

**RANNELAITTEESEEN SISÄLLYTETYN HARJOITUSOHJELMA-ALGORITMIN
VAIKUTUS KESTÄVYYSOMINAISUUKSIEN KEHITTYMISEEN**

Lari Takanen

Valmennus- ja testausopin pro-gradu tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

TIIVISTELMÄ

Takanen, L. 2023. Rannelaitteeseen sisällytetyn harjoitusohjelma-algoritmin vaikutus kestävyysominaisuuksien kehittymiseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 57 s., 1 liite.

Kestävyysharjoittelulla tähdätään kestävyysominaisuuksien parantamiseen hetkittäisellä elimistön ylikuormittamisen ja siitä palautumisen avulla. Useasti toistetun kuormituksen avulla elimistö oppii toimimaan kuormitustilanteessa tehokkaammin kuin ennen. Kestävyysharjoittelua on perinteisesti ohjelmoitu valmentajan, urheilijan itsensä tai jonkun muun ulkopuolisen tahon toimesta. Nykyään rannelaitteissa, jotka mittaavat käyttäjästään erilaisia muuttujia on myös erilaisia valmennusohjelmia. Näiden vaikutuksista kestävyysominaisuuksien kehittymiseen ei kuitenkaan ole paljoa tutkimusnäyttöä. Työn tarkoitus on selvittää Garmin rannelaitteista löytyvän Daily Suggested Workout (DSW)-harjoitusohjelma-algoritmin mukaisen kestävyysharjoittelun vaikutuksia kestävyysominaisuuksien kehittymiseen.

Tutkimus koostui 10 viikon harjoitusinterventiosta, joka suoritettiin juosten sekä sitä edeltäneestä ja seuranneesta laboratoriomittauskäynnistä, joissa mitattiin kehonkoostumus sekä suoritettiin suora maksimaalinen hapenottokyvyn testi juosten. Testistä määritettiin tutkittavien maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}), laktaattikynnykset (aerobinen kynnys ja anaerobinen kynnys) sekä juoksun taloudellisuus 10 km/h vauhdilla. Tutkimukseen rekrytoitiin 18 tutkittavaa, joista lopullisen otannan kriteerit täyttivät 8 tutkittavaa. Tutkittavien 10 viikon harjoitusintervention ohjelmoinnista vastasi Daily Suggested Workout -harjoitusohjelma-algoritmi. DSW ohjeisti eri taustamuuttujien avulla tutkittaville eri intensiteetin kestävyysharjoituksia tai lepoa.

Tutkittavien maksimaalinen hapenottokyky parani harjoitusintervention myötä kehonpainoon suhteutettuna (5,3 %, $p=0.090$) ja absoluuttisena arvona (2,9 %, $p=0.096$). Aerobinen kynnys parani 3,4 % ($p=0.086$) ja anaerobinen kynnys parani 6,1 % ($p=0.062$). Juoksun taloudellisuuden puolestaan havaittiin heikentyneen harjoitusintervention myötä 2,1 % ($p=0.100$). Muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p\leq 0.05$).

Daily Suggested Workout -harjoitusohjelma-algoritmin mukaisen juoksuharjoittelun havaittiin parantavan käyttäjänsä maksimaalista hapenottokykyä sekä laktaattikynnystasoja. Vaikka tulokset eivät olleetkaan tilastollisesti merkitseviä, voivat ne olla tutkittavalle itselleen merkittäviä parannuksia kestävyys suorituskyvyssä. Tutkimus toteutettiin ilman varsinaista kontrolliryhmää, joten näiden ominaisuuksien parantuminen juuri DSW:n mukaisen harjoittelun seurauksena jää vielä hieman epäselväksi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että algoritmipohjainen kestävyysharjoittelu kehittää käyttäjänsä kestävyysominaisuuksia.

Asiasanat: Kestävyys suorituskyky, Maksimaalinen hapenottokyky, laktaattikynnykset, taloudellisuus, harjoitusohjelma-algoritmi

ABSTRACT

Takanen, L. 2023. Influence of a wrist-watch integrated algorithm-based training program on measures of endurance performance, University of Jyväskylä, Master's thesis in Sport Coaching and Fitness Testing, 57 pp. 1 appendix.

Endurance training aims to improve aerobic capacity by overloading the body and recovering from that overload. With repeated loads, the body learns to work more efficiently. Endurance training has traditionally been programmed by a coach, the athlete themselves or by someone else. These days, heart rate monitors, which measure several different variables from their user, have different kinds of training program features integrated into their user interface. However, there is little knowledge about how these affect the development of aerobic capacity.

This study consisted of a 10-week running intervention that included pre- and post -testing. Pre and post testing included measuring body composition as well as performing a maximal oxygen uptake (VO_{2max}) test on a treadmill. The treadmill test determined maximal oxygen uptake capacity, lactate thresholds (aerobic threshold and anaerobic threshold), and running economy at the speed of 10 km/h. The 10-week training intervention was programmed by the Daily Suggested Workout (DSW) Training feature. DSW used different background variables to guide subjects ($n=8$) to perform different intensities of endurance exercises or to take rest days.

The maximum oxygen uptake capacity relative to body weight of subjects improved during the exercise intervention (5.3 %, $p=0.090$). Also, absolute VO_{2max} values improved (2.9%, $p=0.096$). The aerobic threshold improved by 3.4% ($p=0.086$) and the anaerobic threshold improved by 6.1% ($p=0.062$). Running economy decreased by 2.1% ($p=0.100$). These changes were not statistically significant ($p\leq 0.05$).

The endurance training by the DSW feature was found to improve the maximum oxygen uptake capacity and lactate threshold levels of the subjects. The study did not include a proper control group, so it is unclear if these improvements are result of training by DSW feature. However, based on this study, it can be concluded that algorithm-based endurance training can develop the aerobic capacity of the user.

Key words: Aerobic capacity, maximal oxygen uptake, lactate threshold, running economy, algorithm-based training

KIITOKSET

Tämä pro-gradu tutkielma on tehty yhdessä Firstbeat Analytics OY:n kanssa. Haluan kiittää Firstbeatin henkilökuntaa, jotka mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen tarjoamalla laitteiston ja harjoitusohjelmaversion tutkimuksen käyttöön. Haluan myös kiittää työn ohjaajia sekä kaikkia laboratoriomittauksissa avustaneita opiskelijoita.

KÄYTETYT LYHENTEET

AnK. Anaerobinen kynnys

AerK. Aerobinen kynnys

VO_{2max} Maksimaalinen hapenotto

vVO_{2max} Maksimaalinen juoksuvauhti

HR Sydämen syke

HR_{max} Maksimaalinen syke

PK Peruskestävyys

VK Vauhtikestävyys

MK Maksimikestävyys

NK Nopeuskestävyys

HIIT Korkeatehoinen intervalliharjoitus

SMIT Supramaksimaalinen intervalliharjoitus

DSW Daily Suggested Workout

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KIITOKSET

1	JOHDANTO.....	1
2	KESTÄVYYSSUORITUSKYKY	3
2.1	Maksimaalinen hapenottokyky.....	4
2.2	Laktaattikynnykset	6
2.3	Suorituksen taloudellisuus.....	9
3	KESTÄVYYSHARJOITTELIU	12
3.1	Kestävyysharjoittelun perusteet.....	12
3.2	Kestävyysharjoittelun jaottelu	14
3.2.1	Peruskestävyysharjoittelu	14
3.2.2	Kovatehoinen, yhtäjaksoinen harjoittelu	14
3.2.3	Kovatehoinen intervalliharjoittelu.....	15
3.2.4	Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu	16
3.3	Kestävyysharjoittelun adaptaatiot.....	18
3.3.1	Sentraaliset adaptaatiot	18
3.3.2	Perifeeriset adaptaatiot	19
3.4	Kuormitus, palautuminen ja sykevälivaihtelu	20
3.4.1	Ylikuormitus.....	20
3.4.2	Palautumista edistäviä tekijöitä	21
3.4.3	Sykevälivaihtelu	22
4	TEKNOLOGIA KESTÄVYYSHARJOITTELUSSA	25
4.1	Teknologiapohjainen kestävyysharjoittelun ohjaus.....	25
4.2	Sykeohjattu kestävyysharjoittelu.....	26
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET	28

6 TUTKIMUSMENETELMÄT	30
6.1 Tutkittavat.....	30
6.2 Tutkimusasetelma.....	31
6.3 Harjoitusohjelma-algoritmi	32
6.4 Laboratoriomittaukset.....	33
6.5 Harjoitusinterventio	36
6.6 Tilastolliset analyysit.....	37
7 TULOKSET	38
7.1 Tutkimusjoukko ja kehonkoostumus.....	38
7.2 Harjoittelu.....	38
7.3 Maksimaalinen hapenottokyky.....	40
7.4 Juoksun taloudellisuus.....	41
7.5 Aerobinen ja anaerobinen kynnys	41
7.6 Maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset.....	43
7.7 Lopullisen aineiston ulkopuolelle jääneet	44
8 POHDINTA.....	45
LÄHTEET	54

LIITTEET

Liite 1: Tutkimuksen aikainen Excel-pohjainen harjoituspäiväkirjapohja

1 JOHDANTO

Kestävyysharjoittelulla pyritään aiheuttamaan elimistölle akuuttia ylikuormitusta, josta palautumisen myötä tapahtuu fysiologisia adaptaatioita. Kun kuormitusta toistetaan tarpeeksi usein ja voimakkaasti, elimistö oppii jatkossa toimimaan vastaavanlaisessa tilanteessa tehokkaammin. (McArdle ym. 2010, s.451–485) Tavoitteellista kestävyysharjoittelua on suoritettu perinteisesti jollakin tapaa ennalta määrätyn harjoitusohjelman mukaan, jota päivitetään urheilijan oman tuntemuksen sekä mahdollisten kontrolliharjoitusten ja testitulosten mukaan. Viime vuosina on tutkittu enemmän yöllisen sykevälivaihtelun mukaan ohjelmoitua kestävyysharjoittelua, sillä sykevälivaihtelua voidaan hyödyntää kestävyysharjoittelussa yhtenä kuormituksen seurannan apuvälineenä. Tässä harjoitusohjelmaa päivitetään päivittäin sen mukaan, miten yöllinen sykevälivaihtelu on muuttunut verrokkijaksoon nähden. (Nuutila ym. 2022; Vesterinen ym. 2016; Kiviniemi ym. 2007; Vesterinen ym. 2011; Kaikkonen ym. 2007). Molemmille aiemmin mainituille harjoittelun ohjelmointitavoille ominaista on, että päivityksiä harjoitusohjelmaan tehdään jonkun henkilön toimesta, oli se sitten valmentaja, urheilija tai molemmat yhdessä.

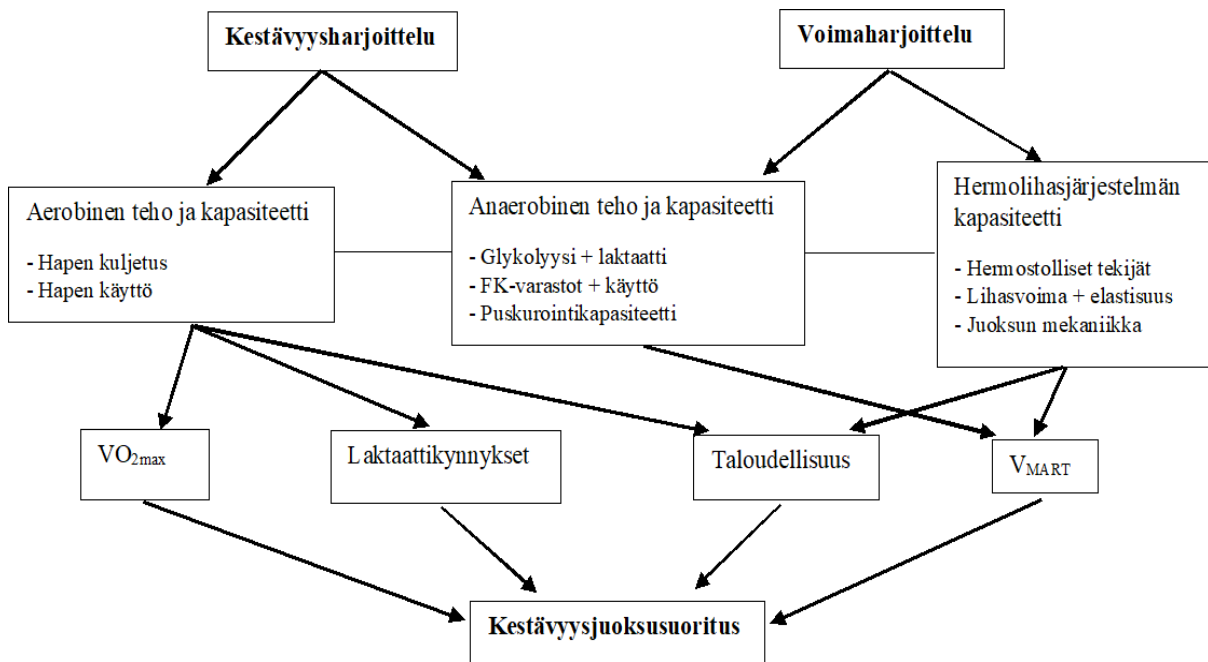
Nykyajan urheilukellot mahdollistavat monenlaisten eri muuttujien mittaamisen omasta kehosta. Monet urheilukellot analysoivat elimistön palautumistilaa monin eri tavoin, kuten sykevälivaihtelun ja unentunnistuksen avulla. Tämä puolestaan avaa monia uudenlaisia mahdollisuuksia kestävyysharjoittelun ohjelmoinnin ja kuormituksen seurannan tueksi. Yksi kestävyysharjoittelun ohjelmointiin tarkoitettu ominaisuus on esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetty Garmin laitteista löytyvä, Firstbeat Analytics OY:n kehittämä Daily Suggested Workout (DSW) -harjoitusohjelma-algoritmi. Tämän myötä tavoitteena on mahdollistaa itsensä mittaaminen sekä sen avulla algoritmipohjainen kestävyysvalmentaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että urheilukellon käyttäjästään keräämän datan, kuten unen, aktiivisuuden ja palautumisen tilan, perusteella ohjataan kestävyysharjoittelua (Garmin, ei pvm.).

Tämän kaltaista valmentamista ei ole tällä tietoa aiemmin tutkittu, eikä ole tiedossa kuinka algoritmipohjainen kestävyysharjoittelu vaikuttaa käyttäjänsä kestävyysominaisuuksiin. Vertailua voidaan osittain suorittaa esimerkiksi aiempiin yöllisen sykevälivaihtelun pohjalta ohjattuihin harjoitusinterventio tutkimuksiin, mutta nämä eivät kuitenkaan ole täysin vastaavia sillä Daily Suggested Workout -algoritmi ohjelmoi kestävyysharjoittelua hieman eri tavalla. Kestävyysharjoittelua optimoidessaan DSW-algoritmi muodostaa kokonaiskuvan useamman

eri muuttujan, kuten henkilön kuntotason, harjoitushistorian sekä unen ja palautumisen tason avulla. Nämä muuttujat muodostuvat Garmin laitteiden omien algoritmien pohjalta.

2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

Kestävyysuorituskyvyn on katsottu koostuvan useasta eri tekijästä, joista tärkeimpinä ovat neljä eri osatekijää: maksimaalinen hapenotto (VO_{2max}), laktaattikynnystasot (aerobinen ja anaerobinen kynnys), suorituksen taloudellisuus sekä hermolihasjärjestelmän voimantuotto. Eri osatekijöiden painotukseen vaikuttaa kestävyysuorituksen kesto, teho ja suorituksen tyyppi, eli se onko kyseessä yhtäjaksoinen vai intervallityyppinen kestävyysuoritus, sekä suoritustekniikka. Kestävyysuoritukset tehdään pääosin aerobiseen energiantuottoon perustuen, tästä syystä edellä mainituista osatekijöistä maksimaalinen hapenotto on tärkein kestävyysuorituskykyä rajoittava tekijä ja näin ollen VO_{2max} luo pohjan yksilön maksimaaliselle kestävyysuorituskyvyille. Kestävyydellä on merkitystä, kun yhtäjaksoinen suoritus on yli kahden minuutin pituinen, sekä silloin kun se sisältää useita tehokkaita suorituksia pidemmällä aikajaksolla kuten esimerkiksi erilaisille pallopeleille on tyypillistä. (Joyner & Coyle. 2008; Nummela. 2016, s.272–283). Kuva 1 havainnollistaa tarkemmin kestävyysjuoksusuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä.



KUVA 1. Kestävyysjuoksusuorituksen vaikuttavat tekijät. Mukailtu Paavolainen ym. (1999).

2.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) kuvaa suurinta määrää happea, jonka keho pystyy vastaanottamaan ja hyödyntämään kestävyysuorituksen aikana. Tällä kuormitustasolla saavutetaan myös yksilön maksimaalinen syke (HR_{max}). Maksimaalista hapenottokykyä käytetään kuvastamaan yksilön korkeinta aerobista energiantuottokykyä. Koska kestävyysuoritukset perustuvat pääosin aerobiseen energiantuottoon, on maksimaalinen hapenottokyky näin ollen tärkein yksittäinen kestävyysuoritusta rajoittava tekijä. (Bassett & Howley, 2000; Nummela, 2016a s.272–283; Helgerud ym. 2007; Hynynen, 2016, s.117–127)

Maksimaalisen hapenottokyvyn ilmaisemiseksi käytetään suurinta mitattua hapenkulutuksen arvoa minuuttia kohden. Lajeissa, joissa omalla lihasvoimalla kannatellaan suorituksen aikana omaa painoa, kuten juoksussa, käytetään hapenkulutuksen ilmaisemiseen kehonpainoon suhteutettua arvoa (ml/kg/min). Tämän lisäksi hapenkulutus voidaan myös ilmoittaa absoluuttisena hapenkulutuksen arvona (l/min). (Bassett & Howley, 2000)

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään: sentraalisiin ja perifeerisiin tekijöihin. Ensin mainittuihin voidaan luokitella kuuluvan olennaisesti keuhkojen diffuusiokapasiteetti, sydämen iskutilavuus ja veren hapenkuljetuskapasiteetti. Perifeeriset tekijät liittyvät puolestaan lihasten kykyyn käyttää happea. Vielä ei kuitenkaan olla täysin selvillä siitä, kummat aiemmin mainituista tekijöistä rajoittavat maksimaalista hapenottokykyä enemmän. On kuitenkin esitetty, että työskennellessä pienemmillä lihasryhmillä, rajoittavat tekijät ovat suurimmalta osin perifeerisiä ja käytettäessä suuria lihasryhmiä sentraaliset tekijät puolestaan rajoittavat enemmän maksimaalista hapenottokykyä. (Bassett & Howley, 2000)

Huipputason kestävyysurheilijoilla on havaittu, että myös keuhkotuuletuksen on mahdollista olla eräs maksimaalista hapenottoa rajoittava tekijä. Tämä perustuu siihen, että paljon harjoitelleiden sydämen minuuttitulavuus on suuri, jolloin verenkiertoaika keuhkojen kapillaareissa pienenee, joka puolestaan voi aiheuttaa veren happisaturaation laskua valtimoveressä. Ilmiö on samankaltainen, kuin harjoittellessa todella korkealla (3000 – 5000 metriä) tai jonka astma voi aiheuttaa. (Bompa & Buzzichelli, 2019, s.268–269.)

Sydämen minuuttitilavuudella (syke x iskutilavuus) tarkoitetaan sydämen pumppaamaa veren määrää yhden minuutin aikana. Levossa sydämen minuuttitilavuus on noin 5 litraa, mutta maksimaalisen kestävyysuorituksen aikana se kohoaa moninkertaiseksi. Harjoittelemattomalla tai vähän harjoitelleella ihmisellä maksimaalisen suorituksen aikainen sydämen minuuttitilavuus on keskimäärin noin 20 – 25 litraa, kun taas hyvin harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla maksimisuorituksen aikainen sydämen minuuttitilavuus voi kohota jopa 40 litraan. (McArdle ym. 2010, s.341–343) Sydämen isku- ja minuuttitilavuutta onkin pidetty yhtenä suurimmista maksimaalista hapenottoa rajoittavista tekijöistä. (Bassett & Howley, 2000)

Veren hapenkuljetuskapasiteetti riippuu yksilön kokonaisverimäärästä, joka koostuu hemoglobiinin määrästä ja plasman tilavuudesta. Hemoglobiinin kokonaismäärää onkin pidetty yhtenä keskeisenä maksimaalisen hapenoton rajoittavana tekijänä. Naisilla kokonaisverimäärä on noin 4 – 5 litraa, kun taas miehillä hieman enemmän, 5 – 6 litraa. Hemoglobiinin normaalimäärä on naisilla 134 – 167 g/l ja miehillä 117 – 155 l/g. Hematokriitin määrät verestä puolestaan ovat naisilla 39 – 46 % ja miehillä 39 – 50 %. Kokonaisverimäärän on todettu myös voivan kasvaa huomattavasti kestävyysharjoittelun myötä, jopa yli 8 litraan. (Hynynen, 2016, s.123–126.)

