HYPEROKSIAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET KESTÄVYYSJUOKSUSUORITUKSEEN

Otto Loukkalahti

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2020
Työnohjaajat: Juha Ahtiainen, Esa Hynynen ja Ari Nummela

TIIVISTELMÄ

Loukkalahti, O. 2020. Hyperoksiaharjoittelun vaikutukset kestävyysjuoksusuoritukseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 61 s., 6 liitettä.

Johdanto. Hyperoksialla tarkoitetaan ilmaa, jossa hapen osuus (F_IO_2) on suurempi kuin merenpinnan tasolla olevan normoksisen ilman. Hyperoksian hyödyntäminen urheilukentillä on tuttua vuoristoharjoittelusta. Hyperoksisen ilman akuuteista suorituskykyä parantavista vaikutuksista on runsaasti tutkimusnäyttöä. Hyperoksiaharjoittelun pitkäaikaisista vaikutuksista suorituskykyyn ei kuitenkaan ole paljon näyttöä ja tulokset ovat olleet ristiriitaisia.
Menetelmät. Tutkimukseen osallistui 12 (7 miestä ja 5 naista) kestävyysjuoksijaa. Iältään miehet olivat 24,4 ± 4,3 ja naiset 32,1 ± 12,1 vuotta. Pituus oli miehillä 184,0 ± 6,0 ja naisilla 166,5 ± 5,0 cm. Painoa miehillä oli 72,0 ± 4,6 ja naisilla 52,4 ± 4,5 kg. Tutkittavilla oli kilpakestävyysjuoksutaustaa ja tutkittavien keskuudessa oli kansallisen kärkitason juoksijoita. Tutkimukseen sisältyi lähtö-, päättö- ja välitestit sisältäen 3000 m aikakokeen (TT), sekä maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) testin, missä määritettiin maksimaalinen ja anaerobista kynnystä (vAnK) vastaava nopeus, sydämen syke (HR), hapenkulutus ja veren laktaattipitoisuus (Lac). Kynnysten määrittäminen perustui KLab-ohjelmaan. Testien välisenä aikana tutkittavat harjoittelivat kolmen viikon ajan kaksi ohjattua harjoitusta juoksumatolla viikoittain joko normoksiassa (NO) (F_IO_2 = 0,21) tai hyperoksiassa (HO) (F_IO_2 = 0,30). Muutoin tutkittavat toteuttivat omatoimista harjoittelua. Harjoitukset olivat 2 x 15 min ja 6 x 3 min intervallit. 2 x 15 min harjoitus aloitettiin 90 % vAnK ja suurimmillaan harjoituksen nopeus saatettiin nostaa vAnK. 6 x 3 min harjoitus aloitettiin nopeudella vAnK ja harjoituksen nopeutta voitiin nostaa vAnK + 0,5 x (V_{max} - vAnK). Välitestien jälkeen tutkittavat vaihtoivat harjoitusmenetelmää. Lisäksi tutkittiin NO- ja HO-harjoittelun eroja akuuteissa vasteissa mittaamalla sykettä, laktaattia, veren happisaturaatiota (SpO_2%) ja koettua rasitusta (RPE).
Tulokset. TT parani tutkimuksen edetessä, mutta NO- ja HO-harjoittelun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p = 0,086$). NO-harjoittelua ennen TT oli 612,3 ± 59,6 ja NO-harjoittelun päättyessä 611,4 ± 57,5 s ($p = 0,552$). HO-harjoittelu johti TT:n paranemiseen. Ennen harjoittelua tulos oli 614,5 ± 57,6 ja jälkeen 608,8 ± 59,1 s ($p = 0,013$). NO- tai HO-harjoittelun myötä VO_{2max} ei muuttunut ($p > 0,05$). NO- ja HO-harjoittelujen välillä ei ollut eroja mattotestissä saavutettuun maksimivauhtiin (V_{max}) ($p > 0,05$), vAnK:iin ($p > 0,05$), eikä juoksun taloudellisuuteen (RE) ($p > 0,05$). Menetelmien väliset akuutit vasteet erosivat siten, että Lac pysyi HO-harjoituksissa matalampana ja SpO_2% korkeampana NO-harjoitteluun nähden. Sykkeissä tai koetussa rasituksessa ei ollut eroja menetelmien välillä.
Pohdinta ja johtopäätökset. Tässä tutkimuksessa osoitettiin, että HO vaikuttaa positiivisesti Lac ja SpO_2% tuloksiin. HO:n käytön on aiemmin todettu parantavan kestävyyssuorituskykyä. Tässä tutkimuksessa HO- ja NO-harjoittelun välillä ei ollut eroja kestävyysjuoksijoiden suorituskyvyn kehittymiseen. Tutkimusryhmä epäilee, että menetelmien välille ei syntynyt eroja siksi, että HO-harjoituksissa tutkittavat eivät juosseet kovempaa kuin NO-harjoituksissa, vaikka suorituskyky paranee akuutisti hyperoksiassa. Näin ollen mahdollinen HO-harjoittelun potentiaali jäi hyödyntämättä.

Avainsanat: hyperoksia, normoksia, kestävyysjuoksu, maksimaalinen hapenottokyky, veren laktaattipitoisuus, veren happisaturaatio

ABSTRACT

Loukkalahti, O. 2020. Impact of training in hyperoxia to distance running performance. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 61 pp., 6 appendices.

Introduction. Hyperoxia refers to air in which fraction of oxygen (F_IO_2) is higher than normoxic air at sea level. Hyperoxia has been used in altitude training. According to many studies, there are several benefits in utilizing hyperoxia in terms of performance. Long-term adaptations of training in hyperoxia are not well understood and results from the previous studies are in contradiction with each other.
Methods. Twelve subjects (7 male and 5 female) with competitive distance running background were involved. Male subjects were 24.4 ± 4.3 and female subjects 32.1 ± 12.1 years old. The height of male subjects was 184.0 ± 5.8 and the height of female subjects was 166.6 ± 5.1 cm. The weight of male subjects was 72.0 ± 4.6 and 52.4 ± 4.5 kg for the female subjects. Subjects had competitive distance running background including subjects competing on national elite level. The study included pre, mid- and post-tests including 3000 m time trial (TT) and maximal oxygen uptake (VO_{2max}) test on a treadmill. In the tests speed, heart rate (HR), oxygen uptake, and blood lactate values (Lac) were determined corresponding to the maximum, thresholds and each stage values. Threshold determination was based on KLab program. Between tests subjects trained twice a week for three weeks on a treadmill either in normoxia (NO) (F_IO_2 = 0.21) or hyperoxia (HO) (F_IO_2 = 0.30). Otherwise, subjects followed their own training schedule. Exercises were 2 x 15 min and 6 x 3 min intervals. 2 x 15 min training was started at 90 % vAT and vAT was the upper limit of intensity. 6 x 3 min was started at vAT and the upper limit of intensity was vAT + 0.5 x (V_{max} - vAT). After the mid-tests subjects changed the training method. Besides, acute responses of NO and HO training were studied measuring HR, Lac, blood oxygen saturation (SpO_2%) and rating of perceived exertion (RPE).
Results. TT improved during the study but there was no difference between NO and HO training ($p = 0.086$). Before NO training TT was 612.3 ± 59.6 and after NO training 611.4 ± 57.5 sec ($p = 0.552$). HO training led to improvement of TT. TT was 614.5 ± 57.6 before and 608.8 ± 59.1 sec ($p = 0.013$) after HO training. NO nor HO training did not lead to improvement in VO_{2max} ($p > 0.05$). NO and HO training did not differ in treadmill results (V_{max}) ($p > 0.05$), vAT ($p > 0.05$), nor running economy (RE) ($p > 0.05$). Acute responses between methods differed so that Lac was lower in HO trainings and SpO_2% higher when comparing NO trainings. There were no differences in HR nor RPE between methods.
Discussion and conclusion. In this study, it was shown that HO decreased lactate metabolism and increased SpO_2% when comparing to NO. Using HO is reported to enhance performance according to previous studies. Well-planned HO training design could help to improve performance when comparing to NO training. Although HO acutely improves performance, HO did not lead to greater training adaptations than NO in competitive distance runners in this study. The research group believes that this could be explained by similar training speeds in control trainings, hence the potential of HO training was missed.

