samanlaisia kuin harjoittelemattomilla, vaikkakin absoluuttinen hemoglobiini- ja punasolumassa ovat suurempia (Schmidt ym. 2002). Steiner & Wehrin (2011) eivät havainneet muutoksia kestävyysurheilijoiden hemoglobiinimassassa 21-28 ikävuoden välillä, joten harjoittelulla ei todennäköisesti ole merkittävää vaikutusta jo harjoitelleiden verimuuttujiin.

3.3.2 Perifeeriset adaptaatiot

Perifeeriset adaptaatiot koostuvat käytännössä lihastasolla tapahtuvista muutoksista, joiden myötä hapen kuljetus ja hyödyntäminen tehostuvat (Maughan ym. 1997, 178). Adaptaatioista merkittävimpinä nähdään usein veren kapillaarisuonten lisääntynyt määrä lihassoluja kohden, mitokondrioiden määrän ja koon lisääntyminen, oksidatiivisten entsyymien aktiivisuuksien kasvu sekä suuremmat lihasten sisäiset glykogeeni- ja triglyseridivarastot. (Maughan ym. 1997, 178-186.)

Kestävyysharjoittelun myötä lihasten kapillaarisuonten määrä voi kasvaa melko nopeastikin 10-20 % harjoittelun aloittamisesta, mikä edesauttaa hapen siirtymistä lihassolujen käyttöön (McArdle ym. 2007, 467). Kapillaarien määrän lisäksi myös hypertrofiaa voi mahdollisesti tapahtua pienissä määrin nimenomaan 1-tyyppin lihassoluissa. Kestävyysurheilijoiden 1-lihassolujen on havaittu olevan 2-tyyppin lihassoluja suurempia. Nämä lihassolut sisältävät myös suhteessa runsaasti myoglobiinia, joka voi tehostaa aerobista energiantuottoa lihaksessa. (McArdle ym. 2007, 460.) Lihassoluihin liittyen Psilander ym. (2010) spekuloiivat, että SMIT-harjoitteiden hyöty voi perustua normaalisti aktivoimattomien 2-tyyppin lihassoluihin. Nämä eivät yleensä ole kovin oksidatiivisia, joten niiden oksidatiivisen kapasiteetin kehittyminen voi olla hyvin nopeaa. Saman suuntaisia havaintoja tekivät (Kohn ym. 2011), joiden HIT-intervention jälkeen positiivisia muutoksia havaittiin nimenomaan 2-tyyppin lihassoluissa.

Oksidatiivisten entsyymien aktiivisuus voi niin ikään kasvaa melko nopeasti. Jo muutaman viikon harjoitusjakson aikana kasvua voi tapahtua jopa 50 %. Toisaalta säännöllisesti harjoittelevilla vastaavia tai merkittäviä muutoksia voi olla enää hankala saavuttaa. (McArdle ym. 2007, 459.) Simoneau ym. (1987) havaitsivat, että adaptaatioiden ylläpito vaatii säännöllistä harjoittelua ja saavutetut adaptaatiot häviävät melko nopeasti. Lisäksi kehityksen suhteellinen suuruus pienenee (Simoneau ym. 1987). Entsyymiaktiivisuuksista osaa pidetään niin sanottuina pullonkauloina, jotka erityisesti voivat rajoittaa aerobisen energiantuoton nopeutta. Aerobisen energiantuoton kannalta avainentsyymeinä voidaan pitää sitraattisyntaasia, sukkinatidehydrogenaasia sekä cytokromi oksidaasia. (Rusko 2003, 7.) Erityisesti oksidatiivisten entsyymien aktiivisuuden lisääntyminen tehostaa rasvan hyödyntämistä energiaksi, minkä ansi-

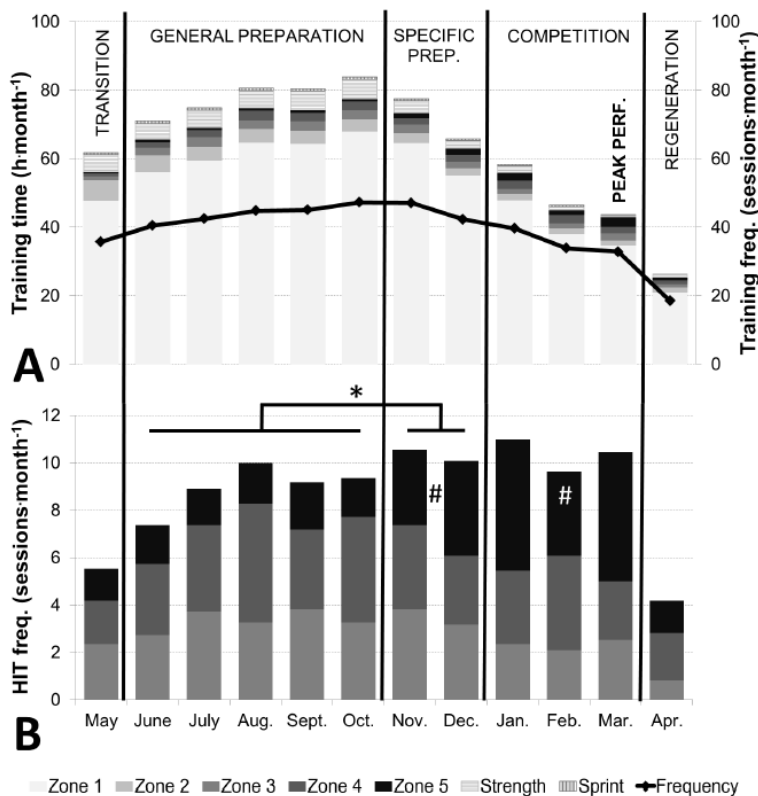
osta kestävyysharjoittelu kasvattaa rasvan suhteellista osuutta energiantuotosta submaksimaalisessa kuormituksessa (Hawley ym. 1998).

Solutasolla yksittäisen harjoituksen tarjoama ärsyke pienenee harjoittelun jatkuessa samanlaisena (Hoppeler ym. 2007; Nordsborg ym. 2003). Esimerkiksi harjoittelemattomilla AMPK:n aktiivisuus nousee 9-kertaiselle tasolle lepotasosta 120 minuutin pyöräilysession jälkeen 66 % tasolla $VO_{2max:sta}$. Kymmenen harjoituskerran jälkeen muutos on enää miltei olematon. Tämä korostaa harjoitusärsykkeen vaihtamisen merkitystä puhuttaessa pitkäjänteisestä kestävyys-suorituskyvyn kehittämisestä. (McConell ym. 2005.)

4 KESTÄVYYSHARJOITTELUN OHJELMOINTI

4.1 Kestävyysharjoittelun ohjelmointimallit

Miten jakaa harjoittelu eri tehoalueille on kysymys, johon tuskin on yhtä ainoaa oikeaa vastausta. Yksi tapa lähestyä ongelmaa on analysoida menestyneiden urheilijoiden harjoittelua. Tämäkin tosin jättää tilaa spekulatioille, josko erilaisella harjoittelulla olisi ollut mahdollisuus vieläkin parempaan tulokseen. Edellä mainittua lähestymistapaa käyttivät Tonnesen ym. (2014), kun he analysoivat 11 hiihtäjän ja ampumahiihtäjän harjoittelua maailmanmestaruutta tai olympiakultaa edeltäneenä harjoituskautena. Kuvassa 3 on esitelty harjoittelun jakautuminen tehoalueittain sekä HIT-harjoittelun kuukausittainen määrä harjoituskauden eri vaiheissa.



KUVA 3. Kuvassa on esitetty eri harjoitusalueiden suhteelliset osuudet sekä HIT-harjoittelun määrä harjoituskauden eri vaiheissa. Urheilijat ovat ampumahiihtäjiä ja hiihtäjiä, joiden harjoituskausi alkaa toukokuussa ja pääkilpailut ovat helmi-maaliskuussa. (Tonnesen ym. 2014)

Päälöydökset Tonnesenin ym. (2014) tutkimuksessa olivat, että menestyneiden hiihtäjien ja ampumahiihtäjien harjoitusmäärät olivat noin 800 tuntia vuodessa jakautuen 500 yksittäiseen harjoituskertaan. On tärkeää huomioida, että eri kestävyyslajien välillä voi olla suuriakin eroja harjoitusmäärissä riippuen lajin vaatimuksista. Esimerkiksi juoksijoilla on raportoitu 500-600 tunnin vuosittaisia määriä, suunnistajilla noin 650 tunnin (Tonnesen ym. 2015) ja triathlonisteilla 1000 tunnin harjoitusmääriä. (Tonnesen ym. 2014.) Juoksijoiden harjoitteluanalyseissa puhutaan usein kilometreistä tuntien sijaan (Billat ym. 2001; 2003), mikä tekee vertailusta muihin lajeihin haastavaa. Stellingwerf (2012) analysoi kolmen huippumaratoonarin harjoittelua kilpailua edeltävän 16 viikon ajan. Viikoittaiset harjoitusmäärät olivat 13 tunnin ja 180 kilometrin luokkaa. Vuositasolla tämä tarkoittaisi noin 675 tuntia ja 9300 kilometriä. On kuitenkin huomioitava, että harjoittelu ei ole samanlaista läpi harjoituskauden, joten vuositason harjoittelua ei voida suoraan analysoida 16 viikon perusteella. Muissa kestävyysjuoksijoiden harjoittelua analysoineissa tutkimuksissa juoksijoiden keskiarvoiset viikkokilometrit ovat vaihdelleet miehillä noin 150 – 200 viikkokilometrin ja naisilla noin 115 – 175 viikkokilometrin välillä. (Billat ym. 2001; Karp 2007; Stellingwerf 2012.)

Tonnesenin ym. (2014) tutkimuksessa kestävyysharjoittelun osuus hiihtäjien harjoittelun kokonaismäärästä oli 94 % loppujen ollessa nopeus- tai voimaharjoittelua. Kestävyiden osalta LIT-harjoittelun osuus ajallisesti oli noin 90 % ja HIT-harjoittelun noin 10 %. Session goal -lähestymistavalla, jossa harjoittelua ei jaotella sykedatan vaan harjoituksen tavoitteen perusteella (Sylta ym. 2014), harjoittelun intensiteettijakauma puolestaan oli 80 % ja 20 %. Juoksijoiden intensiteettijakauma on useissa harjoitteluanalyseissa ilmaistu eri kisamatkojen nopeuksina, mikä hieman hankaloittaa vertailua muihin lajeihin. Joka tapauksessa Tonnesenin ym. (2014) havaintoja vastaavia intensiteettijakaumia on todettu myös huippujuoksijoiden harjoitusanalyseissa kenialaisilla kestävyysjuoksijoilla (Billat ym. 2003) sekä huippumaratoonareilla, joiden harjoittelusta 75-78 % toteutettiin alle maratonvauhtia vastaavilla nopeuksilla (Billat ym. 2001; Karp 2007; Stellingwerf 2012).

Tonnesenin ym. (2014) tutkimuksessa selvitettiin myös huippuhiihtäjien harjoitusmäärien ja intensiteettien jakautumista harjoituskauden eri vaiheissa. Harjoitusmäärät olivat suurimmillaan peruskuntokaudella, jolloin lajinomaisen (rullahiihto, hiihto) harjoittelun osuus oli ainoastaan 50 % luokkaa. Kilpailukaudella sen sijaan harjoitusmäärät olivat pienimmillään, ja

harjoituksista 90 % tehtiin lajinomaisesti. HIT-harjoittelun määrä pysyi melko tasaisena läpi harjoituskauden, mutta kilpailukauden aikana toteutus alkoi muuttua enemmän polarisoiduksi, jolloin suhteellisesti suurempi osa harjoittelusta tapahtui 5. tehoalueella. (Tonnesen ym. 2014.)

Juoksijoiden harjoittelusta koko harjoituskauden osalta ei valitettavasti löydy juurikaan tutkittua tietoa, sillä seurantatutkimukset ovat olleet kestoltaan pääosin 8-16 viikon välillä. Juoksijoiden seurantatutkimuksista todennäköisesti pitkäkestoisimpia on Esteve-Lanaon ym. (2005) tutkimus. Esteve-Lanao ym. (2005) analysoivat kahdeksan hyvätasoisien juoksijan harjoittelua puolen vuoden ajan ennen pääkilpailuja. Analyysien perusteella 71 % harjoittelusta oli peruskestävyysharjoittelua, 21 % vauhtikestävyysharjoittelua ja 8 % maksimikestävyysharjoittelua. Tutkimuksessa havaittiin negatiivinen korrelaatio pääkilpailun ajan sekä peruskestävyysharjoitusmäärien välillä. Vastaava korrelaatio löydettiin lisäksi absoluuttisella kilometrimäärällä peruskestävyysalueella. Tonnesenin ym. (2014; 2015), Billat:n ym. (2001; 2003) ja Esteve-Lanaon ym. (2005) havaintojen perusteella vaikuttaisi siis siltä, että myös matalaintensiteettistä harjoittelua tarvitaan melko runsaasti kestävyysuorituksen optimoimiseksi.

Huippu-urheilijoiden harjoitusanalyysit ovat johtaneet siihen, että niin sanottua polarisoitua harjoittelua on alettu pitää mahdollisesti optimaalisena harjoitusmuotona. Polarisoitun harjoittelun ideana on tehdä melko runsaasti harjoittelua matalalla intensiteetillä, mutta lisäksi painotetaan myös korkeaintensiteettisten harjoitusten merkitystä. Niin sanotun kynnysharjoittelun tai vauhtikestävyysharjoittelun osuus jätetään puolestaan hyvin pieneksi. (Stöggl & Sperlich 2014.)

Stöggl:n ja Sperlichin (2014) toteuttamassa tutkimuksessa vertailtiin matalaintensiteettistä harjoittelua, kynnysharjoittelua, kovatehoista harjoittelua sekä polarisoitua harjoittelua yhdeksän viikon harjoitusjakson ajan. Tutkittavat olivat hyväkuntoisia harjoitelleita kestävyysurheilijoita. Polarisoitu harjoittelu sisälsi kaksi viikoittaista HIT-harjoitusta ja tämän lisäksi melko suuren määrän peruskestävyysharjoittelua. HIT-ryhmällä puolestaan harjoittelu koostui 16 päivän ja 12 HIT-harjoituksen pituisesta blokista sekä tätä seuranneesta palautumisviikosta. Polarisoitun harjoittelun ryhmä paransi eniten maksimaalista hapenottookykyään (11.7 %),

suoritustaan uupumukseen asti (17.4 %) sekä maksiminopeuttaan mattotestissä (+5.1 %). Myös HIT ryhmä paransi maksimaalista hapenottookykyään (4.8 %), suoritustaan uupumukseen asti (8.8 %) sekä maksiminopeuttaan mattotestissä (4.4 %). Matalaintensiteettisen ja kynnyksryhmän tutkittavilla vastaavia muutoksia ei havaittu. Vastaavia havaintoja kuin Stöggli ja Sperlich (2014) ovat tehneet myös Munoz ym. (2014) 10 viikon sekä Esteve-Lanao ym. (2007) viiden kuukauden juoksijoiden harjoittelututkimuksissa. Molemmissa tutkimuksissa polarisoidusti harjoitellut ryhmä paransi merkittävästi 10 kilometrin juoksusuoritustaan; Munoz:n ym. (2014) tutkimuksessa 119 sekuntia ja Esteve-Lanao ym. (2007) tutkimuksessa 157 sekuntia. Edellä mainitut harjoittelututkimukset tukevat hypoteesiä, että tehoharjoittelun ja matalaintensiteettisen harjoittelun sopiva yhdistelmä voi olla kestävyysuorituskyvyn optimoimisen kannalta suotuisin strategia.

4.2 Blokkiharjoittelu

Perinteisessä harjoittelun ohjelmoinnissa harjoituskausi on jaettu useisiin jaksoihin, jotka pitävät sisällään valmistavan jakson, kilpailujakson sekä siirtymäjakson. Nämä edelleen on tavanomaisesti jaettu pienempiin osiin, joiden sisällä esimerkiksi harjoittelun lajispesifisyys sekä intensiteetti ovat lisääntyneet. (Issurin & Dreshman 2012, 13.) Perinteisen ohjelmoinnin ongelmana voidaan pitää sen keskittymistä useisiin ominaisuuksiin samanaikaisesti. Erityisesti huippu-urheilijat tarvitsevat kehittyäkseen suuria ärsykeitä, joita voi olla hankala saavuttaa, jos keskitytään liian monen ominaisuuden yhtäaikaiseen harjoittamiseen. Harjoitelleilla urheilijoilla, joiden kestävyysominaisuudet ovat korkealla tasolla, pelkkä harjoitusmäärien nosto ei välttämättä takaa riittävää ärsykettä (Londeree 1997). Issurin ja Dreshman:n (2012, 14) mukaan myös riittävän palautumisen saavuttaminen voi olla haastavaa, koska eri fysiologisten järjestelmien palautumiseen vaadittava aika eroaa toisistaan. Näihin haasteisiin pohjautuen on kehitetty harjoittelun blokkiohjelmointi (Issurin 2008).

Blokkiharjoittelun pääperiaatteena on, että yhden blokin aikana keskitytään minimaaliseen määrään eri ominaisuuksia (2-3). Blokin sisällä on oltava suuri määrä harjoituksia, jotka tähtäävät nimenomaan halutun ominaisuuden kehittämiseen. Käytännössä tämä ohjaa siihen, että eri ominaisuuksia harjoitetaan peräkkäisillä jaksoilla, ei päällekkäisillä. Issurin (2008) jakaa

harjoittelun 5-10 viikon aikana kolmeen mesosykliin, joissa jokaisessa keskitytään tietynlaiseen harjoitteluun. Näistä accumulation, muistuttaa valmistavaa jaksoa, transmutation kilpailukautta ja realization ”herkistelyjaksoa”. Erona perinteiseen ohjelmointiin vain on, että nämä toistuvat peräkkäin harjoitusvuoden aikana useita kertoja. (Issurin & Dreshman 2012, 14.)

Blokkiharjoittelua on alettu tutkia laajemmin oikeastaan vasta 2010-luvulla. Asetelmat tutkimuksissa ovat vaihdelleet yksittäisistä ”shokki” mikrosykleistä (Wahl ym. 2014; Zinner ym. 2014; Breil ym. 2010) pidempiin harjoitusjaksoihin (Ronnestad ym. 2016; Garcia-Pallares ym. 2010; Ronnestad ym. 2014; Hickson ym. 1977). Yhteistä näille kaikille tutkimuksille on, että niissä on keskitytty nimenomaan maksimikestävyuden harjoittamiseen korkeaintensiteetisillä intervalliharjoituksilla. Tutkittavat ovat koostuneet pääasiassa pyöräilijöistä sekä eri lajien palloilijoista.

Blokkiharjoittelututkimuksissa on havaittu maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymistä sekä suorissa uupumukseen asti tehtävissä testeissä maksimitehon kasvamista (Hickson ym. 1977; Breil ym. 2010; Ronnestad ym. 2012). Tämän ohella myös polkupyöräergometrillä tehdyissä aika-ajo suorituksissa, anaerobisen kynnyksen tehossa sekä suorituksen taloudellisuudessa on havaittu merkitsevää kehitystä (Ronnestad ym. 2014; Zinner ym. 2014; Clark ym. 2014). Taulukossa 2 on esitelty blokkiharjoitteluun liittyviä tutkimuksia sekä niiden päälöydöksiä.

TAULUKKO 3. Blokkiharjoittelututkimuksia ja niiden päälöydökset. Tuloksissa sulkeissa on esitetty verrokkiryhmän lukema.

Tutkimus	Tutkittavat	Kesto	Harjoitusmuodot	Tulos
Hickson ym. (1977)	8 harjoittelematonta miestä	10 viikkoa	6 viikoittaista tehoharjoitusta: 6x5min ja 40min all out	VO _{2max} + 44 %
Breil ym. (2010)	22 juniorialppihiihtäjää	11 päivää	15 HIT-harjoitusta: 4x4 min	VO _{2max} + 6.0 % W _{peak} +5.5 %
Ronnestad ym. (2012)	19 miespyöräilijää	4 viikkoa	5 HIT-harjoitusta ensimmäisen viikon aikana, kolmena seuraavana 1: 6x5min ja 5x6min	VO _{2max} + 4.6 % W _{max} + 2.1 % (Verrokki: ei merkittävää kehitystä)
Clark ym. (2014)	28 miespyöräilijää	7 päivää	7 HIT-harjoitusta: 25x5,10 tai 20s vs. 10x15,30 tai 45s	W _{max} + 3.6 % ja 7.6 % VO _{2peak} + 2.3 % ja 3.5 %
Ronnestad ym. (2014)	18 miespyöräilijää	12 viikkoa	5 HIT-harjoitusta joka neljäs viikkoa, muuten 1: 5x6min ja 6x5min	W _{max} + 6.2 % (+ 3.5 %) VO _{2max} + 8.8 % (+ 3.7 %)
Wahl ym. (2014)	12 miesjalkapalloilijaa	13 päivää	12 HIT-harjoitusta: 4x4min, pujottelurata, pienpelit	YYIMR +24 %, RSA ka + 2.3 %
Fernandez ym. (2015)	12 miestenispelaajaa	17 päivää	13 HIT-harjoitusta: 7x2min, 3x10x30s/30s, 4x15x15s/15s	30/15 juokсутesti + 6.5 %
Ronnestad ym. (2016)	22 mieshiihtäjää ja -ampumahiihtäjää	5 viikkoa	5,1,3,1 ja 1 viikoittaista HIT-harjoitusta: 6x5min, 5x6min	VO _{2max} + 2.0 %, W _{max} + 3.8 % (Verrokki: ei merkittävää kehitystä)

Korkeaintensiteettisten harjoitusblokkien jälkeen on tärkeää huolehtia riittävästä palautumisesta. Ronnestadin ym. (2014) tutkimuksessa jokaista kovaa harjoitusviikkoa seurasi kolme kevyempää viikkoa. Wahl ym. (2014) tutkimuksessa Yo-Yo -juokсутestin suoritus oli parhaimmillaan kuuden päivän kuluttua 13 päivän mikrosyklin päättymisestä. Jo 25 päivän kuluttua suorituskyky testissä oli merkittävästi alhaisempi, joskin edelleen merkittävästi harjoitusjaksoa edeltänyttä testiä korkeampi. Toisaalta Clarkin ym. (2014) tutkimuksessa suorituskyky (VO_{2max}, aika-ajo, W_{max}) oli korkeimmillaan 14 päivän kuluttua viikon HIT-mikrosyklistä. Hatle ym. (2014) havaitsivat merkittävän viivästymisen harjoitusadaptaatioissa, kun 24 HIT-harjoitusta tehtiin kolmen viikon aikana verrattuna kahdeksaan viikkoon. Maksimaalinen hapenotto-kyky oli korkeimmillaan 12 päivän kuluttua harjoitusjakson lopusta, kun verrokki-

ryhmällä se oli huipussaan jo neljän päivän kuluttua. Harjoituskuorman akkumuloituminen on syytä huomioida, kun suunnitellaan kovatehoisten mikrosykljen ajoitusta ja niistä palautumista.