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaa ja sitä rajoittaa myös henkilön ikä, sukupuoli, kehonkoostumus, harjoittelusta ja perimä. Mitattuun arvoon vaikuttaa myös se, millä kuormitustavalla maksimaalista hapenottoa on mitattu. On huomattava, että maksimaalinen hapenottokyky on myös lajispesifistä. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi juoksijat saavuttavat suurimmat arvot juoksemalla ja hiihtäjät hiihtämällä jne. Suurimmat maksimaalisen hapenoton arvot saavutetaan, kun työskennellään isoilla lihaksilla. Miesten ja naisten absoluuttisissa VO_{2max} (l/min) arvoissa on todettu olevan eroa noin 15 – 30 % miesten eduksi. (McArdle ym. 2010, s.240; Keskinen ym. 2004, s.51–124) Kun vertaillaan kehon painoon suhteutettua maksimaalista hapenottoa, pienenee sukupuolten välinen ero 10 – 15 %:iin (McArdle ym. 2010, s.241; Joyner & Coyle. 2008). Sukupuolten väliset erot selittyvät mm. sillä, että miehet ovat lihaksekkampia kuin naiset, sekä omaavat luonnollisesti pienemmän rasvaprosentin ja pystyvät näin ollen tuottamaan suuremman aerobisen tehon. (McArdle ym. 2010, s.240)

Maksimaalinen hapenottokyky alkaa laskemaan noin 25 vuoden iässä noin yhden prosentin per vuosi tahtia. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö VO_{2max} voisi nousta harjoittelun myötä myös vanhemmalla iällä, varsinkin vähemmän harjoitelleiden yksilöiden kohdalla. Esimerkiksi

Støren ym. (2017) tutkimuksessa VO_{2max} kehittyi myös vanhemmalla iällä. (Støren ym. 2017) Maksimaalisen hapenottokyvyn lasku ei kuitenkaan suoraan tarkoita maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn tai kilpailutuloksen laskemista, sillä kestävyysuoritukseen vaikuttaa olennaisesti myös muita tekijöitä. Esimerkiksi Arresen ym. (2005) seurantatutkimuksessa tutkimukseen osallistuneiden miesurheilijoiden maksimaalinen kestävyysuoritus kehittyi kolmen vuoden seurannan aikana 1,77 % ja naisten 0,69 %. (Arrese ym. 2005)

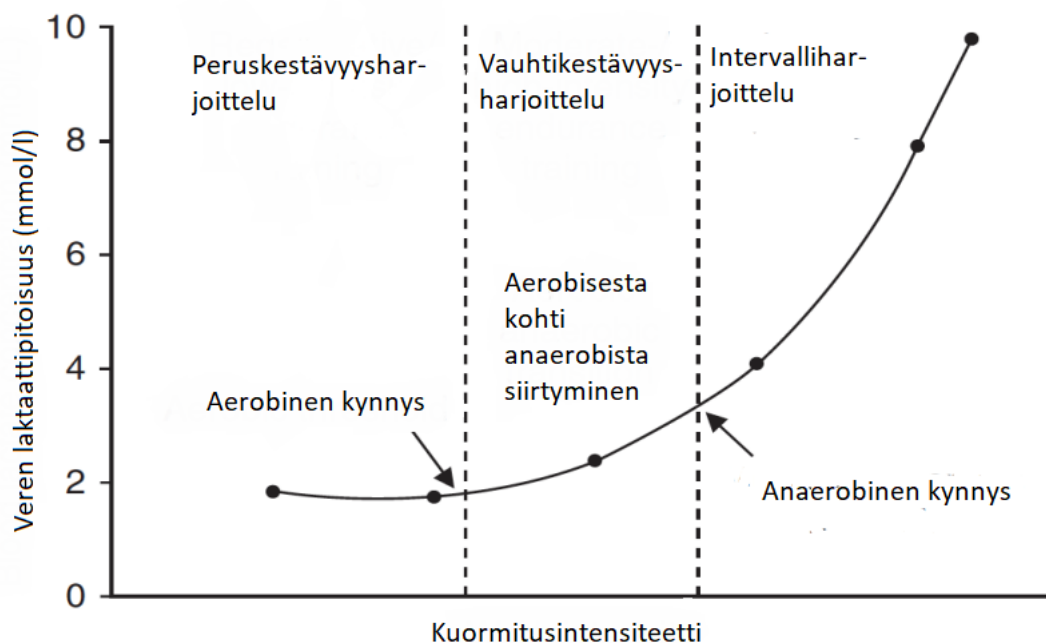
Maksimaalista hapenottokykyä voidaan tarkasti mitata erilaisilla nousujohteisesti kuormitusta lisättävillä, uupumukseen asti suoritettavilla testeillä. Tällaisia testejä kutsutaan suoriksi testeiksi, sillä hapenottokykyä mitataan suoraan hengityskaasuista. Testejä on erilaisia ja ne voidaan suorittaa joko yhtäjaksoisesti alusta loppuun tai kuormitusportaiden välissä käytettävillä pienillä tauoilla. (McArdle ym. 2010, s.237; Keskinen ym. 2004, s.51–124.) Maksimaalista hapenottokykyä voidaan myös arvioida erilaisilla kenttätesteillä, kuten Cooperin testillä tai step-testillä. Näiden testien tarkkuus kuitenkin vaihtelee käytetyn testin mukaan. Esimerkiksi Cooperin testillä on raportoitu olevan noin 90 % tarkkuus VO_{2max} arvioidessa. Joskin on myös tutkimuksia, joiden mukaan tarkkuus on huomattavasti pienempi. (McArdle ym. 2010, s.243–244)

2.2 Laktaattikynnykset

Laktaattikynnykset ovat yksi tärkeimmistä kestävyyskuntoa ja -suorituskykyä määrittävistä tekijöistä. Niitä käytetään kuvaamaan kestävyysuoritukseen vaadittavan energiantuoton muuttumisesta aerobisesta (hapen avulla) anaerobiseen (ilman happea). Laktaattikynnykset määritetään tietylle nopeudelle, teholle ja hapenkulutukselle sekä tietylle prosenttiosuudelle maksimaalisesta tehosta. (Jones, 2006).

Laktaattikynnysten määrittämiseksi on olemassa useita erilaisia määritelmiä, joka kertoo kynnysten määrittämisen haastavuudesta. Esimerkiksi Faude ym. (2009) löysivät omassa katsauksessaan 25 erilaista laktaattikynnysten määritelmää. Kansainvälisesti aerobisen ja anaerobisen energian tuoton muutoksista kertovia termejä ovat mm. Lactate threshold (1 & 2), OBLA (onset of blood lactate accumulation), MLSS (maximal lactate steady-state) ja AnT (anaerobic threshold). (Joyner & Coyle, 2008; Faude ym. 2009; Svedahl & MacIntosh, 2003) Suomessa laktaattikynnyksistä käytetään määritelmiä aerobinen kynnys (AerK) ja anaerobinen

kynnys (AnK). Kynnystasojen määrittämiseksi voidaan käyttää myös ventilaatiokynnyksiä, jotka kuvaavat muutoksia keuhkotuuleuksessa. Kynnyksiä tarkasteltaessa onkin oltava tietoinen siitä, millä tapaa kynnykset ovat määritettyinä. (Keskinen ym. 2004, s.51–124; Hynynen, 2016, s.123–126). Tässä työssä kynnyksistä puhuttaessa keskitytään laktaattikynnyksiin. Kuvassa 2 on esitetty kuinka laktaattikynnykset ovat määritettyinä laktaattikäyrää hyödyntäen ja kuinka eri harjoitusintensiteetit asettuvat laktaattikynnyksiin nähden.



KUVA 2. Laktaattikäyrä, joka havainnollistaa aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittystä sekä eri harjoitusintensiteettien sijoittumisen laktaattikynnyksiin nähden. (Mukaiutu Faude ym. 2009.)

Aerobista kynnystä käytetään kuvaamaan suurinta kuormituksen tasoa, jolloin elimistö pystyy vielä hyödyntämään kaiken suorituksen aikana muodostuvan laktaatin. Näin ollen veren laktaattipitoisuudessa ei tapahdu muutoksia lepotasoon nähden. Suomalaisen määrittystavan mukaan aerobinen kynnys määritetään sille kuormitustasolle, jossa verenlaktaattipitoisuus nousee ensimmäisen kerran perustason yläpuolelle. (Keskinen ym. 2004, s.51–124) Aerobinen kynnys asettuu noin 50 – 70 % tasolle maksimaalisesta hapenotto-kyvystä. (Hynynen, 2016, s.119–121)

Anaerobinen kynnys kuvastaa suurinta kuormituksen tasoa, jolloin elimistö on ”laktaattitasapainossa”, eli jolloin elimistö pystyy vielä poistamaan laktaattia samassa suhteessa kuin missä sitä muodostuu. Tällöin laktaattia ei pääse vielä kasautumaan kestävyysuorituksessa työskenteleviin lihaksiin, eikä lihas happamoidu ja näin ollen kestävyysuorituskyvyllä ei aiheudu haittaa. Anaerobinen kynnystaso määrittääkin sen, millä teholla kestävyysurheilusuoritusta voidaan ylläpitää pitkäkestoisesti. (Svedahl & MacIntosh, 2003) Anaerobinen kynnys asettuu henkilön harjoitustausta huomioiden noin 65 – 90 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. (Keskinen ym. 2004, s.51–124.)

Kun suoritusteho ylittää anaerobisen kynnystehon, ei laktaatin tuotto ja poisto pysy enää tasapainossa. Tämän seurauksena kestävyysuorituksen suoritusteho alkaa heiketä, joka on seurausta anaerobisen energiantuoton (glykolyysin) kasvamisesta. Tästä seuraa maitohapon syntymistä, joka hajoaa nopeasti lihassoluissa laktaatiksi sekä vetyioneiksi. Vetyionit puolestaan aiheuttavat verenkiertoon päästessään elimistön happamoitumista, joka on laktaattia suurempi tekijä lihaksen supistumiskyvyn heikentymisessä. (Keskinen ym. 2004, s.51–124)

Aerobista kynnystä vastaavaa tehoa pystytään ylläpitämään useamman tunnin ajan yhtäjaksoisesti (Meyer ym. 2000), kun taas anaerobisen kynnystason tehoa kyetään ylläpitämään vain noin 45 – 60 minuutin ajan, joskin kestävyysurjoittelun myötä on mahdollista kehittyä suoritustehon ylläpidossa ja näin ollen kestävyysurheilijat kykenevätkin ylläpitämään anaerobista kynnystehoa jopa kaksi kertaa pidemmän ajan kuin vähän harjoitelleet. (Baron ym. 2008; Svedahl & MacIntosh, 2003; Joyner & Coyle, 2008) Anaerobisen kynnystason tehoa suurempaa kuormitustasoa kyetään ylläpitämään muutamasta minuutista muutamiin kymmeneen minuutteihin. Tästä syystä anaerobista kynnystasoa on pidetty yhtenä suurimmista yksittäisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat kestävyysuoritukseen. (Billat ym. 2003) Kestävyysurjoittelun myötä sekä aerobinen, että anaerobinen kynnysteho siirtyy lähemmäs maksimaalisen hapenottokyvyn tason tehoa. Kehittämällä anaerobista kynnystehoa, voidaan parantaa kestävyysuorituskykyä ilman, että maksimaalisessa hapenottokyvyssä tapahtuu muutoksia. (Bishop ym. 1998)

2.3 Suorituksen taloudellisuus

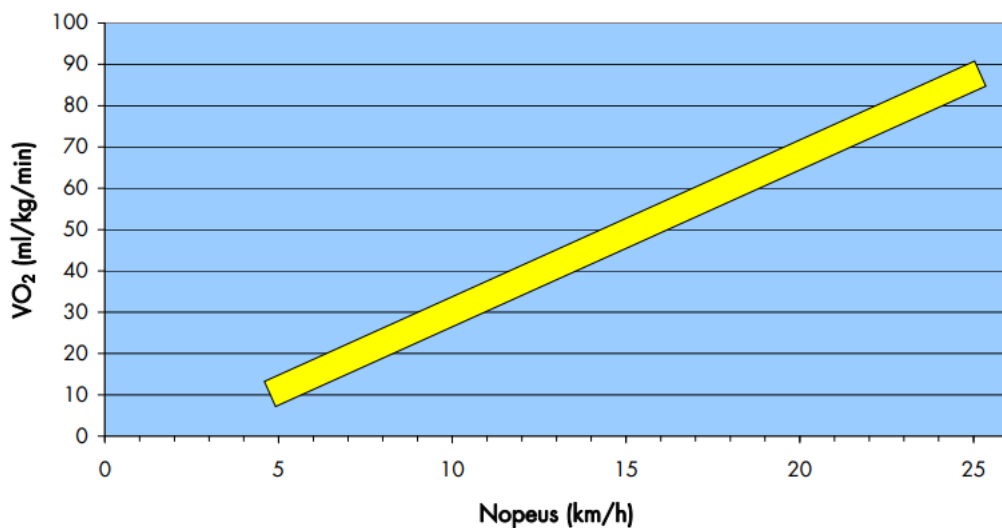
Kaikki ihmisen suorittama liikkuminen vaatii työtä. Jotta ihminen pystyy ylläpitämään tietyn tehoista työtä, eli juoksussa tiettyä vauhtia, vaatii se tietyn energiankulutuksen. Liikkumiseen vaadittava energiankulutus voidaan mitata epäsuorasti hapenkulutuksen määränä. Hapenkulutuksesta voidaan puolestaan määrittää liikkumisen taloudellisuus. Hyvä taloudellisuus ilmenee siten, että liikkumiseen tietyllä teholla vaaditaan vähemmän happea. (McArdle ym. 2010, s.207–208) Taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä on monia: tehokkuus energiantuotossa, antropometria, suoritustekniikka sekä hermolihasjärjestelmän tehokkuus ja elastisuus. (Barnes & Kilding, 2015).

Juoksun taloudellisuuden määrittämiseksi on käytetty yleisesti 3 – 15 minuutin pituisia submaksimaalisia kuormia, joissa teho on alle anaerobisen kynnyksen. Määrittäminen on hyvä tehdä juoksumatolla juostuna laboratorio-olosuhteissa, joissa esimerkiksi vauhti voidaan vakioida hyvin. Hapenkulutus ilmaistaan usein kehonpainoon suhteutettuna (ml/kg/min tai ml/kg/km). Vertailtaessa enemmän harjoitelleiden yksilöiden välisiä eroja juoksun taloudellisuudessa on käytetty 16 km/h vauhdilla suoritettua submaksimaalista juoksukuormaa, mutta määrittäminen voidaan tehdä millä tahansa vauhdilla. (Barnes & Kilding, 2015).

Kestävyys-suorituksen taloudellisuus paranee lajispesifin kestävyys-harjoittelun myötä. Esimerkiksi juoksun taloudellisuuden on todettu paranevan aluksi nopeastikin suoritustekniikan paranemisen johdosta. Mooren ym. (2012) tutkimuksen mukaan aloittelevien juoksijoiden taloudellisuuden paranemisesta 94 % selittyi juoksutekniikan paranemisesta. (Moore ym. 2012) Juoksun taloudellisuuden on todettu kehittyvän myös hermolihasjärjestelmän voimantuottokyvyn parantuessa. Hermolihasjärjestelmän osalta kestävyys-suorituskykyyn vaikuttavat lihaksen tahdonalainen aktivaatio, lihassolujakauma, elastisuus ja hermolihasjärjestelmän väsymyksen sieto. Tutkimusten mukaan yhdistämällä kestävyys- ja voimaharjoittelua on todettu voitavan parantaa kestävyys-suorituskykyä. Parannusta kestävyys-suorituskyvyssä on tapahtunut ilman merkitseviä muutoksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä tai kynnystasoissa. Suurimmat yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun avulla saavutettavista hyödyistä on todettu kohdistuvan nimenomaan suorituksen taloudellisuuteen. (Taipale ym. 2010; Karsten ym. 2016; Støren ym. 2008; Paavolainen ym. 1999)

Voimaharjoittelun tuoma kestävyysuorituskyvyn parantuminen on selitetty sillä, että voimaharjoittelun myötä harjoitettavan liikkeen voimantuottonopeus lyhenee, joka puolestaan laskee liikkeeseen vaadittavaa voimatasoa. Tämä puolestaan mahdollistaa liikkeen, esimerkiksi askelluksen, aikana pidemmän palautumisajan liikkeessä käytettäville lihaksille. Käytännössä voimaharjoittelun vaikutus näkyy lyhyempänä askelkontaktina. (Ronnestad & Mujika, 2014) Lyhyempi askeleen kontaktiaika näyttääkin olevan yksi tekijä, joka erottaa huipputason juoksijat heikompien juoksijoista. (Paavolainen ym. 1999.)

Suorituksen taloudellisuuden vaikutus kestävyysuoritukseen on suuri ja sen merkitys kasvaa, varsinkin mitä pidemmäksi kilpailumatka käy. Samalla tasolla kilpailevilla juoksijoilla onkin todettu olevan huomattavia eroja juoksun taloudellisuudessa. (McArdle ym. 2010, s.207–208). Tutkimusten mukaan energiankulutusta laskemalla 5 % voidaan parantaa juoksun suorituskykyä 4 % (Di Prampero ym. 1993). Kuvassa 3 on esitettyä vaadittavan hapenkulutuksen suhde juoksuvauhtiin, josta käy ilmi taloudellisuuden merkitys juoksuvauhtiin (Nummela ym. 2007).



KUVA 3. Hapenkulutuksen ja juoksunopeuden suhde. (Nummela ym. 2009)

Jones ym. (2021) mukaan suuri VO_{2max} ja juoksun taloudellisuus eivät kulje käsikädessä. Tutkimuksen mukaan suuren maksimaalisen hapenottokyvyn omaavat maratoonarit olivat vähemmän taloudellisia, kuin pienemmän maksimaalisen hapenottokyvyn omaavat. Tämä myös osin selittää kahden samanlaisen maksimaalisen hapenottokyvyn omaavan urheilijan kestävyysuorituksen eroja. (Jones ym. 2021) On kuitenkin myös osoitettu, että myöskään

taloudellisuus ei kuitenkaan välttämättä yksittäin erottele huippujuoksijaa heikommasta juoksijasta (Mooses ym. 2015).

3 KESTÄVYYSHARJOITTELIU

3.1 Kestävyysharjoittelun perusteet

Kestävyys tarkoittaa elimistön kykyä vastustaa kuormituksen aikaista väsymystä (Keskinen ym. 2004, s.51–124). Kestävyysharjoittelun tavoitteena on aiheuttaa akuuttia ylikuormitustilaa, joka järkyttää kehon tasapainotilaa eli homeostaasia. Kehon tasapainotilan muutoksista puolestaan aiheutuu hetkellistä ylikuormitustilaa ja suorituskyvyn laskua. Hetkellisestä ylikuormituksesta palautumisen aikana tapahtuu fysiologisia adaptaatioita, joiden ansiosta elimistö sopeutuu kuormitukseen ja pystyy jatkossa toimimaan kuormitustilanteessa aiempaa tehokkaammin. Oikein toteutettu kestävyysharjoittelu luo adaptaatioita niin aerobiseen kapasiteettiin, kuin myös lihasten toimintaan ja koostumukseen. (McArdle ym. 2010, s.451–485)

Kestävyysharjoittelussa on käytössä erilaisia intensiteettejä, jotka perustuvat yleisimmin joko tiettyyn prosentuaaliseen osuuteen maksimisykkeestä, vauhtiin, veren laktaattipitoisuuden muutoksiin, tiettyyn prosentuaaliseen osuuteen maksimaalisesta hapenottokyvystä tai näiden yhdistelmiin. Harjoitteluintensiteetit voidaan jaotella usealla eri tavalla. Yleisimmin käytössä on viiteen eri harjoitusintensiteettiin jako (taulukko 1), mutta käytössä voi olla myös kolmeen harjoitusintensiteettiin jako, jolloin harjoitusintensiteetti 1 kuvaa alle aerobisen kynnyksen olevaa tehoa, harjoitusintensiteetti 2 aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välistä tehoa ja harjoitusintensiteetti 3 anaerobisen kynnyksen ylittävää tehoa. Näistä kahdesta jaottelusta yleisemmin on käytössä viiden harjoitusintensiteetin jako, mutta varsinkin aloitteleville kuntoilijoille on mahdollisesti helpompaa totutella harjoitteluun kolmen harjoitusintensiteetin mallilla. (Seiler, 2012)

Suomessa harjoitusintensiteeteistä puhutaan termeillä peruskestävyys (PK), joka suoritetaan alle aerobisen kynnystason, vauhtikestävyys (VK), joka suoritetaan kynnysten välissä sekä maksimikestävyys (MK), joka suoritetaan anaerobisen kynnyksen tehon ja maksimaalista hapenottokykyä vastaavan tehon välillä. Näistä kaksi ensimmäistä jaetaan vielä alueisiin 1 ja 2. Tämän lisäksi käytössä on nopeuskestävyys (NK), joka kuvastaa maksimaalista aerobista (VO_{2max}) tehoa suurempia tehoja. (Nummela 2016, s.272 – 283.)