Keywords: hyperoxia, normoxia, distance running, maximal oxygen uptake, blood lactate, blood oxygen saturation

KÄYTETYT LYHENTEET

AeK	Aerobinen kynnys
AnK	Anaerobinen kynnys
CaO_2	Arterial oxygen content, valtimon happikylläisyys
EIAH	Exercise induced arterial hypoxemia, harjoittelun aiheuttama valtimon happivaje
F_IO_2	Fraction of inspired oxygen, hapen osuus sisäänhengitysilmasta
Hb	Hemoglobiini
HR	Sydämen syke
KH	Keskihajonta. Laskettu kaavalla: $KH = \sqrt{\frac{\Sigma(\chi 1-\chi 2)^2}{2n}}$
KIHU	Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus
Lac	Blood lactate concentration, veren laktaattipitoisuus
PaO_2	Arterial oxygen pressure, valtimon happipaine
RPE	Rating of perceived exertion, koettu rasittavuuden tila
SaO_2	Arterial oxygen saturation, veren happisaturaatio
SpO_2%	Arterial hemoglobin oxygen saturation (measured with pulse oximeter), valtimoveren happisaturaatio (pulssioksimetrillä mitattu)
TMR	Treadmill running, juoksumattojuoksu
TT	Time trial, aika-ajo
VO_{2max}	Maksimaalinen hapenottokyky. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa
vVO_{2max}	Maksimaalista hapenottokykyä vastaava vauhti
V_{max}	Mattotestissä saavutettu maksimivauhti

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ
1 JOHDANTO 1
2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY 3
2.1 Kestävyyssuorituskyvyn määritelmä 3
2.2 Maksimaalinen hapenottokyky 4
2.3 Suorituksen taloudellisuus 5
2.4 Kestävyysominaisuuksien testaaminen 6
3 VEREN HAPPIKYLLÄISYYS JA SEN MERKITYS KESTÄVYYSURHEILUSSA 9
3.1 Veren happikylläisyyden määritelmä 9
3.2 Veren happikylläisyyden mittaaminen 9
3.3 Veren happikylläisyyden vaikutukset suorituskykyyn 10
4 HYPEROKSIAHARJOITTELU 13
4.1 Käytännön sovellukset 13
4.2 Vaikutukset suorituskykyyn akuutisti 14
4.3 Hyperoksisen palautuksen vaikutukset 16
4.4 Krooniset vaikutukset 17
4.5 Hyperoksiaharjoittelun eettisyys 19
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT 20
6 MENETELMÄT 22
6.1 Tutkittavat 22
6.2 Koeasetelma 23
6.3 Aineiston keräys ja analysointi 24
6.4 Tilastolliset menetelmät 29
6.5 Tutkimuksen aikainen harjoittelun kokonaismäärä 29
7 TULOKSET 31
7.1 Harjoitusten akuutit vasteet 31
7.1.1 Veren laktaattipitoisuus 31
7.1.2 Syke 32
7.1.3 Veren happisaturaatio 34
7.1.4 Koettu rasituksen tuntemus 35
7.2 Harjoitusvaikutukset 37
7.2.1 3000 m tulos 37
7.2.2 Maksimihapenotto 38
7.2.3 Mattotestin maksimivauhti 39

7.2.4 Vauhti anaerobisella kynnyksellä 40
7.2.5 Juoksun taloudellisuus 41
8 POHDINTA 43
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET 47
LÄHTEET 49

1 JOHDANTO

Valtimoveren hypoksemia, eli veren happikylläisyyden lasku, saattaa olla suorituskykyä heikentävä tekijä intensiivisen urheilusuorituksen aikana. Hyperoksisen ilman hengittäminen suorituksen aikana ehkäisee veren happikylläisyyden laskua, minkä takia hyperoksia parantaa akuutisti suorituskykyä. Hyperoksiaa on käytetty myös pitkäaikaisena harjoitusärsykkeenä tai palautumisen edistämiseksi intervalliharjoittelun lepohetkien aikana. Pitkäaikaisen hyperoksiaharjoittelun hyödyt ovat edelleenkin epäselvät johtuen metodologisista eroavaisuuksista eri tutkimuksissa esim. hengitetyn lisähapen osuudessa (F_IO_2) ilmasta, harjoittelun muodossa, harjoitusintervention kestossa tai palautumisprotokollissa. (Sperlich ym. 2016; Mallette ym. 2017; Cardinale & Ekblom 2018.)

Useammissa tutkimuksissa on todettu hyperoksian parantavan suorituskykyä akuutisti yli 3 min mittaisissa suorituksissa (Welch 1982; Peltonen ym. 1995; Peltonen ym. 1997; Prieur ym. 2002; Tucker ym. 2007; Ohya ym 2016). Hyperoksian vaikutuksia suoritukseen on seurattu mm. aika-ajokokeissa (TT, time trial), uupumukseen asti jatkettavissa suorituksissa (TTE, time to exhaustion), kiihtyvissä kestävyystesteissä (GXT, graded exercise tests) ja dynaamisissa lihastesteissä. Lisäksi hyperoksian vaikutusta palautumiseen sarjojen välillä on tutkittu (Sperlich ym. 2016; Mallette ym. 2017).

Hyperoksisen ilman hengittämisen on todettu vähentävän veren happisaturaation (SaO_2) laskua intensiivisen intervallisuorituksen aikana (Nummela ym. 2002; Peltonen 2002; Peeling & Andersson 2011; Sperlich ym. 2011; Kilding ym. 2012; Ohya ym. 2016). On myös hyvin dokumentoitu, että hyperoksisen kaasun hengittäminen rasituksen aikana mahdollistaa korkeamman suoritustehon samalla syketasolla (HR), sekä koetulla rasituksen tasolla (RPE) normoksisiin olosuhteisiin verrattuna (Peltonen 2002; Perry ym. 2005; Perry ym. 2007; Kilding ym. 2012).

Hyperoksisen kaasun hengittämisen vaikutuksista palautumiseen on ristiriitaisia tuloksia (Sperlich ym. 2016; Mallette ym. 2017). Suorituskyky parani uimareilla maksimaalisissa uintipenkkivedoissa 6 min mittaisen hyperoksisen palautuksen myötä (Sperlich ym. 2011), mutta ei 2 min mittaisen hyperoksisen palautuksen myötä 6 x 3 min mittaisessa

melontaergometrirasituksessa (Peeling ym. 2011), eikä 3 x 3 min mittaisessa maksimaalisessa tasatyöntöergometritestissä 3 min palautuksella (Hauser ym. 2014).

Korkeatehoisessa intervalliharjoituksessa tai yhtämittaisessa rasituksessa SaO_2 tapaa laskea (Dempsey & Wagner 1999; Peltonen ym. 1999; Nummela ym. 2002). Nummelan ym. (2002) mukaan korkeaintensiteettisessä rasituksessa SaO_2 saattaa laskea 95,0 %:sta aina 88,7 %:iin. Ilmiö tunnetaan nimellä EIH (exercise induced hypoxemia) tai EIAH (exercise induced arterial hypoxemia) ja se ilmenee Powersin ym. (1988) mukaan n. 50 % urheilijoista. SaO_2 laskulla on negatiivisia vaikutuksia elimistön O_2 kuljetukseen ja välittämiseen. (Harms ym. 2000; Ohya ym. 2016). EIH vaikuttaa siihen, että työskentelevillä lihaksilla on vähemmän happea käytössä korkeaintensiivisen tai maksimaalisen rasituksen aikana, millä saattaa olla ratkaisevia vaikutuksia urheilijan suorituskykyyn (Ohya ym. 2016).