Aubry:n ym. (2014) tutkimuksessa kolmen viikon kova kuormitus johti ylikuormitustilaan noin puolella tutkittavista. Toinen puoli koki ainoastaan akuuttia väsymystä. Kuormitusta seuranneen kolmen viikon kevennyksen aikana akuuttia väsymystä kokeneen ryhmän suorituskky oli merkittävästi parempi kuin ylikuormittuneilla. Samoin maksimaalinen hapenotto-kyky kasvoi ainoastaan kontrolliryhmällä sekä akuuttia väsymystä kokeneella ryhmällä. Infektioiden todennäköisyys kasvoi merkitsevästi ylikuormittuneilla. Tässä valossa vaikuttaisi siltä, että ylikuormitus, jota seuraa riittävä kevennys, nostaa suorituskkyä, jos urheilijat väsyvät ainoastaan akuutisti. Laskenut suorituskky ja korkea subjektiivinen väsymystä voidaan näin ollen pitää riskinä liiallisesta kuormituksesta.

Mielenkiintoinen pohdinnan kohde blokkiharjoitteluun liittyen ovat palautumismenetelmät raskaan harjoitusjakson aikana. Wahl:n ym. (2013) tutkimuksessa kahden viikon shokki mikrosyklin jälkeen ainoastaan passiivisia palautumismenetelmiä harjoitusten välissä käyttänyt ryhmä paransi suoritustaan. Wiewelhoven ym. (2016) tutkimuksessa ei puolestaan havaittu eroja passiivisen ja aktiivisen palautuksen välillä seitsemän HIT-harjoitusta sisältäneen neljän päivän mikrosyklin aikana. Mittareina käytettiin kreatiinikinaasia, kevennyshyppyä sekä subjektiivista palautumisen tuntemusta. Voi siis olla, että aktiivinen palautuminen raskaan mikrosyklin aikana ei ainakaan edistä palautumista passiivisia menetelmiä enempää, vaan riskinä on enemmänkin harjoituskuorman lisääntyminen palauttavan vaikutuksen sijaan.

4.3 Sykeohjattuun harjoitteluun perustuvat menetelmät

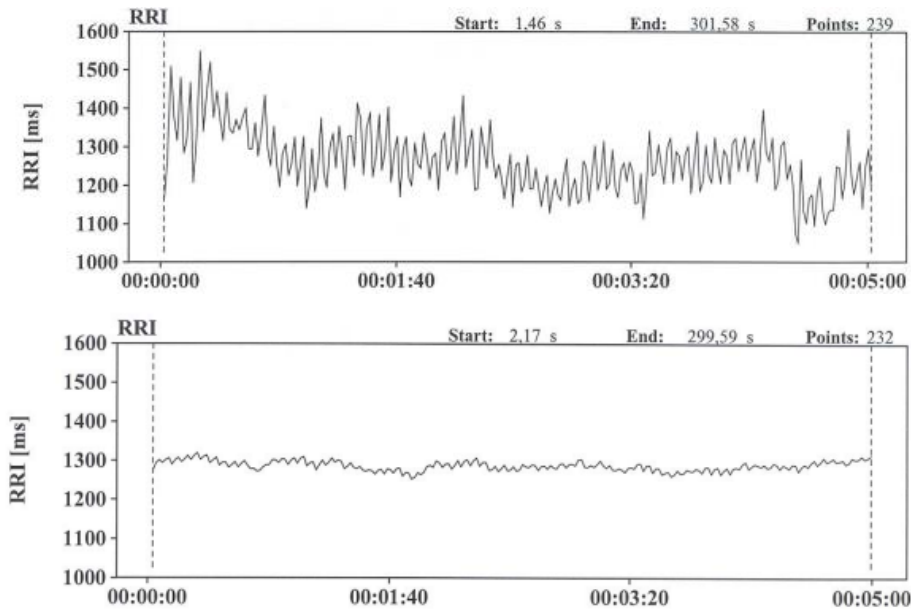
4.3.1 Sykevälivaihtelu palautumistilan arvioinnissa

Sykevälivaihtelu heijastaa sydämen autonomista säätelyä. Autonomisen hermoston säätelyä puolestaan voidaan pitää yhtenä elimistön homeostaasin eli tasapainotilan kuvaajista. Sydämenlyöntien R-R-intervallien välillä on jatkuvasti luonnollista vaihtelua. Autonomisen her-

moston kautta tapahtuva säätely voi joko kasvattaa tai pienentää sitä. Karkeasti jaotellen sympaattinen hermosto pienentää ja parasympaattinen kasvattaa sykevälivaihtelua. Kuormituksen aikana sympaattinen hermosto aktivoituu ja sykevälivaihtelu voi pienentyä miltei olemattomaksi. Parasympaattisen hermoston kautta tapahtuva säätely on pääosassa lepotilassa, jolloin sykevälivaihtelu kasvaa. Sykevälivaihtelua voidaan ilmaista sekä aikakenttä- että taajuuskenttämuuttujina. (Task Force 1996.) Taulukossa 4 on listattu tutkimuksissa usein käytetyt menetelmät. Kuvassa 4 on havainnollistettu sykevälivaihtelun ero samalla sykkeellä erilaisissa palautumistiloissa.

TAULUKKO 4. Yleisimmät sykevälivaihtelumuuttujat selitteineen. (Task Force 1996)

Aikakenttämuuttujat	Selite
RMSSD	Peräkkäisten NN-intervallien keskimääräinen vaihtelu
SDNN	NN-intervallien keskihajonta
Taajuuskenttämuuttujat	Selite
LF (ms ²)	Sykevälivaihtelu 0.04-0.15 hz taajuudella
HF (ms ²)	Sykevälivaihtelu 0.15-0.4 hz taajuudella
TP (ms ²)	Eri taajuuksilla tapahtuvan sykevälivaihtelun summa
LF/HF-suhde	LF-sykevälivaihtelu jaettuna HF-sykevälivaihtelulla



KUVA 4. RR-intervallien vaihtelu tutkittavalla, joka ylemmässä kuvassa on normaalitilassa ja alemmassa ylikuormittuneessa. Keskisyke ylemmässä esimerkissä on 48 ja alemmassa 47. (Uusitalo, 2000)

Akuutisti kestävyyskuormituksen jälkeen sykevälivaihtelu ja autonomisen hermoston parasympaattinen säätely ovat lepotasoa alhaisempaa. Kovan kuormituksen jälkeen parasympaattinen säätely voi olla alentuneella tasolla jopa kolme vuorokautta (Buchheit 2014). Hynysen ym. (2010) tutkimuksessa yöllistä sykettä ja sykevälivaihtelua verrattiin keskitehoisen kuormituksen (keskimäärin 55 min, 72 %/HR_{max}), maratonin ja lepopäivän välillä. Maratonin jälkeen sykevälivaihtelussa havaittiin suurin muutos, mutta myös keskitehoisen kuormituksen jälkeen sykevälivaihtelu oli tilastollisesti merkitsevästi lepopäivää alhaisempaa. Sekä kuormituksen intensiteetti että kesto vaikuttavat autonomisen hermoston säätelyyn, mutta vielä ei olla aivan yksimielisiä siitä, kumpi tekijöistä on lopulta merkittävämpi (Myllymäki ym. 2012; Buchheit 2014).

Seiler ym. (2007) mittasivat sykevälivaihtelua akuutisti neljän erilaisen kuormituksen jälkeen. Tuloksista tehtiin kolme merkittävää havaintoa. Ensimmäinen näistä oli, että autonomisen hermoston palautuminen hidastui merkittävästi, kun kuormituksen intensiteetti ylitti aerobisen kynnyksen. Toinen merkittävä havainto oli, että autonomisen hermoston palautuminen ei ollut hitaampaa, vaikka intensiteettiä nostettiin anaerobiselta kynnykseltä 95 % tasolle maksimaalisesta hapenottokyvystä. Kolmas havainto puolestaan oli, että paljon harjoitelleiden urheilijoi-

den autonominen hermosto palautuu lepotasolle 2-3 kertaa nopeammin kuin vähemmän harjoitelleilla. (Seiler ym. 2007.)

Kestävyysharjoittelun on havaittu lisäävän lepotason parasympaattista aktiivisuutta ja vastavasti pienentävän sympaattista aktiivisuutta (Uusitalo ym. 2002). Aerobisen kunnan kehittyminen ei kuitenkaan suoraviivaisesti näy korkeampana sykevälivaihteluna (Achten & Jeukendrup 2003). Paljon harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla sykevälivaihtelu saattaa pienentyä suorituskyvyn parantumisesta huolimatta. Tämä voi selittyä asetyylikoliinireseptorien saturatiolla alhaisilla sykelukemilla. Reseptorien saturatio eliminoi sydämen respiratorisen säätelyn alentaen sykevälivaihtelua. (Plews ym. 2013; Buchheit 2014.)

4.3.2 Sykeohjattu harjoittelu

Sykevälivaihtelumittauksiin pohjautuvaa harjoittelun ohjelmointia on tutkittu muutamissa tutkimuksissa Kiviniemen ym. (2007; 2010) sekä Vesterisen ym. (2016) toimesta. Kaikissa edellä mainituissa tutkimuksissa harjoittelun sisältöä säädeltiin päivittäin mitattuun sykevälivaihteluun pohjautuen. Säätely tapahtui pääasiassa harjoitusintensiteetin kautta. Vesterisen ym. (2016) mukaan ideana sykeohjatussa harjoittelussa on, että harjoitusintensiteettiä laskeaan, kun sydämen autonomisessa säätelyssä havaitaan merkittäviä muutoksia.

Kiviniemen ym. (2007) tutkimuksessa sykevälivaihtelun perustason mittaaminen aloitettiin viikkoa ennen alkutestejä ja päätettiin kolmen päivän kuluttua testeistä. Tästä eteenpäin harjoittelun rytmitykseen vaikuttavana referenssiarvona käytettiin kymmenen päivän liukuvaa HF -keskihajontaa. Sykevälivaihtelun laskiessa referenssiarvon alapuolelle tutkittavat tekivät matalaintensiteettistä harjoittelua. Jos sykevälivaihtelu laski edelleen, oli ohjelmassa lepopäivä. Referenssitason yläpuolella harjoiteltiin korkeaintensiteettisiä harjoituksia, joita kahden peräkkäisen päivän jälkeen seurasi sykevälivaihtelusta huolimatta kevyt päivä.

Vesterisen ym. (2016) tutkimuksessa referenssiarvo muodostui varsinaisen harjoitusjakson alkamista edeltäneiden neljän viikon aikaisesta sykevälivaihtelusta. Tältä ajalta jokaiselle tutkittavalle määritettiin henkilökohtainen SWC (smallest worthwhile change). SWC määritettiin

mittausajan RMSSD-arvojen keskihajonnan, joka kerrottiin 0.5:llä. SWC päivitettiin uudelleen harjoitusjakson puolivälissä, jolloin se laskettiin harjoitusjakson ensimmäisen neljän viikon ajalta. Harjoitusjakson aikana RMSSD-arvoista käytettiin seitsemän päivän juoksevaa keskiarvoa. Kun keskiarvo ylitti tai alitti SWC-alueen, tutkittavat harjoittelivat ainoastaan matalalla intensiteetillä tai pitivät lepopäivän. Kun keskiarvo oli SWC-alueen sisällä, harjoitukset olivat keskikovia tai korkeaintensiteettisiä. Sykeohjatussa harjoittelussa on suositeltavaa käyttää juoksevia keskiarvoja yksittäisten arvojen sijaan, koska sykevälivaihtelussa on myös luontaisesti pientä vaihtelua, ja useamman päivän keskiarvojen on todettu olevan yksittäisiä arvoja validimpi tapa sykemuuttujien seurannassa (Plews ym. 2014).

Vesterisen ym. (2016) tutkimuksessa sykeohjattu ryhmä harjoitteli tehoharjoittelua verrokkiryhmää vähemmän, mutta paransi 3000 metrin juoksusuoritustaan merkitsevästi enemmän (2.1 % vs. 1.1 %). Maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei kuitenkaan havaittu merkittäviä eroja ryhmien välillä. Kiviniemen ym. (2007) tutkimuksessa VO_{2peak} -arvo sekä maksimijuoksu-suoritus juoksumatolla paranivat merkitsevästi enemmän sykeohjatulla ryhmällä, vaikka HIT-harjoittelun määrä oli verrokkiryhmää alhaisempaa.

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimuksen tarkoitus: Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää blokkiohjelmoidun intervalliharjoittelun vaikutuksia kestävyys suorituskykyyn ja hermolihasjärjestelmän toimintaan. Lisäksi haluttiin selvittää, voiko yksilöllistä autonomisen hermoston toimintaan perustuva sykeohjausta hyödyntää blokkiharjoittelun ohjelmoinnissa.

Tutkimuskysymykset ja hypoteesit:

1. Kehittääkö blokkiharjoittelu kestävyys suorituskykyä mattotestimuuttujien (VO_{2max} , V_{max} , aerobinen ja anaerobinen kynnyks) sekä 3000 metrin juoksusuorituksen osalta?

Hypoteesi: Blokkiharjoittelu kehittää molempien ryhmien tutkittavien kestävyys suorituskykyä läpi harjoitusjakson.

Lähes kaikissa blokkiharjoittelututkimuksissa tutkittavat ovat parantaneet merkittävästi maksimaalista hapenotto kykyä, kynnyksiä sekä muita mitattuja kestävyys muuttujia (Ronnestad ym. 2012; 2014, Breil ym. 2010; Garcia-Pallares ym. 2010).

2. Eroavatko harjoitusvasteet ennalta määrätyn ryhmän ja sykeohjatun ryhmän välillä?

Hypoteesi: Sykeohjatun ryhmän kestävyys ominaisuudet kehittyvät enemmän.

Aiemmissä tutkimuksissa sykeohjatun harjoittelun on havaittu kehittävän 3000 metrin suoritusta (Vesterinen ym. 2016), VO_{2peak} -arvoa sekä mattotestin maksiminopeutta (Kiviniemi ym. 2007; 2010) merkittävästi ennalta määrättyä harjoittelua enemmän.

3. Onko ryhmien HIT-harjoittelun määrässä ja rytmityksessä eroa?

Hypoteesi: Ennalta määrätty ryhmä harjoittelee keskiarvoisesti enemmän HIT-harjoittelua. Yksilöllisesti HIT-harjoittelua voi olla sykeohjatussa ryhmässä myös enemmän kuin ennalta määrättyssä ryhmässä.

Kiviniemen ym. (2007) sekä Vesterisen ym. (2016) tutkimuksessa sykeohjattu ryhmä harjoitteli ennalta määrättyä vähemmän tehoharjoittelua. Protokollat ovat olleet hieman erilaisia, mutta on oletettavaa, että keskiarvo tehoharjoittelun määrässä on hieman alhaisempi sykeohjatulla kuin ennalta määrättyllä ryhmällä.

4. Havaitaanko hermolihasjärjestelmän suorituskyvyssä (maksimaalinen juoksunopeus, kevennyshyppy, dynaaminen jalkaprässi) muutoksia harjoitusjakson aikana?

Hypoteesi: Harjoitusjakso ei vaikuta merkitsevästi hermolihasjärjestelmän maksimaaliseen suorituskykyyn. Harjoittelulla on todennäköisesti positiivisemmat vaikutukset maksimivoimatasoihin kuin räjähtäviin suorituksiin.

Häkkisen ym. (2002) ja Mikkolan ym. (2012) tutkimuksessa yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu häiritsivät erityisesti nopean voimantuoton kehittymistä maksimivoiman paranemisesta huolimatta.

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin 32 tutkittavaa Jyväskylän yliopiston tiedotuskanavien, sosiaalisen median sekä sanomalehti-ilmoituksen avulla. Kriteereinä oli, että tutkittavien tuli olla 18-35 -vuotiaita miehiä, tottuneita säännölliseen kestävyysharjoitteluun sekä kykeneviä juoksemaan 3000 metriä alle 12 minuutin. Lisäksi tutkittavilla ei saanut olla kuormitusta tai harjoittelua häiritseviä sairauksia. Kaikkien tutkittavien lepo-EKG analysoitiin kardiologin toimesta ennen tutkimukseen hyväksymistä. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoi tutkimuksesta myönteisen eettisen lausunnon.

Kontrollitesteihin kutsuttujen tutkittavien ikähaarukka oli lopulta 19-37 vuotta. Tutkimukseen mukaan pääsemiseksi 3000 metrin kontrollitestin raja-ajaksi asetettiin 12:15. Yksi tutkittava jouduttiin jättämään pois tutkimuksesta liian heikon 3000 metrin suorituksen vuoksi. Tutkittavat jaettiin kontrollitestien jälkeen kahteen ryhmään. Ryhmäjako tehtiin iän, liikkumistaustan, 3000 metrin kontrollitestin ajan sekä ensimmäisen viikon sykevälivaihteludatan perusteella. Tutkittavista muodostettiin pareja, jotka arvottiin sykeohjattuun (SO) ja ennalta määrättyyn ryhmään (EM).

Tutkimuksen suoritti loppuun asti 27 tutkittavaa. Keskeyttäneistä kolme tutkittavaa lopetti henkilökohtaisten syiden vuoksi, kaksi loukkaantumisen vuoksi ja yksi sairastumisen vuoksi. Tutkimuksen loppuun asti suorittaneista tutkittavista kolme jätettiin tulosanalyysien ulkopuolelle harjoittelun liian heikon toteutuksen vuoksi (harjoituksista toteutettu < 90 %). Näin loppullisissa tulosanalyysissä oli mukana 24 tutkittavaa, joista sykeohjatussa ryhmässä oli 13 ja ennalta määrättyssä ryhmässä 11. Ryhmäkohtaiset perustiedot tutkittavista on esitelty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Tutkittavien perustiedot ennen harjoitusjakson alkua. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty.

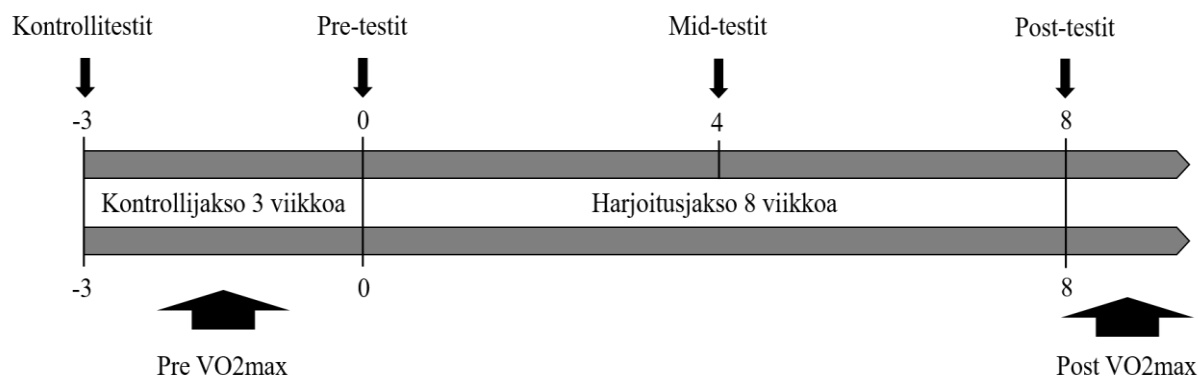
	SO (n=13)	EM (n=11)
Ikä (v)	29 ± 4	31 ± 6
Pituus (cm)	180 ± 7	176 ± 5
Paino (kg)	76.4 ± 9.4	74.0 ± 5.7
Rasvaprosentti	12.6 ± 4.4	13.0 ± 2.8
VO _{2max} (ml/kg/min)	53.6 ± 4.2	54.2 ± 4.1
3000m juoksu-aika (min:s)	11:18 ± 0:49	11:11 ± 0:46

6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus koostui kolmen viikon kontrollijaksosta sekä kahdeksan viikon harjoitusjaksosta. Mittauksia suoritettiin kontrollijakson alussa (kontrollitestit) sekä harjoitusjakson alussa (pre-testit), puolivälissä (mid-testit) ja lopussa (post-testit). Tutkimuksessa vertailtiin sykeohjatun ryhmän sekä ennalta määrätyn ryhmän kehitystä.