TAULUKKO 1. Harjoitusintensiteettialueiden jako hapenkulutuksen, sykkeen ja laktaatin perusteella (Mukailtu, Seiler, 2010)

Harjoitusintensiteettialue	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

Kestävyysharjoittelussa on käytössä useampia erilaisia harjoitustyypppejä, joita voidaan hyödyntää eri harjoitusintensiteeteillä. Peruskestävyysharjoittelussa käytetään yleisimmin jatkuvia, vauhdiltaan tasavauhtisia tai hieman kiihtyviä harjoituksia, kun taas vauhti- ja maksimikestävyysharjoittelussa käytetään useammin intervalliharjoittelua tai fartlek -harjoittelua eli vauhtileikkelyä, joissa vuorotellaan työ- ja palautumisjaksoilla. VK ja MK harjoittelussa voidaan kuitenkin hyödyntää myös tasavauhtista harjoittelua. (Bompa & Buzzichelli 2019, s.276 – 283; McArdle ym. 2010, s.480–483; Nummela 2016, s.272–283)

Kestävyysharjoittelun harjoitusvaikutukset muodostuvat kolmesta päätekijästä, jotka ovat harjoituksen kesto, teho ja toistuvuus. Edellä mainituilla PK, VK ja MK-harjoituksilla on omat erityyppiset harjoitusvaikutuksensa, joskaan ei niin spesifit, että esimerkiksi PK-harjoittelu ei vaikuttaisi maksimikestävyuteen. Harjoitusvaikutuksiin vaikuttaa myös harjoitustausta. Ei yhtään tai vähän harjoitelleen saavuttamat harjoitusvaikutukset ovat suurempia ja nopeampia kuin paljon harjoitelleen vastaavat. (Nummela 2016, s.272–283) Harjoitusvaikutuksia käydään tarkemmin läpi seuraavassa kappaleessa.

3.2 Kestävyysharjoittelun jaottelu

3.2.1 Peruskestävyysharjoittelu

Peruskestävyysharjoittelun yhtenä tarkoituksena on luoda kovemmalle harjoittelulle pohja. Sen yhtenä tarkoituksena on pyrkiä parantamaan liikkeessä käytettävien lihasten hapenkäyttökykyä ja hapen saatavuutta. (Nummela, 2016a, s.272–283.) Peruskestävyysharjoittelu on teholtaan alle aerobisen kynnystehon. Kestoltaan PK-harjoitukset ovat noin puolesta tunnista aina useisiin tunteihin. PK-harjoittelua toteutetaan yleensä jatkuvilla suorituksilla, jotka ovat joko tasavauhtisia tai hieman kiihtyviä. (Bompa & Buzzichelli, 2019, s.276–283; Nummela, 2016a, s.272–283)

Peruskestävyysharjoittelussa hyödynnetään suurimmaksi osaksi rasvoja, jonka myötä elimistö oppiikin hyödyntämään rasvoja paremmin varsinkin pitkäkestoisissa suorituksissa, joissa lihasten glykogeenivarastot tyhjenevät suorituksen aikana. Kestävyysharjoittelun aiheuttama glykogeenivarastojen tyhjeneminen puolestaan kehittää niiden kokoa suuremmaksi. Rasvojen lisäksi peruskestävyysharjoittelussa hyödynnetään myös hiilihydraatteja. (McArdle ym. 2010, s.451–485)

Suurin osa kestävyysharjoittelusta suositetaan suoritettavan peruskestävyyalueella. Yhtenä ohjeena on pidetty ”80 – 20 ” -sääntöä, jonka mukaan 80 % kestävyysharjoittelusta tulisi suorittaa matalatehoisena peruskestävyysharjoitteluna ja 20 % puolestaan vauhti- ja maksimikestävyysharjoitteluna. (Seiler, 2012) Esteve-Lanao ym. (2005) seurasivat huipputaso maastajuoksijoiden harjoittelua kuuden kuukauden ajan. He huomasivat, että urheilijoiden harjoittelusta syketietojen mukaan 71 % suoritettiin peruskestävyyalueella. (Esteve-Lanao ym. 2005) Tønnessen ym. (2014) tutkivat puolestaan huipputaso hiihtäjiä ja ampumahiihtäjiä. Heidän harjoittelustaan noin 90 % suoritettiin alle aerobisen kynnyksen.

3.2.2 Kovatehoinen, yhtäjaksoinen harjoittelu

Kovatehoinen kestävyysharjoittelu voidaan toteuttaa harjoituksesta riippuen joko jatkuvatyypisesti tai intervallityypisesti. Jatkuvaa kovatehoista harjoittelua, jossa teho on anaerobisen kynnyksen tasolla tai tämän yli on tutkittu verrattain vähän. Franch ym. (1998)

vertasivat omassa kuusi viikkoa kestäneessä (3 harjoitusta viikossa) tutkimuksessaan 20 – 30 minuutin yhtäjaksoista suoritusta (93 % HR_{max}) 6 x 4 minuuttia (palautus 2 minuuttia, 94 % HR_{max}) intervalliharjoitukseen. Tutkimuksen mukaan kehitys maksimaalisessa hapenottokyvyssä (5,6 – 6,0 %) ja taloudellisuudessa (3,1 – 3,0 %) olivat molemmilla metodeilla samankaltaisia. Yhtäjaksoisen kovatehoisen harjoituksen vaikutus uupumukseen kuluneeseen aikaan 87 % vauhdilla VO_{2max} :sta parani selvästi (94 %) verrattuna intervalliryhmään (67 %). (Franch ym. 1998) Samankaltaiset tulokset omassa tutkimuksessa saivat myös Jarstad and Mamen (2019), jotka huomasivat 20 minuutin (83 % VO_{2max} , 88 % HR_{max}) yhtäjaksoisen harjoituksen (10 viikon harjoitusintervention, 3 harjoitusta viikossa) parantavan nousujohteisessa kuormitustestissä uupumukseen kulunutta aikaa 23 %. Tutkimuksessa myös verrattiin tuloksia kevyemmällä kuormitustasolla (80 % HR_{max}) suoritettuun 40 minuutin yhtäjaksoiseen harjoitukseen. Molemmilla kuormitustasoilla saavutettiin samankaltaiset parannukset maksimaalisessa hapenottokyvyssä (5,0 % & 4,7 %). (Jarstad & Mamen, 2019)

3.2.3 Kovatehoisen intervalliharjoittelu

Yksi tapa toteuttaa kovatehoista kestävyysarjoittelua on intervalliharjoittelu. Sen etuna on lähellä VO_{2max} tasoa suoritettavan harjoittelun ajan ja harjoitustehon maksimointi, sillä intervalliharjoittelun avulla kyetään ylläpitämään korkeaa tehoa pidempään, kuin vastaavaa tehoa yhtäjaksoisessa harjoituksessa. (Billat ym. 2000) Intervalliharjoittelua voidaan toteuttaa joko aerobisesti (HIIT) tai anaerobisesti (SMIT). HIIT-harjoittelu toteutetaan anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välisellä tehoalueella ja SMIT-harjoittelua puolestaan maksimaalista hapenottokykyä suuremmilla tehoilla. (Laursen & Jenkins, 2002)

Intervallityyppisen kovatehoisen kestävyysarjoittelun (HIIT) on tutkittu olevan tasavauhtista harjoittelua tehokkaampi harjoitusmuoto maksimaalisen hapenottokyvyn kehittämiseksi. (Helgerud ym. 2007; Bacon ym. 2013) Intervalliharjoittelun (HIIT) on tutkittu parantavan maksimaalista hapenottokykyä parhaiten, kun intervallien toistopituudet ovat 3 – 5 minuuttia pitkiä (Bacon ym. 2013).

Helgerud ym. (2007) tutkivat HIIT-harjoittelua käyttäen pidempiä 4 x 4 minuutin vetoja (90 – 95 % HR_{max}), aktiivisella kolmen minuutin palautuksella (70% HR_{max}) sekä lyhyempiä

intervalleja 47 x 15 sekuntia (90 – 95 % HR_{max}), joissa aktiivisen palautuksen kesto oli 15 sekuntia (70 % HR_{max}). Tutkimuksessa molempia intervalliharjoituksia verrattiin 45 minuutin pidempään rauhalliseen juoksuun (long slow distance, LSD) sekä anaerobisella laktaattikynnyksellä (85 % HR_{max}) suoritettuun 25 minuutin yhtä kestoiseen harjoitukseen. Molemmilla intervalliharjoituksilla saatiin aikaan merkitsevä parannus maksimaalisessa hapenottokyvyssä (4 x 4min, 7,2 % & 15s/15s, 5,5 %), kun puolestaan LSD ja anaerobisella kynnysharjoituksella ei havaittu merkitseviä parannuksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä. (Helgerud ym. 2007)

Supramaksimaalisille intervalliharjoituksille (SMIT, Suomessa nopeuskestävyys) tyypillistä on lyhyet, mutta maksimaaliset toistot, joiden teho ylittää maksimaalista hapenottokykyä vastaavan tehon ja pitkät useiden minuuttien palautukset. Tutkimuksissa käytetyimpiä SMIT-harjoituksia ovat olleet Wingate testin tyylinen 30 sekunnin maksimimaalisella yrityksellä suoritettava suoritus sekä 10 – 15 sekunnin sprintit. Tutkimuksissa kuormitustapana on yleisesti käytetty polkupyörällä kuormitusta, joskin ainakin yhdessä tutkimuksessa on myös käytetty juoksua. (Sloth ym. 2013)

Sloth ym. (2013) tekemän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen perusteella supramaksimaalisella intervalliharjoittelulla on myös todettu olevan merkitsevä vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn. Katsauksen mukaan 12 tutkimusta löysi merkitsevän parannuksen maksimaalisessa hapenottokyvyssä (4,2 – 13,5 %), kun puolestaan vain kahdessa tutkimuksessa ei löytynyt merkitsevää parannusta.

3.2.4 Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu

Kestävyysjuoksun suorituskykyä voidaan parantaa voimaharjoittelun avulla, sillä voimaharjoittelun on todettu parantavan hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokykyä, suorituksen taloudellisuutta sekä parantavan loppukirikykyä. Tämän lisäksi voimaharjoittelulla voidaan ehkäistä urheiluvammoja sekä mahdollistaa suurempia juoksumääriä. Kestävyysurheilijoille yleensä on suurin hyöty, kun voimaharjoittelua toteutetaan maksimi- ja nopeusvoimaharjoitteluna. Kestävyysurheilijoiden voimaharjoittelun tavoitteena on parantaa lihaksen voimantuottoa hermotuksen kehittymisen myötä ja välttää lihashypertrofiaa. (Nummela & Häkkinen, 2016, s.284.)

Paavolaisen ym. (1999) tutkivat yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua ja sen vaikutusta 5000 metrin juoksusuoritukseen. Tutkimuksessa kaksi eri ryhmää harjoittelivat 9 viikon ajan siten, että toinen ryhmä korvasi noin 30 % kestävyysharjoituksista voima-nopeusharjoituksilla ja kontrolliryhmä vastaavasti korvasi kestävyysharjoittelusta noin 5 % voima-nopeusharjoittelulla. Tutkimuksen tuloksena oli, että 5000 metrin tulos parani voima-nopeusharjoittelua suorittaneilla keskimäärin 28 sekuntia, kun taas kontrolliryhmällä tulos ei parantunut. Parantunut juoksutulos selittyi hermo-lihasjärjestelmän suorituskyvyn ja suorituksen taloudellisuuden paranemisella. Tutkimuksen aikana maksimaalinen hapenottokyky tai kynnykset eivät parantuneet. (Paavolainen ym. 1999)

Myös Taipale ym. (2010) tutkimuksessa maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelulla huomattiin olevan kestävyysuorituskykyä parantava vaikutus. Tutkimuksessa 28 juoksua harrastavaa henkilöä jaettiin kolmeen ryhmään: maksimivoimaharjoitteluryhmä, nopeusvoimaharjoitteluryhmä ja kontrolliryhmä (kehonpainoharjoittelua). Nämä suorittivat yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua 28 viikon ajan, jossa voimaharjoittelun liikkeet olivat juoksua tukevia. Molemmilla voimaharjoittelutavoilla oli merkitsevä parannus juoksuvauhtiin VO_{2max} tasolla sekä juoksun taloudellisuuteen. Kummallakaan voimaharjoitustavalla ei kuitenkaan ollut vaikutusta maksimaaliseen hapenottokykyyn. (Taipale ym. 2010)

Vaikka yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ei näyttäisi olevan suurta vaikutusta sillä, suoritettaanko kumpi harjoitus ensin. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että suorittamalla kestävyysharjoitus ennen voimaharjoitusta on mahdollista, että harjoittelusta palautuminen pitkittyy. (Eklund ym. 2015; Schumann ym. 2014) On myös havaittu, että suorittamalla kestävyysharjoittelu ennen voimaharjoittelua, voi hermostollisten adaptaatioiden saavuttaminen hidastua tai jopa pysähtyä kokonaan pidemmän harjoitusjakson aikana (Eklund ym. 2015). Samoin voimantuottonopeuden on tutkittu kehittyvän vain silloin, kun voimaharjoitus tehdään ennen kestävyysharjoittelua (Schumann ym. 2014.).

Voimaharjoittelun hyötyjen kannalta on tärkeää, että sitä pidetään harjoitusohjelmassa ympäri harjoitusvuoden sillä, jos voimaharjoittelu lopetetaan, varsinkin maksimivoimaharjoittelulla saavutetut parannukset lihaksen hermotuksessa häviävät ja palaavat harjoittelua edeltäneelle tasolle (Taipale, 2010).

3.3 Kestävyysharjoittelun adaptaatiot

3.3.1 Sentraaliset adaptaatiot

Tiettyjen hengitys- ja verenkiertoelimistön sentraalisten tekijöiden on havaittu mahdollisesti rajoittavan kestävyysuorituskykyä. Hengityselimistön kestävyysuorituskykyä rajoittaviksi tekijöiksi on esitetty ventilaatiota, alveolaarista ventilaatiota sekä hapen diffuusiota. Verenkiertoelimistön osalta rajoittavia tekijöitä ovat puolestaan sydämen iskutilavuus, veritilavuus sekä veren hemoglobiinikonsentraatio. (Maughan ym. 1997, s.44.)

Aerobisen kestävysharjoittelun suurin verenkiertoelimistöön kohdistuva harjoitusadaptaatio on sydämen maksimaalisen minuuttitilavuuden kasvaminen (Hellsten & Nyberg, 2016; McArdle ym. 2010, s.465.). Kestävysharjoittelun aiheuttama sydämen minuuttitilavuuden kasvaminen johtuu suurimmaksi osin sydämen iskutilavuuden parantumisesta. Kestävysharjoittelun myötä sydämen iskutilavuus kasvaa pääosin neljästä tekijästä johtuen: vasemman kammion tilavuuden ja massan kasvusta, sydämen ja valtimoiden jäykkyyden vähentymisestä, diastolisen täyttöajan lisääntymisestä sekä sydämen supistumiskyvyn parantumisesta. (McArdle ym. 2010, s.464–465.)

Pitkässä kuuden ja puolen vuoden seuranta tutkimuksessa tutkituilla hiihtäjillä havaittiin merkitseviä muutoksia sydämen vasemman kammion tilavuudessa, massassa sekä iskutilavuudessa. (Tummavuori, 2004) Sydämen maksimaalisen iskutilavuuden on tutkittu parantuvan kovatehoisilla harjoituksilla, kuten tekemällä kovatehoisia intervalliharjoituksia (HIIT) (Helgerud ym. 2007).

Veren tilavuudessa on havaittu myös tapahtuvan muutoksia kestävysharjoittelun myötä. Jo yhden harjoituksen on raportoitu mahdollisesti lisäävän veren tilavuutta 10 – 12 % (Gillen ym. 2001; Pugh, 1969). Harjoitelleilla henkilöillä veren tilavuus on harjoittelemattomiin nähden 20 – 25 % suurempaa (Convertino, 2007). Eliittitasolla olevilla kestävyysurheilijoilla veren tilavuus voi olla jopa 35 – 40 % suurempaa kuin harjoittelemattomilla (Heinicke ym. 2001). Kestävysharjoittelun keskeytyessä plasmatilavuus palaa kuitenkin nopeasti harjoittelua edeltävälle tasolle (McArdle ym. 2010, s.463–464). On myös havaittu, että kovatehoinen harjoittelu ei välttämättä aiheuta muutoksia veritilavuudessa, plasmavolyymissä tai hemoglobiinimassassa (Helgerud ym. 2007; Menz ym. 2015). On kuitenkin huomattava, että

vaikkakin kestävyysharjoittelun on todettu vaikuttavan hemoglobiiniarvoihin, suhteelliset hemoglobiiniarvot ovat silti samankaltaisia harjoittelemattomien ja harjoitelleiden välillä. (Schmidt ym. 2002)

Aerobisen kestävyysharjoittelun myötä sydämen syke laskee submaksimaalisessa kuormituksessa sekä myös levossa. Sykkeen laskuun vaikuttaa olennaisesti sydämen iskutilavuuden ja minuuttitilavuuden parantuminen, sekä kestävyysharjoittelun vaikutus autonomiseen hermostoon. (McArdle ym. 2010, s.464.) Kestävyysharjoittelu vaikuttaa myös verenpaineeseen sitä laskien. (Hellsten & Nyberg, 2016)

Kestävyysharjoittelun on todettu myös laskevat hengitysekvivalenttia sekä hengitykseen käytettävien lihasten hapenkulutusta. Tämä puolestaan vapautta hapen käytettäväksi liikettä tuottaville lihaksille. Maksimaalisen kuormituksen aikainen ventilaatio kasvaa hengitystilavuuden sekä hengitysnopeuden kasvun johdosta. Näin ollen maksimaalisen kuormituksen aikainen kaasujen vaihto paranee. Submaksimaalisessa kuormituksessa kestävyysharjoittelun on todettu parantavan kertahengitystilavuutta sekä laskevan hengitysfrekvenssiä. Näiden summana sisään hengitetty ilma on kauemmin keuhkoissa ja ilmassa olevan hapen sitoutuminen tehostuu. On esimerkiksi havaittu, että submaksimaalisen kuormituksen aikana harjoittelemattoman henkilön uloshengittämässä ilmassa on noin 18 % happea, kun taas harjoitelleella vastaava lukema on vain 15 % (McArdle ym. 2010, s.467–468)

3.3.2 Perifeeriset adaptaatiot

Kestävyysharjoittelu tuottaa myös perifeerisiä adaptaatioita, joilla tarkoitetaan lihastasolla tapahtuvia adaptaatioita. Näiden myötä hapen kuljetus sekä hyödyntäminen lihaksissa kehittyy. Tärkeimpiä lihastason adaptaatioita ovat lihassolua kohden kasvanut kapillaarisuonten määrä, mitokondrioiden määrän sekä koon kasvaminen, oksidatiivisten entsyymien aktiivisuuden lisääntyminen ja lihasten sisäisten glykogeeni- ja triglyseridivarastojen kasvaminen. (Maughan ym. 1997, s.178–186.)

Kapillaarisuonten lisääntyminen luurankolihasissa on kestävyys suorituskyvyille erittäin tärkeä tekijä. Laajentuneen kapillaarisuoniston seurauksena kaasujen vaihdolla, ravinteilla sekä aineenvaihdunta-aineilla on käytössä suurempi diffuusiopinta-ala sekä -matka.