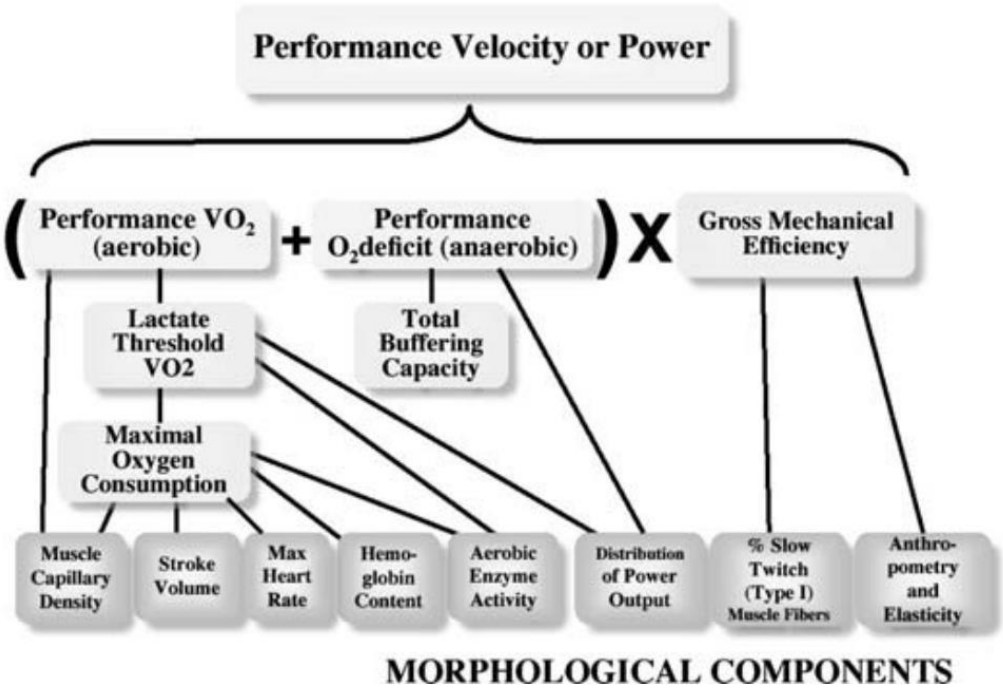
Hyperoksiaharjoittelun pitkäaikaisista harjoitusadaptaatioista on vähän tutkimusnäyttöä. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että normoksiaharjoittelu saattaa olla pidemmällä aikavälillä kannattavampaa kuin hyperoksiaharjoittelu. Tämä saattaa johtua normoksiaharjoitusten aiheuttamasta suuremmasta metabolisesta stressistä. (Sperlich ym. 2016; Mallette ym. 2017.) Toisaalta monet hyperoksiatutkimuksista on teetetty ei-kilpaurheilijoilla sekä toteutetuissa harjoitteluinterventioissa on ollut eroavaisuuksia.

Tämä tutkielma tehtiin yhteistyössä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen ja Jyväskylän yliopiston kanssa. Tutkimuksessa vertailtiin hyperoksiaharjoittelun ja normoksiaharjoittelun eroja kestävyysjuoksusuoritukseen ja sen osatekijöihin. Lisäksi tutkittiin hyperoksia- ja normoksiaharjoittelun aikaisia akuutteja vasteita, jotka selittävät mahdollisia eroja kroonisissa vasteissa.

2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

2.1 Kestävyyssuorituskyvyn määritelmä

Kestävyyssuoritukset perustuvat aerobiseen energiantuottoon. Tämän vuoksi maksimaalinen aerobinen energiantuottokyky eli maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) on tärkeä ominaisuus kestävyyslajeissa (Joyner & Coyle 2008; Nummela 2016, 272.). Maksimaaliseen kestävyyssuorituskykyyn vaikuttaa useita tekijöitä maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi. Muita tärkeitä tekijöitä ovat aerobinen ja anaerobinen kynnystaso, suorituksen taloudellisuus sekä hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyisyys. Suorituksen kesto, intensiteetti ja laji vaikuttavat siihen, mitkä tekijät painottuvat ja kuinka suuresti. Kuten kuvasta 1 on todettavissa, taustatekijöinä kaikille kestävyyslajeille ovat maksimaalinen hapenottokyky, laktaattikynnys ja suorituksen taloudellisuus. (Joyner & Coyle 2008).



KUVA 1. Kestävyyssuorituskyvyn osatekijät (Joyner & Coyle 2008).

Kestävyyden merkitys korostuu lajeissa, jotka kestävät yli 2 min. Juoksussa tämä tarkoittaa 800 metriä pidempiä matkoja. Kestävyyssuorituskykyä selittäviä tekijöitä ovat maksimaalinen aerobinen teho, suorituksen suhteellinen teho, suorituksen taloudellisuus ja hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokyky. Vaikka energiaa voidaan tuottaa maksimaalisella

aerobisella teholla vain noin 10 minuutin ajan, vaikuttaa VO_{2max} pitkäaikaiseen kestävyyteen asettamalla aerobiselle energiantuotolle ylärajan. (Nummela 2016, 272.)

Kestävyysurheilusuoritukset perustuvat pitkälti korkeaan aerobiseen kapasiteettiin, johon vaikuttavat sydämen minuuttitilavuus sekä hapen sitoutumiskyky. Aerobinen suorituskyky vaikuttaisi olevan merkittävästi riippuvainen valtimoveren happikonsentraation (CaO_2) muutoksista sekä hapen kuljettamisesta. Suorituskykyyn vaikuttavat myös aineenvaihdunnalliset tekijät, hermo-lihasjärjestelmän toiminta, motivaatio, ympäristön vaikutukset, sekä useat muut tekijät. (Abbiss ym. 2005; Dempsey ym. 2008.)

2.2 Maksimaalinen hapenottokyky

VO_{2max} kuvastaa niin sanottua maksimaalista aerobista ATP:n resynteesitasoa, eli tasoa jolla adenosiinitrifosfaattia voidaan muodostaa hapen avulla (Katch ym. 2011, 192). Maksimaalinen hapenottokyky on määritelty suurimmaksi hapenkulutukseksi, joka saavutetaan suurien lihasryhmien työskennellessä progressiivisesti nousevassa, uupumukseen asti suoritettavassa kuormituksessa. Tästä on johdettu useita erilaisia muuttujia ja kynnysarvoja, joiden käyttö on tavanomaista kestävyysvalmennuksessa. Maksimaalisen suorituskyvyn kannalta yhtenä tärkeimpänä tekijänä pidetään anaerobista kynnystä (AnK). Suuren aerobisen kapasiteetin on osoitettu vähentävän anaerobisen työn osuutta ja näin viivästyttävän myöhempää uupumusta. (Joyner & Coyle 2008.)

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät voidaan karkeasti ottaen jakaa sentraalisiin sekä perifeerisiin tekijöihin. Sentraalisilla tekijöillä tarkoitetaan hapenkuljetusta keuhkoista lihaksiin. Perifeerisillä tekijöillä taas viitataan hapen hyödyntämiskykyyn lihaksessa. Edelleen on jokseenkin epäselvää rajoittavatko maksimaalista hapenottokykyä merkittävämmin sentraaliset vai perifeeriset tekijät. (Basset & Hawley 2000.)

Lihasten kyky käyttää happea energiantuotossa vaikuttaa hapenottokykyyn. Ominaisuutta tarkastellaan valtimo-laskimo-happieron (a-v O_2 difference) avulla. Aerobisen aineenvaihdunnan tehokkuuteen lihastasolla vaikuttavat mitokondrioiden määrä lihaksessa, aerobinen entsyymiaktiivisuus, sekä lihaksen sisäinen verenkierto. Lihaksen runsas hiussuonitus taas tarkoittaa runsasta verisuonten diffuusiopinta-alaa, mikä helpottaa lihaksen

hapenottoa. (Bassett & Howley 2000.) Lisäksi hapenottokykyyn vaikuttaa lihasmassan määrä, harjoittelutausta, ikä, sukupuoli ja geenit (Joyner & Coyle 2008; McArdle ym. 2015, 166–168).

Veri kuljettaa happea keuhkoista kudoksille veren nestemäisessä fysikaalisessa liuoksessa tai hemoglobiiniin sitoutuneena. Energiantuottoon tarvittava happi kuljetetaan pääasiallisesti hemoglobiiniin sitoutuneena. Miehillä hemoglobiinin määrä veressä on noin 15–16 g/dl ja naisilla vastaava lukema on noin 14 g/dl. Sukupuolten väliset erot hemoglobiinin määrässä selittävät osaltaan naisten heikompaa aerobista kapasiteettia. Miesten suuremmat testosteronipitoisuudet selittävät osaltaan sukupuolten välisiä eroja, sillä testosteronilla on punasolusynteesiä kiihdyttävä vaikutus. (Katch ym. 2011, 281–286.)

Ventilatorinen systeemi säätelee kaasujen vaihtoa riittävän hapensaannin turvaamiseksi. Ventilaatiolla viitataan prosessiin, jossa happi siirretään ilmasta keuhkojen kautta vereen. Veressä happimolekyylit sitoutuvat hemoglobiiniin. Lepotilassa ihmisen hapen tarve on 0,2–0,4 litraa minuutissa. Kovan fyysisen rasituksen myötä hapen tarve voi nousta jopa 4–5 litraan minuutissa. (McArdle ym. 2015, 342–352.)