Kontrollijakso: Kontrollijakson aikana tutkittavia ohjeistettiin jatkamaan tavanomaista harjoitteluaan. Ainoat kaikille yhteisesti määrätty harjoitukset kontrollitestien ja maksimaalisen hapenottokyvyn testin ohella olivat varsinaiseen harjoitusjaksoon sisältyvä kuntosaliharjoitus sekä toinen intervalliharjoituksista (3x10x30 s).

Harjoitusjakso: Kahdeksan viikon harjoitusjakso alkoi 3000 metrin pre-testillä. Ryhmät harjoittelivat kolme ensimmäistä päivää samaan tapaan (3000 m, 4x4 min, 3x10x30 s), mutta näiden harjoitusten jälkeen rytmitys erosi ryhmien välillä. Neljän viikon kuluttua harjoitusjakson alkamisesta suoritettiin mid-testit, jonka jälkeen harjoituskierto aloitettiin uudelleen alusta. Kahdeksan viikon harjoitusjakson jälkeen suoritettiin post-testit. Tutkimusasetelma on havainnollistettu kuvassa 5.



KUVA 5. Tutkimuksen asetelma.

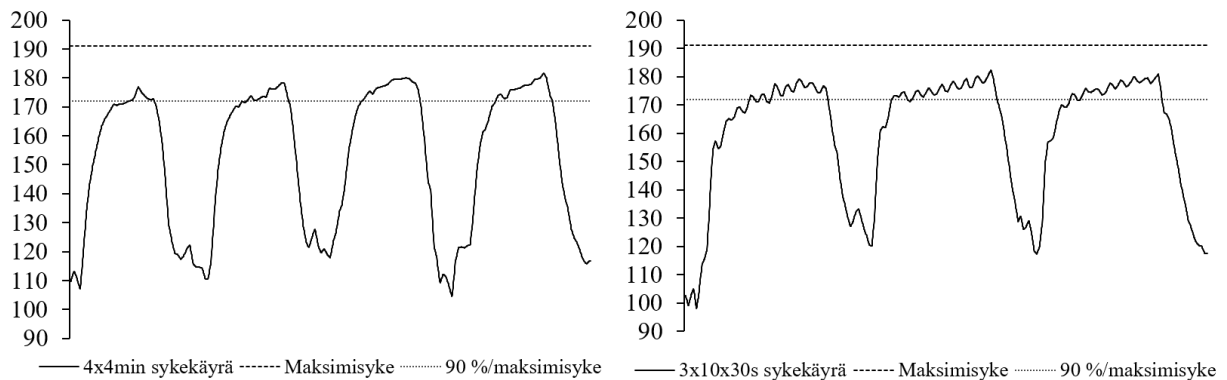
6.3 Harjoittelu

6.3.1 Harjoitusmuodot

Kestävyysharjoittelu: Kestävyysharjoittelu harjoitusjakson aikana koostui korkeaintensiteettisistä intervalliharjoituksista (HIT) sekä matalaintensiteettisistä peruskestävyysharjoituksista (PK). Kaikki harjoitukset ohjeistettiin tekemään tasaisessa maastossa, pitävällä alustalla ja yksilöllisesti mahdollisimman samaan aikaan päivästä. Tutkittavat pitivät kestävyysharjoituksissa Garmin XT920 -sykemittaria (Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveitsi), joka tallensi sykedatan lisäksi GPS-dataa. Tutkittavat lähettivät harjoitusdatansa viikoittain tutkijaryhmälle, jonka toimesta data käytiin läpi manuaalisesti. Jos harjoittelussa oli huomautettavaa, ohjeistusta tarkennettiin. Tutkittaville järjestettiin viikoittain vapaaehtoisia yhteisharjoituksia eri puolilla Jyväskylää. Harjoittelusta analysoitiin viikoittaiset harjoituskerrat, kestävyysharjoittelun kokonaismäärä sekä harjoitusintensiteettien jakautuminen kolmelle eri sykealueelle (1 < 82 % maksimisykkeestä, 2 = 82-87 % maksimisykkeestä ja 3 > 87 % maksimisykkeestä).

4x4 min: 4x4 min intervalliharjoituksen teho määritettiin yksilöllisesti mattotestin pohjalta. Teho vetojen aikana oli noin 90-95 % maksimisykkeestä siten, että alaraja oli yksilöllisesti määritetyn anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Neljän minuutin vetojen välillä oli kolmen minuutin aktiivinen palautus. Tutkittavia ohjeistettiin tekemään harjoituksen yhteydessä 10-15 minuutin alku- ja loppuverryttelyt. Harjoitus pohjautuu Helgerudin ym. (2007) tutkimukseen.

3x10x30 s: 3x10x30 s intervalliharjoituksen teho määritettiin yksilöllisesti mattotestin maksiminopeuden (V_{max}) pohjalta. Nopeus vedoissa oli 95 % mattotestin maksiminopeudesta. Jokaiselle tutkittavalle laskettiin matka, joka heidän tuli 30 sekunnin aikana juosta. Vetojen välillä oli 15 sekunnin aktiivinen palautus ja sarjojen välillä kolmen minuutin aktiivinen palautus. Harjoitus suositeltiin tekemään edestakaisin juosten urheilukentällä tai muussa paikassa, jossa matkan pystyi luotettavasti mittaamaan. Tutkittavia ohjeistettiin tekemään harjoituksen yhteydessä 10-15 minuutin alku- ja loppuverryttelyt. Mid-testien jälkeen juoksumatkaa tarkennettiin suhteessa yksilölliseen muutokseen 3000 metrin testissä. Harjoitus on juoksuun muokattu versio Ronnestadin ym. (2015) tutkimuksesta. Molempien intervalliharjoitusten sykekäyristä on esitetty esimerkkitaupaus kuvassa 5.



KUVA 6. Esimerkkitaupaukset 4x4 min sekä 3x10x30 s -harjoitusten sykekaivranstä samalta tutkittavalta.

Peruskestävyys harjoitukset: Blokkien välillä tutkittavat tekivät kevyitä peruskestävyys harjoituksia, joissa teho oli alle yksilöllisesti määritetyn aerobisen kynnyksen. Harjoitusten suositeltiin olevan kestoltaan 30-45 minuuttia, jonka lisäksi tutkittavia ohjeistettiin tekemään vähintään joka toinen viikko yksi pidempi 60-90 minuutin peruskestävyys harjoitus. Harjoitukset tehtiin lähtökohtaisesti juosten, mutta myös vaihtoehtoisia toteutusmuotoja hyväksyttiin, jotta voitiin minimoida jalkojen kuormitus ja loukkaantumisriski (Schumann ym. 2014; Vesterinen ym. 2016). Tällöin harjoitukset olivat kestoltaan hieman pidempiä (lyhyet 60-90 minuuttia ja pitkät 90-180 minuuttia). Eri harjoitusmuodoista on esitetty kooste taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kestävyysharjoitusmuodot sekä harjoitusten tarkempi sisältö. Peruskestävyysharjoitusten kesto on esitetty erikseen juosten tehtäville ja näiden korvaaville harjoituksille.

Harjoitusmuoto	Kesto	Intensiteetti	Palautus
4x4 min	35-45 min	90-95 %/HR _{max}	3 min
3x10x30 s	35-45 min	95 %/V _{max}	15 s/3 min
Peruskestävyys palauttava	30-45 min/60-90 min	Alle aerobisen kynnyksen	-
Peruskestävyys pitkä	60-90 min/90-180 min	Alle aerobisen kynnyksen	-

Voimaharjoittelu: Tutkimuksen aikainen voimaharjoittelu oli yhdistelmä maksimi- ja nopeusvoimaa. Pääpaino oli alaraajojen lihaksissa, mutta myös ylävartalolle ja keskivartalolle oli erikseen omat liikkeensä. Voimaharjoittelua tehtiin harjoitusjakson neljän ensimmäisen viikon aikana kahdesti ja harjoitusjakson neljän viimeisen viikon aikana kolmesti. Harjoitteet ohjeistettiin ennen harjoitusjakson alkua. Voimaharjoituksen tarkka sisältö on esitelty taulukossa 7.

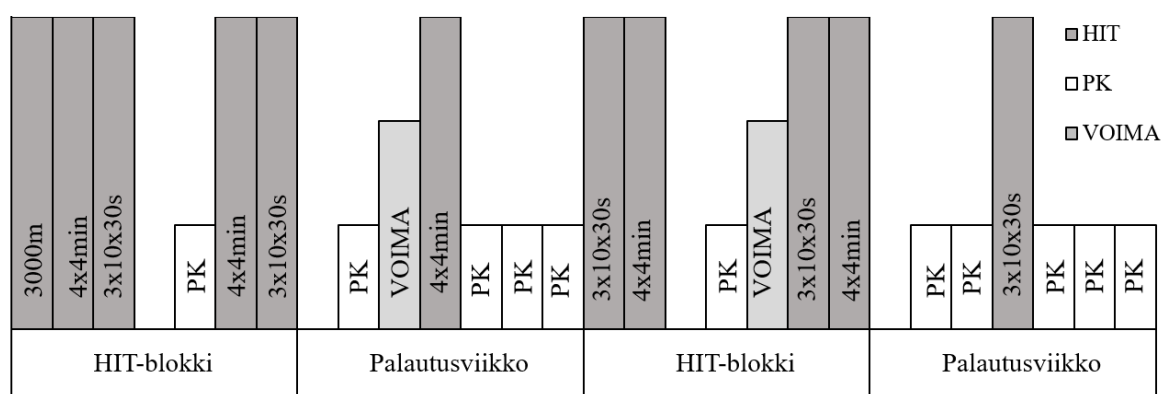
TAULUKKO 7. Tutkimuksen voimaharjoitusten tarkka sisältö.

Harjoite	Sarjat	Toistot	Palautukset	Painot/1RM
Jalkaprässi	2/1	8-10/5	2 min	70-75/80-85 %
Penkille nousu hypyllä (räjähtävä)	3	5/jalka	2 min	Ilman painoja
Kyykky (räjähtävä)	3 (1/kuorma)	6	2 min	30/40/60 %
Polven koukistus laitteessa	2	10	2 min	60-70 %
Linkkuveitsi	3	20	Kierto	-
Selkälihakset	3	20	Kierto	-
Penkkipunnerrus	3	8-10	2 min	70-75 %
Ylätalja	3	8-10	2 min	70-75 %

6.3.2 Harjoittelun ohjelmointi

Kontrollijakson aikana tutkittavat harjoittelivat vapaasti, eikä harjoitussisältöihin puututtu jo aikaisemmin mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Pre-testien jälkeen ryhmien harjoittelu oli samanlaista kolme ensimmäistä päivää, jonka jälkeen ohjelmointimallit erosivat.

Ennalta määrätty ryhmä (EM): EM-ryhmän harjoittelu koostui HIT-blokkiviikoista sekä kevyistä palautusviikoista, jotka vuorottelivat läpi harjoitusjakson. (Ronnestad ym. 2016) HIT-blokkiviikkojen aikana HIT-harjoituksia tehtiin 4-5 kertaa viikossa, kun taas kevyiden palautusviikkojen aikana niitä tehtiin kerran viikossa. Tutkittavilla oli viikoittain vähintään yksi lepopäivä. EM-ryhmän harjoittelun päiväkohtainen sisältö on esitelty kuvassa 7.



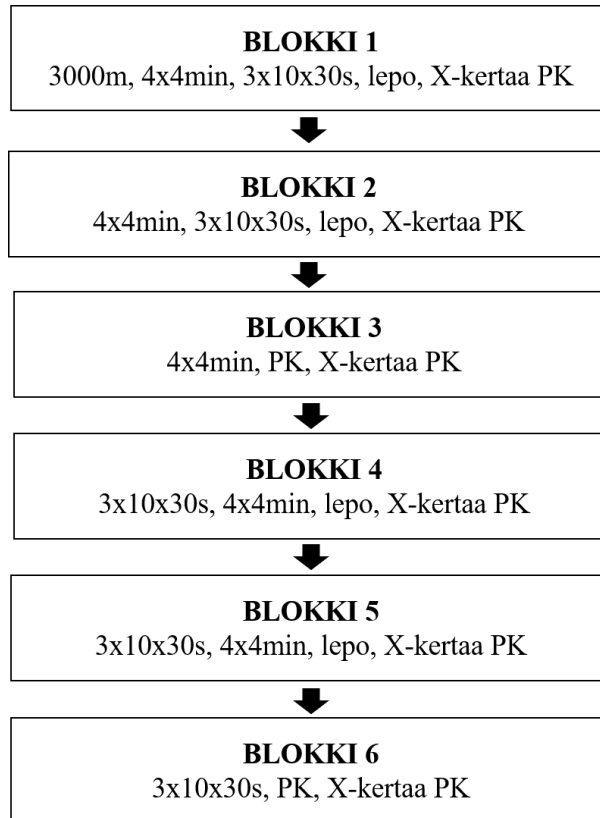
KUVA 7. Ennalta määrätyn ryhmän harjoittelu harjoitusjakson neljän ensimmäisen viikon aikana. Kierro alkoi alusta mid-testeistä alkaen. Ainoana erona neljän ensimmäisen viikon ohjelmaan viimeiselle viikolle lisättiin yksi voimaharjoitus.

Sykeohjattu ryhmä (SO): SO-ryhmän harjoitussisällöt olivat samanlaisia kuin EM-ryhmällä. Harjoittelun ohjelmointi ei kuitenkaan ollut ennalta määrättyä, vaan se perustui joka aamu suoritettujen pikapalautumistestien tulokseen (QRT, Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi). Ennalta määrätyn ryhmän harjoittelu jaettiin SO-ryhmällä kuuteen blokkiin, joiden välinen palautusaika riippui pikapalautumistestien tuloksista. Harjoituskierro alkoi uudelleen blokki 1:stä mid-testeistä alkaen.

Pikapalautumistestin tuloslaskenta pohjautuu sykkeeseen sekä sykevälivaihtelumuuttujiin. Saatu tulos ei ole absoluuttinen arvo, vaan siihen vaikuttaa henkilökohtainen mittaushistoria eri sykemuuttujien keskiarvojen ja keskihajontojen osalta. Ohjelma skaalaa tuloksen 0-100 asteikolle aiemmin kerättyyn dataan perustuen. Viitteellisesti 0-30 % palautumisindeksi tarkoittaa huonoa palautumistilaa, 30-70 % palautumisindeksi keskitasoista palautumistilaa, 70-90 % palautumisindeksi hyvää palautumistilaa ja 90-100 % palautumisindeksi erinomaista palautumistilaa.

Kontrollijakson aikana kerätty syke- ja sykevälivaihtelumuuttujien luonnolliseen vaihteluväliin. Kontrollijakson ajalta kerättyjen päivittäisten palautumisindeksilukemien pohjalta määritettiin lopulta yksilöllisesti referenssiarvo, johon harjoitusjakson aikainen harjoittelun ohjelmointi perustui. Referenssiarvona käytettiin kaikkien kontrollijakson aikana tehtyjen pikapalautumistestien tulosten keskiarvoa.

Blokista seuraavaan siirtyminen määräytyi palautumisindeksin kolmen päivän juoksevan keskiarvon pohjalta, koska useamman päivän keskiarvojen on todettu olevan yksittäisiä arvoja validimpi tapa sykemuuttujien seurannassa (Plews ym. 2014; Vesterinen ym. 2016). Ennalta määrätyn blokin päätyttyä seuraavaan blokkiin siirryttiin vasta, kun kolmen päivän juokseva keskiarvo oli yli yksilöllisen referenssiarvon. Niin kauan kuin lukema oli referenssiarvon alapuolella, tehtiin ainoastaan PK-harjoittelua. Jos tutkittava teki pitkään ainoastaan PK-harjoittelua (yli viikko), oli hänen mahdollista pitää yksi viikoittainen lepopäivä myös PK-päivän paikalla. Tutkijaryhmä vastasi voimaharjoitusten sijoittamisesta ja ne rytmitettiin PK-päivien paikalle kuten EM-ryhmässä. SO-ryhmän blokkien koostumus on esitelty kuvassa 8.



KUVA 8. Sykeohjatun ryhmän harjoittelu. Sykeohjatun ryhmän harjoittelu oli jaettu kuuteen blokkiin, joista siirryttiin seuraavaan palautumismittausten tuloksiin pohjautuen. Kierro alkoi alusta mid-testeistä alkaen.

6.4 Mittaukset

6.4.1 Mittausohjeet- ja aikataulut

Kehonkoostumusmittaukset sekä hermolihasjärjestelmän ja 3000 metrin testit suoritettiin tutkimuksen aikana neljästi (kontrolli, pre, mid, post). Kontrollitestit suoritettiin kontrollijakson alussa (-3 viikko), pre-testit harjoitusjakson alussa (viikko 0), mid-testit harjoitusjakson puolivälissä (viikko 4) ja post-testit harjoitusjakson päätteeksi (viikko 8). Testit suoritettiin yhden päivän aikana siten, että tutkittavat tulivat 12 tunnin paaston jälkeen kehonkoostumusmittaukseen (klo 8.00-9.00), jonka jälkeen heille tarjottiin kevyt aamupala (leipä, banaani, mehu). Tämän jälkeen tehtiin alkuverryttely, nopeustesti, kevennyshyppy sekä 1RM dynaaminen jalkaprässi, jonka jälkeen aamupäivän testit olivat ohi. Saman päivän aikana juostiin 3000

metrin testi kahdessa erässä (klo 14:00 sekä klo 17:00). Juoksuajat pidettiin tutkittavakohtaisesti samoina läpi tutkimuksen.

Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi tehtiin tutkimuksen aikana kahdesti (pre-post). Pre-testi tehtiin tutkimuksen kontrollijakson aikana siten, että 3000 metrin kontrollitestistä oli aikaa vähintään kolme vuorokautta. Post-testi ajoitettiin samaan tapaan siten, että post-3000m testistä oli aikaa vähintään kolme vuorokautta. Maksimihapenottokyvyn testi tehtiin tutkittavakohtaisesti samaan kellonaikaan (± 2 tuntia).

Tutkittavia ohjeistettiin harjoittelemaan ainoastaan kevyesti viimeisen 48 tunnin ajan ennen kaikkia testejä. Lisäksi suositeltiin nukkumaan tavanomaiset 7-8 tunnin yöunet sekä välttämään raskasta ateriointia testejä edeltävinä tunteina. Kofeiinin tai muiden piristeiden käyttö testiä edeltäneinä 3-4 tuntina oli kielletty. Kehonkoostumusmittauksia ennen tutkittavat paastosivat 12 tunnin ajan.

6.4.2 Kestävyysmittaukset

3000m: 3000 metrin testi juostiin Hipposhallissa 200 metrin sisäradalla (kuva 9) keskimäärin neljän hengen ryhmissä. Ryhmät pysyivät yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta samoina läpi tutkimuksen. Ennen testin aloitusta tutkittavat juoksivat 15 minuutin alkuverryttelyn, jonka aikana heitä ohjeistettiin tekemään kahdesta kolmeen 20-30 sekunnin kiihdytystä 3000 metrin tavoitevauhtiin. Testijuoksun ajat otettiin manuaalisesti sekuntikelloilla. Jokaiselta tutkittavalta kirjattiin ylös 1000 ja 2000 metrin väliaika. Maaliintulon jälkeen kirjattiin ylös juoksun keski- ja maksimisyke. Ennen juoksua, heti maalintulon jälkeen sekä neljän minuutin kuluttua maaliintulosta tutkittavien sormenpäästä otettiin kapillaariverinäyte testin maksimilaktaattipitoisuuden analysoimiseksi. (Biosen S_line Lab+ lactate analyzer, EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa).



KUVA 9. Hipposhallin 200 metrin sisäradalla juostiin tutkimuksen aikana maksiminopeustestit sekä 3000 metrin testit.

Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi: Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi suoritettiin Liikuntabiologian laitoksen tiloissa juoksumatolla (Telineyhtymä, Kotka, Suomi). Testin aloituskuormana oli joko 8 km/h tai 10 km/h tutkittavan lähtötasosta riippuen. Samaa tutkittavakohtaista aloituskuormaa käytettiin molemmilla testikerroilla. Maton kulma oli 0,5 astetta läpi testin. Hapenkulutusta mitattiin hengityskaasuanalysaattorilla breath by breath -menetelmällä (OxyconPro, Jaeger, Hoechberg, Saksa). Hengityskaasuanalysaattorille suoritettiin virtaus- ja kaasukalibrointi ennen jokaista testiä.

Testissä käytettiin kolmen minuutin kuormitusportaita, joiden nostot olivat 1km/h. Matto pysäytettiin kuormien välissä noin 20 sekunniksi laktaattinäytteen oton ajaksi. Laktaattinäytteet analysoitiin Biosen S_line Lab+ laktaattianalysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Mattotestin aikaista sykettä seurattiin Garmin XT920 -sykemittarilla (Garmin Ltd,

Schaffhausen, Sveitsi). Testin maksimisykettä ja kuormien viimeisen 30 sekunnin keskiarvoa käytettiin analyyseissa.