Kestävyys suorituskyvyn näkökulmasta laajentuneen kapillaarisuoniston tiheyden lisäksi on myös tärkeää, kuinka kapillaarisuonisto on jakautunut lihaksistossa, jotta saavutetaan lihaksen optimaalinen hapensaanti. (Hellsten & Nyberg, 2016)

Kestävyys harjoittelun on todettu olevan tehokkain tapa kasvattaa kapillaarisuonistoa (Hellsten & Nyberg, 2016). Tutkimusten mukaan harjoittelemattomilla kapillaarisuoniston kasvu on suurinta ensimmäisten neljän harjoitusviikon aikana, jonka jälkeen kasvu on vähäistä, joskaan ei täysin pysähdy näiden viikkojen jälkeen (Hoier ym. 2012; Jensen ym. 2004). Kapillaarisuoniston kasvun on raportoitu olevan 4 – 8 viikon harjoittelun jälkeen noin 10 – 40 % suurempaa (Hoier & Hellsten, 2014; Ingjer, 1979; Klausen ym. 1981) Paljon kestävyys harjoittelua suorittaneilla yksilöillä kapillaarisuoniston on todettu olevan keskivertoharjoittelijoihin verrattuna hieman suurempaa (Hellsten & Nyberg, 2016)

3.4 Kuormitus, palautuminen ja sykevälivaihtelu

3.4.1 Ylikuormitus

Onnistunut kestävyys harjoittelu vaatii hyvää tasapainoilua kuormitustasojen kanssa. Jos harjoittelua suoritetaan liian vähän, ei harjoittelu tuota optimaalisessa määrin haluttuja harjoitusadaptaatioita. Jos puolestaan harjoittelun kuormittavuus kasvaa liian suureksi ja palautumiselle ei anneta tarpeeksi aikaa, on vaarana ajautua ylikuormitustilaan, josta palautumiseen voi kestää useita kuukausia tai jopa vuosia. Tästä syystä levon ja palautumisen merkitystä ei tule unohtaa harjoitteluohjelmasta. On myös syytä huomata, ettei ylikuormitustila johdu ainoastaan harjoittelun ja levon epätasapainosta, vaan myös esimerkiksi muun elämän stressillä on vaikutusta kokonaisuuteen. (Kenttä & Hassmén, 1998; Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639)

Ylikuormitustiloja voidaan ajatella olevan kahdenlaista: lyhytaikaista ja pitkittynyttä. Lyhytaikainen ylikuormitustila voi olla jopa tavoitteena harjoittelussa. Tällöin elimistöä ylikuormitetaan hetkellisesti kovempaa, jota kuitenkin seuraa suunniteltu palauttava jakso. Tällöin elimistön tasapainotila järkkyy ja syntyy harjoittelulla toivottuja harjoitusadaptaatioita ja suorituskyvyn nousua. Lyhytaikaiselle ylikuormitukselle on olennaista, että siitä tulee pystyä palautumaan normaalin palautumisajan (72 tunnin) sisällä. Pitkittynyt ylikuormitustila

puolestaan kehittyä, jos harjoittelua lisätään entisestään ja palautumista laiminlyödään. Tällöin elimistö ei ehdi palautumaan harjoituskuormasta ja harjoituskuorma ikään kuin kasautuu. Harjoitusadaptaatioita ei synny pitkittyneessä ylikuormitustilassa ja se on haitallista suorituskyvyille. (Kenttä & Hassmén, 1998)

Varsinkin pitkittyneen ylikuormitustilan ehkäisemiseksi on tärkeää tunnistaa mahdolliset ylikuormituksesta kertovat oireet. Mahdollinen ylikuormitustila voi ilmetä heikentyneenä suorituskykyinä, yleisenä väsymyksenä, motivaation puutteena, lihasarkuutena, rasitusvammoina, sairasteluna, ruokahaluttomuutena, unettomuutena, mielialavaihteluina ja keskittymiskyvyn häiriöinä. Tämän lisäksi submaksimaalisten sekä maksimaalisten suoritusten aikaiset syke- ja laktaattitasot ovat matalampia. Seurauksena voi olla myös VO_{2max} laskua. (Kenttä & Hassmén, 1998; Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639)

Ylikuormituksesta kertovien oireiden havaitseminen ajoissa voi kuitenkin olla haastavaa, sillä osa aiemmin mainituista oireista voi olla hankala erottaa normaalin harjoittelun tuottamasta harjoitusväsymyksestä (Fry ym. 2012). Kuormituksen seurannassa voidaan hyödyntää esimerkiksi kontrolliharjoituksia ja niistä saatavia tuloksia (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639). Ylikuormituksen seurantaan on olemassa myös tarkoitukseen luotuja psykologisia testejä tai haastatteluita. Nämä perustuvat henkilön oman henkisen tuntemuksen ja mielialan seurantaan (O'Connor, 1998). On kuitenkin todettu myös, etteivät kaikki urheilijat koe mielialan muutoksia ylikuormittuneessa tilassa (Hooper ym. 1997).

3.4.2 Palautumista edistäviä tekijöitä

Kuten aiemmin mainittiin, palautuminen on tärkeässä roolissa optimaalisen harjoituskuorman löytämisessä. Jotta optimaalinen palautuminen harjoittelusta voidaan taata, on myös olennaista tunnistaa, millaisia kuormituksen aiheuttamia oireita on ilmaantunut. Palautumista edistäviä tekijöitä on useita ja ne voidaan jakaa neljään eri kategoriaan: ravitsemukseen, uneen ja lepoon, rentoutumiseen sekä venyttelyyn ja aktiiviseen palautumiseen. (Kenttä & Hassmén, 1998)

Unen ja levon katsotaan olevan tärkein passiivinen palautumiskeino, jonka aikana elimistö saa palautua kuormituksesta ilman minkäänlaista kuormitusta (Taylor ym. 1997). Oikeanlaisella ja riittävällä ravinnolla on myös tärkeä rooli palautumisessa. Varsinkin riittävä kalorien ja

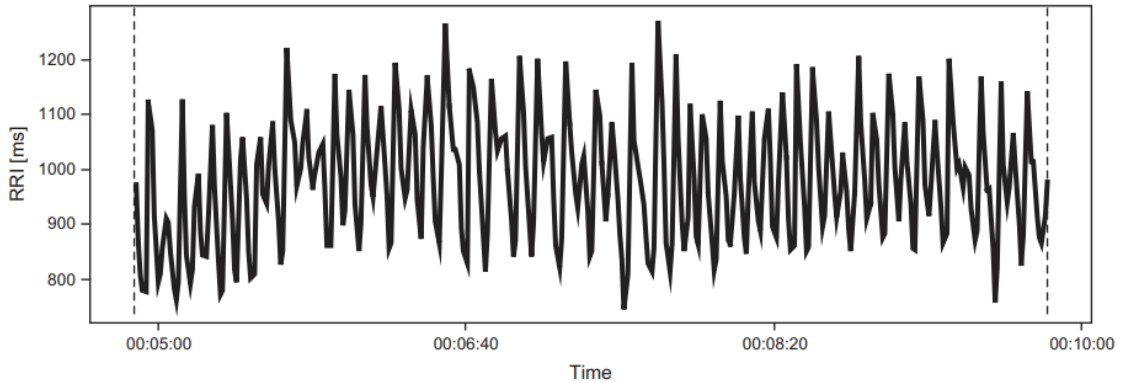
hiilihydraattien saanti on tärkeässä roolissa. Samoin nestetasapainosta huolehtiminen on tärkeää, jotta esimerkiksi hiilihydraattien hyödyntäminen lihaksessa parane. (Kenttä & Hassmén, 1998) Rentoutumiseen puolestaan voidaan mukaan lukea rentoutumisharjoitukset, hieronta sekä sauna ja erilaiset veden avulla tehtävät (esimerkiksi kylpy ja kylmäallas) palautumiset (Marion, 1995).

Aktiivinen palautuminen eroaa aiemmista palautumiskeinoista siten, että se koostuu kevyellä teholla ja määrällä tehdystä harjoittelusta, joka kuitenkin tähtää palautumisen edistämiseen (Marion, 1995). Aktiivisessa palautumisessa hyödynnetty harjoitus voidaan tehdä myös eri lajia hyödyntäen. Tämän on katsottu olevan jopa suositeltavaa, sillä tällöin harjoitusta ei voida välttämättä verrata muuhun normaaliin harjoitteluun niin helposti, joka puolestaan edistää harjoituksen suorittamista tarpeeksi kevyenä. (Budgett, 1990)

Venyttelyllä voidaan myös edistää palautumista samalla tavalla kuin kevyellä palauttavalla harjoituksella tai hieronnalla, sillä venyttely lisää samalla tapaa verenkiertoa lihaksistossa. Edellä mainittujen palautumista edistävien tekijöiden lisäksi yhtenä tärkeänä palautumista tukevana toimenä on pitää välillä kevyempiä jaksoja harjoittelussa, jolloin elimistö varmasti kerkeää palautua harjoituskuormituksesta. (Kenttä & Hassmén, 1998)

3.4.3 Sykevälivaihtelu

Sydämen sykettä kuvataan käyttäen lyöntiä minuutissa -arvoa. Vaikka syke pysyisi tasaisena koko ajan, on lyöntien välillä kuitenkin eroja, sillä sydän ei lyö tasaisesti metronomin lailla. Sykevälivaihtelua (HRV) käytetään kuvastamaan näitä pieniä millisekuntien eroja sydämen lyöntien välissä. Mittaamalla sykevälivaihtelua saadaan tietoa autonomisen hermoston tilasta (ANS). (Shaffer, 2017; Task Force, 1996) Sykevälivaihtelun ilmaisussa voidaan käyttää joko aikakenttämuuttujia tai taajuuskenttämuuttujia. (Task Force, 1996). Yksi käytetyimmistä arvoista on aikakenttämuuttujiin kuuluva RMMSD-arvo. Tämä arvo saadaan sydämen lyöntien RR-välien erotusten neliöjuuresta. Se kuvastaa sydämen lyöntien välistä vaihtelua millisekunteinä (ms). (Shaffer, 2017) Kuva 4 havainnollistaa sydämen lyöntien RR-välien muutoksia levossa.



KUVA 4. Sydämen lyönnin RR-väli levossa. (Kingsley & Figueroa, 2016)

Autonomisen hermoston tehtävänä on pitää elimistöä tasapainossa. Autonominen hermosto koostuu sympaattisesta ja parasympaattisesta osasta. Näistä ensimmäinen kiihdyttää elintoimintoja ja jälkimmäinen rauhoittaa niitä. (McArdle ym. 2010, s.328–329) Autonomisen hermoston säätelyn myötä sykevälvaihtelu joko pienenee sympaattisen hermoston toimesta, tai kasvaa parasympaattisen hermoston toimesta. (Task Force, 1996) Kestävyysharjoittelun seurauksena parasympaattisen osan säätely laskee akuutisti. Riippuen harjoituksen kuormitustasosta voi parasympaattinen säätely sekä sykevälvaihtelu olla normaalia alhaisemmalla tasolla jopa kolmen vuorokauden ajan kuormituksen päättymisestä. (Buchheit, 2014). Kuormituksen aikana sykevälvaihtelu voi pienentyä jopa olemattomaksi (Task Force, 1996).

Hynynen ym. (2010) vertailivat tutkimuksessaan lepopäivän, maratonin ja kovatehoisen harjoituksen jälkeisen yön aikaista sykettä sekä sykevälvaihtelua. Sekä maratonin että kovatehoisen harjoituksen jälkeen yöllinen sykevälvaihtelu laski. Lepopäivään verrattuna maratonin jälkeiset muutokset olivat suurimmat, mutta myös kovatehoisen harjoituksen jälkeiset muutokset olivat merkitseviä. (Hynynen ym. 2010) Jos kestävyysharjoittelua suoritetaan vajavaisella palautumisella pidemmän aikaa, seuraa autonomisen hermoston tasapainon järkkymistä. Tällöin sympaattinen aktivaatio korostuu, joka näkyy matalampana sykevälvaihteluna (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639). Kestävyysharjoitusten sykevälvaihteluun kohdistuvien muutosten johdosta harjoittelun jälkeistä sykettä ja sykevälvaihtelua onkin ehdotettu yhdeksi mahdolliseksi kuormituksen seurannan apuvälineeksi. (Kaikkonen ym. 2007)

Sykevälivaihtelun mittaamisessa on yleisesti hyödynnetty ortostaattista testiä sekä yön aikaisen sykevälivaihtelun mittausta. Ortostaattisessa testissä mitataan sykettä sekä sykevälivaihtelua (RMSSD) ensin 5 minuutin ajan makuuasennossa, jonka jälkeen 3 minuuttia seisoma-asennossa. Vaihtamalla asentoa makuuasennosta seisoma-asentoon aiheutetaan sydämelle ja verenkiertoelimistölle ärsyke, jonka myötä saadaan paremmin tietoa niin autonomisen hermoston tilasta kuin myös kokonaisstressistä, verrattuna vain leposykkeen mittaamiseen. Ortostaattisen testin tekeminen on helppoa, sillä se löytyy nykyään monista kuluttajille myytävistä sykemittareista. (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639)

Yöllisen sykevälivaihtelun mittauksessa puolestaan mitataan neljän ensimmäisen nukutun tunnin sykevälivaihtelua. Yöllisen sykevälivaihtelun mittauksen etuna ortostaattiseen testiin verrattuna on sen parempi ajankohta. Ortostaattista testiä edeltää yöuni, jonka aikana keho palautuu harjoittelusta, mutta yöllisen sykevaihTELUN mittauksessa näkyy päivällä suoritettujen harjoitusten aiheuttama kuormitus ja kuormituksesta seuraava kasvava aktiivisuus sympaattisen hermoston toiminnassa. Yöllisen mittauksen etuna on myös pidempi mittausaika, jolloin pienien mittaushäiriöiden vaikutus tuloksiin ei ole niin suuri. (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639)

Sykevälivaihtelua mitattaessa ja analysoitaessa on otettava huomioon, että sykevälivaihtelu on yksilöllistä. Myöskään yksittäisestä mittauksesta on vaikea tehdä johtopäätöksiä, ellei sykevälivaihtelua ole mitattu luotettavasti pidemmän aikaa, jolloin dataa on kertynyt suuri määrä ja yksilölle on mahdollista määrittää henkilökohtainen keskiarvo. (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639)

4 TEKNOLOGIA KESTÄVYYSHARJOITTELUSSA

4.1 Teknologiapohjainen kestävyysharjoittelun ohjaus

Monissa nykypäivän kuluttajille myytävissä sykemittareissa ja rannetietokoneissa on tarjolla erilaisia kestävyysharjoittelua ohjaavia algoritmeja ja ohjelmia. Näiden toiminta perustuu yleensä käyttäjästään mitattuun tietoon, kuten uneen ja harjoituskuormaan, ja sen pohjalta luotuihin olettamuksiin palautumisesta, jonka pohjalta luodaan kestävyysharjoitteita. Tällaisia kestävyysharjoittelua tukevia laitteita on tarjolla esimerkiksi Polarilla (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) ja Garminilla (Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveitsi).

Polarin kehittämä Polar training load ominaisuus on kehitetty seuraamaan käyttäjänsä kuormittuneisuutta. Kuormittuneisuuden arvioinnissa hyödynnetään käyttäjän harjoittelutaustaa, kynnyksiä, sekä maksimaalista hapenottokykyä. Taustatietojen pohjalta jokaiselle harjoitukselle arvioidaan kuormittavuus yhdistämällä niitä harjoitusdataan (syke, arvioitu energiankulutus sekä harjoituksen intensiteetti). (Schumann ym. 2017)

Schumann ym. (2017) tutkivat Polarin training load ominaisuuden pohjalta optimoitua harjoittelua. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt jaettiin 24 viikon harjoitusintervention jälkimmäiselle 12 viikolle kontrolliryhmään ja interventioryhmään, jonka harjoittelua ohjattiin training load ominaisuuden pohjalta. Molempien ryhmien maksimaalisen hapenottokyvyn todettiin parantuneen samankaltaisesti (interventioryhmä +7 %, kontrolliryhmä +10 %) Tutkimuksen tuloksena ei havaittu merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Garmin laitteista löytyvä ”Daily Suggested Workout” (DSW) ominaisuus on suunniteltu ohjaamaan käyttäjänsä harjoittelua Firstbeat Analytics Oy:n algoritmien pohjalta. DSW ottaa huomioon käyttäjänsä kuntotason, harjoitustaustan, unen sekä palautumisen tilan. Näiden muuttujien pohjalta laite suosittelee erilaisia kestävyysharjoitteita niin juoksuun kuin myös pyöräilyyn. DSW on suunniteltu adaptoitumaan käyttäjänsä harjoitteluun ja sen tavoitteena on kestävyysuorituskyvyn parantaminen. DSW:n mukainen harjoittelu on suunniteltu ohjaamaan harjoittelua sitä jaksottaen kevyempiin ja raskaampiin päiviin, jonka pohjalta kehittyminen olisi parempaa. Harjoituksia on peruskestävyyden, vauhtikestävyyden sekä maksimikestävyyden kehittämiseksi. Näiden lisäksi DSW suosittelee tekemään myös lyhyitä anaerobisia vetoja. (Garmin, 2020)

4.2 Sykeohjattu kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelua on perinteisesti ohjelmoitu ennalta määrätyn harjoitusohjelman ja urheilijan palautumistilan arvioinnin ja olettamuksen pohjalta. Kestävyysharjoittelua voidaan kuitenkin toteuttaa myös yksilöidysti, jossa harjoitusohjelma perustuu sykedatan avulla saatuun tietoon yksilön kuormittuneisuudesta. Vesterisen (2016) ja Nuutilan (2022) tutkimuksissa kuormittuneisuuden mittarina on käytetty sykevälivaihtelua, jonka muutosten perusteella harjoittelun määrää, intensiteettiä tai molempia on muokattu. Sykevälivaihtelun ollessa matalalla tasolla harjoittelu on pidetty kevyenä, kun taas sykevälivaihtelun ollessa perustasolla on voitu suorittaa myös kovempitehoista harjoittelua (Vesterinen ym. 2016; Nuutila ym. 2022)

Vesterinen ym. (2016) tutkimuksessa yksilöidyn harjoitteluryhmän kestävyysharjoittelun intensiteettiä muokattiin päivittäin mitatun sykevälivaihtelun perusteella. Harjoitteluintensiteetin laskua tehtiin, kun sykevälivaihtelussa tapahtui selviä muutoksia. Tutkimuksessa verrattiin yksilöidyn ja ennalta määrätyn harjoitusohjelman vaikutuksia 3000 metrin juoksusuoritukseen.

Tutkimuksessa sykevälivaihtelua seurattiin neljän viikon ajan ennen harjoitteluintervention alkua. Tämän pohjalta luotiin vertailukohta, johon intervention aikaista sykevälivaihtelua verrattiin. Tutkittaville määritettiin yksilöllinen SWC-arvo (smallest worthwhile change), joka perustui RMSSD-arvon keskihajontaan, joka kerrottiin 0,5:llä. Tätä arvoa päivitettiin vielä harjoitusintervention neljännen viikon jälkeen. Harjoitusintervention aikana sykevälivaihtelun mittauksessa käytettiin 7 päivän juoksevaa RMSSD-arvon keskiarvoa. Keskiarvon ollessa määritetyn SWC-alueen ulkopuolella, tutkittavien harjoittelu oli kevyttä tai lepoa. Kun keskiarvo puolestaan oli määritetyllä SWC-alueella, tutkittavien harjoittelu oli joko keskikovaa tai korkeaintensiteettistä. (Vesterinen ym. 2016)

Tutkimuksen lopputuloksena interventioryhmä paransi 3000 metrin juokсутulostaan 2,1 %, joka oli merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmän 1,1 % parannus. VO_{2max} arvossa ei puolestaan havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Interventioryhmä harjoitteli sekä kokonaismäärältään, että HIT-harjoittelun määrältä vähemmän kuin kontrolliryhmä, mutta onnistuivat silti parantamaan sekä VO_{2peak} -arvoa kuten myös testin maksimijuoksusuoritusta. (Vesterinen ym. 2016)

Nuutila ym. (2022) tutkimuksessa verrattiin yksilöidyn kestävyysharjoittelun ja kontrolliryhmän kehitystä 10 kilometrin juoksuasuoritukseen sekä laboratoriossa suoritettuun nousujohteiseen kuormitustestiin. Tutkimuksessa olleen interventioryhmän harjoittelua ohjattiin yöllisen sykevälivaihtelun, koetun kuormittuneisuuden, sekä syke – vauhti indeksin perusteella. Harjoitteluun tehtiin muokkauksia kahdesti viikossa edellä mainittuja muuttujia hyödyntäen. Tutkimus koostui kolmesta osasta: 3 viikon valmistautumisjaksosta, 6 viikon määräharjoittelujaksosta, joka koostui peruskuntoharjoittelusta sekä laktaattikynnysten välisestä vauhtikestävyysharjoittelusta sekä 6 viikon HIT-jaksosta. Jaksojen välissä suoritettiin sekä laboratoriotestit että 10 kilometrin testi. Interventioryhmän harjoittelua ohjannut yöllinen sykevälivaihtelu-arvo muodostui 4 viikon juoksevasta keskihajonnasta, joka kerrottiin 0,5:llä. Yöllisen sykevälivaihtelun ollessa tämän arvon ulkopuolella harjoitteluun tehtiin muutoksia. Kuormittuneisuutta arvioitiin asteikolla 1 – 7, jossa >5 tarkoitti kuormittuneisuutta. Syke – vauhti -indeksi puolestaan muodostui kahden viikon keskiarvosta, jonka mukaan 3 – 4 lyönnin vaihtelu laskettiin normaaliksi vaihteluksi. Näiden perusteella interventioryhmän harjoittelun volyyymiä muutettiin määräharjoittelujaksolla ja intensiteettiä HIT-jaksolla. Harjoitteluun tehtiin tarvittavia muutoksia kahdesti viikossa.

Tutkimuksen tuloksena molemmat ryhmät paransivat maksimaalista suorituskykyään V_{Max} sekä laboratoriomittauksissa että 10 km testissä. Nousujohteisen kuormitustestin suoritus parani kontrolliryhmällä V_{max} ($3,0 \pm 2.4$ %) ja interventioryhmällä ($4,0 \pm 1.9$ %). 10 kilometrin suoritus aika parani puolestaan interventioryhmällä ($-6,2 \pm 2.8$ %) ja kontrolliryhmällä ($-2,9 \pm 2.4$ %). 10 kilometrin juoksutestissä ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero. (Nuutila ym. 2022)

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Garmin sykemittarilaitteista löytyvän Daily Suggested Workout (DSW) mukaisen kestävyysharjoittelun vaikutuksia kestävyys suorituskykyyn 10 viikon harjoitusinterventio myötä vähän juoksuharjoittelua tehneiden henkilöiden keskuudessa. Vastaavanlaista tutkimusta ei tällä tiedolla ole, joten tutkimus tuo myös lisää tietoa algoritmipohjaisesta kestävyysvalmennuksesta.

1. Kysymys: Paraneeko tutkittavien maksimaalinen hapenotto kyky DSW:n mukaisen kestävyysharjoittelun myötä?

Hypoteesi: DSW ohjatun kestävyysharjoittelun myötä maksimaalinen hapenotto kyky paranee.