2.3 Suorituksen taloudellisuus

Hapen ja energian kulutus nousee suhteellisen lineaarisesti juoksunopeuden kasvaessa (Kyröläinen ym. 2001). Yleensä suorituksen taloudellisuutta tutkitaan mittaamalla tasavauhtisen submaksimaalisen suorituksen hapenkulutusta (Barnes & Kilding 2015). Yksilöiden välinen vertailu suorituksen taloudellisuudessa on mahdollista muuttamalla absoluuttiset hapenkulutuksen arvot (O_2 l/min) yksilön painoon (ml/kg/min) tai juostuun matkaan (ml/kg/km) suhteutettuun muotoon (Foster & Lucia 2007). Taloudellisuus on merkittävä suoritusta selittävä tekijä etenkin homogeenisessa joukossa, maksimaalisen hapenottokyvyn ja submaksimaalisten kynnystasojen ollessa samalla tasolla (Morgan ym. 1989). Harjoitelleilla huippujuoksijoilla voi olla jopa 30 % eroja suorituksen taloudellisuudessa, heikompitasoisiin juoksijoihin nähden (Daniels & Daniels 1992).

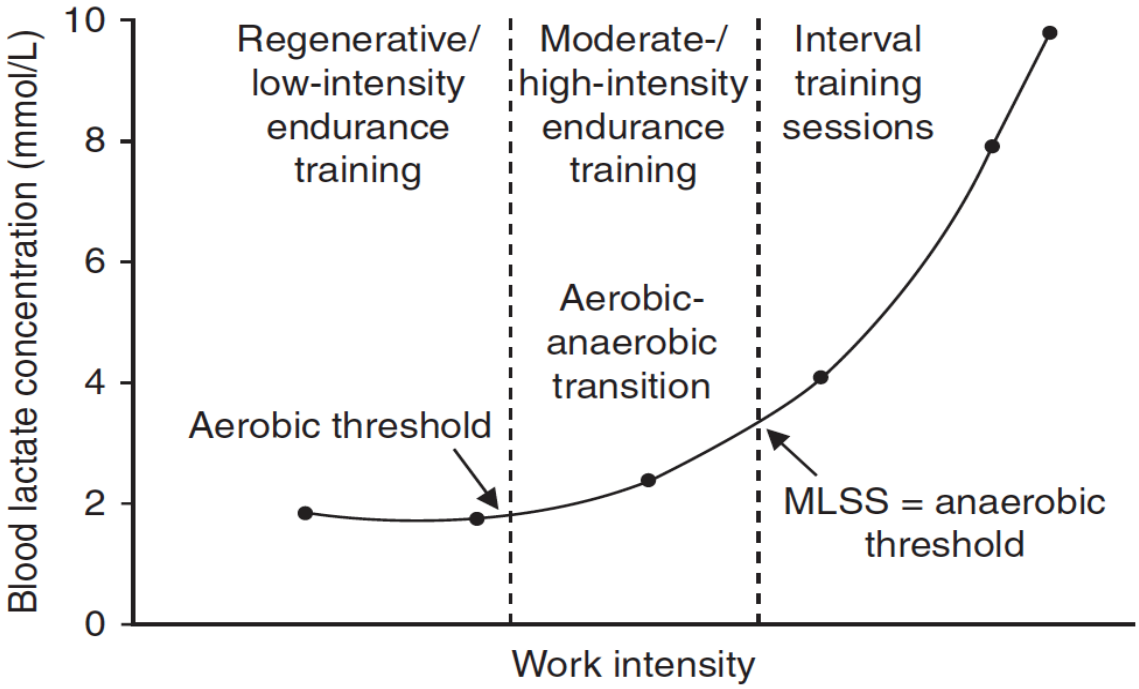
Merkittäviä suorituksen taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi suoritustekniset tekijät, energiantuoton tehokkuus, hermo-lihasjärjestelmän toimintakyky, henkilön kyky hyödyntää elastista energiaa, sekä yksilölliset antropometriset ominaisuudet (Barnes & Kilding

2015). Suurilla juoksuaskeleen törmäysvoimilla voidaan selittää heikompaa ja takareiden lihasten korkealla EMG-aktiivisuudella parempaa juoksun taloudellisuutta (Kyröläinen ym. 2001).

Suorituksen taloudellisuus kehittyy niillä nopeuksilla, joilla urheilijalla on tapana harjoitella. Tämän takia esimerkiksi eri matkojen juoksijoilla esiintyy taloudellisuudessa eroja eri juoksuvauhdeilla (Daniels & Daniels 1992; Jones & Carter 2000). Yksilölliset erot juoksun taloudellisuudessa korostuvat juoksuvauhdin kasvaessa (Kyröläinen ym. 2001).

2.4 Kestävyysominaisuuksien testaaminen

Viimeisen 50 vuoden aikana veren laktaattipitoisuutta kuvaavat käyrät ja näistä määritellyt laktaattikynnykset ovat ottaneet tärkeän roolin kestävyyssuorituskyvyn määrittämisessä. Laktaattikynnyksillä pyritään kuvaamaan energiantuoton siirtymistä aerobisesta (hapen avulla tapahtuva työ) anaerobiseen työhön (hapetta tapahtuvaan työhön). Haasteita kynnysten tarkkaan määrittämiseen tuovat vaihtelevat määritystavat ja näkemyserot testaajien välillä. (Faude ym. 2009; Kainlauri 2019.) Kuvasta 2 on nähtävissä tyypillinen tapa laktaattikynnysten määrittämiseksi.



KUVA 2. Laktaattikäyrä havainnollistaen aerobisen - anaerobisen työn siirtymävaiheen ja kestävyysharjoittelun eri intensiteettialueet (Faude ym. 2009).

Maksimaalisen hapenottokyvyn mittaaminen on merkittävä standardi kertomaan henkilön hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnosta (Andersen ym. 1971). Suorassa maksimitestissä määritetään seurantaa varten aerobinen (AeK) ja anaerobinen (AnK) kynnys, mitkä esitetään kuvassa 3. Kynnykset ilmaistaan tavallisesti nopeutena, tehona, sykkeenä ja hapenkulutuksena. Kynnystehojen määrittämisen avulla voidaan urheilijoiden harjoittelua ohjelmoida kätevämmin. Koska kirjallisuudesta on löydettävissä kymmeniä eri tapoja kynnysten määrittämiseen joko laktaatin tai hengityskaasumuutoksien (happi- ja hiilidioksidi) avulla, on kynnysten määrittämismenetelmän suhteen oltava tarkka. Harjoittelun seuraamisen kannalta on oleellista määrittää kynnystehot joka kerta samalla menetelmällä. (Nummela 2016; Kainlauri 2019.)

Kynnykset perustuvat lihaksen energia-aineenvaihdunnassa tapahtuviin muutoksiin kuormituksen kasvaessa. Tärkeimpiä muuttujia, joista voidaan tehdä johtopäätöksiä, ovat veren laktaattipitoisuus ja hengityskaasumuuttujat, joista seurataan uloshengitysilman tilavuutta sekä happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa käytetyllä aerobisella kynnyksellä tarkoitetaan ensimmäistä laktaattikynnystä. Kynnys kuvastaa suurinta työtehoa, jolla sydän, maksa ja luurankolihakset pystyvät eliminoimaan laktaattia pitoisuuden

nousematta veressä lepotason yläpuolelle. Toista valmennuksessa käytettävää kynnystä kutsutaan suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa anaerobiseksi kynnykseksi. Tämä kynnys kuvaa suurinta työtehoa ja energiankulutuksen tasoa, jolloin veren laktaattipitoisuus ei kasva jatkuvasti. (Nummela 2016.)

KUVA 3. Submaksimaaliset kynnystehot ja maksimaalinen hapenottokyky suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa (Nummela 2010).

Tyypillisesti aerobinen kynnys osuu 50 - 70 % ja anaerobinen kynnys 65 - 90 % tasolle maksimaalisesta hapenottokyvystä. Urheilijan harjoitustausta vaikuttaa siihen, kuinka lähelle VO_{2max}:ia kynnykset sijoittuvat. Kestävyysominaisuuksien kannalta on sitä edullisempaa, mitä lähempänä VO_{2max}:ia kynnykset ovat. (Nummela 2007.)