VO_{2max} -arvoksi määritettiin testin aikainen korkein 60 sekunnin hapenkulutuksen keskiarvo. Mattotestin maksiminopeus (V_{max}) määritettiin viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman nopeudeksi tai kuorman jäätyä kesken sen painotetuksi keskiarvoksi (viimeisen loppuun asti juostun kuorman nopeus + juostu aika-30 s/180 s*1 km/h). Juoksun taloudellisuus laskettiin 10km/h ja 12km/h nopeuksilta. Taloudellisuus määritettiin kuormien viimeisen minuutin hapenkulutuksen keskiarvosta, joka kerrottiin vastaamaan yhden kilometrin hapenkulutusta kyseisellä nopeudella, jolloin yksiköksi saatiin ml/kg/km. Kynnykset määritettiin mattotestin laktaattipitoisuuksien pohjalta. Aerobinen kynnyks asetettiin 0.3 mmol/l testin aikaista matalinta laktaattipitoisuutta korkeammalle pisteelle. Anaerobinen kynnyks asetettiin aerobisen kynnyksen ja sitä seuraavan laktaattipiteen lineaarisen mallin sekä vähintään 0.8 mmol/l laktaattipitoisuusnousujen pisteiden lineaarisen mallin leikkauspisteeseen (Vesterinen ym. 2016). Molemmat kynnykset ilmaistiin nopeutena (km/h).



KUVA 10. Suora maksimaalisen hapenottoyvyn testi.

6.4.3 Kehonkoostumus ja hermolihaskäytännön mittaukset

Kehonkoostumus: Kehonkoostumus mitattiin 12 tunnin paaston jälkeen InBody720-analysaattorilla. (InBody720 body composition analyzer, Biospace Co. Ltd, Seoul, Etelä-Korea). Saaduista tuloksista tutkimuksessa raportoitiin kehonpaino sekä rasvaprosentti.

Maksimijuoksunopeus: Aamupalan nautittuaan tutkittavat siirtyivät Hipposhalliin sisäjuoksuradalle, jossa suoritettiin maksimijuoksunopeustesti. Ennen testin aloitusta tutkittavat juoksivat 10 minuutin alkuverryttelyn vapaavalintaista vauhtia. Tämän jälkeen tehtiin ohjattu dynaamisia jalkojen venytysliikkeitä sisältänyt lämmittely. Vielä ennen varsinaista testiä tutkittavat juoksivat kolmesti 50 metrin matkan hitaasti kiihdyttäen lähelle omaa maksimijuoksunopeuttaan. Varsinaiset testit suoritettiin omalla lähdöllä, 25 metrin kiihdytyksellä, jonka jälkeen valokennoilla otettiin aika 10 metrin matkalta. Juoksu toistettiin kolme kertaa, ellei kahden viimeisen suorituksen välillä ollut yli viiden prosentin parannusta. Suoritusten välillä oli kahden minuutin palautus. 10 metrin ajan pohjalta laskettiin tutkittavakohtainen maksimijuoksunopeus (matka jaettuna ajalla, m/s).

Kevennyshyppy: Kevennyshyppyt tehtiin liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa, jonne tutkittavat siirtyivät välittömästi maksimijuoksunopeustestin jälkeen. Ennen testisuorituksia tutkittavat tekivät 2-3 lämmittelyhyppyä. Kevennyshyppy suoritettiin voimalevyllä (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi). Hypyn aikana kädet olivat lanteilla ja tutkittavia ohjeistettiin menemään ala-asennossa noin 90 asteen polvikulmaan. Polvia ei saanut nostaa hypyn aikana ja alastulo ohjeistettiin tekemään päkiävoittoisesti. Kevennyshyppyjä tehtiin kolme kertaa, ellei kahden viimeisen suorituksen välillä ollut yli viiden prosentin parannusta. Suoritusten välillä oli minuutin palautus. Kevennyshypyn nousukorkeus määritettiin kahdella eri menetelmällä: hypyn lentoajan perusteella sekä voimalevyyn tuotetun impulssin perusteella. Kevennyshypyn analyysit tehtiin Signal 4.10- ohjelmalla (Cambridge Electronic Design Ltd, Cambridge, UK).

Dynaaminen jalkaprässi 1RM: Dynaaminen yhden toiston jalkaprässimaksimitesti suoritettiin aamun testeistä viimeisenä. Jalkaprässitesti toteutettiin konsentrisesti David 210 dyna-

mometrissä (kuva 11, David Sports Oy, Helsinki, Suomi). Polvikulma lähtöasennossa määritettiin 60 asteeseen. Penkin asetukset pidettiin tutkittavakohtaisesti samanlaisina kaikilla erimittauskerroilla. Jalkojen asento levyllä kontrolloitiin teippien avulla. Lämmittelyprotokolla ennen maksimisuorituksia piti sisällään viisi toistoa 70 % painolla maksimipainoista, kolme toistoa 80 % tasolla maksimipainoista ja kaksi toistoa 90 % tasolla maksimipainoista. Sarjojen välillä pidettiin minuutin palautus. Tästä eteenpäin maksimipainoja lähestyttiin toisto kerrallaan. Toistojen välissä pidettiin 1,5 minuutin palautus. Painoja lisättiin niin kauan, että suoritus ei enää onnistunut, tai kun tutkittava totesi, ettei pysty nostamaan suurempia painoja.



KUVA 11. David 210 dynamometri.

6.4.4 Palautumismittaukset

Molempien ryhmien tutkittavat suorittivat joka aamu kotioloissaan kolmen minuutin pikapalautumistestin (QRT, Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi). Palautumismittaus toteu-

tettiin makuuasennossa ja sykedataa kerättiin Garmin 920XT sykemittareilla (Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveitsi). Mittaus neuvottiin tekemään mahdollisimman rauhallisessa ympäristössä heti heräämisen jälkeen. Ennen keruun aloittamista tutkittavia ohjeistettiin odottamaan, että syke on tasaantunut. Hengitysrytmiä mittauksen aikana ei kontrolloitu. Kerätty data ladattiin tietokoneelle ja lähetettiin edelleen tutkijaryhmälle. Sykedata siirrettiin tutkijoiden toimesta Firstbeats SPORTS Monitor v. 2.0 -ohjelmaan (Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi), josta saatiin päivittäin uusi palautumisindeksi-lukema. Ohjelma sisältää automaattisen virheenkorjauksen sekä datan suodatuksen, jotka poistavat heikkolaatuisen datan analyysistä. SO-ryhmä lähetti palautusmittausten sykedatan tutkijaryhmälle aina kun blokki oli päättymässä. Analysoinnin jälkeen tutkittaville lähetettiin mahdollisimman nopeasti tieto harjoitusohjelman jatkosta. EM-ryhmää ohjeistettiin lähettämään palautusmittausten sykedata vähintään kerran viikossa.

6.5 Tilastolliset analyysit

Kaikki tulokset on esitetty keskiarvoina sekä keskihajontoina. Aineiston normaalijakautuneisuus tarkastettiin Shapiro-Wilk -testillä. Harjoitteludatan sekä suorituskykymuuttujien osalta ryhmien sisäiset muutokset analysoitiin toistettujen mittausten ANOVA:lla sekä riippuvien otosten t-testillä. EM-ryhmän VO_{2max} l/min data ei ollut normaalisti jakautunut, joten kyseisen muuttujan analyysimenetelmänä käytettiin Wilcoxon signed rank -testiä. Ryhmien välisiä eroja lähtötilanteessa sekä suorituskykymuuttujien suhteellisten muutosten eroja tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä. Pearsonin momenttikorrelaatiota käytettiin tutkittavien lähtötason, HIT-harjoittelun absoluuttisen määrän sekä suorituskykymuuttujien suhteellisen kehityksen välisten korrelaatioiden tarkasteluun. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p \leq 0.05^*$. Muut raja-arvot tilastollisille merkitsevyyksille olivat $p < 0.01^{**}$ ja $p < 0.001^{***}$. Tulokset analysoitiin Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) sekä IBM SPSS Statistics v.24 -ohjelmilla (SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

7 TULOKSET

Kontrolli- ja pre-testeissä ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja mitattujen kehonkoostumusmuuttujien, hermolihäsjärjestelmän muuttujien eikä kestävyysmuuttujien osalta.

7.1 Kehonkoostumus

Kontrolli- ja pre-testien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia kehonpainossa (SO 76.5 ± 9.0 kg vs. 76.4 ± 9.4 kg; EM 74.0 ± 5.5 vs. 74.0 ± 5.7 kg) tai rasvaprosentissa (SO 12.6 ± 4.2 % vs. 12.6 ± 4.4 %; EM 12.6 ± 2.7 % vs. 12.2 ± 3.2 %). Muidenkaan mittauskertojen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia lukuun ottamatta SO-ryhmän painoa, joka aleni mid-post -välillä -0.67 ± 1.0 % ($p=0.027$).

7.2 Harjoittelu

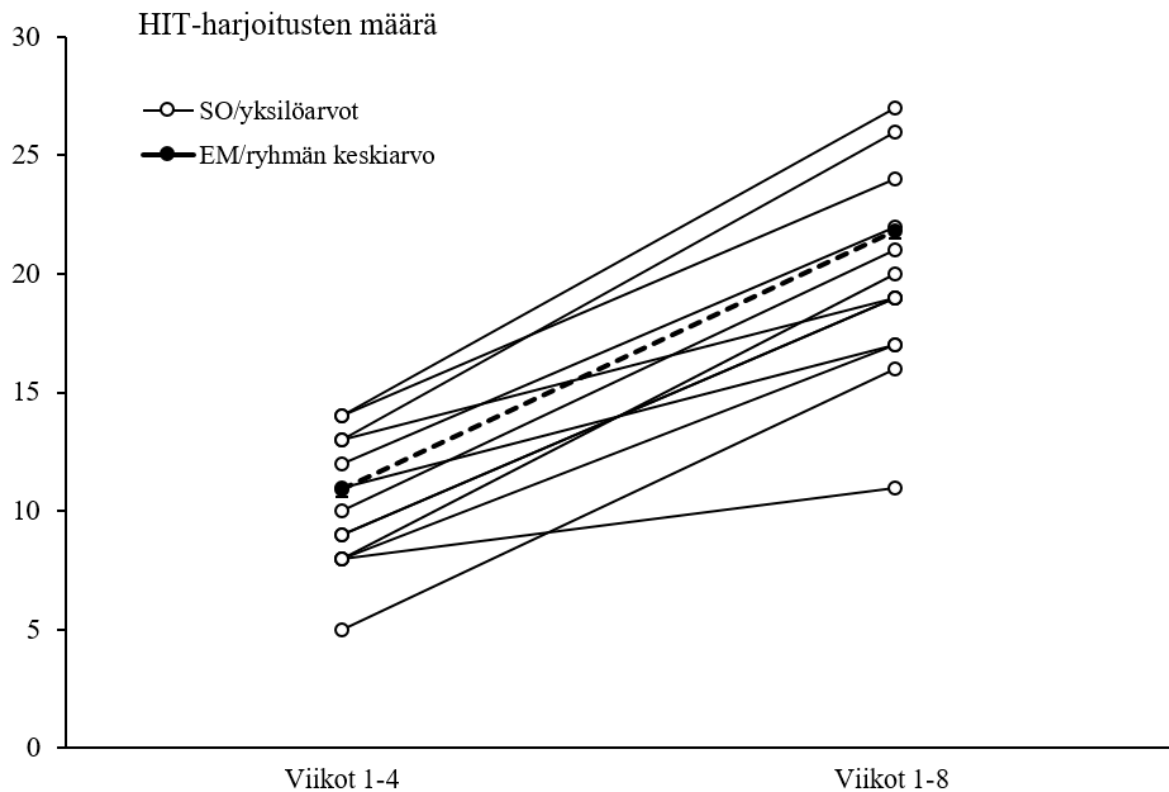
Harjoitusmäärissä ja harjoittelun suhteellisessa intensiteettijakaumassa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä kontrollijakson eikä harjoitusjakson aikana. Molempien ryhmien viikoittaiset harjoituskerrat lisääntyivät kontrollijakson ja harjoitusjakson (viikot 1-8) välillä tilastollisesti merkitsevästi (SO 5.3 ± 2.1 vs. 6.3 ± 1.4 , $p=0.007$; EM 5.0 ± 1.1 vs. 6.1 ± 0.4 , $p=0.001$). Lisäksi EM-ryhmän viikoittaisen kestävyysharjoittelun määrä (4.7 ± 1.7 h vs. 5.3 ± 1.8 h $p<0.001$) ja kokonaisharjoittelun määrä (5.2 ± 1.8 h vs. 6.0 ± 1.9 h $p<0.001$) kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi. SO-ryhmällä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia vastaavien muuttujien osalta (5.0 ± 3.0 h vs. 5.2 ± 2.1 h ja 5.4 ± 3.1 vs. 5.7 ± 2.1 h) Peruskestävyysharjoittelun suhteellinen osuus väheni tilastollisesti merkitsevästi (SO 86 ± 8 % vs. 82 ± 7 %, $p=0.01$; EM 91 ± 5 % vs. 84 ± 7 %, $p=0.02$) ja vauhtikestävyysharjoittelun osuus vastaavasti kasvoi (SO 10 ± 7 % vs. 15 ± 6 %, $p<0.005$; EM 6 ± 4 % vs. 12 ± 5 %, $p=0.008$) molemmilla ryhmillä. Maksimikestävyysharjoittelun ja muun harjoittelun osuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Taulukossa 8 on esitelty ryhmäkohtaiset harjoitusmäärät sekä intensiteettijakaumat harjoitusjakson aikana.

TAULUKKO 8. Ryhmien harjoittelu harjoitusjakson aikana. Lukemat ovat viikkokeskiarvoja. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty.

	SO (n=13)		EM (n=11)	
	Pre-mid	Mid-post	Pre-mid	Mid-post
Harjoituskerrat/vko	6.1 ± 1.3	6.4 ± 1.5	6.2 ± 0.7	6.0 ± 0.7
Kestävyysharjoittelu h/vko	5.2 ± 2.0	5.1 ± 2.3	5.6 ± 2.0	5.0 ± 1.7
Sykealue 1 (%)	81 ± 8	83 ± 7	85 ± 6	83 ± 9
Sykealue 2 (%)	15 ± 7	14 ± 6	12 ± 5	13 ± 6
Sykealue 3 (%)	4 ± 3	3 ± 2	3 ± 2	4 ± 4
Voimaharjoittelu h/vko	0.5 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.2	0.8 ± 0.2
Harjoittelu yhteensä h/vko	5.7 ± 2.0	5.8 ± 2.3	6.2 ± 2.1	5.8 ± 1.8

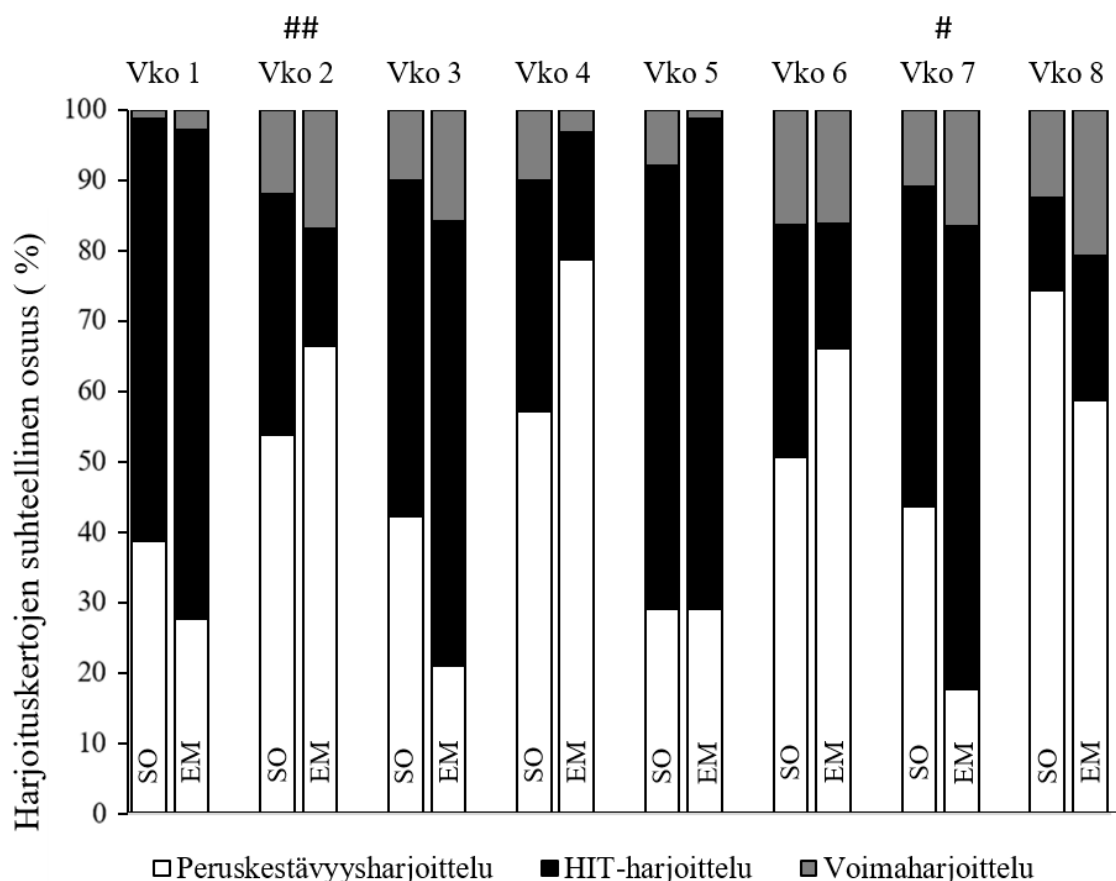
Sykealue 1 < 82 %/HR_{max}, sykealue 2 = 82-87 %/HR_{max} ja sykealue 3 > 87 %/HR_{max}.

EM-ryhmän tutkittavat tekivät harjoitusjakson neljän ensimmäinen viikon aikana keskimäärin 10.9 ± 0.3 HIT-harjoitusta samoin kuin neljän viimeisen viikon aikana (10.9 ± 0.3). Yhteensä ennalta määrätyn ryhmän tutkittavat tekivät harjoitusjakson aikana keskimäärin 21.8 ± 0.6 HIT-harjoitusta. SO-ryhmän tutkittavat tekivät harjoitusjakson ensimmäisellä puolikkaalla keskimäärin 10.3 ± 2.7 HIT-harjoitusta ja jälkimmäisellä puolikkaalla 9.5 ± 2.8 HIT-harjoitusta. Koko harjoitusjakson aikana SO-ryhmän tutkittavat tekivät keskimäärin 19.8 ± 4.1 HIT-harjoitusta. Ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa HIT-harjoittelun määrässä koko harjoitusjakson tai sen eri puolikkaiden aikana. Kuvassa 12 on esitetty sykeohjatun ryhmän HIT-harjoitusten kertojen tutkittavakohtainen jakautuminen.



KUVA 12. Sykeohjatun ryhmän (SO) HIT-harjoituskertojen yksilöllinen jakautuminen ja ennalta määrätyn ryhmän (EM) keskiarvo harjoitusjakson neljän ensimmäisen viikon sekä koko harjoitusjakson aikana.

Harjoittelun viikkokohtaisissa jakaumissa havaittiin eroja ryhmien välillä. Harjoitusviikkojen 2 ($p=0.008$) ja 7 ($p=0.030$) HIT-harjoittelun suhteellisessa osuudessa kokonaisharjoittelusta oli tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä. Myös viikkojen 1, 3, 4, 6 ja 8 aikana erot olivat lähellä tilastollista merkitsevyyttä ($p=0.054-0.075$). Kuvassa 13 on esitetty ryhmäkohtaisesti peruskestävyys- ja voimaharjoitusten, HIT-harjoitusten sekä voimaharjoitusten suhteellinen osuus viikoittaisista harjoituskerroista.



KUVA 13. Sykeohjatun (SO) ja Ennalta määrätyn (EM) ryhmän viikkokohtainen harjoitusjakauma pohjautuen eri harjoitusmuotojen suhteellisiin osuuksiin harjoituskertoina/viikko. Ryhmien välisten erojen tilastollinen merkitsevyys HIT-harjoittelun suhteellisessa osuudessa: # p<0.05, ## p<0.01.