Aiemmissa sykevälivaihteluun perustuvissa tutkimuksissa, yksilöllisen palautumistilan mukaan ohjelmoidulla kestävyysharjoittelulla on todettu olevan suurempi vaikutus maksimaaliseen hapenotto kykyyn kuin ennalta määrätyn harjoitusohjelman mukaan suoritettulla harjoittelulla (Nuutila ym. 2022; Vesterinen ym. 2016, Kiviniemi ym. 2007; Vesterinen ym. 2011).

2. Kysymys: Paraneeko tutkittavien laktaattikynnystasot DSW:n mukaisen kestävyysharjoittelun myötä

Hypoteesi: Sekä aerobinen kynnys, että anaerobinen kynnys paranevat DSW ohjatun kestävyysharjoittelun myötä.

Anaerobisen kynnyksen on todettu paranevan yksilöllisen palautumistilan mukaan ohjelmoidun kestävyysharjoittelun myötä. Aerobisen kynnyksen kehittämisessä puolestaan on aiemmissa tutkimuksissa saatu toisistaan poikkeavia tuloksia (Nuutila ym. 2022; Vesterinen ym. 2016; Kiviniemi ym. 2007; Vesterinen ym. 2011).

3. Kysymys: Paraneeko tutkittavien juoksun taloudellisuus DSW:n mukaisen kestävyysharjoittelun myötä.

Hypoteesi: Juoksun taloudellisuus paranee harjoitusintervention myötä.

Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa juoksun taloudellisuus on parantunut vastaavanlaisen tutkimusryhmän keskuudessa (Moore ym. 2012) sekä yksilölliseen palautumistilaan perustuvan harjoittelun myötä (Vesterinen ym. 2011)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin 18 tutkittavaa Jyväskylän yliopiston tiedotuskanavia, sähköpostilistoja sekä sosiaalista mediaa hyödyntäen. Kriteereinä tutkimukseen osallistumiseksi tutkittavien tuli olla iältään 18 – 45 vuotiaita miehiä ja naisia, kuulua matalaan riskiryhmään (enintään yksi taulukon 3 riskitekijöistä) sekä tehdä kestävyysharjoittelua 2 – 5 kertaa viikossa, kokonaisharjoitusmäärän ollessa noin 5 tuntia. Tutkittavat eivät myöskään saaneet noudattaa muuta tavoitteellista harjoitusohjelmaa tutkimuksen aikana. Taulukossa 2 on esitetty tutkittavien perustiedot alkutestin yhteydessä.

TAULUKKO 2. Tutkimukseen osallistuneiden perustiedot alkutestin yhteydessä (keskiarvo ± SD).

	n = 8
Ikä (v)	32.5 ± 9.1
Pituus (cm)	177.3 ± 9.9
Paino (kg)	75.9 ± 17.1
Rasvaprocentti (%)	18.8 ± 8.3
VO ₂ max (ml/kg/min)	45.5 ± 9.1

Tutkimuksen aloitti 18 tutkittavaa, joista yksi joutui keskeyttämään tutkimuksen kesken sairastumisen pitkittymisen vuoksi ja yksi loukkaantumisen vuoksi. 16 tutkittavaa suoritti harjoitusintervention loppuun asti. Yksi tutkittava ei palauttanut harjoituspäiväkirjaa. Palautettujen harjoituspäiväkirjojen tarkastuksen jälkeen kriteerit (> 90 % harjoituksista toteutettu) täytti 8 henkilöä, joka muodostui lopulliseksi otannaksi. Lopullisessa otannassa oli mukana 2 naista ja 6 miestä.

Ennen tutkimuksen alkua tutkittaville kerrottiin tutkimuksen kulku, käytettävät menetelmät, tutkimukseen liittyvät mahdolliset riskit ja edut, sekä kerrottiin tutkittavien oikeudesta

keskeyttää omalla päätöksellä osallistuminen tutkimukseen. Tutkittavat lukivat ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen sekä täyttivät esitietolomakkeen, ennen tutkimuksen alkua. Tutkimuksen toteuttamiselle oli haettu ja myönnetty lupa Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta (Lupnumero: 46/13.00.04.00/2022).

TAULUKKO 3. Matalan riskiryhmän riskitekijät. (Keskinen ym. 2007, s.26-27)

Riskitekijä	Luokittelu
Lähisuvun sairaushistoria	Ennen kaikkea sydänsairaudet ensimmäisenpolven sukulaisilla
Tupakointi	Tupakoi tai lopettanut viimeisimmän 6 kuukauden aikana
Verenpaine	Systolinen verenpaine > 140 mm Hg tai diastolinen > 90 mmHg, varmistettu vähintään kahdella eri mittauskerralla, lääkehoidossa oleva verenpaine
Kolesteroli	Kokonaiskolesteroli yli 5,2 mmol/l, HDL alle 0,9 mmol/l; kolesterolilääkitys
Häiriintynyt sokeriaineenvaihdunta	Paastoverensokeri yli 6,1 mmol/l ainakin kahdella mittauskerralla
Lihavuus	BMI > 30 tai vyötärön ympäryys yli 100
Liikunnan puute	Henkilöt, jotka liikkuvat vähemmän kuin 30 minuuttia useimpina päivinä viikossa

6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus koostui 10 viikon harjoitusinterventiosta sekä laboratoriossa suoritetuista alku- ja loppumittauksista (Suora maksimaalinen hapenottokyvyn testi). Harjoitusinterventiota edelsi vähintään kahden viikon mittainen totuttelujakso, jonka aikana Garmin Forerunner 945 -laitteen (Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveitsi) sisältämä harjoitusohjelma-algoritmi (Daily Suggested Workout, DSW) oppi käyttäjästä tietoja, joita harjoittelun ohjelmoinnissa intervention aikana hyödynnettiin. Tutkimuksessa käytetyt kellot ja sykevyöt saatiin käyttöön tutkimuksen

yhteistyötaholta (Firstbeat Analytics Oy, Suomi.). Totuttelujakson kesto ei vakioitu, mutta se oli kestoltaan vähintään kaksi viikkoa, jotta DSW sai mahdollisimman tarkan kuvan käyttäjänsä normaaleista liikuntatottumuksista ennen harjoitusintervention alkua. Totuttelujakson aikana tutkittavat harjoittelivat heidän normaalien tottumustensa mukaisesti, kuitenkin siten, että juoksuharjoituksia kertyi vähintään kolme kappaletta. Itse harjoitusintervention aikaisesta harjoittelusta vastasi yksinään DSW-harjoitusohjelma-algoritmi. Lopputesteihin tutkittavat saapuivat 2–7 päivää harjoitusintervention päättymisestä.

6.3 Harjoitusohjelma-algoritmi

Garmin laitteessa oleva Daily suggested workout (DSW) ominaisuus ohjasi tutkittavien harjoittelua intervention ajan. DSW ottaa huomioon käyttäjänsä kuntotason, harjoitustaustan, unen sekä palautumisen tilan ja näiden perusteella ehdottaa erilaisia harjoituksia aerobisen kunnan parantamiseen tähdäten. Optimaalisen harjoittelun, kuormituksen ja levon tasapainottamiseksi DSW ehdottaa erityyppisiä harjoituksia sekä lepopäiviä. (Garmin, ei pvm.)

Harjoitusintervention aikana DSW ohjasi niin peruskuntoharjoituksia kuin myös korkean intensiteetin harjoituksia. Peruskuntoharjoitteluun ohjattuja harjoituksia olivat ”Palautuminen” ja ”Peruskunto” -harjoitukset. Näistä ”Palautuminen” tarkoitti joko kevyttä juoksua tai valinnaisesti lepoa. Korkean intensiteetin harjoituksia olivat puolestaan ”Tempo”, ”Kynnys” ja ”Maksimaalinen hapenottokyky”. Näiden lisäksi DSW ehdotti myös anaerobisia vetoja ”Anaerobinen” ja ”Sprintti”. Taulukossa 4 on eritelty eri harjoitukset ja niiden kestot (Garmin, 2020)

TAULUKKO 4. Esimerkki Daily Suggested Workout -algoritmin mukaisista harjoituksista harjoitustyypeittäin. Toistomäärä ja kesto esitetty esimerkkinä yhden tutkittavan harjoituspäiväkirjasta.

Harjoitus	Toistomäärä ja kesto	Intensiteetti
Palautuminen	28min @7.20/km tai lepo	Peruskunto
Peruskunto	36min @6.05/km	Peruskunto
Tempo	40min @5.10/km	Vauhtikestävyys
Kynnys	22min @5.00/km	Vauhtikestävyys
Maksimaalinen hapenottokyky	5x3min @4.35/km	Maksimikestävyys
Anaerobinen	7x1min @4.15/km	Anaerobinen
Sprintti	3x3x15sek @3.15/km	Anaerobinen

6.4 Laboratoriomittaukset

Laboratoriossa suoritettut alku- ja loppumittaukset koostuivat pituuden ja painon mittauksesta sekä kehonkoostumuksen mittauksesta InBody laitteella (InBody720 body composition analyzer, Biospace Co. Ltd, Seoul, EteläKorea) sekä suorasta maksimaalisesta hapenottotestistä (mattotesti), joka suoritettiin juosten. Kehonkoostumusmittaus suoritettiin ennen juoksutestiä, johon tutkittavia ohjeistettiin saapumaan välttämättä suurempaa ruokailua vähintään kahden tunnin ajan. Mittausta ei kuitenkaan suoritettu pidemmän paaston päälle. Alku- ja lopputestit pyrittiin myös aikataulutamaan ajallisesti samaan kellon aikaan tutkittava kohtaisesti.

Ennen mittauksia tutkittavat noudattivat normaaleja arkirutiinejaan sekä ennalta annettuja testiin valmistautumisohjeita. Ohjeena oli välttää raskasta fyysistä rasitusta 1 – 2 vuorokautta ennen testiä. Välttää kofeiinia ja alkoholia vähintään 24 h ennen testiä. Välttää nikotiinituotteita vuorokautta ennen testiä. Sekä huolehtimaan nestetasapainostaan, jotta testiä ennen ei kärsisi nestehukasta. Mittauksiin sai saapua vain täysin terveenä. Ennen mittausten aloitusta tutkittavien kanssa käytiin läpi tutkimuksen protokolla sekä ohjeistettiin suoran maksimaalisen hapenottotestin suorittamiseen.

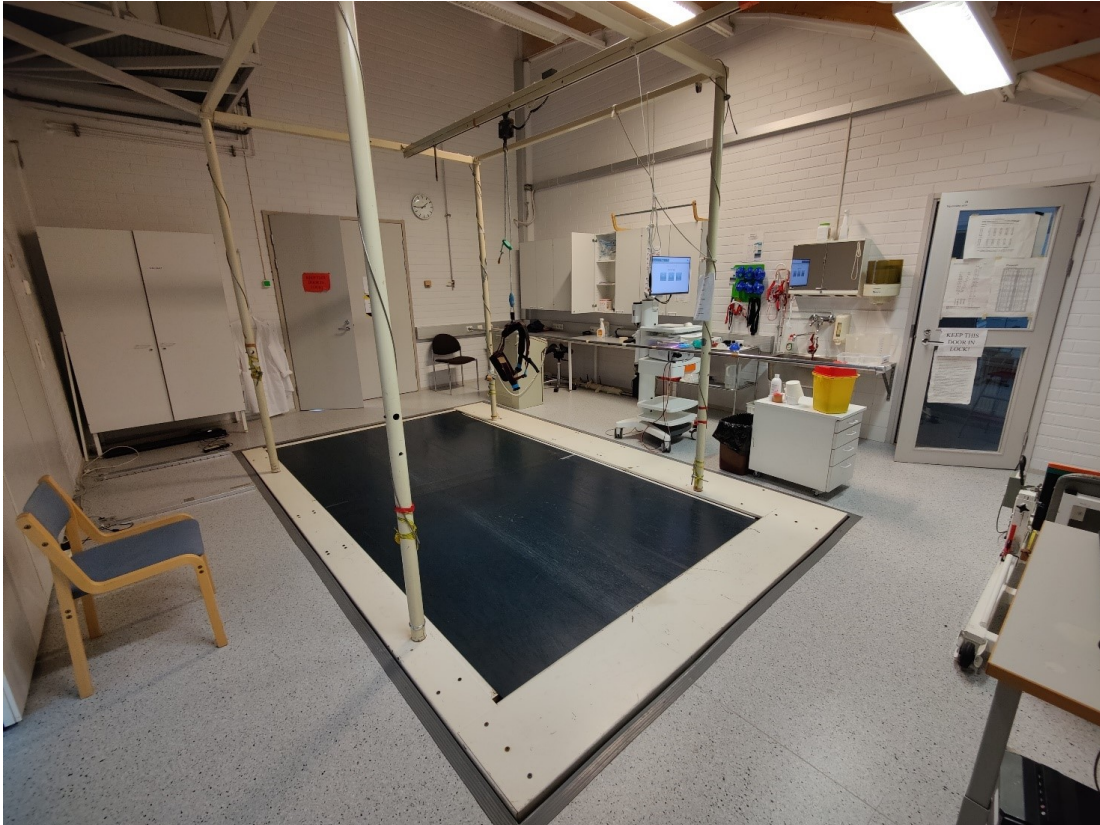
Laboratoriomittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopistolla (Liikuntalaboratorio). Kuormitustapana käytettiin juoksua siihen soveltuvalle juoksumatolle (Telineyhtymä, Kotka, Suomi, kuva 5). Testi aloitettiin tutkittavasta riippuen 6 – 8 km/h vauhdilla. Vauhti määräytyi tutkittavan oman kuntotason arvion ja tutkijan näkemyksen tuloksena. Samaa aloitusvauhtia käytettiin myös lopputestissä, ellei aloitusvauhti osoittautunut vääräksi alkutestin jälkeisissä analyyseissä. Koko testin ajan tutkittavilta mitattiin hengityskaasuja Breath by breath -menetelmällä Vyntus™ CPX Metabolic Cart -hengityskaasuanalysaattorilla (Vyaire Medical inc. Chicago, USA.). Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ennen jokaista testiä laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Ennen suoraa maksimaalista hapenottokyvyn testiä tutkittavat saivat suorittaa alkuverryttelyn, joka sisälsi 5 minuuttia juoksua varsinaisen testin aloitusvauhdilla sekä vapaavalintaisesti venyttelyä ja muita tutkittaville mahdollisesti tyypillisiä verryttelyliikkeitä. Testi koostui kolmen minuutin kuormitusportaista, joiden välissä juoksumatto pysäytettiin noin 20 sekunnin ajaksi, jonka aikana otettiin sormenpääverinäyte laktaattitasojen määrittämistä varten sekä kysyttiin tutkittavan itsensä kokema kuormituksen taso Borgin asteikolla (6 – 20). Kuormitusportaiden välissä vauhtia lisättiin 1 km/h, juoksumaton kulman ollessa koko testin ajan 0,6 astetta. Testiä jatkettiin niin kauan, kunnes testattava saavutti uupumuksen tai hän halusi lopettaa testin. Sormenpääverinäytteestä mitatut laktaattinäytteet analysoitiin Biosen S_line Lab+ laktaattianalysaattoria käyttäen. (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Testin aikaista sykettä mitattiin Garminin HRM Pro -sykevyöllä (Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveitsi) sekä Garmin Forerunner 945 kellolla.

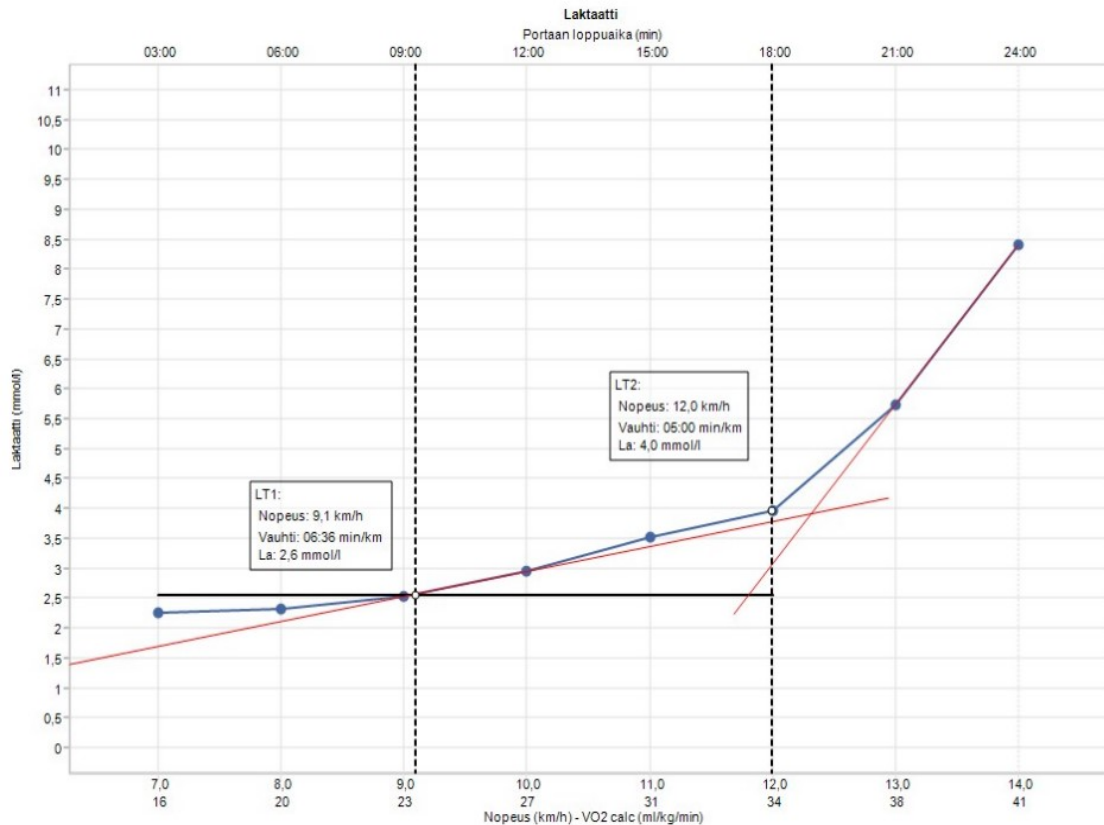
Testin tulokset analysoitiin K-lab ohjelmiston (Aino Health, Suomi) avulla. Maksimaalisen hapenkulutuksen määrittämisessä käytettiin hapenkulutuksen korkeimman minuutin keskiarvoa. Maksimaaliseksi juoksuvauehdiksi määritettiin se vauhti, jossa testi keskeytyi. Jos kuorma jäi kesken, maksimaaliseksi juoksuvauehti laskettiin suhteuttamalla kuorman kesto suoritettavaan vauhtiin. Juoksun taloudellisuuden määrittämisessä käytettiin 10 km/h suoritettavan kuorman viimeisen minuutin keskimääräisen hapenkulutuksen arvoa.

Laktaattikynnysten määrittämisessä mukailtiin Vesterinen ym. 2016 tutkimuksen määrittäystapaa. Aerobinen kynnys määritettiin kohtaan, jossa laktaattipitoisuus nousi testin aikaisesta alimmasta laktaattipitoisuudesta 0,3 mmol/l. Anaerobinen kynnys määritettiin aerobisen kynnyksen ja sitä seuraavan laktaattipisteeseen lineaarisovitteeseen sekä kahden laktaattiarvon, jossa laktaattiarvo nousi

vähintään 0,8 mmol/l mukaisen lineaarisovitteen leikkauskohtaan, kuitenkin siten ettei laktaattiarvo anaerobisella kynnyksellä ollut suurempi kuin 4 mmol/l. Kynnykset ilmaistiin sekä nopeutena (km/h) että kynnyssykkeenä (bpm). Kuvassa 6 on havainnollistettu laktaattimäärittystä.



KUVA 5. Suorassa hapenottoyvyn testissä käytetty juoksumatto



KUVA 6. Esimerkki laktaattikynnysten määrittämisestä K-lab ohjelmistossa.

6.5 Harjoitusinterventio

Ennen harjoitusintervention alkua tutkittavat suorittivat kontrollijakson, jonka aikana tutkittavien tuli käyttää Garmin Forerunner 945 laitetta vähintään kahden viikon ajan taustatietojen keräämiseksi. Kontrollijakson pituus määräytyi alkutestin ja harjoitusintervention aloitusajankohdan mukaan siten, että sen kesto oli vähintään kaksi viikkoa. Kontrollijakson aikana tutkittavien tuli suorittaa itselleen normaalia kestävyysharjoittelua, kuitenkin siten, että juoksuharjoituksia kertyi vähintään kolme kappaletta. Myöskään normaalista poikkeavia harjoituksia ei suositeltu tehtävän. Kontrollijakson aikaisen taustatiedon keräämisen perusteella harjoitusohjelma-algoritmi oppi käyttäjästäan vaadittavat tiedot, ja muodosti niiden perusteella ehdotetut harjoitukset. Harjoitusohjelma-algoritmi mukautui tutkittavaan koko harjoitusintervention ajan.