3 VEREN HAPPIKYLLÄISYYS JA SEN MERKITYS KESTÄVYYSURHEILUSSA

Keskeisverenkierto on merkittävä maksimaaliseen aerobiseen kapasiteettiin vaikuttava ja mahdollisesti myös rajoittava tekijä (Ekblom ym. 1975; Joyner & Coyle 2008). Kestävyyttä tarvittavissa lajeissa korkea aerobinen kapasiteetti on ensiarvoisen tärkeä. Aerobiseen kapasiteettiin vaikuttavat voimakkaasti verenkierron minuuttitilavuus ja hapen sitouttamiskyky. Aerobiseen suorituskykyyn vaikuttavat valtimoveren happikylläisyydessä (CaO_2) tapahtuvat muutokset, sekä hapenkuljetus. (Abbiss ym. 2005; Dempsey ym. 2008).

3.1 Veren happikylläisyyden määritelmä

Verenkierron merkittävin tehtävä on kuljettaa happea ja muita ravintoaineita kudosten tarpeisiin. Lisäksi verenkierron merkittävänä tehtävänä on poistaa aineenvaihduntatuotteita, kuten hiilidioksidia. Hapen kuljetus on riippuvainen hapen saatavuudesta, elimistön hapenkuljetuskyvystä, sekä kudosten perfuusiosta. (Ganong 2003.)

Valtimoveren happikonsentraatioon vaikuttaa useat tekijät kuten hengitetyn ilman hapen osapaine, keuhkotuuletuksen riittävyys, kaasujen vaihto, hemoglobiinin konsentraatio ja hemoglobiinin happikylläisyys (affiniteetti). Pieni osa hapesta kuljetetaan veren plasman ja punasolujen nesteen mukana. (Collins ym. 2015.)

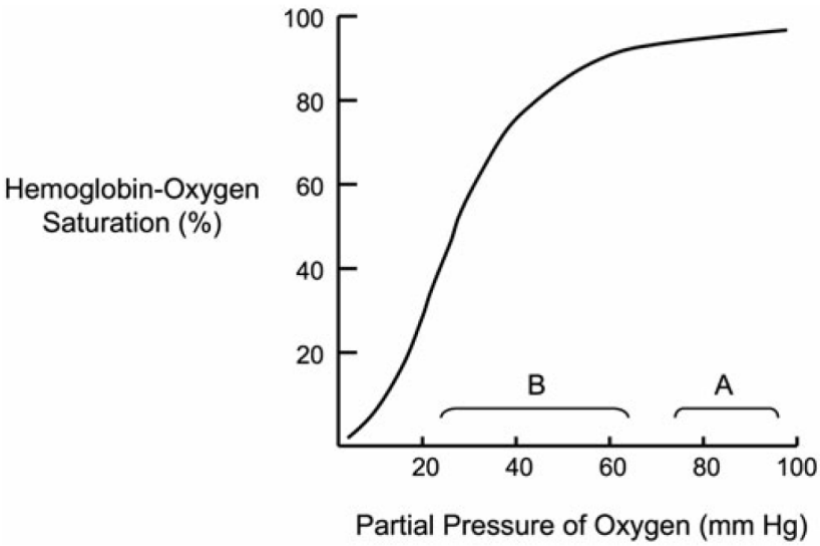
Valtimon happikylläisyys ilmaistaan mL happea per 100 mL tai per litra verta, kun taas valtimoveren happisaturaatio ilmaistaan prosentteina, mikä kertoo hapen sitoutumisesta hemoglobiinin. Terveillä yksilöillä SaO_2 on merenpinnan tasolla normaalia ilmaa tai huoneilmaa hengittäessä 96 ja 98 % välillä. Maksimaalista volyymiä, jonka veri voi happea kuljettaa täyteen saturoituneena kutsutaan hapen kuljetuskyvyksi, joka on normaalilla hemoglobiinin konsentraatiolla suurin piirtein 20 mL happea per 100 mL verta. (Collins ym. 2015.)

3.2 Veren happikylläisyyden mittaaminen

Pulssioksimetrin käyttö on saavuttanut suuren suosion lääketieteellisessä käytössä, tutkimusten tekemisessä, sekä urheilijoiden keskuudessa eritysolosuhteissa harjoitellessa. Menetelmä on

käytännöllinen ja noninvasiivinen tapa mitata valtimoveren happipitoisuutta (Seifi ym. 2018). Pulssioksimetria käytetään mm. mittaamaan henkilöiden happisaturaatiota vuoristo-olosuhteissa tai vuoristotaudin havainnollistamisessa (Luks & Swenson 2011) sekä laajalti terveydenhuollossa esimerkiksi sydänleikkauspotilailla (Seifi ym. 2018). Lisäksi urheilijat seuraavat pulssioksimetrillä akuutteja muutostiloja veren happisaturaatiossa intensiivisen harjoittelun yhteydessä (Kilding ym. 2012; Hauser ym. 2014; Ohya ym. 2016).

Pulssioksimetri arvioi valtimoveren happisaturaatiota, joka on prosentuaalinen osuus siitä, kuinka hyvin hemoglobiini on sitonut itseensä happea (Jubran 2004; Chan ym. 2013). Yleisesti ottaen, happisaturaatio on valtimoveren hapenosapaineen (PaO_2) tekijä suhteutettuna kuvaajalla hemoglobiinin hapen dissosiaatiokäyrään. (Sinex 1999; Luks & Svenson 2011.) Hemoglobiinin happisaturaation käyttäytyminen on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Hemoglobiinin happisaturaatiokäyrä esittää kuinka saturaatio vaihtelee eri hapen osapaineilla (PaO_2) (Luks & Svensson 2011).

3.3 Veren happikylläisyyden vaikutukset suorituskykyyn

Hyperoksia (F_IO_2 = 1,0) parantaa $\dot{V}O_{2max}$ 6–12 % (Margaria ym. 1972) normoksisiin olosuhteisiin nähden suuremman hapen kuljettamisen ja sitoutumisen ansiosta, mikä näkyy suurempana CaO_2 arvoina, vaikka verenvirtaus ei muuttuisi (Asmussen & Nielsen, 1955; Ekblom ym. 1975). Levossa CaO_2 on lähellä 100 %, mutta intensiivisessä rasituksessa happisaturaatio voi pudota alle 90 % (Dempsey ym. 1984; Dempsey & Wagner 1999; Nummela

ym. 2002; Kilding ym. 2012). Ilmiö tunnetaan termillä harjoittelun aiheuttama hypoksemia (exercise induced hypoxemia, EIH tai exercise induced arterial hypoxemia, EIAH).

EIAH:n on todettu ilmenevän laajasti kaikenikäisillä urheilijoilla, niin miehillä kuin naisilla, niin submaksimaalisissa kuin maksimaalisissa suorituksissa (Dempsey & Wagner, 1999; Prefaut ym. 2000). Desaturaatio on sitä suurempaa mitä korkeatehoisempi suoritus tai mitä pidempään suoritus jatkuu. EIAH ilmenee selkeästi korkeatehoisissa suorituksissa, jotka kestävät <14 min (Stewart & Pickering 2007). EIAH:lla on merkittävät vaikutukset maksimaaliseen hapenottokykyyn. On erittäin haastavaa määritellä tarkasti, mitkä nämä suoritusta rajoittavat syyt ovat liittyen hapen kuljettamiskykyyn, sekä mitkä elimistön systeemit ilmiöön vaikuttavat (Dempsey & Wagner 1999). Peltosen (2002) mukaan maksimaalisten melonta- ja pyöräilysuoritusten aikana hyperoksian avulla VO_{2max} paranee peräti 10,1–15,2 % normoksisiin olosuhteisiin nähden, kun taas hypoksisissa olosuhteissa VO_{2max} heikkenee 7,6–20,9 %.

Dempsey & Wagner (1999) luokittelivat eri tasoiset EIAH:t sen mukaan kuinka paljon valtimon happisaturaatio laskee. Kirjoittajien mukaan 93–95 % SaO_2 tarkoittaa lievää, 88–93 % keskisuurta ja alle 88 % vakavaa EIAH:ta. Mekanismit, joiden oletetaan olevan EIAH:n taustalla ovat riittämätön hyperventilaatiovaste ja kasvava happiero alveolien ja valtimoveren välillä (A-aDO_2). Alveolien ja valtimoveren välille muodostuvaa happieroa selittävät mm. häiriöt kaasujen vaihdossa (ventilaatio-perfuusio -suhde), perfuusion häiriintyminen ja rajoitteet diffuusiossa. (Stewart & Pickering 2007.) EIAH:n kehittyminen maksimaalisen suorituksen aikana korreloi vahvasti erojen A-aDO_2 välillä. Tähän vaikuttaa se, että Hb ei ehdi sitoa kaikkea happea itseensä lyhentyneen siirtymäajan vuoksi keuhkoissa, sekä riittämättömän ventilointivasteen vuoksi (Dempsey & Wagner, 1999). Hypoksemia submaksimaalisessa suorituksessa on liitetty selkeämmin riittämättömään hyperventilaatioon (Harms ym. 2000; Prefaut ym. 2000).