7.3 Kestävyystestit

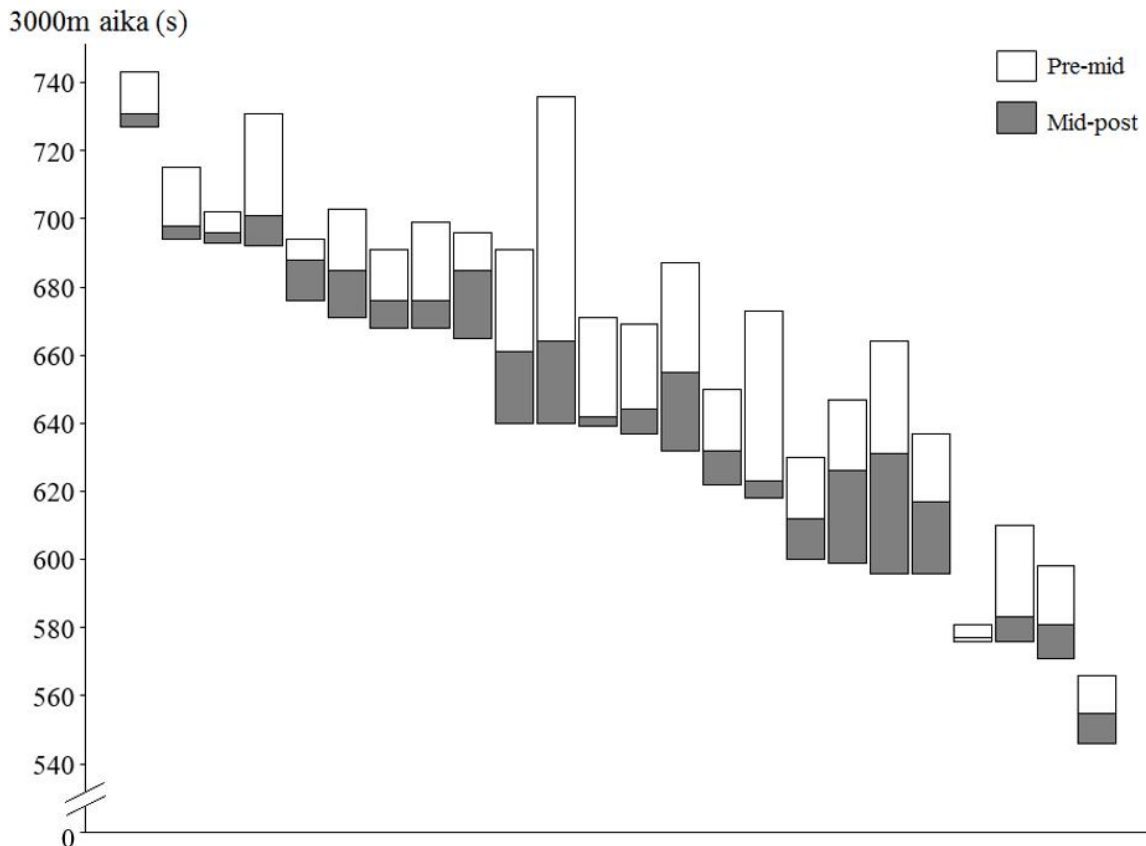
3000m: 3000 metrin testissä (min:s) ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa kontrollitestin ja pre-testin välillä SO-ryhmän ($11:18 \pm 0:49$ vs. $11:13 \pm 0:50$, $p=0.222$) eikä EM-ryhmän osalta ($11:11 \pm 0:46$ vs. $11:07 \pm 0:47$, $p=0.092$). Molemmat ryhmät paransivat 3000 metrin aikaansa tilastollisesti merkitsevästi pre-post- (SO -5.2 ± 2.4 %, $p<0.001$; EM -5.2 ± 3.1 %, $p=0.001$), pre-mid- (SO -3.1 ± 1.3 %, $p<0.001$; EM -3.5 ± 2.6 %, $p=0.002$) ja mid-post -vertailussa (SO -2.2 ± 1.5 %, $p<0.001$; EM -1.5 ± 1.1 %, $p=0.001$) (taulukko 9).

TAULUKKO 9. 3000 metrin aika (min:s), testin jälkeinen maksimilaktaattipitoisuus (mmol/l) ja testin aikainen maksimisykelukema (lyöntiä/min). SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty.

	SO (n=13)			EM (n=11)		
	Pre	Mid	Post	Pre	Mid	Post
3000 m	11:13 ± :50	10:52 ± :49***	10:38 ± :52*** ^{ab}	11:07 ± :47	10:42 ± :42**	10:32 ± :41** ^{ab}
MaxLa	14.2 ± 3.0	14.3 ± 3.4	15.8 ± 2.9 ^b	12.4 ± 2.6	13.6 ± 3.0	13.9 ± 1.7
MaxHR	187 ± 9	186 ± 7	187 ± 7	193 ± 6	192 ± 7	192 ± 7

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001. ^a= muutos verrattuna pre-testiin, ^b= muutos verrattuna mid-testiin.

Suhteellinen muutos pre-mid -välillä oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi verrattuna mid-post -muutokseen EM-ryhmällä (p=0.011) ja lähes tilastollisesti merkitsevä SO-ryhmällä (p=0.060). Mittauskertojen välisissä suhteellisissa muutoksissa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Lähtötason ja suhteellisen kehityksen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Kaikkien tutkittavien kehitys 3000 metrin juoksussa on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Kaikkien tutkittavien yksilöllinen kehitys 3000 metrin testissä. Vaalea palkki kuvaa pre-mid -muutosta ja tumma palkki mid-post -muutosta. Pystyakselilla on esitetty 3000 metrin aika.

3000 metrin testin jälkeinen veren maksimilaktaattipitoisuus kasvoi tilastollisesti merkitsevästi SO-ryhmällä mid-post -välillä (12.8 ± 18.4 %, $p=0.039$). EM-ryhmällä vastaava trendi oli havaittavissa pre-post -välillä (16.0 ± 23.5 %, $p=0.064$). Testijuoksun aikaisessa maksimisykkeessä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja mittauskertojen välillä lukuun ottamatta kontrolli-pre -vertailua EM-ryhmällä (1.2 ± 1.6 %, $p=0.045$). (Taulukko 9)

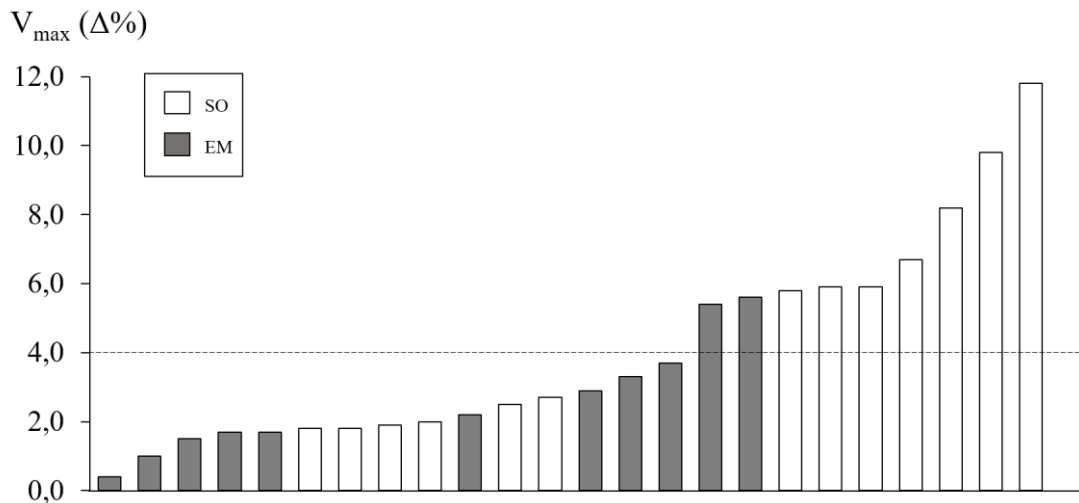
Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi: Molemmat ryhmät paransivat mattotestin maksiminopeuttaan tilastollisesti merkitsevästi (SO $p<0.001$; EM $p<0.001$). Maksiminopeuden suhteellisessa muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p=0.033$). Kehonpainoon suhteutettu ja absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky paranivat SO-ryhmällä ($p=0.001$ ja $p=0.011$) sekä EM-ryhmällä ($p=0.005$ ja $p=0.036$). (Taulukko 10)

TAULUKKO 10. Mattotestitulokset ja suorituskokymuuttujien suhteellinen muutos. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty.

	SO (n=13)			EM (n=11)		
	Pre	Post	$\Delta\%$	Pre	Post	$\Delta\%$
VO _{2max} (ml/kg/min)	53.6 ± 4.2	56.7 ± 3.4**	6.0 ± 5.2 %	54.2 ± 4.1	56.4 ± 4.7**	4.1 ± 3.7 %
VO _{2max} (l/min)	4.1 ± 0.3	4.3 ± 0.4*	4.9 ± 5.8 %	4.0 ± 0.3	4.1 ± 0.3*	3.6 ± %
V _{max} (km/h)	17.6 ± 1.3	18.5 ± 1.2***	5.1 ± 3.2 % #	18.0 ± 1.1	18.5 ± 1.2***	2.7 ± 1.6 %
AerK (km/h)	11.0 ± 1.5	11.8 ± 1.1*	7.7 ± 10.5 %	11.6 ± 1.2	12.2 ± 1.2*	5.0 ± 6.0 %
AnaK (km/h)	14.1 ± 1.0	15.0 ± 1.1***	5.9 ± 4.7 %	14.7 ± 0.9	15.3 ± 1.2*	4.0 ± 5.6 %

Ryhmien sisäisten muutosten tilastollinen merkitsevyys: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$. Ryhmien välisten erojen tilastollinen merkitsevyys: # $p<0.05$.

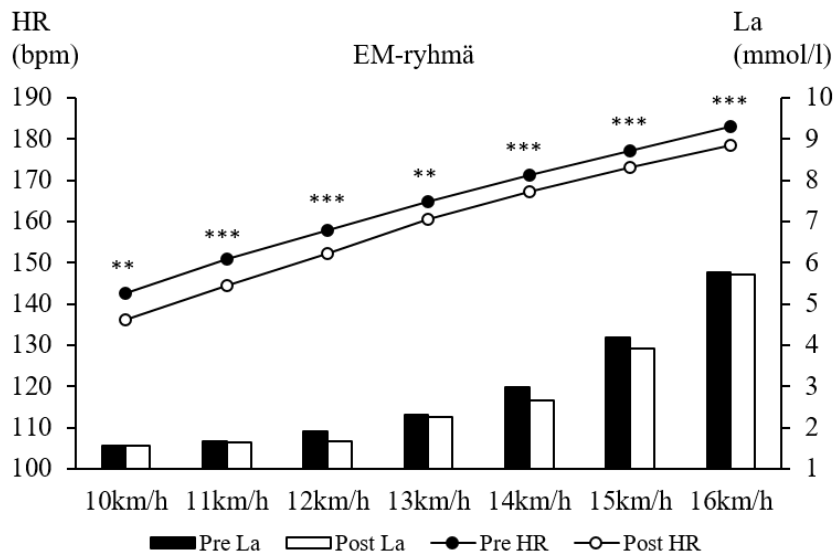
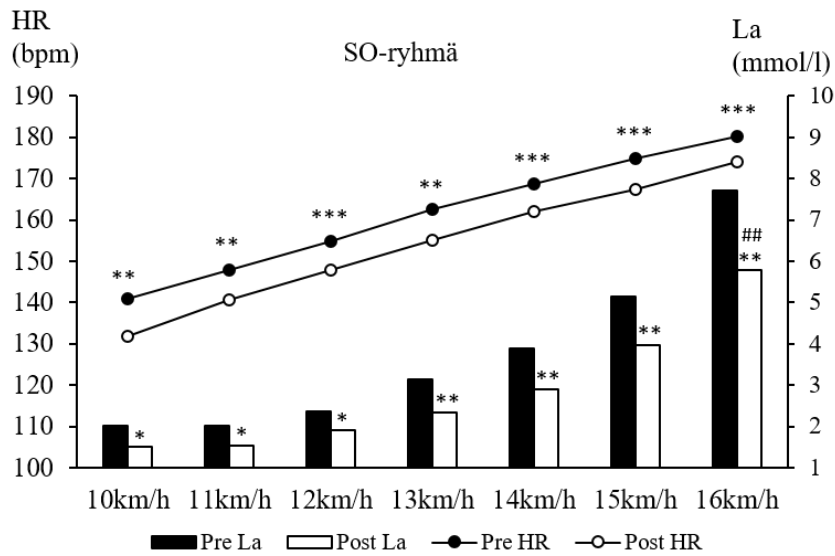
SO-ryhmällä painoon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn lähtötason ja suhteellisen kehityksen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ($R=-0,633$ $p=0.020$). Muiden mattotestimuuttujien osalta ei havaittu vastaavia korrelaatioita. Mattotestin maksiminopeuden suhteellinen muutos on esitetty tutkittavakohtaisesti kuvassa 15.



KUVA 15. Tutkittavakohtainen suhteellinen kehitys mattotestin V_{\max} -muuttujan osalta. Valkoiset pylväät ovat sykeohjatun ryhmän (SO) tutkittavia ja harmaat ennalta määrätyn ryhmän (EM) tutkittavia. Musta katkoviiva esittää koko tutkittavajoukon keskiarvoa.

Anaerobinen kynnyks (AnaK) kehittyi molemmilla ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi (SO $p < 0.001$; EM $p = 0.050$). Myös aerobinen kynnyks (AerK) kehittyi tilastollisesti merkitsevästi sekä SO- ($p = 0.021$) että EM-ryhmällä ($p = 0.027$). Aerobisen kynnyksen lähtötason ja suhteellisen muutoksen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä korrelaatio koko tutkittavajoukolla. ($R = -0.628$ $p = 0.001$). Juoksun taloudellisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia mitatuilla 10 km/h (SO -0.4 ± 4.7 %; EM $+1.1 \pm 5.2$ %) tai 12 km/h (SO -0.2 ± 4.2 %; EM -0.2 ± 3.5 %) nopeuksilla. (Taulukko 10)

Submaksimaalisilla kuormilla 10-16 km/h molempien ryhmien syke oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi post-testissä verrattuna pre-testiin ($p < 0.01-0.001$). SO-ryhmällä havaittiin lisäksi tilastollisesti merkitsevä muutos veren laktaattipitoisuudessa jokaisessa mittapisteessä ($p < 0.05-0.01$). EM-ryhmällä ei havaittu merkitseviä muutoksia laktaattipitoisuuden osalta. Laktaattipitoisuuden suhteellinen muutos 16 km/h nopeudella oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi SO-ryhmällä verrattuna EM-ryhmään ($p < 0.01$). Maksimisykkeessä (SO 189 ± 7 bpm vs. 188 ± 7 bpm; EM 193 ± 6 bpm vs. 192 ± 6 bpm) tai -laktaattipitoisuudessa (SO 13.2 ± 2.3 mmol/l vs. 14.2 ± 1.6 mmol/l; EM 12.8 ± 4.4 mmol/l vs. 14.2 ± 4.5 mmol/l) ei puolestaan havaittu merkitseviä muutoksia testien välillä. Syke ja veren laktaattipitoisuus 10-16 km/h kuormilla on esitetty ryhmäkohtaisesti kuvassa 16.

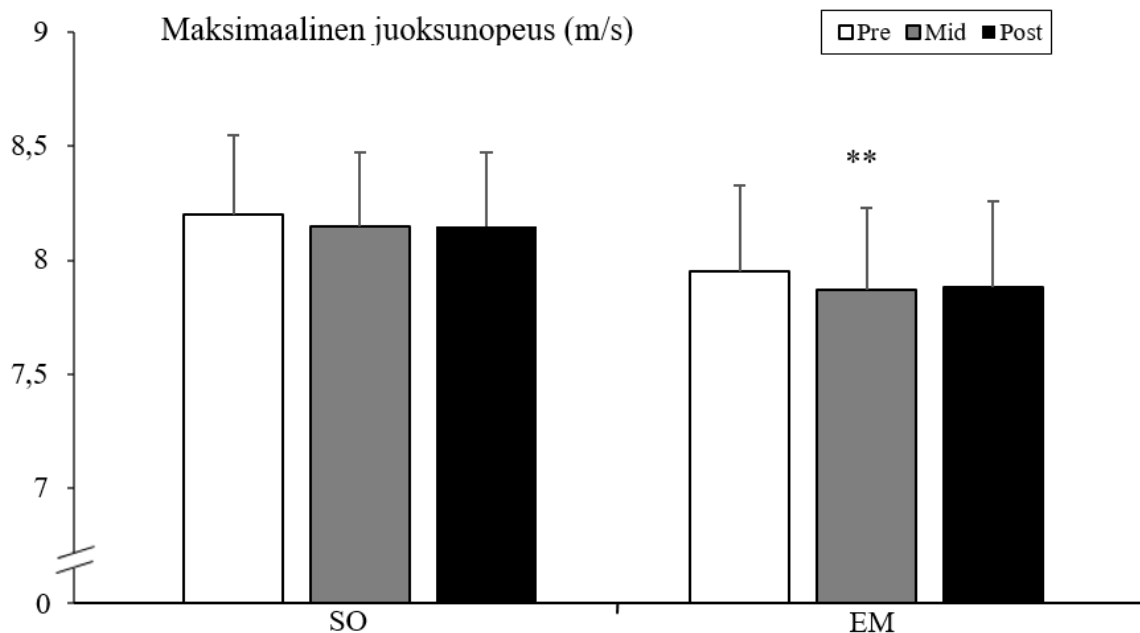


KUVA 16. Syke (lyöntiä/min) ja veren laktaattipitoisuus (mmol/l) submaksimaalisilla kuormilla. Mustat pallot ja pylväät esittävät pre-testiä, valkoiset pallot ja pylväät esittävät post-testiä. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty. Ryhmien sisäisten muutosten tilastollinen merkitsevyys: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

7.4 Hermolihasjärjestelmän testit

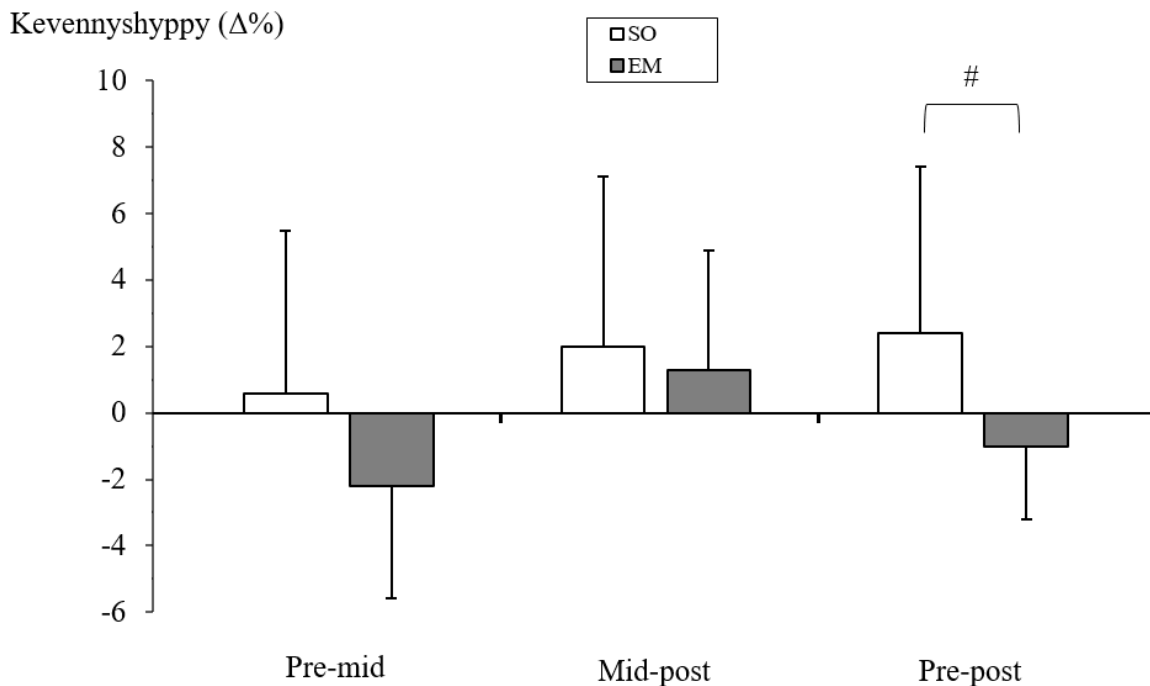
Maksimaalinen juoksunopeus: Maksimaalinen juoksunopeus parani tilastollisesti merkitsevästi SO-ryhmällä kontrolli-pre -vertailussa (8.14 ± 0.31 m/s vs. 8.20 ± 0.32 m/s, $p=0.008$). EM-ryhmällä tuloksissa ei ollut merkitsevää eroa (7.95 ± 0.37 m/s vs. 7.95 ± 0.40 m/s). Pre-mid -vertailussa EM-ryhmän tulos puolestaan heikkeni tilastollisesti merkitsevästi (-1.0 ± 1.0

%, $p=0.008$) ja SO-ryhmällä lähes tilastollisesti merkitsevästi (-0.5 ± 1.0 %, $p=0.054$). Pre-post tai mid-post -vertailussa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Ryhmäkohtaiset tulokset eri mittauskerroilla on esitelty kuvassa 17.



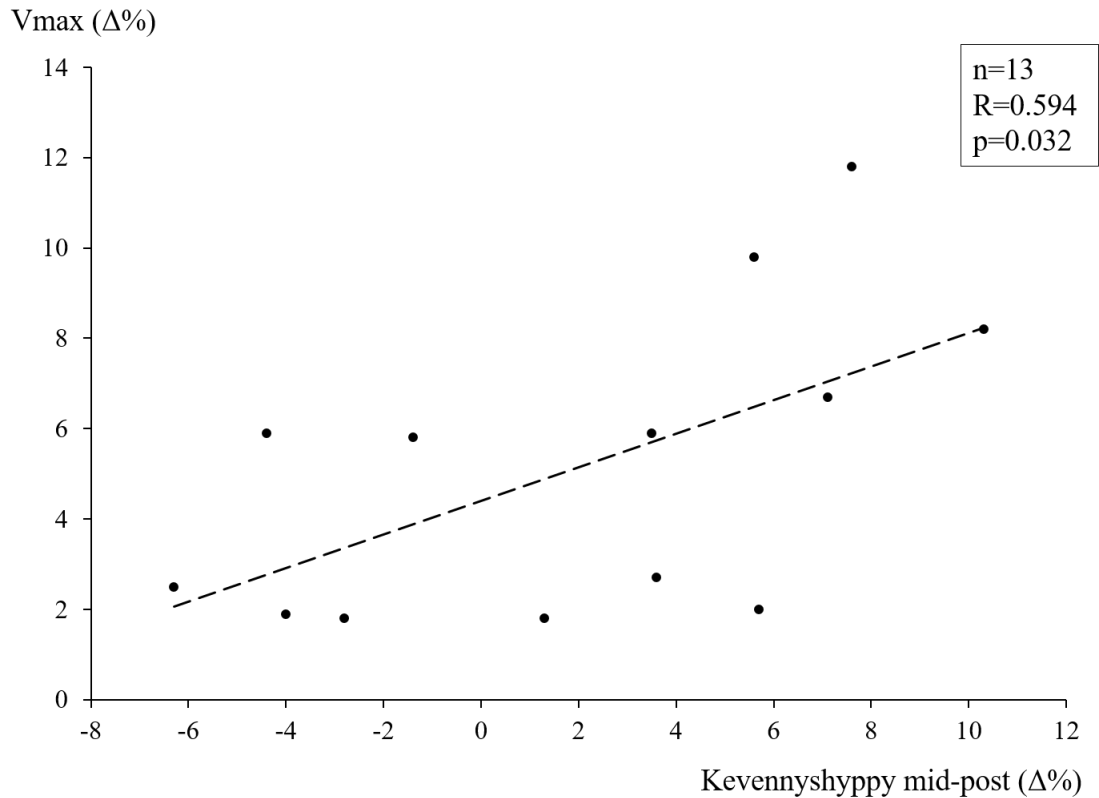
KUVA 17. Maksimaalinen juoksunopeus ryhmittäin eri testikerroilla. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty. Ryhmien sisäisten muutosten tilastollinen merkitsevyys: ** $p < 0.01$.