Harjoitusinterventio koostui 10 viikon omatoimisesta juoksuharjoittelusta, jonka aikana tutkittavat harjoittelivat Garmin laitteen (Forerunner 945) sisältämän DSW:n ohjeistuksen mukaan. Juoksuharjoittelu suoritettiin vauhtiohjattuna, jolloin laite antoi tutkittaville tietyn

tavoitevauhdin, jonka mukaan harjoitus tuli suorittaa. Vauhdin seuraamiseksi hyödynnettiin GPS-paikannusta, joten juoksuharjoittelu tuli suorittaa ulkotiloissa. Harjoitusten aikana tutkittavien tuli käyttää sykevyötä (Garmin HRM pro) luotettavien syketietojen keräämiseksi. Laitetta tuli myös pitää arkikäytössä ranteessa mahdollisimman paljon, jotta taustatietojen kuten unen määrä ja laatu sekä yleinen aktiivisuus, kerääminen olisi mahdollisimman tarkkaa ja näin ollen harjoitusohjelma-algoritmi mukautuisi paremmin käyttäjänsä ja suosittelisi harjoituksia tarkemmin.

Harjoitusintervention aikana tutkittavien tuli välttää muita kestävyysharjoituksia tai niihin verrattavissa olevia kuormitustapoja. Normaali arkiliikunta, kuten lyhyet työmatkapyöräilyt ja kävelyt olivat sallittua. Kuntosaliharjoittelu suositeltiin korvaamaan kehonpainoharjoittelulla mahdollisten lihasarkuuksien ja tätä kautta harjoitusten väliin jättämisen minimoimiseksi. Jos tutkittava oli kuitenkin harrastanut säännöllistä kuntosaliharjoittelua ennenkin, sai hän jatkaa sitä, kunhan ei muuttanut harjoitusohjelmaansa voimaharjoittelun osalta tai korvannut DSW:n ohjaamaa harjoitusta muulla harjoituksella.

Harjoitusintervention ajan tutkittavia pyydettiin täyttämään harjoituspäiväkirjaa (liite 1), johon he merkitsivät päivittäin ehdotetun harjoituksen, sekä kuvasivat toteutuneen harjoituksen. Harjoituspäiväkirjaan tuli myös kirjata mahdolliset poikkeavuudet harjoitusohjelman noudattamisessa, kuten sairastelut. Myös muut kuin harjoitusohjelma-algoritmin ehdottamat liikuntasuoritukset pyydettiin kirjaamaan ylös.

6.6 Tilastolliset analyysit

Tulosten tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 28.0 -ohjelmaa (SPSS Inc, Chicago, IL, USA), sekä Microsoft Excel -ohjelmaa (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Tulokset on esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina. Aineiston normaalijakautuneisuuden testauksessa käytettiin Shapiro-Wilk -testiä. Kaikki datat olivat normaalijakautuneita. Suorituskykytestien tuloksien muutokset analysoitiin riippuvien otosten t-testillä. Tilastollisen merkitsevyyden raja asetettiin $p \leq 0.05^*$, Raja-arvoina muille tilastollisesti merkitsevyyksille olivat $p < 0.01^{**}$ ja $p < 0.001^{***}$.

7 TULOKSET

7.1 Tutkimusjoukko ja kehonkoostumus

Tutkimusjoukossa oli sekä miehiä että naisia, joka selittää suurta hajontaa. Alku- ja lopputestien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta tutkittavien kehonpainossa (75.9 ± 17.1 kg vs. 75.4 ± 16.7 kg, $p=0.195$) tai rasvaprosentissa (18.8 ± 8.3 % vs. 18.3 ± 8.7 %, $p=0.143$).

7.2 Harjoittelu

Taulukossa 5 on esitetty kaikkien harjoitusintervention loppuun asti suorittaneiden ja harjoituspäiväkirjansa palauttaneiden tutkittavien ehdotetut ja toteutuneet harjoitusmäärät. Taulukossa 6 on ilmaistuna suoritettujen harjoitusten jakautuminen lopulliseen otantaan mukaan otettujen tutkittavien kohdalla koko harjoitusintervention aikana sekä toteutuneiden harjoitusten kokonaislukumäärä. Lopulliseen otantaan mukaan otettiin tutkittavia, jotka suorittivat 90 % ehdotetuista harjoituksista. Näin tehtiin, jotta DSW:n toimivuutta voitiin tarkastella mahdollisimman luotettavasti.

TAULUKKO 5. Kaikkien tutkimukseen osallistuneiden ehdotetut ja toteutuneet harjoitusmäärät. Tummennettuna lopulliseen aineistoon sisällytettyjen harjoitusmäärät.

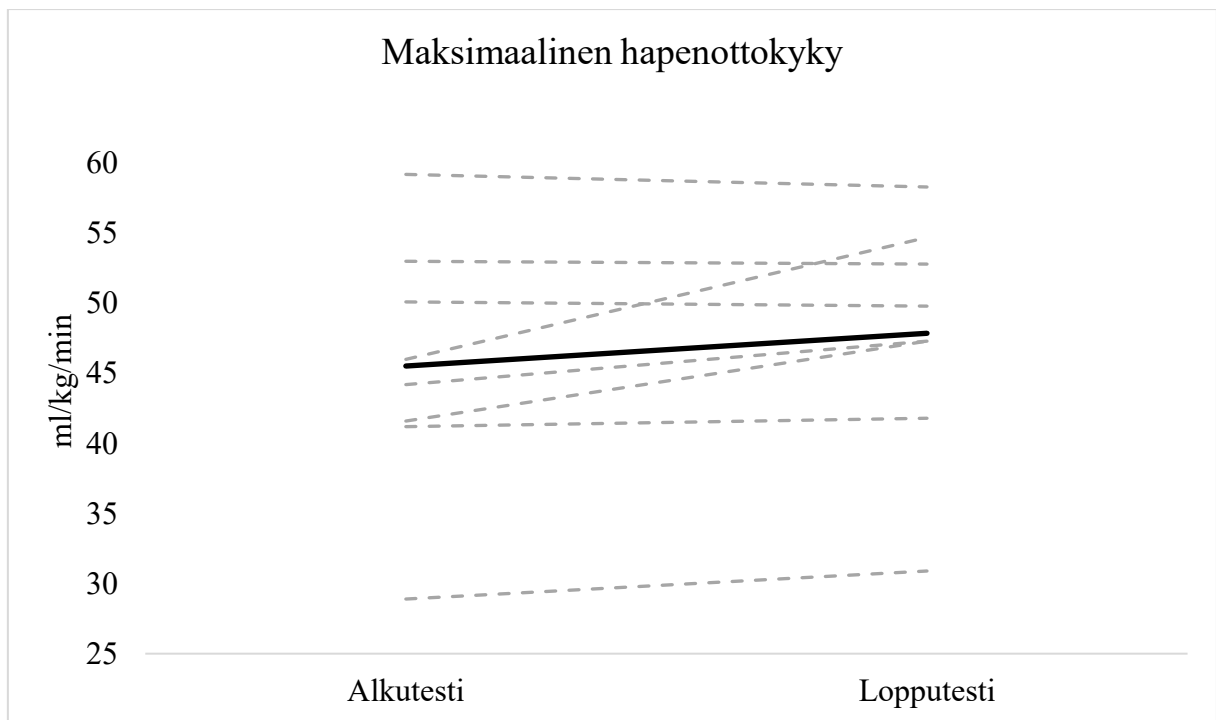
Ehdotetut harjoitukset	Suoritettut harjoitukset	Harjoituksista toteutettu -%
39	37	95 %
53	50	94 %
31	28	90 %
61	44	72 %
51	50	98 %
58	37	64 %
69	43	62 %
35	27	77 %
55	55	100 %
63	38	60 %
59	56	95 %
65	33	51 %
39	38	97 %
68	62	91 %
59	42	71 %

TAULUKKO 6. Suoritettujen harjoitusten lukumäärä tutkittavakohtaisesti.

Harjoitustyyppi	1	2	3	4	5	6	7	8
Palauttava	0	0	0	1	0	6	1	11
Peruskunto	31	48	12	46	27	36	30	25
Tempo	0	0	4	0	2	0	0	1
Kynnys	2	1	1	0	1	8	2	9
VO _{2max}	0	0	0	0	0	0	0	2
Anaerobinen	1	0	1	1	22	2	1	4
Sprintti	4	1	9	2	3	4	4	8
Yhteensä	38	50	27	50	55	56	38	60

7.3 Maksimaalinen hapenottokyky

Kehonpainoon suhteutettu maksimaalinen hapenottokyky oli alkutestin yhteydessä keskimäärin 45.5 ± 9.1 ml/kg/min. Lopputestin yhteydessä maksimaalinen hapenottokyky oli 47.9 ± 8.5 ml/kg/min. Maksimaalinen hapenottokyky parani hieman, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.090$). Tutkittavista viiden maksimaalinen hapenottokyky parani harjoitusintervention myötä. Muutokset kehonpainoon suhteutetussa maksimaalisessa hapenottokyvyssä on esitetty kuvassa 7.

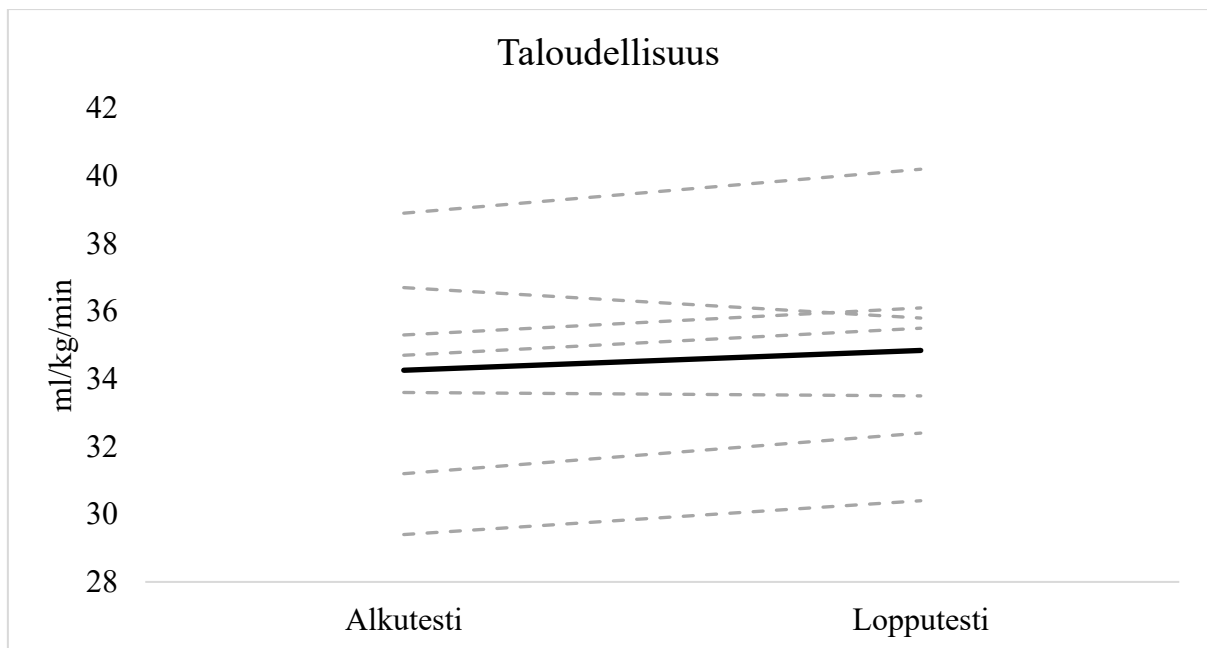


KUVA 7. Keskimääräinen ja yksilölliset muutokset kehonpainoon suhteutetussa maksimaalisessa hapenottokyvyssä.

Absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky oli alkutestin yhteydessä keskimäärin 3.4 ± 0.6 l/min. Absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky lopputestin yhteydessä oli keskimäärin 3.5 ± 0.6 l/min. Tutkittavista kuudella absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky parani harjoitusintervention myötä. Muutokset absoluuttisessa maksimaalisessa hapenottokyvyssä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p=0.096$).

7.4 Juoksun taloudellisuus

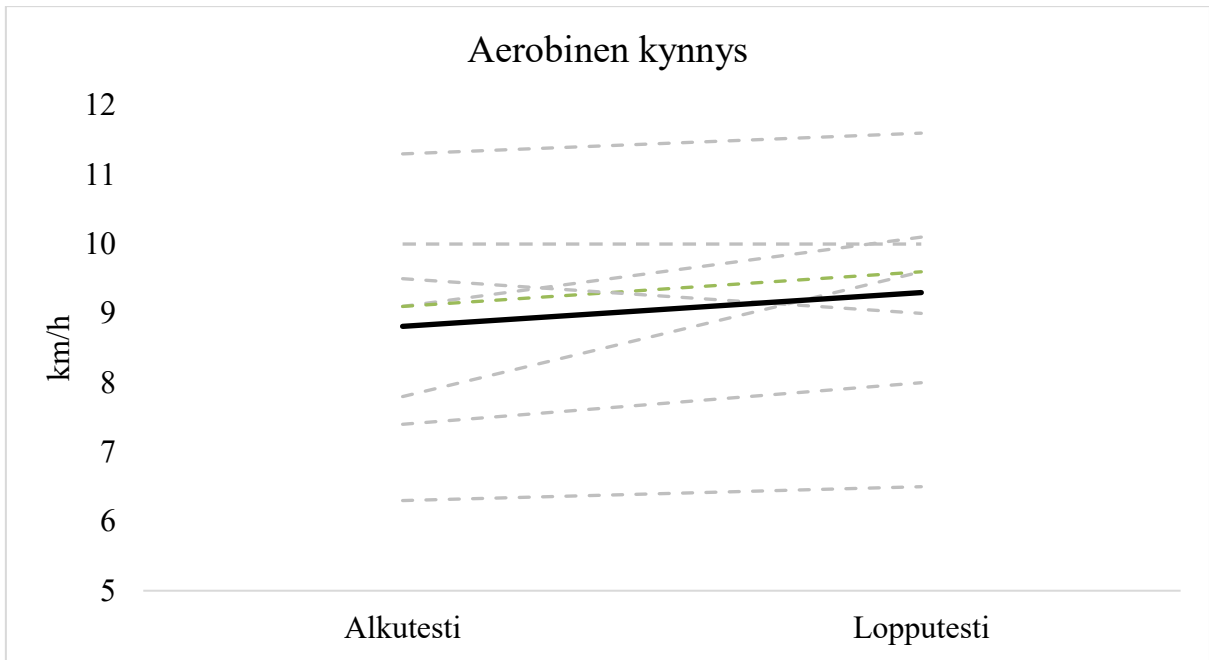
Tutkimuksessa juoksun taloudellisuutta tarkasteltiin 10 km/h vauhdilla suoritetun kuorman viimeisen minuutin hapenkulutuksen arvona. Taloudellisuuden tarkasteluun otettiin huomioon seitsemän tutkittavaa, sillä yhden tutkittavan kohdalla 10 km/h vauhti ylitti anaerobisen kynnyksen. Alku- ja lopputestien välillä taloudellisuus heikkeni hieman (34.3 ± 3.2 ml/kg/min vs. 34.8 ± 3.1 ml/kg/min). Muutos juoksun taloudellisuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.100$). Muutokset juoksun taloudellisuudessa on esitettyinä kuvassa 8.



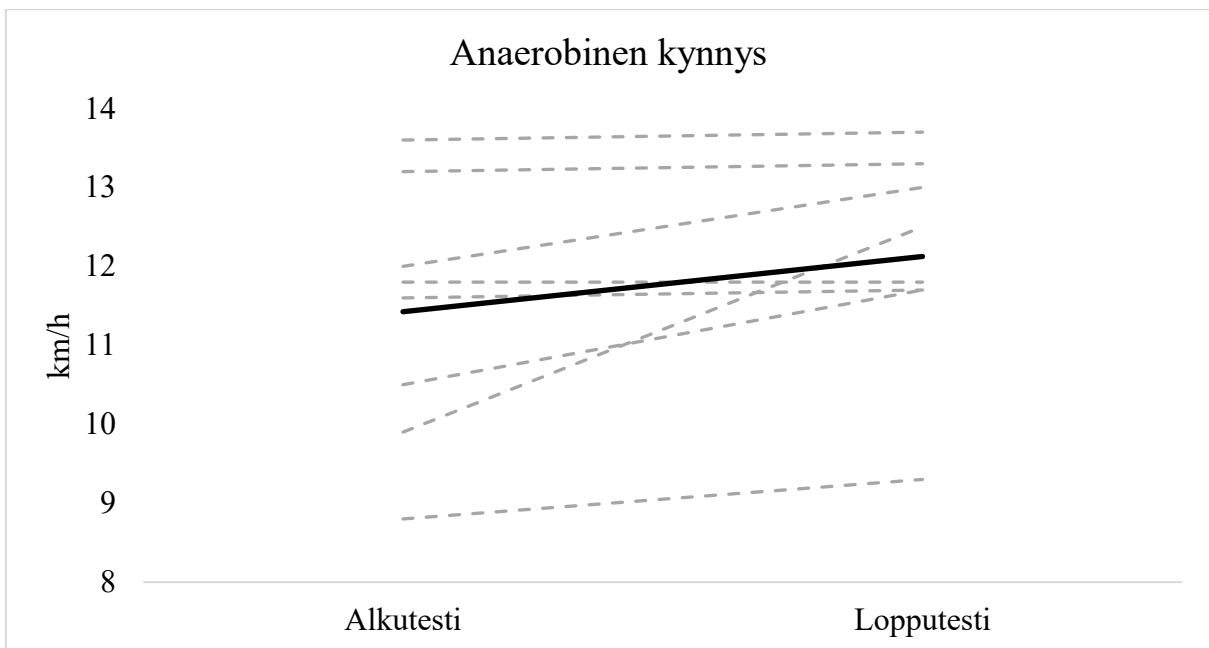
KUVA 8. Keskimääräinen ja yksilölliset muutokset juoksun taloudellisuudessa.

7.5 Aerobinen ja anaerobinen kynnyks

Juoksuvauhti aerobisella kynnyksellä parani keskimäärin alku- ja lopputestien välillä (8.8 ± 1.6 km/h vs. 9.1 ± 1.5 km/h), muutos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.086$). Myös anaerobisen kynnyksen juoksuvauhti parani alku- ja lopputestien välillä (11.4 ± 1.6 km/h vs. 12.1 ± 1.4 km/h), mutta ei tilastollisesti merkitsevästi ($p=0.062$). Aerobinen kynnyksivauhti parani kuudella tutkittavalla ja anaerobinen kynnyksivauhti seitsemällä tutkittavalla. Muutokset aerobisessa kynnyksitasossa ja anaerobisessa kynnyksitasossa ovat esitettyinä kuvissa 9 ja 10.



KUVA 9. Keskimääräinen ja yksilölliset muutokset aerobisessa kynnystasossa.



KUVA 10. Keskimääräinen ja yksilölliset muutokset anaerobisessa kynnystasossa.

Anaerobisen kynnyn vauhti suhteessa maksimaaliseen hapenottokyvyn testissä saavutettuun maksimaaliseen juoksuvahtiin parani ($79.9 \pm 5.1 \%$ vs. $81.4 \pm 3.7 \%$), mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.520$). Neljä tutkittavaa paransivat anaerobista kynnysvauhtiaan suhteessa maksimivauhtiin.

7.6 Maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset

Taulukossa 7 on esitettyä alku- ja lopputestin tulokset sekä testien välisten muutosten suuruus prosentteina. Maksimaalisen hapenottokyvyn testissä saavutettu maksimaalinen juoksuvauhti (vVO_{2max}) VO_{2max} tasolla parani alku- ja lopputestien välillä (14.3 ± 1.9 km/h vs. 15.0 ± 2.1 km/h). Muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.104$). Tutkittavista seitsemällä maksimaalinen juoksuvauhti parani harjoitusintervention myötä.

Maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä saavutettu tutkittavien maksimisyke oli lopputestissä keskimäärin alkutestiä matalampi (190 ± 7.6 vs. 188.4 ± 5.1), mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.526$). Tutkittavista neljällä maksimaalinen syke oli lopputestissä korkeampi kuin alkutestissä.

Alku- ja lopputestien välillä oli havaittavissa pieni lasku saavutetussa maksimaalisessa laktaattitasossa (10.8 ± 2.6 vs. 10.5 ± 2.2 mmol/l). Muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.672$). Tutkittavista neljä saavutti korkeamman maksimaalisen laktaattitason lopputestin yhteydessä.

TAULUKKO 7. Maksimaalisen hapenottokyvyn testien tulokset sekä testien välinen muutosprosentti.