Richardson ym. (1999) suorittivat dynaamisen jalkaprässikokeen uupumiseen asti. Tutkittavat hengittivät happiosapaineeltaan toisistaan eroavia kaasuja. Tutkimuksessa havaittiin, että hyperoksia mahdollisti suuremman suorituskyvyn, suuremman lihasten hapenkulutuksen ja suuremman valtimoveren happikylläisyyden. Lihaksen verenvirtaus ja laskimoveren

happikylläisyys säilyivät kuitenkin ennallaan. Tulokset viittaisivat siihen, että suorituskyvyn paraneminen johtui kasvaneesta hapen kuljetuksesta.

4 HYPEROKSIAHARJOITTELU

Hyperoksian akuuteista hyödyistä suorituskykyyn on paljon tutkimusnäyttöä. Tiedetään, että hyperoksisen ilman hengittäminen parantaa hapenkuljetuskykyä ja maksimaalista hapenottokykyä dynaamisen suorituksen aikana. Hyperoksiaharjoittelun vaikutusmekanismit kohdistuvat sydän- ja verenkiertoelimistöön, neuraaliseen ja hormonaaliseen järjestelmään kuin myös aineenvaihduntaan liittyviin tekijöihin. Hyperoksia intervalliharjoittelun aikana voi myös nopeuttaa palautumisprosessia lepotaukojen aikana. (Sperlich ym. 2017; Cardinale & Ekblom 2018.)

Hyperoksiaharjoittelun vastakohtana tunnetaan hypoksiaharjoittelu, joka on menetelmänä tunnetumpi sekä urheilukentillä että akateemisessa maailmassa. Hypoksiaharjoittelussa elimistö altistetaan ilmalle, jonka hapen osapaine on matalampi kuin normoksisen ilman (F_IO_2 < 21 %). Hypoksiaharjoittelun hyödyllisyyttä perustellaan elimistön suurella metabolisella stressillä. (Robach ym. 2014; Sinex & Chapman 2015.)

Käytännön urheilukentillä hyperoksiaharjoittelu liitetään usein urheilijoiden vuoristoharjoitteluun mahdollistaen ns. ”live high - train low” -menetelmän. Tämänkaltainen tilanne saavutetaan siten, että urheilijat voivat elää ja harjoitella vuoristossa, mutta korkeatehoisemmat harjoitukset pystytään tekemään lisähappea hyödyntämälllä suuremmilla harjoitustehoilla, mikä ei muutoin vuoristossa ja vähähappisemmassa ilmassa olisi mahdollista. (Kestävyysurheilu 2015; Sperlich ym. 2016.)

4.1 Käytännön sovellukset

Hyperoksiaharjoittelun hyödyntämistä kestävyysurheilussa voidaan pitää mahdollisena menetelmänä järkyttämään fysiologista homeostaasia ja näin edesauttamaan elimistöä adaptoitumaan lähtötasoa kovemmalle tasolle (Cardinale & Ekblom 2018). Hyperoksian käyttöä voidaan hyödyntää työ-, palautusvaiheen tai koko harjoituksen aikana sisältäen sekä työ- että palautusvaiheet (Sperlich ym. 2016).

Hyperoksian hyödyntäminen saattaa kehittää hapen kuljetuskykyä, laktaattimetaboliaa, tehon tuottoa ja harjoittelun sietokykyä. Lisähapen käyttäminen ergogeenisenä lisänä auttaa siis

urheilijoita saavuttamaan supramaksimaaliset harjoitusintensiteetit, jotka eivät olisi mahdollisia tavanomaista normoksista ilmaa hengitettäessä tai lämpötilan tai vuoristo-olosuhteiden tehdessä harjoittelusta tavanomaista raskaampaa. Lisää tutkimusnäyttöä kuitenkin vaaditaan optimaalisten harjoitusintensiteettien, -frekvenssin ja turvallisuuskysymysten ratkaisemiseksi. (Cardinale & Ekblom 2018.)

Hypoksisissa olosuhteissa elimistön verenkiertoa nostetaan tyydyttämään kudosten hapen tarve. Hyperoksisissa olosuhteissa taas kohonnut CaO_2 saattaa johtaa vähentyneeseen verenkiertoon, sillä valtimoveressä happea on enemmän tarjolla normoksisiin olosuhteisiin verrattuna. (Joyner & Casey 1985; Casey ym. 2011.)

4.2 Vaikutukset suorituskykyyn akuutisti

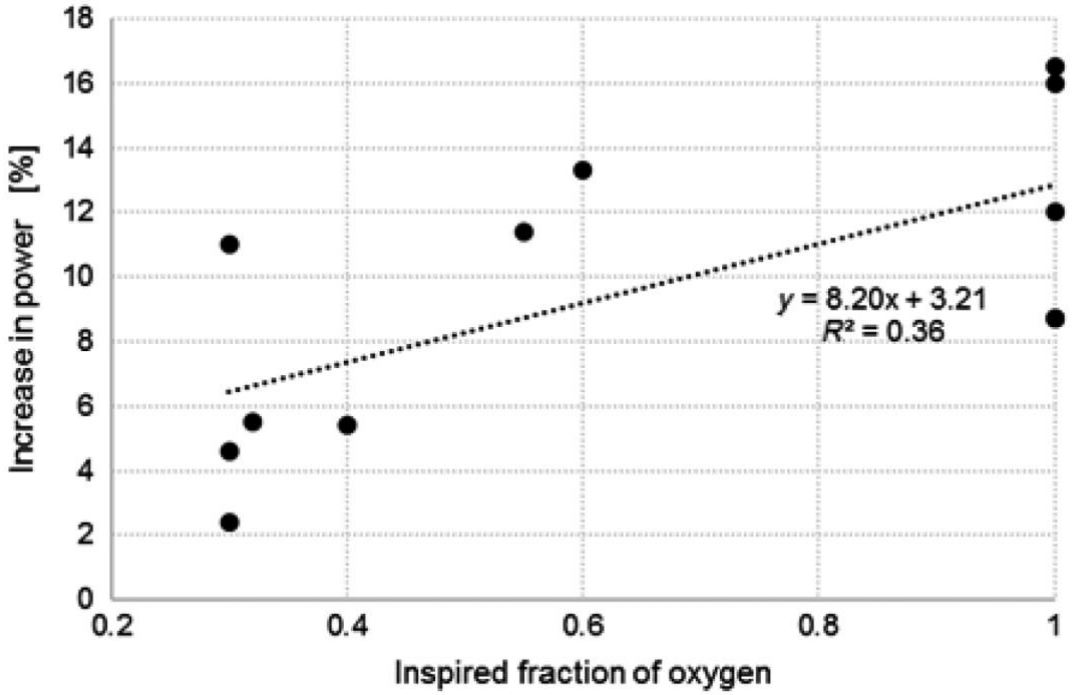
Hyperoksisen ilman hengittäminen mahdollistaa akuutisti suuremmat harjoitustehot tai vaihtoehtoisesti helpottaa oloa siten, että urheilija kykenee samalla suoritusteholla harjoittelemaan pidempään. (Welch 1987; Armstrong ym. 2000; Perry ym. 2005; Perry ym. 2007). On tarpeen luokitella harjoituksen intensiteetti siten, että hyperoksian vaikutuksia tarkastellaan submaksimaalisilla ja maksimaalisilla harjoitusintensiteeteillä erikseen (Sperlich ym. 2016).

Submaksimaalisilla tehoilla työskennellessä hyperoksiaharjoittelun positiivisia vaikutuksia suoritukseen ovat mm. vähentynyt respiratorinen ponnistus, toisin sanoen vähentynyt minuuttiventilaatio matalammilla sykkeillä (Plet ym. 1992), vähentynyt anaerobinen työ sisältäen fosfokreatiinin (PCr) säästymisen ja Cr kerryttämisen (Linnarsson ym. 1974), vähäisempi lihaksen glykogenolyysi johtuen verenkierron matalammista adrenaliinipitoisuuksista (Stellingwerff ym. 2006) ja suurempi turvautuminen rasvojen hapettamiseen ja rasva-aineenvaihduntaan energiantuotossa (Favier ym. 2005).