Kevennyshyppy: Kontrollitestin ja pre-testin välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta kummankaan ryhmän osalta. (SO 31.5 ± 4.8 cm vs. 31.5 ± 4.8 cm; EM 28.7 ± 4.9 cm vs. 29.0 ± 4.0 cm) Pre-mid -vertailussa EM-ryhmän nousukorkeus laski tilastollisesti merkitsevästi lentoajan perusteella (-2.6 ± 3.5 %, $p=0.038$) ja lähes merkitsevästi impulssin perusteella (-2.2 ± 3.4 %, $p=0.073$). SO-ryhmällä mid-post -vertailussa nousukorkeus kasvoi lentoajan perusteella 3.5 ± 5.3 % ($p=0.033$) ja impulssin perusteella 2.0 ± 5.1 % ($p=0.104$). Nousukorkeuden pre-post suhteellisessa muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä niin impulssin ($p=0.048$) kuin lentoajankin ($p < 0.01$) perusteella määritetyissä nousukorkeuksissa. Impulssin perusteella määritetyt kevennyshypyn suhteelliset muutokset on esitelty kuvassa 18.



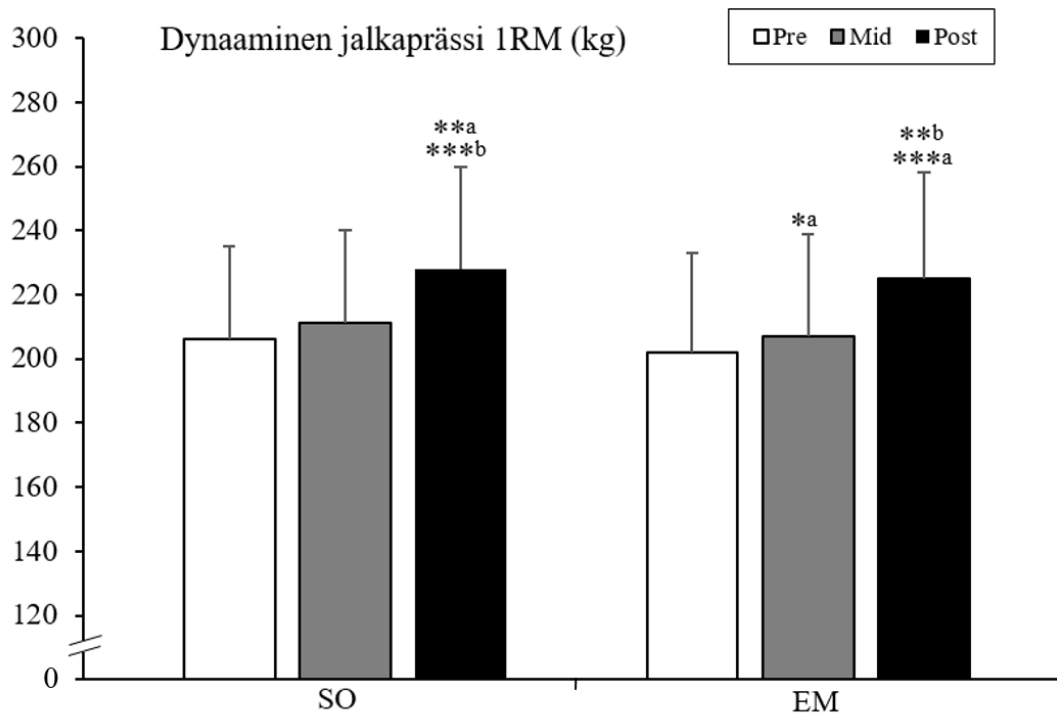
KUVA 18. Ryhmäkohtainen impulssista määritetyn kevennyshyppyn nousukorkeuden suhteellinen muutos eri testikerroilla. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty. Ryhmien välisten suhteellisten muutosten erojen tilastollinen merkitsevyys: # $p < 0.05$

Impulssista määritetyn kevennyshyppyn nousukorkeuden mid-post suhteellinen muutos korreloi tilastollisesti merkitsevästi kehonpainoon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn ($R=0.521$, $p=0.009$), absoluuttisen maksimaalisen hapenottokyvyn ($R=0.601$, $p=0.002$) sekä mattotestin maksiminopeuden ($R=0.469$, $p=0.021$) suhteellisen kehityksen kanssa koko tutkittavajoukolla. Vastaavat muutokset havaittiin myös SO-ryhmällä ($R=0.521$, $p=0.02$), ($R=0.778$, $p=0.002$) ja ($R=0.594$, $p=0.032$) Kuvassa 19 on esitetty mattotestin maksiminopeuden kehityksen ja kevennyshyppyn mid-post -muutoksen välinen korrelaatio SO-ryhmällä.



KUVA 19. Mattotestin maksiminopeuden ja kevennyshyppyn mid-post -muutoksen välinen korrelaatio sykeohjatulla ryhmällä.

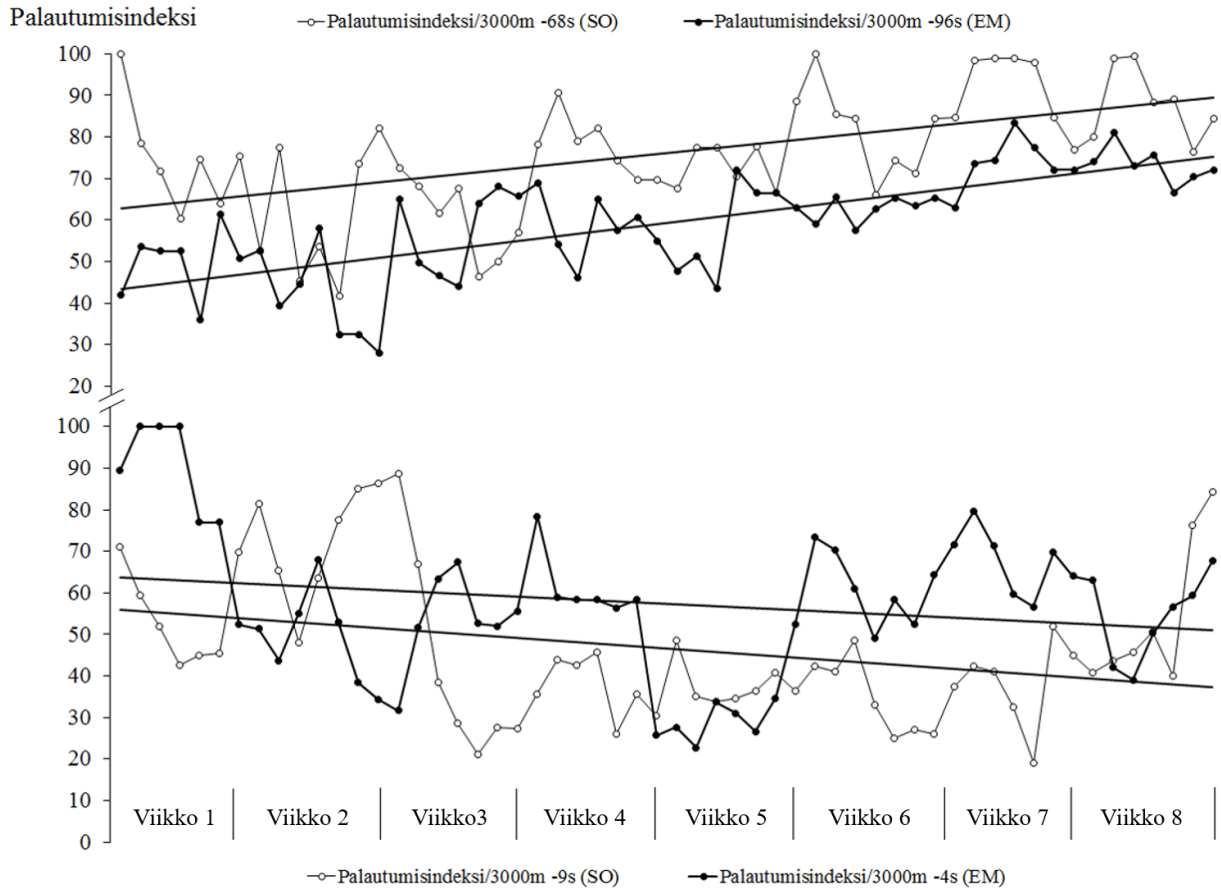
Dynaaminen jalkaprässi 1RM: Kontrollitestin ja pre-testin välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa kummankaan ryhmän osalta (SO 202 ± 30 kg vs. 206 ± 29 kg; EM 199 ± 37 kg vs. 202 ± 32 kg). Jalkaprässimaksimi parani tilastollisesti merkitsevästi molemmilla ryhmillä pre-post -vertailussa (SO 11.2 ± 8.7 %, $p=0.001$; EM 11.4 ± 6.0 %, $p<0.001$). Vain EM-ryhmän muutos pre-mid -välillä oli tilastollisesti merkitsevä (1.9 ± 3.0 % $p=0.024$). Mid-post -välillä SO-ryhmä (8.7 ± 6.6 %, $p<0.001$) sekä EM-ryhmä (9.5 ± 6.3 %, $p=0.001$) paransivat tulostaan tilastollisesti merkitsevästi. Mittauskertojen välisissä suhteellisissa muutoksissa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Kuvassa 20 on esitelty ryhmäkohtaiset 1RM jalkaprässitulokset eri mittauskerroilla.



KUVA 20. Ryhmäkohtaiset dynaamisen jalkaprässin 1RM tulokset eri mittauskerroilla. SO = sykeohjattu ja EM = ennalta määrätty. Ryhmien sisäisten muutosten tilastollinen merkitsevyys: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. ^a = muutos verrattuna pre-testiin, ^b = muutos verrattuna mid-testiin.

7.5 Palautumisindeksi

Palautumisindeksin osalta analysoitavaksi valittiin molemmista ryhmistä eniten ja vähiten 3000 metrin suoritustaan parantanut tutkittava. (Kuva 21) Eniten suoritustaan parantaneilla tutkittavilla palautumisindeksissä havaittiin nouseva trendi erityisesti harjoitusjakson jälkimmäisellä puolikkaalla. SO-ryhmän tutkittavalla palautumisindeksin viikkokeskiarvo oli kontrollijakson keskiarvosta muodostetun referenssiarvon (58.5) yläpuolella läpi harjoitusjakson. EM-ryhmän tutkittavalla viikkokeskiarvo oli referenssiarvoa (57.9) korkeampi puolestaan viikkojen 3-4 sekä 6-8 aikana. Vähiten 3000 metrin suoritustaan parantaneilla tutkittavilla palautumisindeksin trendi oli laskeva. SO-ryhmän tutkittavalla palautumisindeksi oli referenssiarvon (58.5) alapuolella viikkojen 3-8 aikana. EM-ryhmän tutkittavalla puolestaan palautumisindeksin viikkokeskiarvo oli referenssiarvon (62.0) alapuolella viikkojen 2-6 sekä 8 aikana.



KUVA 21. Ylemmässä kuviossa on esitetty kahden 3000 metrin suoritustaan eniten parantaneen tutkittavan palautumisindeksi harjoitusjakson aikana. Alemmassa kuviossa on puolestaan esitetty kahden 3000 metrin suoritustaan vähiten parantaneen tutkittavan palautumisindeksitulokset harjoitusjakson aikana. Palautumisindeksi on esitetty pystyakselissa 0-100 %. Tulokset ovat juoksevia kolmen päivän keskiarvoja. Mustat yhtenäiset viivat kuvastavat koko harjoitusjakson aikaisen palautumisindeksin trendiä tutkittavakohtaisesti.

8 POHDINTA

Blokkiohjelmoidun harjoittelun seurauksena molemmat ryhmät paransivat tilastollisesti merkitsevästi suoritustaan 3000 metrin testissä sekä suorassa maksimaalisen hapenottokyvyn testissä. Trendinä oli, että mattotestissä mitattujen kestävyysmuuttujien suhteellinen kehitys oli hieman suurempaa sykeohjatulla ryhmällä. Tilastollisesti merkitseviä ryhmien välisiä eroja suorituskyky muuttujien suhteellisissa muutoksissa havaittiin mattotestin maksiminopeudessa sekä kevennyshypyn nousukorkeudessa.

Kestävyysuorituskyky: Molemmissa ryhmissä jokainen tutkittava paransi 3000 metrin juoksumuutustulostaan. Pre-post -vertailussa ryhmien kehitys oli identtistä, sillä molemmat paransivat suoritustaan 5.2 % ja 35 sekuntia. Tosin kuten kuvasta 15 näkee, joukossa oli myös melko paljon yksilöllistä vaihtelua. Harjoitusjakson puolikkaita vertailtaessa trendeissä oli havaittavissa pieni, joskaan ei tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä. Trendinä oli, että neljän ensimmäisen viikon aikana EM-ryhmän parannus oli suurempi ja vastaavasti neljän viimeisen viikon aikana kehitys oli suurempaa SO-ryhmällä. Voi olla, että sykeohjatun harjoittelun hyödyt nousevat esiin harjoitusjakson pidentyessä muutamista viikoista eteenpäin.

Molemmissa ryhmissä jokainen tutkittava paransi 3000 metrin lisäksi mattotestin maksiminopeuttaan. Maksimaalinen hapenottokyky (absoluuttinen ja kehonpainoon suhteutettu) parani niin ikään melko järjestelmällisesti; molemmista ryhmistä löytyi kaksi tutkittavaa, joilla se pysyi samana tai heikkeni hieman. $V_{\max:n}$ ja 3000 metrin osalta ei havaittu korrelaatioita tutkittavien lähtötason ja suhteellisen kehityksen välillä, joten harjoittelu vaikutti toimivan lähtötasosta riippumatta. Maksimisuorituksen ohella sekä aerobinen että anaerobinen kynnys kehittyivät molemmilla ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi, jonka perusteella blokkiharjoittelu vaikuttaisi kehittävän maksimaalisen suorituskyvyn lisäksi submaksimaalista kestävyyttä. Vastaavia havaintoja ovat tehneet myös Ronnestad ym. (2014), Zinner ym. (2014) sekä Clark ym. (2014). Kynnysten kehitys vastasi Helgerudin ym. (2001) sekä McMillanin ym. (2005) havaintoja, joiden mukaan ne kehittyvät usein samassa suhteessa maksimisuorituskyvyn kanssa. Mielenkiintoinen löydös oli, että molempien ryhmien syke laski tilastollisesti merkitsevä-

ti 10-16km/h kuormilla, mutta ainoastaan sykeohjatun ryhmän laktaattipitoisuus laski merkitsevästi vastaavilla kuormilla.

Juoksun taloudellisuudessa ei havaittu merkitseviä muutoksia 10 tai 12 km/h nopeuksilla. Osa tutkittavista paransi taloudellisuuttaan, mutta osalla se puolestaan heikkeni. Taloudellisuutta voidaan pitää jokseenkin harjoitusspesifinä ominaisuutena; Jonesin ja Carterin (2000) mukaan juoksijat ovat taloudellisimmillaan nopeuksilla, joilla harjoittelevat. Myös olosuhteet voivat vaikuttaa suorituksen taloudellisuuteen. Moosesin ym. (2015) korkeatasoisilla juoksijoilla tehdyssä tutkimuksessa maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei havaittu eroa juoksumaton ja juoksuradan välillä, mutta suorituksen taloudellisuudessa eri alustoilla oli merkitsevä ero (215 ml/kg/km vs. 235 ml/kg/km). On tosin huomioitava, että nämä eri alustoilta saadut tulokset korreloivat keskenään (Mooses ym. 2015). Taloudellisuuden spesifisyyden vuoksi voi siis olla, että muutoksia olisi havaittu nopeuksilla, joilla intervalliharjoitukset juostiin. Hapenkulutuksen avulla taloudellisuuden muutoksia ei kuitenkaan valitettavasti voida luotettavasti mitata anaerobisen kynnyksen ylittävillä intensiteeteillä, koska energiaa tuotetaan silloin merkittävästi myös anaerobisesti ilman happea. Taloudellisuutta mitattiin ainoastaan pre-post -mittapisteissä, joten tästä ei voida päätellä, olisiko taloudellisuudessa näkynyt muutoksia vasta myöhemmin. Esimerkiksi Taipaleen ym. (2010) yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun tutkimuksessa taloudellisuus oli parhaimmillaan vasta 14 viikon kuluttua voimaharjoitusjakson päättymisestä. On mahdollista, että blokkiharjoittelunkin seurauksena muutokset havaittaisiin vasta myöhemmin. Toisaalta tutkimustulokset HIT-harjoittelun vaikutuksista juoksun taloudellisuuteen ovat olleet hieman ristiriitaisia, ja esimerkiksi Lake ja Cavanagh (1996) arvioivat HIT-harjoittelun hyötyjen perustuvan pääosin fysiologisiin muutoksiin biomekaanisten sijaan.

Aerobisen kapasiteetin ohella intervalliharjoittelu voi kehittää anaerobista kapasiteettia (Weston ym. 1997). Tässä tutkimuksessa ei mitattu anaerobista suorituskykyä erillisellä testillä, mutta 3000 metrin maksimilaktaattipitoisuudesta voitaneen sitä ainakin epäsuorasti arvioida. Molemmilla ryhmillä testin maksimilaktaattipitoisuudessa havaittiin kasvua, SO-ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi ja EM-ryhmällä lähes tilastollisesti merkitsevästi. On hyvin todennäköistä, että tutkittavat kykenivät puskuroimaan happamuutta tehokkaammin ja näin ollen myös tuottamaan energiaa tehokkaammin anaerobisesti. Erityisesti 3000 metrin juoksussa

anaerobisesta kapasiteetista on jonkin verran hyötyä. Duffieldin ym. (2005) arvion mukaan 3000 metrillä energia tuotetaan 15 % anaerobisesti ja 85 % aerobisesti.

Maksimaalisen hapenottokyvyn testin muuttujat korreloivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi 3000 metrin tuloksen kanssa. Suurin korrelaatio mattotestimuuttujien ja juoksuajan välillä havaittiin mattotestin maksiminopeudella (pre: $R=-0.923$, $p<0.001$, post: $R=-0.909$, $p<0.001$). Tämän vuoksi on hieman yllättävää, että ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero mattotestin maksiminopeuden kehityksessä, sillä kehitys 3000 metrin testissä oli lähes identtistä. $V_{\max:n}$ seitsemän suurinta tutkittavakohtaista suhteellista parannusta olivat SO-ryhmästä ja vastaavasti viisi heikointa EM-ryhmästä. Tutkimuksen aikana tapahtuneiden poistojen vuoksi ryhmien välillä oli pieni ero $V_{\max:n}$ keskiarvossa lähtötilanteessa, joka ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Kummankaan ryhmän osalta ei myöskään havaittu korrelaatiota lähtötason ja suhteellisen kehityksen välillä, joten ryhmien välinen ero kehityksessä liittyy todennäköisesti harjoittelun rytmitykseen.

Jos pohditaan mahdollisia syitä ryhmien väliselle erolle mattotestissä, niin ennalta määrätyn ryhmän tutkittavista ainakin osa olisi voinut hyötyä pidemmästä palautumisajasta blokkiviikkojen välillä. HIT-blokkeja sisältäneissä tutkimuksissa, joissa harjoitusadaptaatioita on seurattu useammassa mittapisteessä harjoitusjakson jälkeen, suorituskyvyn huppukohta on vaihdellut 6-14 päivän välillä (Hatle ym 2014.; Wahl ym. 2014). Tässä tutkimuksessa viimeinen blokkiviikko päättyi viikko ennen 3000 metrin testiä, joten voi olla, että HIT-harjoitusten aikaansaamat morfologiset muutokset verenkiertoelimistössä ja lihastasolla eivät ehtineet ainaakaan kaikilla tutkittavilla vielä realisoitua. Pohjautuen tässä tutkimuksessa havaittuihin eroihin sykeohjatun ryhmän harjoittelussa HIT-blokeista vaadittava palautumisaika vaikuttaisi olevan hyvin yksilöllistä.