	Alkutesti	Lopputesti	Muutos %
VO_{2max} (ml/kg/min)	45.5 ± 9.1	47.9 ± 8.5	5,3 %
VO_{2max} (l/min)	3.4 ± 0.6	3.5 ± 0.6	2,9 %
vVO_{2max} (km/h)	14.3 ± 1.9	15.0 ± 2.1	4,9 %
AerK (km/h)	8.8 ± 1.6	9.1 ± 1.5	3,4 %
AnK (km/h)	11.4 ± 1.6	12.1 ± 1.4	6,1 %
AnK. % V_{max} (%)	79.9 ± 5.1	81.4 ± 3.7	1,9 %
HR_{max} (bpm)	190 ± 7.6	188.4 ± 5.1	-0,8 %
Laktaatti _{max} (mmol/l)	10.8 ± 2.6	10.5 ± 2.2	-2,8 %
Taloudellisuus, 10 km/h (ml/kg/min)	34.3 ± 3.2	34.8 ± 3.1	1,5 %

7.7 Lopullisen aineiston ulkopuolelle jääneet

Koska tutkimuksessa ei ollut mukana varsinaista kontrolliryhmää, lopullisen otannan lisäksi työssä raportoitiin myös sen ulkopuolelle jääneiden tutkittavien harjoitusintervention seurauksena tapahtuneet muutokset maksimaalisessa hapenottokyvyssä, laktaattikynnystasoissa sekä juoksun taloudellisuudessa. Lopullisen otannan kriteereitä ei täyttänyt 9 tutkittavaa (>90 % harjoituksista suoritettu).

Lopullisen otoksen ulkopuolelle jääneiden tutkittavien absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky parani harjoittelun myötä ($3,0 \pm 0,5$ l/min vs. $3,2 \pm 0,5$ l/min). Muutos oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0.018$). Myös kehonpainoon suhteutettu maksimaalinen hapenottokyky parani harjoittelun myötä ($42,9 \pm 3,3$ ml/kg/min vs. $45,7 \pm 3,8$ ml/kg/min). Muutos oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0.006$).

Lopullisen otoksen ulkopuolelle jääneen joukon aerobinen kynnysvauhti pysyi samana harjoittelun myötä ($8,4 \pm 1,4$ km/h vs. $8,4 \pm 1,6$ km/h, $p=0.799$). Anaerobinen kynnys puolestaan parani tilastollisesti merkitsevästi ($10,8 \pm 1,6$ km/h vs. $11,7 \pm 1,3$ km/h, $p=0.013$). Lopullisen otoksen ulkopuolelle jääneen joukon juoksun taloudellisuus heikkeni hieman harjoittelu myötä ($34,1 \pm 2,6$ ml/kg/min vs. $34,8 \pm 1,7$ ml/kg/min, $p=0.204$). Taulukossa 8 on esitetty lopullisen otoksen ulkopuolelle jääneiden maksimaalisen hapenottokyvyn, laktaattikynnysten sekä taloudellisuuden muutokset.

TAULUKKO 8. Lopullisen otoksen ulkopuolelle jääneiden tutkittavien muutokset ja muutosprosentit maksimaalisessa hapenottokyvyssä, laktaattikynnyksissä sekä taloudellisuudessa.

	Alkutesti	Lopputesti	Muutos %
VO ₂ max (ml/kg/min)	42.9 ± 3.3	45.7 ± 3.8	6.5 %
VO ₂ max (l/min)	3.0 ± 0.5	3.2 ± 0.5	5.7 %
AerK (km/h)	8.4 ± 1.4	8.4 ± 1.6	0 %
Anak (km/h)	10.8 ± 1.6	11.7 ± 1.3	8.3 %
Taloudellisuus, 10 km/h (ml/kg/min)	34.1 ± 2.6	34.8 ± 1.7	2.1 %

8 POHDINTA

Tutkimuksen tulosten mukaan Daily Suggested Workout (DSW) -harjoitusohjelma-algoritmin ohjaaman harjoitteluintervention myötä tutkittavien maksimaalinen hapenottokyky sekä laktaattikynnystasot paranivat alku- ja lopputestien välillä, mutta muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0.05$). Suorituksen taloudellisuus puolestaan heikkeni hieman harjoitusintervention myötä. Myös lopullisen otannan ulkopuolelle jääneiden tutkittavien VO_{2max} sekä anaerobinen kynnystaso paranivat. Molempien muutos oli tilastollisesti merkitsevä. Kuten varsinaisen otoksen kohdalla myös sen ulkopuolelle jääneiden kohdalla juoksun taloudellisuus heikkeni. On tärkeää muistaa, että nyt saatuja tuloksia verrataan aiempiin tutkimuksiin, joissa kestävyysharjoittelua on optimoitu yölliseen sykevälivaihtelun ja sen perusteella arvioidun palautumisen tason avulla. DSW kuitenkin optimoi kestävyysharjoittelua hieman eri tavoin, hyödyntäen useampia eri taustamuuttujia.

Harjoittelu. Lopulliseen otantaan mukaan otetut tutkittavat suorittivat vähintään 90 % DSW:n ohjeistamista harjoituksista. Tutkittavat raportoivat harjoitusintervention aikaista harjoitteluaan harjoituspäiväkirjoihin. Näitä tarkasteltaessa huomion arvoista oli, että raportoinnissa oli paljon eroavaisuuksia. Harjoituspäiväkirjaan pyydettiin raportoimaan harjoittelua mahdollisimman tarkasti. Tutkittavien välisistä raportointieroista johtuen on harjoitusintervention aikaisesta harjoittelusta haastava saada täysin selvää kuvaa. Harjoitusohjelma-algoritmin ehdottamia lepopäiviä ei myöskään ollut aina merkitty selvästi ylös, vaan osalla tutkittavista oli jätettynä päiväsarake tyhjäksi silloin, kun harjoitusta ei ollut suoritettu. Näin ollen ei voida varmistua oliko lepopäivän syy algoritmin tarjoama lepopäivä vai lepo muusta syystä. On myös huomioitava, että osa tutkittavista suoritti myös ylimääräisiä harjoituksia, vaikka suosituksena oli välttää näitä. Tällä voi olla pientä vaikutusta ehdotettuihin harjoitustyypeihin ja -määriin. Lopulliseen otantaan ei huomioitu niitä tutkittavia, joilla oli suoritettuna ylimääräisiä kestävyysharjoituksia, pois lukien sallitut arkiliikunnat, tai harjoittelusta raportointi oli puutteellista, sillä näin ollen ei voitu varmistua onko 90 % ehdotetuista kestävyysharjoituksista suoritettu.

Harjoitusintervention aikana suoritettu kestävyysharjoittelun määrä vaihteli tutkittavien välillä melko suuresti. Kokonaiharjoittelumäärä harjoitusintervention aikana vaihteli 27 ja 60 harjoituskerran välillä. Harjoituskertojen todellinen lukumäärä voi kuitenkin olla hieman erilainen, sillä ”palauttava” harjoitus oli todellisuudessa vaihtoehtoinen. Tämä harjoitustyyppi

oli intensiteetiltään muita harjoituksia selvästi kevyempi sekä kestoltaan lyhyt, tai valinnaisesti täysin lepopäivä. Vaihtoehtoisuutta voidaan perustella sillä, että erittäin kevyen ja lyhyen harjoituksen on todettu edistävän yksilöllistä palautumista (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639). Harjoituspäiväkirjoista selviää, että osa tutkittavista on valinnut useimmiten lepopäivän kevyen harjoituksen sijaan. Kun taas ainakin kaksi tutkittavaa on selvästi suorittanut useammin kevyen palauttavan harjoituksen. On kuitenkin myös mahdollista, että palauttavan harjoituksen kohdalla harjoituspäiväkirjoissa on eroja merkintätavoissa ja tästä johtuen lopullinen harjoittelun kokonaiskertamäärä voi olla epäselvä.

Harjoittelu painottui selvästi peruskestävyys harjoitteluun, johon suurin osa harjoittelusta tulisikin painottua (Seiler, 2012). Ainoastaan yhden tutkittavan kohdalla oli huomattava määrä ”anaerobista” harjoittelua. On kuitenkin epäselvää, miksi harjoitusohjelma-algoritmi on ehdottanut näin useasti kyseistä harjoitustyyppiä. Peruskestävyys harjoitusten vauhteja tarkasteltaessa huomattiin, että niihin ohjeistettu juoksuvauhti on ollut liian kova. Lähes kaikilla tutkittavilla peruskestävyys harjoitusten vauhdit ovat olleet joko lähellä aerobisen kynnysvauhdin tasoa tai jopa selvästi sen yli. Näin ollen suurin osa peruskestävyys harjoittelusta on tehty vauhtikestävyyttä vastaavalla vauhdilla (Nummela, 2016a, s.272 – 283). Yleisesti on huomioitava se, että ns. tehoharjoittelun (tempo, kynnys, VO_{2max} , anaerobinen ja sprintti) määrä vaihteli paljon tutkittavien välillä. On myös huomioitava, että vain yksi tutkittava suoritti kaikkia mahdollisia harjoitustyyppiä harjoitusintervention aikana. Suurin huomio tehoharjoituksia tarkastellessa kiinnittyy varsinaisten VO_{2max} harjoitusten puuttumiseen, sillä vain yhdellä tutkittavalla esiintyi kyseistä harjoitustyyppiä kymmenen viikon aikana. Tehoharjoittelun vähäisen määrän yhtenä syynä olla se, että peruskestävyys harjoittelua on suoritettu liian kovatehoisena, jolloin harjoitusohjelma-algoritmi on todennäköisesti laskenut harjoituskuorman olevan liian suurta ja tästä johtuen päätelty, ettei tutkittava ole ollut vaadittavan palautunut kovatehoiseen harjoitteluun.

Harjoittelussa oli muutaman tutkittavan kohdalla havaittavissa pientä rytmitystä lepopäivien ja harjoitusten välillä. Harjoittelusta on otettava huomioon se, että algoritmin mukaisen kestävyys harjoittelun tavoitteena on parantaa henkilön yleistä peruskuntoa (Garmin, ei pvm.), eikä niinkään valmistaa esimerkiksi kilpailuihin. Näin ollen harjoittelussa ei myöskään ollut varsinaista ohjelmointia peruskestävyys harjoittelun ja tehoharjoittelun rytmityksessä.

Maksimaalinen hapenottokyky. Aiemmissa sykevälivaihteluun perustuvissa tutkimuksissa maksimaalisen hapenottokyvyn on todettu paranevan harjoittelun myötä (Nuutila ym. 2022; Vesterinen ym. 2016; Kiviniemi ym. 2007, Vesterinen ym. 2011). Kun nyt saatuja tuloksia verrataan aiemmin tehtyihin tutkimuksiin, joissa kestävyysharjoittelua on ohjelmoitu yksilölliseen sykevälivaihteluun perusteella, voidaan todeta, että nyt saadut tulokset ovat samankaltaisia kuin aiemmin. On kuitenkin huomioitava, että aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja maksimaalisessa hapenottokyvyssä, joita ei tässä tutkimuksessa puolestaan havaittu, johon vaikuttaa lopullisen otoksen pieni otoskoko. Maksimaalisen hapenottokyvyn testissä saavutetun maksimaalisen juoksunopeuden paranemista on myös havaittu aiemmissa tutkimuksissa, kuten myös tässäkin tutkimuksessa (Nuutila ym. 2012; Kiviniemi ym. 2007; Vesterinen ym. 2011).

Nyt saatuja tuloksia verrattaessa aiempiin tutkimuksiin, on syytä ottaa huomioon, että harjoitusjaksojen pituudet poikkeavat tästä tutkimuksesta. Harjoitusjakson pituudella on merkitystä kestävyysominaisuuksien kehittymiselle, sillä muutoksien aikaan saamiseksi vaaditaan useita toistokertoja ja näin ollen pidemmällä ajanjaksolla kehittyminen on suurempaa (Nummela, 2016). Nuutila ym. (2022) tutkimuksessa harjoitusjakson pituus oli 15 viikkoa (3 viikkoa ”valmistautumisjakso” + 6 viikkoa perusharjoittelua + 6 viikkoa tehoarjoittelua). Vesterinen ym. (2016) puolestaan käyttivät 12 viikon harjoitusjaksoa (4 viikkoa ”valmistautumisjakso” + 8 harjoitusjakso). Kiviniemen ym. (2007) tutkimuksessa harjoitusjakson pituus oli puolestaan 4 viikkoa. Pisin harjoitusjakso oli Vesterinen ym. (2011) tutkimuksessa, jossa harjoitusjakson pituus oli 28 viikkoa (14 viikkoa perusharjoittelua + 14 viikkoa tehoarjoittelua).

Vaikka maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa, kehittyi maksimaalinen hapenottokyky kuitenkin tutkittavien joukossa. Maksimaalisen hapenotto kyvyn on todettu kehittyvän parhaiten, kun työskennellään noin 90 – 95% maksimaalisesta sykkeestä (Helgerud ym. 2007). Harjoitusintervention aikana kovia maksimaalista hapenottokykyä kehittäviä harjoituksia (VO_{2max} -harjoitus) oli raportoitu olleen vain yhdellä tutkittavalla. Aerobisen ja anaerobisen kynnystason välille kohdistuvia harjoituksia oli raportoitu kuitenkin olleen enemmän, jonka voidaan ajatella selittävän nyt havaittuja muutoksia VO_{2max} arvoissa, sillä kuntoilijoiden kohdalla anaerobisen kynnyksen tasolla tehdyt kestävyysharjoitukset johtavat suurimpiin muutoksiin maksimaalisessa hapenottokyvyssä. (Keskinen ym. 2004, s.64-77)

Maksimaalisen hapenottokyvyn testissä saavutettu maksimaalinen juoksuvauhti (vVO_{2max}) parani myös tutkittavien joukossa yhtä henkilöä lukuun ottamatta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tutkittavat jaksoivat suorittaa maksimaalista hapenottokyvyn testiä pidemmän aikaa lopputestin yhteydessä, kuin mitä he suorittivat alkutestin aikana. Keskimääräinen parannus alku- ja lopputestien välillä oli lähes yhden kuormitusportaan verran. Näin ollen tutkittavien maksimaalinen kestävyysuorituskyky on parantunut selvästi, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi. Käytännössä kehitys on kuitenkin yksilölle merkittävä. Samanlaisia parannuksia maksimaalisessa juoksuvauhdissa on saatu myös aiemmissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Nuutila ym. (2022) sekä Kiviniemi ym. (2007) tutkimuksissa parannukset maksimaalisessa juoksuvauhdissa olivat noin yhden kuormitusportaan suuruisia (Nuutila ym. 2022; Kiviniemi 2007).

vVO_{2max} parantumista voi osittain selittää nopeiden ”sprintti” -harjoitusten tekeminen harjoitusintervention aikana. Tämän tyyppisillä harjoituksilla on vaikutusta voimantuottoominaisuuksiin, jotka puolestaan ovat yhteydessä maksimaaliseen suorituskykyyn (Mikkola, 2022). Toisaalta vVO_{2max} parantuminen selittyy myös sillä, että muutokset ovat suoraan yhteydessä muiden kestävyysuorituskykyyn vaikuttavien ominaisuuksien kehittymiseen (Keskinen ym. 2004, s.64–78).

Muutoksia pohdittaessa voi miettiä, onko testattavat saavuttaneet todellisen maksimaalisen tasonsa alkutestin aikana. Tarkasteltaessa alku- ja lopputestissä saavutettuja maksimaalisia sykkeitä, ei niissä kuitenkaan ole sen suuntaisia eroja, joka tukisivat sitä, etteivätkö tutkittavat olisi saavuttaneet omaa maksimaalisen suorituskyvyn tasoaan alkutestin yhteydessä verrattuna lopputestiin. Osalla jopa lopputestin maksimaalinen syke on jäänyt alhaisemmalle tasolle lopputestin yhteydessä, vaikka testiä on pystytty suorittamaan pidemmälle. Koska alhaisemman maksimaalisen sykkeen on havaittu olevan yksi yllirasitustilan oire (Uusitalo & Nummela, 2016, s. 625–639), voidaan jopa pohtia, ovatko tutkittavat olleet tarpeeksi palautuneita lopputestin yhteydessä ja olisivatko he voineet suoriutua siitä jopa paremmin palautuneena.

Laktaattikynnykset. Tutkimuksessa aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseen käytettiin laktaattiarvoja, joista molemmat kynnykset määritettiin tietylle syketasolle, vauhdille sekä prosentuaaliselle osuudelle maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tuloksissa huomioon otettiin kynnysvauhdit. Harjoitusintervention seurauksena sekä aerobinen kynnysvauhti että

anaerobinen kynnysvauhti paranivat harjoitusintervention myötä. Tutkittavista vain yhdellä aerobinen kynnysvauhti ei parantunut, kun taas anaerobinen kynnysvauhti joko parani tai pysyi samana kaikkien tutkittavien kohdalla.

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu tilastollisesti merkitsevää parannusta sekä aerobisessa, että anaerobisessa kynnystasoissa (Vesterinen ym. 2016; Vesterinen ym. 2011). Nuutila ym. 2022 tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä parannus vain anaerobisen kynnystason kohdalla, joskin myös aerobisessa kynnystasossa tapahtui pientä parannusta, muttei tilastollisesti merkitsevää (Nuutila ym. 2022). Näihin tutkimuksiin nähden, nyt havaitut muutokset olivat suuruudeltaan saman suuntaisia. Muutosten suuruus laktaattikynnysarvoissakin on käytännössä yksilölle merkittäviä.

Aerobisen kynnysvauhdin parantumisen voidaan ajatella olevan seurausta alle aerobisen kynnystason suoritettavasta peruskestävyysharjoittelumäärän kasvamisesta (Keskinen ym. 2004, s.64–78). Anaerobisen kynnysvauhdin parantuminen voi johtua myös niin peruskuntoharjoittelun, kuin alle anaerobista kynnystasoa alle olevien teoharjoituksen tuoman kehittymisen myötä. Tätä voidaan perustella sillä, että anaerobisen kynnysarvon on todettu kehittyvän suorittamalla kestävyysharjoittelua vauhtikestävyysalueella. (Hynynen, 2022, s.66–84) Kuten aiemmin jo tuotiin esille, harjoitusintervention aikainen vauhtikestävyysalueen harjoittelun määrä oli kuitenkin verrattain pientä ja epätasaisesti jakautunutta tutkittavien välillä, joten vauhtikestävyysharjoittelun osuus anaerobisen kynnysvauhdin kehityksestä jäänee epäselväksi. Toisaalta taas peruskuntoharjoittelun teho osoittautui ainakin vauhdillisesti olleen aerobisen kynnysvauhdin tasolla tai jopa sen yli, joten myös nämä harjoitukset ovat olleet osittain vauhtikestävyysharjoituksia (Hynynen, 2022, s.66–84). Tästä ei voida kuitenkaan täysin varmistua, sillä näistä harjoituksista ei ole tarkasteltu syketietoja, joka vahvistaisi tämän käsityksen.

Harjoitusmäärien kasvaminen on myös todennäköisesti parantanut tutkittavien juoksutekniikkaa, sillä vähän juoksuharjoittelua toteuttaneiden kohdalla on todettu juoksutekniikan parantumista jopa verrattain lyhyessäkin ajassa. Tällä voi myös olla vaikutusta siihen, että sekä aerobinen että anaerobinen kynnysvauhti on parantunut esimerkiksi juoksuasennon muutoksen myötä. Suurempi vaikutus juoksutekniikan parantumisella on kuitenkin todennäköisesti suorituksen taloudellisuuteen. (Moore ym. 2012)

Aerobista ja anaerobista kynnystä tarkasteltaessa on otettava huomioon se, että kynnysmäärittäisiin huomioitiin vain laktaattiarvot, eikä esimerkiksi hengityskaasumuuttujia. Tästä syystä on mahdollista, että kynnysmäärittäykset eivät ole täysin vertailukelpoisia testikertojen välillä, sillä on todettu, että laktaattitasoissa voi olla päivittäistä vaihtelua, joka mahdollisesti aiheuttaisi myös vääristymää kynnysmäärittäykseen (Kainlauri, 2019).

Juoksun taloudellisuus. Juoksun taloudellisuutta tarkasteltiin lopulta vain seitsemän henkilön tuloksista, sillä yhden tutkittavan kohdalla 10 km/h vauhti oli kovempi kuin hänen anaerobinen kynnysvauhtinsa, jolloin taloudellisuuden määrittäminen hapenkulutuksesta muuttuu epäluotettavammaksi, sillä ylitettäessä anaerobinen kynnys energiaa tuotetaan myös anaerobisesti eli ilman happea (Nummela, 2016b, s.128–139). Muiden tutkittavien kohdalla 10 km/h vauhti vastasi keskimäärin noin aerobista kynnysvauhtia. Harjoitusintervention myötä tutkittavien taloudellisuus juoksuvauhdilla 10 km/h heikentyi. Vain kahden tutkittavan kohdalla havaittiin taloudellisuuden parantumista.

Juoksun taloudellisuuden on todettu paranevan niillä juoksuvauhdilla, joilla eniten harjoitellaan (Jones & Carter, 2000; Keskinen ym. 2004, s.64–78). Harjoitusintervention aikana tutkittavat suorittivat suurimmaksi osaksi peruskestävyysharjoittelua, joskin kuten aiemmin mainittiin keskimäärin hieman liian kovalla juoksuvauhdilla aerobiseen kynnystasoon nähden. Näiden harjoitusten juoksuvauhti kuitenkin oli keskimäärin lähellä 10 km/h vauhtia, joten tutkittavat ovat kyllä harjoitelleet taloudellisuuden vertailuun valitulla vauhdilla.