Maksimaalisilla harjoitustehoilla hyperoksisen ilman hengittämisen etuja ovat mm. parantunut VO_{2max} (Welch ym. 1974; Ekblom ym. 1975; Welch ym. 1982), johtuen parantuneesta hapen sitoutumisesta korkeamman F_IO_2 ansiosta (Dempsey ym. 1984), kyky kestää kuormitusta pidempään maksimisyketasolla (Peltonen ym. 1995), suurentunut hapen diffuusio lihassoluihin (Richardson ym. 1999), vähentynyt glukoosi-6-fosfaatin ja laktaatin kertyminen elimistössä

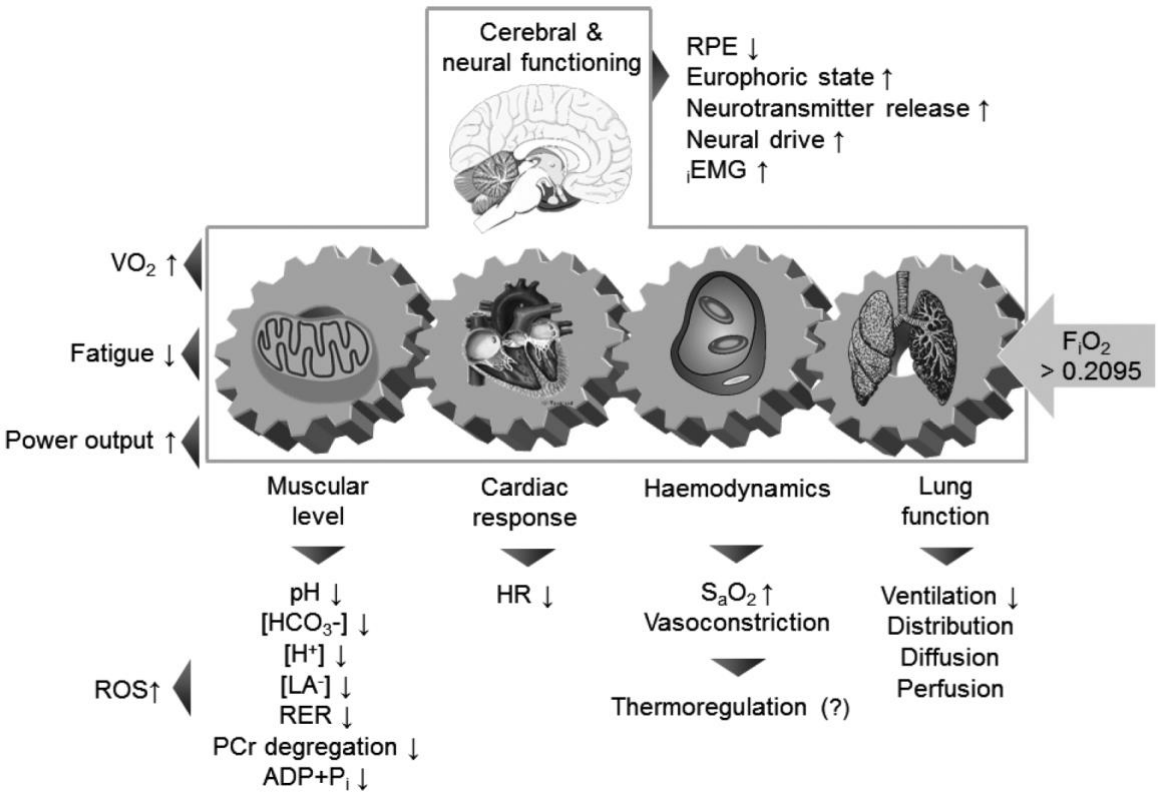
(Linossier ym. 2000) ja aivojen parantunut hapen saanti uuvuttavan suorituksen (Oussaidene ym. 2013) ja kilpailusuorituksen (Nielsen ym. 1999) aikana. On syytä huomioida, että parantunut VO_{2max} hyperoksian aikana ei merkittävästi selity suurentuneella minuuttitilavuudella (Q_{max}) (Ekblom ym. 1975; Mallette 2017).

Sperlich ym. (2016) kokosivat 11 eri tutkimusta, joissa tarkasteltiin pyöräilyn aikaista tehon tuoton kasvua niin submaksimaalisissa kuin maksimaalisissa suorituksissa. Tehontuotto kasvoi 2,4–16,5 % riippuen siitä kuinka suuri osuus F_IO_2 tutkittaville tarjottiin. On syytä huomioida, että suurempi F_IO_2 näyttäisi parantavan suoritustehoa enemmän. Tulokset esitetään kuvassa 5.



KUVA 5. Tehontuoton kasvu prosentteina pyöräillen toteutetuissa hyperoksiatutkimuksissa (Sperlich ym. 2016).

Kuvassa 6 on esitetty Sperlichin ym. (2016) mukaan mahdolliset hyperoksiaharjoittelun suorituskykyä akuutisti parantavat tekijät.

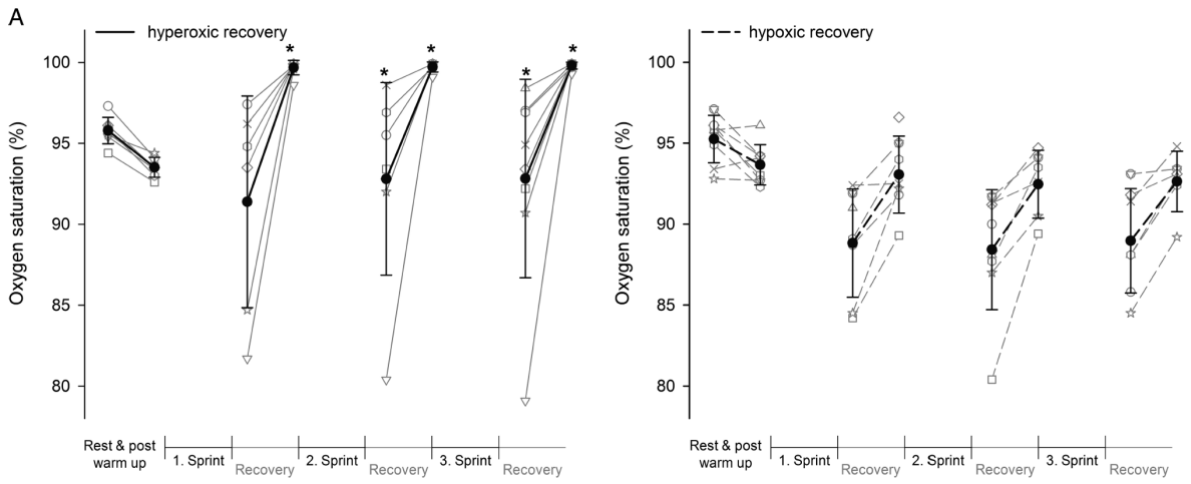


KUVA 6. Yhteenveto erinäisistä hyperoksisen ilman hengittämisen akuuteista vaikutusmekanismeista (Sperlich ym. 2016).

4.3 Hyperoksisen palautuksen vaikutukset

Hauser ym. (2014) tutkivat miten hyperoksisen vs. hypoksisen ilman hengittäminen palautuksen aikana vaikuttaa 3 x 3 min mittaiseen suoritukseen hiihdon tasatyöntöergometrillä. Tutkimuksessa haluttiin simuloida olympialaisten maastohiihdon sprintin pariviestin tilannetta. Tutkittavat hengittivät 3 min maksimaalisten tasatyöntöergometrisuoritusten välissä joko hypoksista (F_IO_2 = 0,165) tai hyperoksista ilmaa (F_IO_2 = 1,00). Palautusolosuhteiden eroista huolimatta suorituksen keskiteho tai koettu rasituksen tuntemus (RPE) eivät eronneet toisistaan.