Toinen mahdollinen syy ryhmäerojen välillä voi niin ikään liittyä harjoituskuormaan. Jonkinlaisesta hermostoon ja hermolihasjärjestelmään liittyvästä väsymyksestä kielii kevennyshypyn tulokset, jotka ennalta määrättyllä ryhmällä olivat alkutestejä heikompia mid- ja post-testeissä. Vastaava ilmiö havaittiin myös maksimijuoksunopeudessa. Kummankin muuttujan osalta heikkenemiset olivat tilastollisesti merkitseviä pre-mid -välillä. Sykeohjattu ryhmä sen sijaan

paransi kevennyshyppytulostaan tulostaan läpi harjoitusjakson, joskin myös heillä maksimijuoksunopeustestin tulos heikkeni pre-mid -välillä mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Mielienkiintoista oli, että kevennyshypyn suhteellisen muutoksen ja mattotestin suorituskyky-muuttujien suhteellisen muutoksen väliltä löytyi jopa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Mattotestin maksiminopeus oli keskimäärin noin 10 % 3000 metrin testin keskinopeutta korkeampi, joten voidaan ajatella, että vaatimukset hermolihasjärjestelmän suorituskyvyille ovat silloin suuremmat. Tämä voi olla syy, miksi ryhmien välillä ei havaittu eroa 3000 metrin juoksussa toisin kuin mattotestissä.

Kolmas mahdollinen tekijä ryhmäerojen välillä on, että EM-ryhmän harjoittelua voi pitää viikkosisältöjen osalta sykeohjattua ryhmää monotonisempana. Yksi harjoittelun peruseriaateista on harjoitusärsyksen vaihtelu (Bompa & Haff 2009, 72). Jonkin verran on näyttöä siitä, että liian monotoninen harjoittelu voi vaikuttaa negatiivisesti molekyyli-tason signaalointiin lihaksessa ja tätä kautta harjoitusadaptaatioihin (Goutianos 2016). Variaatioita olisi esimerkiksi voinut olla suurempi ero HIT-harjoitteiden rytmityksessä ja muutos intervallivetojen määrässä, kestossa tai intensiteetissä. Tutkimusasetelmassa blokkeihin pyrittiin luomaan hie-man variaatiota kahdella erilaisella intervalliharjoituksella. Lisäksi 3x10x30 s -harjoituksessa vetomatkaa pidennettiin mid-testin parannuksen pohjalta, ja 4x4 min -harjoituksessa vauhti tutkittavakohtaisesti kasvoi, kun samalla sykkeellä kyettiin juoksemaan kovempaa. Tämän enempää harjoittelua ei haluttu muuttaa, jotta ryhmien välinen vertailu oli mahdollista.

Ryhmien välisten erojen ohella yksilöiden välillä havaittiin eroja kestävyys-suorituskyvyn kehityksessä niin samanlaisella harjoitusohjelmalla (EM) kuin yksilöllisesti määritetyllä ohjelmallakin (SO) harjoitelleilla tutkittavilla. Myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että samanlaisen harjoitusohjelman aikaansaama muutos voi vaihdella lievästä negatiivisesta yli 30 % positiiviseen kehitykseen maksimaalisessa hapenottokyvyssä (Vollard ym. 2009). Tässä tutkimuksessa yksilöiden välistä hajontaa voidaan pitää suhteellisen pienenä, ja kaikkien tutkittavien 3000 metrin aika sekä V_{max} kehittyivät (3000 m kehitys: 0.3-13 %, V_{max} kehitys: 0.4-11.8 %). Pohdittaessa syitä erojen taustalla Bouchard:n ja Karvisen (2001) kattavan review-artikkelin perusteella ikä, sukupuoli ja etninen tausta eivät selitä kovin suurta osaa yksilöiden välisistä variaatioista harjoitusadaptaatioissa. Sen sijaan lähtötason havaittiin olevan yhteydessä adaptaatioiden suuruuteen. Tässä tutkimuksessa ikä korreloi koko tutkittavajoukossa

3000 metrin kehityksen ja lähtötaso SO-ryhmässä kehonpainoon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksen kanssa. Korrelaatioita ei kuitenkaan havaittu järjestelmällisesti eri kestävyysmuuttujien osalta, joten ikää ja lähtötasoa tuskin voidaan pitää pääasiallisina syinä yksilöiden välisille eroille.

Pitkän harjoitustaustan omaavilla yksilöillä kestävyysominaisuuksien kehittyminen on usein melko vähäistä (Arrese ym. 2005). Tutkimusjaksoa edeltävä harjoittelu ja tutkittavien harjoitustausta ovat siis potentiaalisia yksilöiden välisiä eroja selittäviä tekijöitä. Esimerkiksi Vesterisen ym. (2015) tutkimuksessa harjoitusjaksoa edeltäneillä harjoitusmäärillä havaittiin negatiivinen korrelaatio $V_{\max:n}$ kehitykseen suurivolyymisen harjoitusjakson aikana. Vastaavaa havaintoa ei tosin tehty korkeaintensiteettisen harjoittelun kanssa. Tässä tutkimuksessa tutkittavien harjoitustaustoissa ja harjoitusjaksoa edeltäneissä harjoitusmäärissä havaittiin jonkin verran eroja. Merkitseviä korrelaatioita ei silti löydetty kontrollijakson kestävyysharjoittelun tai HIT-harjoittelun määrien ja 3000 metrin tai $V_{\max:n}$ kehityksen välillä. On kuitenkin todettava, että kontrollijakso oli kestoaltaan kolme viikkoa, jota ei voi vielä pitää kovin kattavana otantana tutkittavien harjoitustaustasta.

Lepotason sykevälivaihtelun on havaittu olevan mahdollisesti yhteydessä kestävyysharjoitteluvasteeseen (Vesterinen ym. 2013;2015; Hautala ym. 2003). Vesterisen ym. (2013) tutkimuksessa nimenomaan intensiivisen harjoitusjakson aikana lähtötason sykevälivaihtelu (HF) korreloi merkitsevästi mattotestin maksiminopeuden kehityksen kanssa. Sen sijaan suurivolyymisen harjoittelun kanssa yhteys oli negatiivinen. Tämä korostaakin sitä, että yksilöt voivat hyötyä erilaisesta harjoittelusta, jonka suunnittelussa lähtötason sykevälivaihtelua voi mahdollisesti hyödyntää. Harjoittelututkimuksissa on usein hankala todeta, onko korkea sykevälivaihtelu harjoittelun kautta saavutettu adaptaatio, vai enemmänkin perinnöllinen ja synnynnäinen ominaisuus. Kestävyysharjoitteluvasteisiin liittyen on kuitenkin jo olemassa vankkaa tutkimusnäyttöä, että ainakin maksimaalisen hapenottokyvyn harjoitettavuuteen vaikuttaa voimakkaasti perimä. (Bouchard ym. 1999) Toistaiseksi ei ole olemassa tietoa siitä, mitkä ovat yksityiskohtaiset mekanismit sykevälivaihtelun ja harjoitusvasteiden välillä ja liittyvätkö ne juuri perimään. Joka tapauksessa edellä mainitut tekijät saattoivat vaikuttaa tässä tutkimuksessa ainakin osittain harjoitusvasteiden erilaisuuteen yksilöiden välillä.

Tutkimuksessa havaittiin maksimaalisen hapenottokyvyn testin osalta kaksi tutkittavaa, jotka tuloksiensa osalta erosivat selkeästi muusta tutkittavajoukosta. Heidän absoluuttinen maksimaalinen hapenottokykynsä heikkeni lähes yhtä paljon kuin se muilla keskiarvoisesti nousi, vaikka 3000 metrin suoritus ja maksiminopeus juoksumatolla paranivat keskiarvoista enemmän. On hankala sanoa, oliko löydös todellinen vai mahdollisesta mittavirheestä johtuva. Mitäustilanteessa ei kuitenkaan havaittu mitään poikkeavaa, jonka vuoksi virheellistä testitulosta olisi syytä epäillä. Havainnot voivat siis olla esimerkkejä siitä, että yksilötasolla kestävyys-suorituskykyyn ja sen kehitykseen vaikuttavat monet muut tekijät maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi.

Hermolihasjärjestelmä: Kuten aiemmissakin tutkimuksissa on havaittu (Mikkola ym. 2012; Häkkinen ym. 2002), myös tässä tutkimuksessa nopea voimantuotto ja sen kehittyminen vaikuttivat kärsivän kestävyysharjoittelusta. Ennalta määrätyn ryhmän kevennyshyppytulokset sekä maksimijuoksunopeus heikkenivät tilastollisesti merkitsevästi harjoitusjakson ensimmäisellä puolikkaalla. Tästä eteenpäin lisäheikentymistä ei enää tapahtunut. Myös sykeohjatun ryhmän maksimijuoksunopeus heikkeni pre-mid -välillä, mutta kevennyshyppy puolestaan parani läpi harjoitusjakson. Pre-post -muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p < 0.05$). Yksilöllisesti sykeohjatun harjoittelun avulla nopean voimantuoton heikkenemisen riski vaikuttaisi olevan ennalta määrättyä ohjelmointia pienempi ja jopa nopeusvoimaominaisuuksien kehittäminen vaikuttaisi olevan mahdollista. Sykeohjattuun harjoitteluun liittyen samanlaisia havaintoja on tehnyt myös Vesterinen (2016, 64), jonka tutkimuksessa ainoastaan sykeohjattu ryhmä paransi suoritustaan viikoittain toistetussa reaktiivisuushypyssä. Sykeohjatun harjoittelun hyödyt vaikuttaisivat siis liittyvän myös hermolihasjärjestelmän voimantuotto- ja nopeusvoimaominaisuuksiin.

Dynaamisen jalkaprässin 1RM kehittyi molemmilla ryhmillä ja pre-post vertailussa kehitystä tapahtui tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($p < 0.001$). Osaltaan tämä selittynee tutkittavien vähäisellä voimaharjoittelutaustalla ja oppimisen vaikutuksella, mutta silti on hieman yllättävää, että jo viisi voimaharjoitusta kahdeksan viikon aikana oli riittävä määrä saamaan aikaan merkitsevää kehitystä. Mielenkiintoista on myös, että toisin kuin maksiminopeus- ja kevennyshyppytestissä, kehitys jalkaprässissä oli lähes identtistä ryhmien kesken. Maksimivoimaominaisuuksien kehittäminen yhdessä kestävyysominaisuuksien kanssa voi siis olla no-

peusvoimaominaisuuksien kehittämistä helpompaa. Toisin kuin kevennyshypyn osalta jalkaprässimaksimin kehityksessä ei havaittu korrelaatioita suorituskykymuuttujien kehityksen tai juoksun taloudellisuuden kehityksen kanssa. Toisaalta korrelaatioita voi olla vaikea löytää näin pienessä tutkittavajoukossa, jossa havaitaan runsaasti yksilöllistä vaihtelua.

Harjoittelu: Aikaisempien blokkitutkimusten tutkittavat ovat olleet lähinnä pyöräilijöitä ja hiihtäjiä. Sen sijaan juoksijoilla blokkiharjoittelua ei juurikaan ole tutkittu. Tämän tutkimuksen pohjalta vaikutusmekanismit ovat juoksussa hyvin samankaltaiset verrattuna muihin kestävyyslajeihin. Tästä huolimatta on syytä huomioida juoksun ominaispiirteet suunniteltaessa harjoittelun ohjelmointia. Suurin ero juoksussa verrattuna moniin muihin lajeihin on siinä voimakkaasti toimiva venymis-lyhenemissykli (Komi 2000). Esimerkiksi lähes puhtaasti konsentrisen voimantuoton lajiin, pyöräilyyn, verrattuna alaraajoihin toistuvasti kohdistuvat törmäykset juoksussa ovat suuria. Tämä osaltaan vaikuttaa myös juoksijoiden harjoitusmääriin, jotka ovat selkeästi hiihtäjien ja pyöräilijöiden määriä alhaisempia (Tonnesen ym. 2014; Billat ym. 2003). Tämän tutkimuksen tutkittavista 70 % raportoi lihasarkuutta tai -väsymystä harjoituspäiväkirjan kommenttiosiossa neljän ensimmäisen harjoitusviikon aikana. Neljän viimeisen viikon aikana lihasarkuudesta tai -väsymyksestä raportoi 60 % tutkittavista. Lihasarkuutta ei voi todennäköisesti kokonaan välttää, mutta on kuitenkin huomioitava, että se voi vaikuttaa negatiivisesti suorituskykyyn. Esimerkiksi Black:n ym. (2015) tutkimuksessa lihasvaurioita aiheuttaneen kuormituksen jälkeen VO_{2max} oli 7 % alentuneella tasolla 2-10 päivän ajan. Vastaavia havaintoja tekivät myös Marcora & Bosio (2007), joiden tutkimuksessa 48 tunnin kuluttua lihasvaurioita aiheuttaneesta hyppelykuormituksesta (juoksu)aikajosuoritus heikkeni 4 %. Jonkinlainen totuttautumisyksikkö ennen intensiivistä harjoitusjaksoa voi siis olla hyödyllinen, sillä jo yksittäiset eksentristä lihastyötä sisältävät harjoitukset voivat ehkäistä lihasarkuutta ja voimantuoton heikkenemistä jatkossa (McArdle 2007, 530).

Harjoitusdataa tutkittaessa erityisesti ennalta määrätyn ryhmän tutkittavista monilla oli vaikeuksia saada nostettua sykettä korkealle intervalliharjoituksissa. Tämä näkyy myös intensiteettijakaumassa, jossa sykeohjatun ryhmän tutkittavilla oli suurempi suhteellinen osuus 2- ja 3-sykealueilla vähäisemmästä HIT-harjoitusten määrästä huolimatta. Osaltaan ero johtuu EM-ryhmän hieman suuremmasta PK-harjoittelun määrästä ja yksilöllisistä vaihteluista, mutta havainto voi johtua myös liiallisesta kuormittuneisuudesta, sillä maksimisykkeen ja submak-

simaalisen sykkeen on havaittu laskevan kovan harjoituskuorman myötä ylikuormittuneilla urheilijoilla (Bosquet ym. 2008). Toisaalta maksimihapenottokyvyn testissä lähes kaikkien tutkittavien maksimisyke oli samalla tasolla kuin ensimmäisessä testissä. Sykkeen nostamisen vaikeudet saattoivat osittain johtua myös jalkojen arkuudesta, joka on voinut häiritä kovavauhtista juoksua. Pelkästään sykkeitä tarkasteltaessa on silti huomioitava, että tämän tutkimusprotokollan sisältämissä ja ylipäänsä intervalliharjoituksissa pelkästään syke ja syke-aika tietyllä intensiteettialueella ei välttämättä ole paras mittari kuvaamaan harjoituksen kuormittavuutta (Sylta ym. 2014).

Sykeohjattu harjoittelu vaikutti toimivan pääosin hyvin. Joukossa oli yksittäisiä tapauksia, joissa melko varmasti myös harjoittelun ulkopuoliset tekijät vaikuttivat palautumistilaan, jonka vuoksi HIT-harjoittelun määrä ja harjoitusadaptaatiot jäivät melko pieniksi. Toisaalta, jos samat tutkittavat olisivat olleet ennalta määrättyssä ryhmässä, olisi hyvin mahdollista, että heille olisi kehittynyt ylikuormitustila. Yhtä tutkittavaa lukuun ottamatta kaikki sykeohjatun ryhmän tutkittavat tekivät vähintään 16 HIT-harjoitusta. Kahta viikoittaista HIT-harjoitusta on käytetty useissa harjoitusprotokollissa menestyksekkäästi (Ronnestad ym. 2015; Seiler ym. 2013; Denadai ym. 2006). Myös tämän tutkimuksen perusteella vähintään kaksi viikoittaista HIT-harjoitusta mahdollistaa merkitsevän kehityksen kestävyysuorituskyvyssä. Tosin on huomioitava, että viikkosisällöt vaihtelivat ja HIT-harjoitukset tehtiin blokeissa eikä yksittäin tasaisesti läpi harjoitusjakson.

Palautumisindeksi: Kahdella eniten 3000 metrin suoritustaan parantaneella tutkittavalla oli havaittavissa selkeä nouseva trendi palautumisindeksissä erityisesti harjoitusjakson loppua kohden. Vastaavasti vähiten 3000 metrin suoritustaan parantaneella kaksikolla oli havaittavissa selkeä laskeva trendi. Erityisesti ensimmäisissä esimerkeissä näkyy myös, miten harjoitusjakson alussa palautumisindeksi on reagoinut harjoitteluun selkeästi harjoitusjakson loppua voimakkaammin. Yksittäisistä esimerkkitapauksista ei tietenkään voi vetää suorita johtopäätöksiä, ja on syytä huomioida, että kaikilla tutkittavilla ei ollut havaittavissa palautumisindeksissä selkeää trendiä suuntaan tai toiseen huolimatta kestävyysuorituskyvyn kehittymisestä. Autonomisen hermoston säätelyssä tapahtuvat muutokset vaikuttaisivat kuitenkin olevan signaali, jota voi hyödyntää HIT-harjoittelun ohjelmoinnissa. Yksilöllisyys on silti aina syytä huomioida. Esimerkiksi Le Meur ym. (2013) havaitsivat parasympaattisen hermoston hyper-

aktivaatiota ylikuormittuneilla urheilijoilla, joiden suorituskyky oli väliaikaisesti alentuneella tasolla. Toinen huomionarvoinen asia on erityisesti alhaisilla sykkeillä mahdollisesti tapahtuva asetyylikoliinireseptorien saturaatio, joka voi aiheuttaa sykevälivaihtelun alenemista huolimatta hyvästä palautumistilasta (Plews ym. 2016). Ennen varsinaista sykeohjatun harjoittelun aloittamista on erityisen tärkeää seurata sykevälivaihtelua yksilötasolla säännöllisesti ja riittävän pitkään, jotta tiedetään, millä tasolla se erilaisissa palautumistiloissa tavanomaisesti on.

Tutkimuksen rajoitteet: Tutkittavien määrä oli lopulta 24. Suurempi tutkittavien lukumäärä lisäisi tutkimuksen vakuuttavuutta, joskin nykyistäkin määrää voidaan pitää riittävänä otantana. Tutkimuksessa käytetyt palautumismittaukset tehtiin kotiolosuhteissa. Mittaustilannetta ei näin ollen voitu vakiodia laboratoriosuhteita vastaaviksi. Toisaalta tutkittaville annettiin tarkat ohjeet mittausten toteutuksesta ja huonolaatuisten tallennusten (suuri virheprosentti, epätasainen sykekäyrä) jälkeen heille annettiin välittömästi palautetta asiasta. Kotiolosuhteet myös vastaavat todellista tilannetta, jossa mittaukset arkielämässäkin toteutettaisiin.

Tutkittavien harjoittelu koostui pääosin omatoimisesta harjoittelusta. Käytännön syistä ei ollut mahdollista toteuttaa harjoituksia täysin kontrolloidussa ympäristössä. Kaikkien harjoitusten syke- ja GPS-data käytiin kuitenkin läpi välittömästi sen lähettämisen jälkeen tutkimusryhmän toimesta, ja jos niissä havaittiin huomautettavaa, tutkittavia ohjeistettiin asiasta välittömästi.

Johtopäätökset ja käytännön sovellukset: Tutkimuksen perusteella blokkiharjoittelu parantaa merkittävästi kestävyys suorituskykyä 3000 metrin juoksusuorituksena sekä mattotestimuuttuihin mitattuna. Sekä sykeohjattu että ennalta määrätty ohjelmointi kehittivät kestävyys suorituskykyä, mutta palautumismittauksiin perustuva yksilöllisesti sykeohjattu harjoittelu vaikuttaisi toimivan $V_{\max;n}$ kehityksen perusteella paremmin kuin ennalta määrätty harjoittelu. Lisäksi sykeohjatun harjoittelun hyödyt näkyvät mahdollisesti hermolihaskäytännön toiminnassa ja erityisesti kevennyshypyn kaltaisissa nopean voimantuoton suorituksissa. Suorituskyvyn maksimoimiseksi voi olla suositeltavaa seurata autonomisen hermoston toiminnan lisäksi hermolihaskäytännön tilaa esimerkiksi kevennyshypyn avulla. Juosten toteutettavassa blok-

kiohjelmoinnissa on syytä huomioida juoksun ominaispiirteet ja pyrkiä minimoimaan lihasar-
kuuden kaltaiset harjoitteluun ja suorituskykyyn negatiivisesti vaikuttavat tekijät.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tutkia blokkiharjoittelun ja sykeohjatun harjoittelun
vaikutuksia pidemmällä aikavälillä esimerkiksi harjoitusprotokollassa, jossa useiden viikkojen
kestoiset PK- ja HIT-blokkijaksot vuorottelisivat. Mielenkiintoista olisi myös tutkia, miten
supramaksimaaliset intervallit toimisivat osana blokkiharjoittelua. Tässä tutkimuksessa mo-
lempien ryhmien maksimijuoksunopeus heikkeni. Supramaksimaalisten intervallien lisäämi-
nen osaksi harjoitusohjelmaa voisi mahdollisesti ehkäistä nopeusominaisuuksien heikkene-
mistä tai jopa parantaa niitä. Blokkiharjoittelun yksityiskohtaiset vaikutusmekanismit tunne-
taan edelleen melko heikosti, joten näihin syvällisempi paneutuminen voisi tuoda arvokasta
lisätietoa tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. 2003. Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517-538.
- Armstrong, L. E. & Maresh, C. M. 1998. Effects of training, environment, and host factors on the sweating response to exercise. *International journal of sports medicine*, 19(2), 103-105.
- Arrese, A. L., Ostáriz, E. S., Mallen, J. C. & Izquierdo, D. M. 2005. The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 45(4), 435.
- Aubry, A., Hausswirth, C., Louis, J., Coutts, A. J. & Le Meur, Y. 2014. Functional overreaching: the key to peak performance during the taper? *Medicine and science in sports and exercise*, 46(9), 1769-1777.
- Aunola, S. & Rusko, H. 1986. Aerobic and anaerobic thresholds determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition. *International journal of sports medicine*, 7(03), 161-166.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. 2015. Strategies to improve running economy. *Sports Medicine*, 45(1), 37-56.
- Baron, B., Noakes, T. D., Deckerle, J., Moullan, F., Robin, S., Matran, R. & Pelayo, P. 2008. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? *British Journal of Sports Medicine*, 42(10), 828-833.
- Bassett, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.
- Billat, L. V. 2001. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Medicine*, 31(1), 13-31.
- Billat, V. L., Demarle, A Slawinski, J., Paiva, M. & Koralsztein, J. P. 2001. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(12), 2089-2097.
- Billat, V., Lepretre, P. M., Heugas, A. M., Laurence, M. H., Salim, D. & Koralsztein, J. P. 2003. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 297-304.