Mooren ym. (2012) tutkimuksessa kymmenen viikon harjoittelulla havaittiin merkitsevä parannus juoksun taloudellisuudessa aloittelevien juoksijoiden kohdalla. Tulosta suurimmaksi osaksi todettiin selittävän suoritustekniikan, eli tässä tapauksessa juoksutekniikan paraneminen (Moore ym. 2012). Sykevälivaihteluun perustuvan harjoittelun osalta Vesterinen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä parannus juoksun taloudellisuudessa. Tutkimus oli jaettu kahteen 14 viikon osaan. Ensimmäisen 14 viikon perusharjoittelujakson seurauksena ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia juoksun taloudellisuudessa, joskin taloudellisuus oli hieman parantunut jo tässä vaiheessa. Suurimmat muutokset havaittiin kuitenkin 28 viikon harjoittelun jälkeen. (Vesterinen ym. 2011)

Aiemmin mainittuihin tutkimuksiin nähden tämän tutkimuksen päin vastaisia tuloksia voi osittain selittää se, että tutkimukseen osallistuneet henkilöt eivät olleet täysin aloittelijoita vaan

omasivat jo aiempaa juoksutaustaa. Näin ollen suoritustekniikan paraneminen ei välttämättä ole samalla tapaa mahdollista kuin aloittelijoiden kohdalla. Taloudellisuuden on myös havaittu vaihtelevan päiväkohtaisesti jopa 10 % verran (Nummela, 2016b), joten paremman kuvan kehityksestä voisi saada suorittamalla useampi testikerta, jolloin päiväkohtainen vaihtelu voitaisiin minimoida. On myös muistettava, että taloudellisuuden on raportoitu eroavan suurestikin juoksumatolla ja ulkona suoritettuna juoksun välillä, eikä testissä mitatut arvot välttämättä vastaa ulkona toteutettuna juoksun vastaavia (Keskinen ym. 2004, s.64–78). Kehityksen kannalta on myös mahdollista, ettei kymmenen viikon harjoitusjakso ollut tarpeeksi pitkä, jotta muutoksia havaittaisiin, vaan tarvittaisiin hieman pidempi harjoitusjakso, kuten Vesterinen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin.

Lopullisen otannan ulkopuolelle jääneisiin vertaaminen. Koska tutkimuksessa ei ollut mukana varsinaista kontrolliryhmää, haluttiin tutkimuksen tuloksia kuitenkin verrata lopullisen otannan ulkopuolelle jääneiden tutkittavien tuloksiin. Tällä tavalla pyrittiin hieman vertaamaan ja pohtimaan sitä, onko tarkasti DSW:n mukaisen harjoittelun noudattaminen tehokkaampaa kuin vähäisempi ja valikoivampi harjoittelu sekä onko täsmällinen DSW:n mukainen harjoittelu nyt havaittujen kestävyysominaisuuksien kehittymisen todellinen syy. Lopullisen aineiston ulkopuolelle jääneiden joukossa oli jonkin verran havaittavissa mm. sairasteluista johtuvia harjoitustaukoja. Myöskään kaikkien osalta ei ole täyttä kuvaa harjoittelusta harjoituspäiväkirjojen puuttumisen ja puutteellisen harjoituspäiväkirjojen täyttämisen takia, ja tästä syystä harjoittelua ja sen sisältöä ei ole raportoitu yhtä tarkasti kuin lopullisen otoksen tutkittavien kohdalla. Näistä syistä johtuen näiden kahden ryhmän keskinäinen vertailu on vaikeaa ja vain suuntaa antavaa.

Lopullisen otannan ulkopuolelle jääneiden tutkittavien maksimaalinen hapenottokyky kehittyi prosentuaalisesti enemmän niin absoluuttisen maksimaalisen hapenottokyvyn (2,9 % vs. 5,7 %) kuin myös kehonpainoon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn (5,3 % vs. 6,5 %) osalta kuin lopullisen otannan tutkittavilla. Muutokset kehonpainossa olivat molemmilla ryhmillä samankaltaisia. Laktaattikynnysten osalta aerobinen kynnys parani lopullisen otannan joukolla, kun taas ulkopuolelle jätetyillä ei havaittu kehitystä (3,4 % vs. 0 %). Anaerobisen kynnyksen kohdalla kehitys oli suurempaa lopullisen otannan ulkopuolisten kohdalla (6,1 % vs. 8,3 %). Taloudellisuus puolestaan heikkeni molemmissa joukoissa, joskin lopullisen otannan ulkopuolisilla prosentuaalisesti hieman enemmän (1,5 % vs. 2,1 %).

Näiden tulosten perusteella on havaittavissa, että vähemmän harjoitelleiden kohdalla kehitys oli suurempaa aiemmin mainittujen muuttujien kohdalla. Tämä voi johtua siitä, että DSW:n mukainen harjoittelu on ollut mahdollisesti määrällisesti liiallista, eikä palautuminen ole ollut tarpeeksi hyvää, jolloin harjoittelun kuormitus on kasvanut ja kehitys kärsinyt. On myös mahdollista, että lopullisen otannan ulkopuolelle jääneiden kohdalla on valikoitu itselle mieluisia harjoituksia ja suoritettu esimerkiksi suhteessa enemmän kovatehoista harjoittelua. Tästä ei kuitenkaan ole varmuutta puutteellisen harjoittelusta raportoinnin vuoksi. Myöskin se, että lopullisen otannan ulkopuolelle jääneillä oli havaittavissa pidempiä harjoitustaukoja eriyistä, on mielenkiintoista tulosten valossa. On myös mahdollista, että tämän joukon kohdalle on osunut vähäisemmän harjoitustaustan ja heikomman lähtötason omaavia, jolloin kehitys voisi olla lähtökohtaisesti helpommin saavutettavissa (Nummela, 2016a, s.272–283.). Toisaalta tutkimuksen kriteerit tutkittavien mukaan otossa ei mahdollista kovin suuria eroja lähtötasossa.

Tutkimuksen rajoitteet. Tutkimuksen lopullinen otos jäi verrattain pieneksi. Tutkimuksen aloitti 18 henkilöä, mutta lopullisen otoksen kriteerit täyttivät vain alle puolet aloittaneista (n=8). Suurempi otoskoko voisi parantaa tutkimuksen luotettavuutta ja mahdollisesti saada aikaan tilastollisesti merkitseviä eroja. Pienen osallistujajoukon takia tutkimus myös päätettiin toteuttaa ilman kontrolliryhmää. Kontrolliryhmän lisääminen tutkimukseen olisi myös parantanut tutkimuksen laatua merkittävästi. Kontrolliryhmän puuttumisen vuoksi, ei myöskään voida todeta varmaksi, että tutkittavien kehittyminen johtui juuri DSW:n mukaisen harjoittelun myötä, vaan lopullinen syy kestävyysominaisuuksien kehittymiseen jää hieman epäselväksi. Ilman kontrolliryhmää suoritettujen tutkimusten myötä pohdinnan haasteena oli tämän tutkimuksen tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin, sillä samankaltaisia tutkimuksia, joihin nyt saatuja tuloksia verrattaisiin, ei juurikaan ole tehty aiemmin.

Tutkimus suoritettiin koronaviruspandemian aikana vuonna 2022, joka aiheutti myös ongelmia tämän tutkimuksen kohdalla. Tämä saattoi vaikuttaa tutkittavien rekrytointiin ja innokkuuteen osallistua tutkimukseen. Harjoitusintervention aikana osa tutkittavista kärsi myös sairasteluista, jonka seurauksena monen harjoitusmäärät jäivät toivottua vähäisemmiksi. Harjoitteluinterventio sijoittui kevät- ja kesäaikaan (maaliskuu-kesäkuu), jolloin olosuhteet harjoitteluun paranivat intervention edessä. Harjoitteluintervention alussa on saattanut olla vielä huonot olosuhteet (esimerkiksi luminen tai jäinen alusta) harjoitteluun, mutta olosuhteet ovat parantuneet nopeasti intervention edessä. Ajankohta on voinut olla myös osittain yleisesti liikkumiseen motivoiva tekijä, mutta tämän merkitystä ei ole selvitetty.

Yhtenä rajoitteena voidaan myös pitää harjoittelun omatoimisuutta ja sitä, ettei harjoittelun etenemistä ja toteumaa seurattu missään vaiheessa harjoitusinterventiota. Näin ollen ei oltu täysin tilanteen tasalla siitä, minkä verran tutkittavat ovat harjoitelleet tai jättäneet harjoituksia väliin. Seurannan avulla olisi voitu mahdollisesti nostaa lopullisen otannan kokoa esimerkiksi pidentämällä interventiota sairasteluista kärsineiden kohdalla.

Johtopäätökset ja käytännön sovellukset. Tutkimuksen mukaan Daily Suggested Workout (DSW) -harjoitusohjelma-algoritmin mukainen harjoittelu näyttää keskimäärin parantavan käyttäjänsä kestävyysuorituskykyä. Vaikka nyt saadut tulokset eivät olekaan tilastollisesti merkitseviä, havaittiin silti selvää parannusta niin maksimaalisessa suorituskyvyssä kuin myös submaksimaalisessa suorituskyvyssä, joka voi kuitenkin olla yksilölle merkittävä parannus kestävyysuorituskyvyssä. Kontrolliryhmän puutteen vuoksi ei voida kuitenkaan varmistua siitä, onko DSW mukainen harjoittelu parempi kuin jokin toinen harjoittelutapa.

DSW:n tavoitteena on kehittää käyttäjänsä aerobista kuntoa (Garmin, ei pvm.). Tämän tutkimuksen mukaan voidaan todeta, että DSW toimii tähän tavoitteeseen nähden. Tämän kaltainen helposti saavutettava harjoitusohjelma myös varmasti toimii eräänlaisena kannustimena juoksuharrastuksen aloittamisessa tai sen jatkamisessa. Vaikka kokemuksia DSW:n mukaisesta harjoittelusta ei varsinaisesti kerätty tässä tutkimuksessa, ilmaisi useampi tutkittava, että DSW:n mukainen harjoittelu koettiin mielekkääksi, helpoksi ja kannustavaksi ajatellen omaa juoksuharrastusta.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista toteuttaa tutkimus suuremmalla joukolla sekä kontrolliryhmän kanssa. Suurempi tutkimusjoukko antaisi luotettavamman kuvan tuloksista sekä mahdollisesti tilastollisesti merkitseviä eroja. Harjoitteluintervention aikana tulisi myös seurata paremmin tutkittavien harjoittelua. Varsinaisen kontrolliryhmän mukaan ottamalla voitaisiin myös varmistua siitä, että kestävyysominaisuuksien paraneminen on varmasti juuri DSW:n mukaisen harjoittelun seurausta. Nyt kestävyysominaisuuksien kehittymisen todellinen syy jää hieman epäselväksi. Tämä tutkimus toteutettiin jokaisen harjoituksen osalta vauhtiohjatusti. Olisi mielenkiintoista toteuttaa tutkimus myös käyttäjän sykkeisiin perustuvan ohjauksen mukaan joko kaikkien harjoitusten osalta tai hyödyntäen molempia tapoja.

LÄHTEET

- 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.
- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A. & Joyner, M. J. (2013) VO₂max Trainability and High Intensity Interval Training in Humans: A Meta-Analysis. *PLoS ONE* 8(9).
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine-open*. Julkaistu ennakkoon verkossa. doi: [10.1186/s40798-015-0007-y](https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y)
- 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. & Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. / Facteurs limitants de la consommation maximale d'oxygene et determinants de la performance d'endurance. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 32(1), 70–84.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P. & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state. *Sports Medicine* 33(6), 407–426.
- Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P. & Koralsztein, J. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 188–196.
- 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.
- Bompa, T.O. & Buzzichelli, C.A. (2019). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Human Kinetics, Illinois, USA.
- Budgett, R. (1990). Overtraining syndrome. *Journal of Sports Medicine*, 24(4), 231–236
- Convertino V. A. (2007). Blood volume response to physical activity and inactivity. *The American journal of the medical sciences*, 334(1), 72–79.
- 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.

- Eklund, D., Pulverenti, T., Bankers, S., Avela, J., Newton, R.U., Schumann, M. & Häkkinen, K. (2015) Neuromuscular adaptations to different modes of combined strength and endurance training. *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 120–129.
- 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 and science in sports and exercise*, 37(3), 496–504.
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts: How Valid are They?. *Sports Medicine*, 39(6), 469–490.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S. & Pedersen, P. K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(8), 1250–1256.
- Fry, R. W., Morton, A. R. & Keast, D. (2012). Overtraining in athletes: An Update. *Sports Medicine*, 12, 32–65.
- Garmin. (2020). Introducing Garmin’s Daily Workout Suggestions for Runners. Luettu 12.11.2022. <https://www.garmin.com/en-US/blog/fitness/daily-workout-suggestions-for-runners/>.
- Garmin. Daily Suggested Workouts Feature. Luettu 12.11.2022. <https://www.garmin.com/en-US/garmin-technology/running-science/physiological-measurements/daily-suggested-workouts-feature/>.
- Gillen, C. M., Lee, R., Mack, G. W., Tomaselli, C. M., Nishiyasu, T., & Nadel, E. R. (1991). Plasma volume expansion in humans after a single intense exercise protocol. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 71(5), 1914–1920.
- Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, A., Huber, G., Friedmann, B., & Schmidt, W. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *International journal of sports medicine*, 22(7), 504–512.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, 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.
- Hoier, B. & Hellsten, Y. (2014). Exercise-induced capillary growth in human skeletal muscle and the dynamics of VEGF. *Microcirculation*, 21(4), 301–314.
- Hoier, B., Passos, M., Bangsbo, J. & Hellsten, Y. (2012). Intense intermittent exercise provides weak stimulus for vascular endothelial growth factor secretion and capillary growth in skeletal muscle. *Experimental Physiology*, 98(2), 585–597.
- Hooper, S. L., MacKinnon, L. T., & Hanrahan, S. (1997). Mood states as an indication of staleness and recovery. *International Journal of Sport Psychology*, 28(1), 1–12.

- Hynynen E., Vesterinen V., Rusko H. & Nummela A. (2010). Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV. *Sports Medicine*. 31(6), 428-432
- Hynynen, E. (2016). Hengitys- ja verenkiertoelimistö. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy. 117 – 128.
- Hynynen, E. (2022). Kestävyysharjoittelu. Teoksessa *Kestävyysharjoittelu, tutkitulla tiedolla tuloksiin*. Lahti: VK-Kustannus OY. 66 – 84.
- Ingjer, F. (1979). Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *The Journal of Physiology*, 294(1), 419–432.
- Jarstad, E. & Mamen, A. (2019). The performance and aerobic endurance effects of high-intensity versus moderate-intensity continuous running. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 44(9), 990–996
- Jensen, L., Bangsbo, J. & Hellsten, Y. (2004). Effect of high intensity training on capillarization and presence of angiogenic factors in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 557(2), 571–582.
- Jones, A. M. (2006). Middle and long distance running. *Sport and exercise physiology testing guidelines*, 1, 147–154.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine*, 29(6), 373–386.
- Jones, A. M., Kirby, B. S., Clark, I. E., Rice, H. M., Fulkerson, E., Wylie, L. J., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A. & Wilkins, B. W. (2021). Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. *Journal of Applied Physiology*. Julkaistu verkossa. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00647.2020>
- Joyner, M. & Coyle, E. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology* 586(1), 35–44.
- Kaikkonen, P., Nummela, A., & Rusko, H. (2007). Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *European journal of applied physiology*, 102(1), 79–86.
- Kainlauri, V. (2019). Sykkeen, veren laktaattipitoisuuden ja hengitysmuuttujien toistettavuus anaerobisella kynnyksellä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntatieteellinen tiedekunta. Pro gradu - tutkielma. Viitattu 20.2.2023.
- Karsten, B., Stevens, L., Colpus, M., Larumbe-Zabala, E. & Naclerio, F. (2016). The effects of sport-specific maximal strength and conditioning training on critical velocity, anaerobic running

- distance, and 5-km race performance. *International journal of sports physiology and performance*, 11(1), 80–5.
- Kenttä, G. & Hassmén, P. (1998). Overtraining and Recovery A Conceptual Model. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 1–16.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (2004). Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 156. Tammer-Paino oy, Tampere, Suomi.
- Kingsley, J. D., & Figueroa, A. (2016). Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(3), 179–187. <https://doi.org/10.1111/cpf.12223>
- 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.
- Klausen, K., Andersen, L.B. & Pelle, I. (1981). Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 113(1), 9–16.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
- Marion, A. (1995). Overtraining and sport performance. *Coaches Report*, 2, 12-19.
- 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. (2010). *Exercise Physiology. Nutrition, energy and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.
- 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. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(5), 171.
- Moore, I. S., Jones, A. M. & Dixon, S. J. (2012). Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(9), 1756–1763.
- 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.

- Nummela, A. (2016a) Kestävyysharjoittelu. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannus Oy. 272–283.
- Nummela, A. (2016b) Energia-aineenvaihdunta. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannus Oy. 128 – 139.
- Nummela, A., Keränen, T., Tummavuori, M., Soanjärvi, M., Mikkelsen, L., Kähäri, P., Ekblom, T., Linja, T., Väisänen, K., Haverinen, M., Vääntinen, S., Salonen, M., Ojanen, T., & Russo, E., (2007). Kolmen eri kestävyyslajin urheilijoiden kestävyysuorituskyky ja sen kehittyminen. KIHUn julkaisusarja nro 10. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU.
- Nuuttila, O. P., Nummela, A., Korhonen, E., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2022). Individualized Endurance Training Based on Recovery and Training Status in Recreational Runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 54(10), 1690–1701.
- O'Connor, P. J. (1998). Overtraining and staleness. In Morgan W.P (Ed.). *Physical activity and mental health*. Taylor & Francis, 145–160.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. (1999). Explosivestrength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86(5), 1527–1533.
- Pugh L. G. (1969). Blood volume changes in outdoor exercise of 8-10 hour duration. *The Journal of physiology*, 200(2), 345–351.
- 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.
- Schumann, M., Botella, J., Karavirta, L., & Häkkinen, K. (2017). Training-Load-Guided vs Standardized Endurance Training in Recreational Runners. *International journal of sports physiology and performance*, 12(3), 295–303.
- Schumann, M., Walker, S., Izquierdo, M., Newton, R., Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. (2014). The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: Effects of prolonged training. *European Journal of Applied Physiology*, 114(4), 867–880.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276– 291.
- Seiler, S. (2012). Training intensity distribution. Teoksessa Mujika, I. *Endurance training: science and practice*. Vitoria-Gasteiz, Basque Country, Spain. 29–41.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J.P., (2017). An Overview of Heart Rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*, 5, 258.

- 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), 341–352.
- Støren, O., Helgerud, J., Saebo, M., Stoa, E.M., Bratland-Sanda, S., Unhjem, R.J., Hoff, J. & Wang, E. (2017). The Effect of Age on the VO₂max Response to High-Intensity Interval Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(1), 78–85.
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E.M. & Hoff, J. (2008). Maximal Strength Training Improves Running Economy in Distance Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1087-92.
- Svedahl, K., & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology* 28(2), 299–323.
- 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(5). 1043–1065.
- Taylor, S. R., Rogers, G. G. & Driver, H. S., (1997). Effects of training volume on sleep, psychological, and selected physiological profiles of elite female swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 688–693.
- Tønnessen, E., Sylta, Ø., 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).
- 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.
- Uusitalo, A. & Nummela, A. (2016). Urheilijan ylikuormitustila. Teoksessa Huippu-urheiluvalmennus. Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. VK Kustannus OY. 625–639.
- 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., 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*, 48(7), 1347–1354.

LIITE 1. Tutkimuksen aikainen Excel-pohjainen harjoituspäiväkirjapohja.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		HARJOITUSPÄIVÄKIRJA									
2											
3		ID: XXXX									
4											
5		Lyhyet ohjeet harjoituspäiväkirjan täyttämiseen (tarkemmat ohjeet täyttämiseen "ohjeet" -välilehdellä):									
6		- Täytä harjoituspäiväkirjaan kaikki harjoitukset jotka tutkimusjakson aikana teet									
7		- Jos suoritat päivän aikana useamman harjoituksen, merkitse ne kokonaan eri riveille.									
8		- Jos päivääsi ei sisältynyt harjoitusta, merkitse harjoituksen kuvaukseen: LEPO									
9		- Jos sairastut tai olet loukkaantuneena, merkitse harjoituksen kuvaukseen: S									
10											
11											
12		ESIMERKKI									
13		Päivämäärä	Ehdotettu harjoitus	Laji	Alusta	Harjoitusintensiteetti	Harjoituksen kuvaus	Kesto (h:min -> 0:00)	Matka (km)	RPE (1-10)	
14		1.1.2022		juoksu	tie	Peruskestävyys (PK)	Pitkä PK-juoksu, ylämäet rauhassa kävelleen.	1:30	20	3	
15		2.1.2022					LEPO				
16		3.1.2022		juoksu	polku	Vauhtikestävyys (VK)	Verryttelyt + 5 x 1000m 2 min palautuksella juoksuvedot.	1:05	12	7	
17		3.1.2022	kehonpainoharjoitus				Keskivartalon voimaa			2	
18		4.1.2022					S				
19											
20											
21		Harjoituspäiväkirja		os sarakkeet loppuvat, jatka taulukkoa alapuolelle							
22		Päivämäärä	Ehdotettu harjoitus	Laji	Alusta	Harjoitusintensiteetti	Harjoituksen kuvaus	Kesto (h:min -> 0:00)	Matka (km)	RPE (1-10)	
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											