- Bird, S., Theakston, S., Owen, A. & Nevill, A. 2003. Characteristics associated with 10-km running performance among a group of highly trained male endurance runners age 21-63 years. *Journal of Aging and Physical Activity*, 11(3), 333-350.
- Bishop, D., Jenkins, D. G. & Mackinnon, L. T. 1998. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(8), 1270-1275.
- Black, C. D., Gonglach, A. R., Hight, R. E. & Renfro, J. B. 2015. Time-course of recovery of peak oxygen uptake after exercise-induced muscle damage. *Respiratory physiology & neurobiology*, 216, 70-77.
- Bompa, T. O. & Haff, G. G. 2009. *Periodization: theory and methodology of training*. Human Kinetics, Illinois.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D. & Aubert, A. E. 2008. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British journal of sports medicine*, 42(9), 709-714.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J. & 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 and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S446-51.
- Breil, F. A., Weber, S. N., Koller, S., Hoppeler, H. & Vogt, M. 2010. Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO_{2max} and performance. *European journal of applied physiology*, 109(6), 1077-1086.
- Buchheit, M. 2014. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 5:73.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N. & Gibala, M. J. 2005. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of applied physiology*, 98(6), 1985-1990.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L. & Gibala, M. J. 2008. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology*, 586(1), 151-160.

- Cerretelli, P. & Di Prampero, P. E. 1987. Gas exchange in exercise. *Comprehensive Physiology*.
- Cicioni-Kolsky, D., Lorenzen, C., Williams, M. D. & Kemp, J. G. 2013. Endurance and sprint benefits of high-intensity and supramaximal interval training. *European journal of sport science*, 13(3), 304-311.
- Clark, B., Costa, V. P., O'Brien, B. J., Guglielmo, L. G. & Paton, C. D. 2014. Effects of a seven day overload-period of high-intensity training on performance and physiology of competitive cyclists. *PloS one*, 9(12), e115308.
- Clifford, P. S., Hanel, B. & Secher, N. H. 1994. Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(6), 715-719.
- Convertino, V. A. (1991). Blood volume: its adaptation to endurance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(12), 1338-1348.
- Daniels, J. & Daniels, N. 1992. Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(4), 483-489.
- Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B. & Richard, R. 2007. Improvement of VO₂max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 377-383.
- Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P. & Soule, R. G. 1993. Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2318-2324.
- Dempsey, J. A., Hanson, P. G. & Henderson, K. S. 1984. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *The Journal of Physiology*, 355, 161.
- Durussel, J., Daskalaki, E., Anderson, M., Chatterji, T., Wondimu, D. H., Padmanabhan, N. & Pitsiladis, Y. P. 2013. Haemoglobin mass and running time trial performance after recombinant human erythropoietin administration in trained men. *PloS one*, 8(2), e56151.
- Edge, J., Bishop, D. & Goodman, C. 2006. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European journal of applied physiology*, 96(1), 97-105.
- Emerick, P., Teed, K., Rusk, G. & Fernhall, B. 1998. Predictors of marathon performance in female runners. *Research in Sports Medicine: An International Journal*, 8(1), 23-36.

- Epperson, C. E., Buono, M. J., Kolkhorst, F. W., Reynolds, K. K., Nanista, J. A. & Sheffield, R. D. 1999. Correlation of lactate threshold, VO₂max, and running economy with 4.8 kilometer running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(5), S104.
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A. F., Earnest, C. P., Foster, C. & Lucia, A. 2005. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(3), 496-504.
- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S. & Lucia, A. 2007. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 21(3), 943.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Sarabia, J. M. & Moya, M. 2015. Preseason Training: The Effects of a 17-Day High-Intensity Shock Microcycle in Elite Tennis Players. *Journal of sports science & medicine*, 14(4), 783.
- Foster, C., & Lucia, A. 2007. Running economy. *Sports medicine*, 37(4-5), 316-319.
- García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L. & Izquierdo, M. 2010. Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European journal of applied physiology*, 110(1), 99-107.
- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K. & Cureton, K. J. 2014. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 44(2), 269-279.
- Ghosh, A. K. 2004. REVIEW ARTICLE-Anaerobic Threshold: Its Concept and Role in Endurance Sport.
- Gledhill, N., Cox, D. & Jamnik, R. 1994. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1116-1121.
- Goutianos, G. 2016. Block periodization training of endurance athletes: A theoretical approach based on molecular biology. *Cellular and Molecular Exercise Physiology*, 4(2).
- Grant, S., Craig, I., Wilson, J. & Aitchison, T. 1997. The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. *Journal of Sports Sciences*, 15(4), 403-410.
- Harris, R. C., Edge, J., Kendrick, I. P., Bishop, D., Goodman, C. & Wise, J. A. 2007. The effect of very high interval training on the carnosine content and buffering capacity of V lateralis from humans. *The FASEB Journal*, 21(6), A944-A944.

- Hatle, H., Stobakk, P. K., Molmen, H. E., Bronstad, E., Tjonna, A. E., Steinshamn, S. & Rognmo, O. (2014). Effect of 24 sessions of high-intensity aerobic interval training carried out at either high or moderate frequency, a randomized trial. *PloS one*, 9(2), e88375.
- Hautala, A. J., Mäkikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissilä, S., Huikuri, H. V. & Tulppo, M. P. 2003. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 285(4), H1747-H1752.
- Hawley, J. A., Schabort, E. J., Noakes, T. D. & Dennis, S. C. 1997. Carbohydrate-loading and exercise performance. *Sports medicine*, 24(2), 73-81.
- Hawley, J. A., Brouns, F. & Jeukendrup, A. 1998. Strategies to enhance fat utilisation during exercise. *Sports Medicine*, 25(4), 241-257.
- Helgerud J., Hoydal K., Wang E., Karlsen T., Berg P., Bjerkaas M., Simonsen T., Helgesen C., Hjorth N., Bach R. & Hoff J. 2007 Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39 (4), 665- 671.
- 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.
- Hill, A. V., Long, C. N. H. & Lupton, H. 1924. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 97(681), 84-138.
- Hoppeler, H., Klossner, S. & Flück, M. 2007. Gene expression in working skeletal muscle. In *Hypoxia and the circulation* (pp. 245-254). Springer US.
- Housh, T. J., Thorland, W. G., Pohnson, G. O., Hughes, R. A. & Cisar, C. J. 1988. The contribution of selected physiological variables to middle distance running performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 28(1), 20.
- Hynynen E., Vesterinen V., Rusko H. & Nummela A. 2010. Effects of moderate an heavy endurance exercise on nocturnal HRV. *Sports Medicine*. 31, 428-432.
- Häkkinen K., Alen M., Kraemer W. J., Gorostiaga E., Izquierdo M., Rusko H., Mikkola J., Häkkinen A., Valkeinen H., Kaarakainen E., Romu S., Erola V., Ahtiainen J. & Paavolainen L. 2002. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance

- training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*. 89 (1), 42-52.
- Issurin, V. 2008. Block periodization versus traditional training theory: a review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 65.
- Issurin, V. & Dreshman, R. 2012. Alternative approach to training for endurance athletes: block periodization. Teoksessa Mujika, I. *Endurance training: science and practice*. Victoria-Gasteiz, Basque Country (Spain), 13-19.
- Jones, A. M. 2006. Middle and long distance running. *Sport and exercise physiology testing guidelines*, 1, 147-154.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35-44.
- Karp, J. R. 2007. Training characteristics of qualifiers for the US Olympic Marathon Trials. *International journal of sports physiology and performance*, 2(1), 72.
- Kiviniemi, A., Hautala, A., Kinnunen, H., Nissilä, J., Virtanen, P., Karjalainen, J. & Tulppo, M. 2010. Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42 (7). 1355-1363.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H. & Tulppo, M. P. 2007. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 743-751.
- Kohn, T. A., Essen-Gustavsson, B. & Myburgh, K. H. 2011. Specific muscle adaptations in type II fibers after high-intensity interval training of well-trained runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), 765-772.
- Komi, P. V. 2000. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of biomechanics*, 33(10), 1197-1206.
- Lake, M. J. & Cavanagh, P. R. 1996. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(7), 860-869.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. 2002. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P. & Hausswirth, C. 2013. Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45 (11), 2061-2071.

- Londeree, B. R. 1997. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(6), 837-843.
- Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H. & Lemon, P. W. 2011. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 115-122.
- Marcora, S. M. & Bosio, A. 2007. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(6), 662-671.
- Maughan, R. J., Gleeson, M. & Greenhaff, P. L. 1997. *Biochemistry of exercise and training*. Oxford University Press, USA.
- McArdle W. D., Katch F. I. & Katch V. L. 2007. *Exercise physiology*, Lippincott Williams & Wilkins.
- McConnell, G. K., Lee-Young, R. S., Chen, Z. P., Stepto, N. K., Huynh, N. N., Stephens, T. J. & Kemp, B. E. 2005. Short-term exercise training in humans reduces AMPK signalling during prolonged exercise independent of muscle glycogen. *The Journal of physiology*, 568(2), 665-676.
- McKay, B. R., Paterson, D. H. & Kowalchuk, J. M. 2009. Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of applied physiology*, 107(1), 128-138.
- Menz, V., Strobl, J., Faulhaber, M., Gatterer, H. & Burtscher, M. 2015. Effect of 3-week high-intensity interval training on VO₂max, total haemoglobin mass, plasma and blood volume in well-trained athletes. *European journal of applied physiology*, 115(11), 2349-2356.
- Meyer, T., Faude, O., Gabriel, H. & Kindermann, W. 2000. Ventilatory threshold and individual anaerobic threshold are reliable prescriptors for intensity of cycling training. *Med Sci Sports Exerc*, 32 Suppl. 5, S171.
- Mihl, C., Dassen, W. R. M. & Kuipers, H. 2008. Cardiac remodelling: concentric versus eccentric hypertrophy in strength and endurance athletes. *Netherlands Heart Journal*, 16(4), 129-133.
- Milanovic, Z., Sporiš, G. & Weston, M. 2015. Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO₂max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports medicine*, 45, 1469-1481.

- Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M. & Häkkinen, K. 2012. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *International journal of sports medicine*, 33(09), 702-710.
- Mooses, M., Tippi, B., Mooses, K., Durussel, J. & Mäestu, J. 2015. Better economy in field running than on the treadmill: evidence from high-level distance runners. *Biology of Sport*, 32 (2): 155–159.
- Mooses, M., Mooses, K., Haile, D. W., Durussel, J., Kaasik, P. & Pitsiladis, Y. P. 2015. Dissociation between running economy and running performance in elite Kenyan distance runners. *Journal of sports sciences*, 33(2), 136-144.
- Morgan, D. W., Martin, P. E. & Krahenbuhl, G. S. 1989. Factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 7(5), 310-330.
- Morton, R. H. & Billat, V. 2000. Maximal endurance time at VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*, 32(8), 1496-504.
- Munoz, I., Seiler, S., Bautista, J., España, J., Larumbe, E. & Esteve-Lanao, J. 2014. Does polarized training improve performance in recreational runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 265-272.
- Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, M. & Kyröläinen, H. 2012. Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *European Journal of Applied Physiology* 112 (3). 801-809.
- Mäirbäurl, H., Ruppe, F. A., & Bärtsch, P. 2013. Role of hemolysis in red cell adenosine triphosphate release in simulated exercise conditions in vitro. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(10), 1941-1947.
- Noakes, T. D. 1988. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(4), 319-330.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H. & Schall, R. 1990. Peak treadmill running velocity during the V O₂ max test predicts running performance. *Journal of sports sciences*, 8(1), 35-45.
- Nordsborg, N., Bangsbo, J. & Pilegaard, H. 2003. Effect of high-intensity training on exercise-induced gene expression specific to ion homeostasis and metabolism. *Journal of applied physiology*, 95(3), 1201-1206.

- Nummela, A. 2007. Aerobisen kestävyuden suorat mittausmenetelmät. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M.(toim) Kuntotestauksen käsikirja. Toinen painos. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry, 64-78.
- Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L. & Krstrup, P. 2010. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1951-8.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86(5), 1527-1533.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E. & Buchheit, M. 2013. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports medicine*, 43(9), 773-781.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E. & Buchheit, M. 2014. Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 783-790.
- Plews, D. J., Laursen, P. B. & Buchheit, M. 2016. Day-to-day Heart Rate Variability (HRV) Recordings in World Champion Rowers: Appreciating Unique Athlete Characteristics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-19.
- Ploutz, L. L., Tesch, P. A., Biro, R. L. & Dudley, G. A. 1994. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(4), 1675-1681.
- Powers, S. K., Dodd, S., Deason, R., Byrd, R. & Mcknight, T. 1983. Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 179-182.
- Psilander, N., Li, W., Jens, W., Michail, T. & Kent, S. 2010. Mitochondrial gene expression in elite cyclists: effects of high-intensity interval exercise. *European journal of applied physiology*, 110(3), 597-606.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A. & Raastad, T. 2012. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 112(4), 1457-1466.
- Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J. & Halén, J. 2014. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and perfor-

- mance indices in well-trained cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(2), 327.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2014. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603-612.
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Vegge, G., Tonnessen, E. & Slettalokken, G. 2015. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists-an effort-matched approach. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(2), 143-151.
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Thyli, V., Bakken, T. A. & Sandbakk, O. 2016. 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(2), 140-146.
- Rowell, L. B. (1986). *Human circulation: regulation during physical stress*. Oxford University Press, USA.
- Rozenek, R., Funato, K., Kubo, J., Hoshikawa, M. & Matsuo, A. 2007. Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO₂max. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 188-192.
- Rusko, H. 2003. Physiology of cross country skiing. *Handbook of Sports Medicine and Science: Cross Country Skiing*, 1-31.
- Saltin, B., Nazar, K., Costill, D. L., Stein, E., Jansson, E., Essén, B. & Gollnick, P. D. 1976. The nature of the training response; peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 96(3), 289-305.
- Santos-Concejero, J., Granados, C., Irazusta, J., Bidaurrezaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Tam, N. & Gil, S. M. 2014. OBLA is a better predictor of performance than Dmax in long and middle-distance well-trained runners. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 54(5), 553-558.
- Schumann, M., Mykkänen, O. P., Doma, K., Mazzolari, R., Nyman, K. & Häkkinen, K. 2014. Effects of endurance training only versus same-session combined endurance and strength training on physical performance and serum hormone concentrations in recreational endurance runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(1), 28-36.
- Simoneau, J. A., Lortie, G., Boulay, M. R., Marcotte, M., Thibault, M. C. & Bouchard, C. 1987. Effects of two high-intensity intermittent training programs interspaced by de-

- training on human skeletal muscle and performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(5), 516-521.
- Schmidt, W., Heinicke, K., Rojas, J., Gomez, J. M., Serrato, M., Mora, M. & Keul, J. 2002. Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(12), 1934-1940.
- Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K. & Dalgas, U. 2013. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: a systematic review and meta-analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(6), e341-e352.
- Steiner, T. & Wehrin, J. P. 2011. Does hemoglobin mass increase from age 16 to 21 and 28 in elite endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1735-1743.
- Stellingwerff, T. 2012. Case study: nutrition and training periodization in three elite marathon runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(5), 392-400.
- Seiler, S., Haugen, O. & Kuffel, E. 2007. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1366.
- Seiler, S. & Tonnessen, E. 2009. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience*, 13, 32-53.
- Seiler, S. Training intensity distribution. 2012. Teoksessa Teoksessa Mujika, I. *Endurance training: science and practice*. Vitoria-Gasteiz, Basque Country (Spain), 31-39.
- Seiler, S., Joranson, K., Olesen, B. V. & Hetlelid, K. J. 2013. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(1), 74-83.
- Shapiro, L.M. 1992. Morphologic consequences of systematic training. *Cardiology Clinics*, 10, 219-226.
- Spriet, L. L., Gledhill, N., Froese, A. B. & Wilkes, D. L. 1986. Effect of graded erythrocythemia on cardiovascular and metabolic responses to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 61(5), 1942-1948.
- Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E. M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087.

- Stöggl, T. & Sperlich, B. 2014. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in physiology*, 5, 33.
- Sylta, O., Tonnessen, E. & Seiler, S. 2014. Do elite endurance athletes report their training accurately? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 85 -92.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M. & Yamamoto, K. 1996. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(10), 1327-1330.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S. & Häkkinen, K. 2010. Strength training in endurance runners. *International journal of sports medicine*, 31(07), 468-476.
- Task Force. 1996. Heart rate variability: standards of measurement. physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93. 1043–1065.
- Tonnessen, E., Sylta, O., Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S. & Seiler, S. 2014. The Road to Gold: Training and Peaking Characteristics in the Year Prior to a Gold Medal Endurance Performance. *PLoS One*, 9(7).
- Tonnessen, E., Svendsen, I. S., Ronnestad, B. R., Hisdal, J., Haugen, T. A. & Seiler, S. 2015. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 29.
- Tummavuori, M. 2004. Long-term effects of physical training on cardiac function and structure in adolescent cross-country skiers: a 6.5-year longitudinal echocardiographic study. University of Jyväskylä.
- Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B. & Kindermann, W. 1993. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International journal of sports medicine*, 14(03), 134-139.
- Uusitalo-Koskinen A. Urheilijan ylikuormitustila diagnostisena ja hoidollisena ongelmana. 2000. *Suomen Lääkärilehti* 55(40):4045-4050.
- Uusitalo, AL., Laitinen, T., Väisänen, S., Länsimies, E. & Rauramaa, R. 2002. Effects of endurance training on heart rate and blood pressure variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 22 (3), 173-179.

- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L. & Nummela, A. 2013. Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(2), 171-180.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Laine, T., Hynynen, E., Mikkola, J. & Nummela, A. 2015. Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J. & Häkkinen, K. 2016. Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and science in sports and exercise*.
- Vesterinen, V. Predicting and monitoring individual endurance training adaptation and individualizing training prescription with endurance performance, cardiac autonomic regulation and neuromuscular performance. 2016. University of Jyväskylä
- Vikmoen, O., Ellefsen, S., Troen, O., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T. & Ronnestad, B. R. 2016. Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO₂max and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(4), 384.
- Vollaard, N. B., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, P. L. & Sundberg, C. J. 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.
- Wagner, P. D., Hoppeler, H. & Saltin, B. Determinants of maximal oxygen uptake. In: *The Lung: Scientific Foundations*. R. G. Crystal, J. B. West. 1991. New York: Raven Press, 1585–1593.
- Wahl, P., Zinner, C., Grosskopf, C., Rossmann, R., Bloch, W. & Mester, J. 2013. Passive recovery is superior to active recovery during a high-intensity shock microcycle. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1384-1393.
- Wahl, P., Güldner, M., & Mester, J. 2014. Effects and sustainability of a 13-day high-intensity shock microcycle in soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(2), 259-265.

- Wakefield, B. R. & Glaister, M. 2009. Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of VO₂max during intermittent supramaximal exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2548-2554.
- Wang, E., Solli, G. S., Nyberg, S. K., Hoff, J. & Helgerud, J. 2012. Stroke volume does not plateau in female endurance athletes. *International journal of sports medicine*, 33(09), 734-739.
- Weltman, A., Seip, R., Bogardus, A. J., Snead, D., Dowling, E., Levine, S. & Rogol, A. 1990. Prediction of lactate threshold (LT) and fixed blood lactate concentrations (FBLC) from 3200-m running performance in women. *International journal of sports medicine*, 11(05), 373-378.
- Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D. & Hawley, J. A. 1997. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(1), 7-13.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. & Ferrauti, A. 2016. Effect of Repeated Active Recovery During a High-Intensity Interval Training Shock Microcycle on Markers of Fatigue. *International journal of sports physiology and performance*.
- Wood, K. M., LaValle, K., Greer, K., Bales, B., Thompson, H. & Astorino, T. A. 2016. Effects of two regimens of high intensity interval training (HIIT) on acute physiological and perceptual responses. *J. Strength Cond. Res*, 30, 244-250.
- Zinner, C., Wahl, P., Achtzehn, S., Reed, J. L. & Mester, J. 2014. Acute hormonal responses before and after 2 weeks of HIT in well trained junior triathletes. *International journal of sports medicine*, 35(04), 316-322.
- Zinner, C., Morales-Alamo, D., Ortenblad, N., Larsen, F. J., Schiffer, T. A., Willis, S. J. & Holmberg, H. C. 2016. The Physiological Mechanisms of Performance Enhancement with Sprint Interval Training Differ between the Upper and Lower Extremities in Humans. *Frontiers in Physiology*, 7.