Hauserin ym. (2014) tutkimuksessa havaittiin, että veren hemoglobiinin happisaturaatio nousi hyperoksisen palautuksen aikana lähtötasosta 92,3 ± 6,4 % aina 99,8 ± 0,2 %. Hypoksisen palautuksen takia hemoglobiinin happisaturaatio nousi lähtötasosta 88,8 ± 3,3 % aina 93,1 ± 2,4 %. Kyseisen tutkimuksen happisaturaation käyttäytyminen on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Hyperoksisen ja hypoksisen palautuksen vaikutus veren happisaturaatioon 3 x 3 min maksimaalisessa tasatyöntöergometrirasituksessa 3 min palautuksella. *, tilastollisesti merkitsevä ero (Hauser ym. 2014).

Sperlich ym. (2011) tutkimus on tiettävästi ainut, jossa on todettu hyperoksisen palautuksen vaikuttaneen positiivisesti tehontuottoon ja suorituskykyyn. Tutkimukseen osallistui eliittitason uimareita, jotka suorittivat 5 x 40 maksimaalista vetoa isokineettisessä uintipenkissä. Vetoja seurasi 6 min mittaiset palautukset, joiden aikana tutkittavat hengittivät joko hyperoksista (F_IO_2 = 1,00) tai normoksista ilmaa. Tutkittavien veren pH- tai laktaattiarvoissa ei ollut missään vaiheessa testejä tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä.

4.4 Krooniset vaikutukset

Vaikka hyperoksian akuuteista vaikutuksista tiedetään paljon, hyperoksiaharjoittelua seuraavat harjoitusadaptaatiot ovat edelleen epäselviä ja ristiriitaisia, etenkin hyvin harjoitelleiden tutkittavien osalta. (Sperlich ym. 2017; Cardinale & Ekblom 2018.)

Tiettävästi kilpaurheilijoilla on tehty kolme tutkimusta, missä on tarkasteltu hyperoksiaharjoittelun kroonisia harjoitusvaikutuksia. Kyseiset tutkimukset tehtiin sokkotutkimuksina. Hämäläisen ym. (2000) tutkimus tehtiin kilpajuoksijoilla, Morrisin ym. (2000) tutkimus juniori-ikäisillä eliittipyöräilijöillä ja Kildingin ym. (2012) tutkimuksessa tutkittavina oli niin ikään kilpapyöräilijöitä, kilpailukauteen valmistavan harjoitusjakson aikana.

Hämäläisen ym. (2000) tutkimuksessa tutkittavat juoksivat kolmesti viikossa vauhdikkaan harjoituksen neljän viikon ajan. Harjoituksina olivat 20 min juoksu anaerobisen kynnyksen intensiteetillä, 6 x 3 min intervalliharjoitus anaerobista kynnystä kovemmilla vauhdeilla ja 20 min kestoinen harjoitus 90 % vauhdilla anaerobisesta kynnyksestä. Harjoittelu toteutettiin hyperoksista (F_IO_2 = 0,30) tai normoksista (F_IO_2 = 0,21) ilmaa hengittäen. Harjoitusjakso johti merkittävään 3000 metrin tulosparannukseen (-3 %) ja maksimaalisen anaerobiseen juoksuvauhdin paranemiseen (3 %) hyperoksiaharjoitelleilla verrattuna normoksiaharjoitelleisiin. Tästä huolimatta VO_{2max} kehittymisessä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä. (Hämäläinen, Nummela, & Rusko, 2000; Cardinale & Ekblom 2018 mukaan.) Suorituskyvyn kehittyminen hyperoksiaryhmällä johtui oletettavasti parantuneesta hermo-lihasjärjestelmän toiminnasta ja suorituksen taloudellisuuden parantumisesta (Nummela 2019).

Morris ym. (2000) tutkimukseen osallistuneiden juniori-ikäisten eliittitason pyöräilijöiltä mitatut VO_{2max} olivat 62,2 ± 1,5 ml/kg/min. Tutkittavat suorittivat korkeaintensiteettisen intervalliharjoituksen 5–15 % korkeammilla sykkeillä kuin heidän *maximal steady state* joko hyperoksista ilmaa (F_IO_2 = 0,26) tai normoksista ilmaa (F_IO_2 = 0,21) hengittäen. Intervalliharjoitukset suoritettiin kolmesti viikossa kolmen viikon ajan. Oman lisänsä tutkimukselle tuo se, että tutkimuksessa haluttiin myös selvittää hyperoksiaharjoittelun hyödyllisyyttä korkeanpaikan harjoitteluun tutkittavien asuessa 1840 m korkeudessa. Harjoitusohjelma oli identtinen NO- ja HO-ryhmien välillä. Kumulatiiviset volyymit intervalliharjoittelulle olivat 50, 65 ja 44 min viikkojen 1–3 aikana. Intervallit olivat kestoltaan 4–5 min pitkiä. Tutkittavat ajoivat intervalliharjoitusten lisäksi kolme 1,5–2 h mittaista harjoitusta viikossa 65–85 % sykkeellä *maximal steady state* -tasosta. Harjoittelu johti *maximal steady state* -tason kehittymiseen pelkästään HO-ryhmällä. 120 kJ aika-ajo parani HO-ryhmällä 4,5 %, kun taas NO ryhmällä ainoastaan 0,6 %. Toisaalta Cardinale & Ekblom (2018) pohtivat, että kyseisen tutkimuksen heikkous oli se, että aika-ajo kesti ainoastaan ~ 5 min, mikä ei ole erityisen tyypillinen suorituksen kesto kilpapyöräilijöille.

Kilding ym. (2012) tutkimuksessa 16 kilpapyöräilijällä (VO_{2max} ~ 60 ml/kg/min) tehty tutkimus ei johtanut merkittäviin eroihin HO- ja NO-ryhmien välillä maksimaalisen, submaksimaalisen tai VO_{2max} suorituksen osalta. Tutkittavat suorittivat 20 km aika-ajon, 60 s mittaisen maksimitestin (20 km aika-ajon päälle 5 min levon jälkeen), sekä tasaisesti kiihtyvän

kuormitusajon 48 h ensimmäisten testien jälkeen. HO-ryhmällä VO_{2peak} parani 1,9 ± 4,3 % ja laktaattikynnystä vastaava teho 0,3 ± 8,3 % kun taas NO-ryhmällä vastaavat parannukset olivat VO_{2peak} osalta 4,7 ± 5,8 % ja laktaattikynnyksen tehon osalta 4,0 ± 6,3 %. 60 s maksimitestin keskitehoissa ei ilmennyt eroja ryhmien välisessä kehityksessä parannusten ollessa 5,7 ± 0,4 % HO-ryhmällä vs. 5,9 ± 0,4 % NO-ryhmällä. Tutkittavat suorittivat kahdesti viikossa korkeaintensiteettisen intervalliharjoituksen neljän viikon ajan. Intervalliharjoitukset olivat 12 x 2 min tehoharjoittelua 2 min palautuksella ja 5 x 5 min tehoharjoittelua 3 min palautuksella. Intervalliharjoituksissa hengitettiin hyperoksista ilmaa (F_IO_2 = 0,6) tai huoneilmaa. Tutkittavia kannustettiin harjoituksissa pyrkimään maksimaaliseen tehontuottoon, sen sijaan, että he olisivat seuranneet ennalta määritettyä vauhdinjakoa.

Kildingin ym. (2012) mukaan hyperoksiaharjoittelun hyödyntäminen pyöräilijöillä intervalliharjoittelussa kilpailukauteen valmistautuessa oli heikompi menetelmä kestävyys- ja nopeuskestävyysominaisuuksien kehittämiseksi verrattuna normoksiassa toteutettuun intervalliharjoitteluun. Tutkimuksen mukaan merenpinnan tasolla toteutusta hyperoksiaharjoittelusta ei siis ole hyötyä kilpaurheilijoilla suorituskyvyn parantamiseksi.

4.5 Hyperoksiaharjoittelun eettisyys

Maailman antidopingtoimisto WADA päätti syyskuussa 2009, että lisähapen käyttämisestä tulee sallittu menetelmä vuoden 2010 alussa (WADA 2019). Koska lisähapella harjoittelun positiivisista vaikutuksista on näyttöä, on menetelmän käyttöä paheksuttu urheilukentillä (Sperlich ym. 2016).

Riippuen hyperoksiaharjoittelun kestosta ja käytetyn lisähapen suuruudesta, saattaa krooninen lisähapelle altistaminen johtaa terveysongelmiin soluvahinkojen ja reaktiivisten happiradikaalien vuoksi (Dean ym. 2004). Tästä syystä lisähapen hyödyntäminen vaatii käyttäjältä tietoa mahdollisista haittavaikutuksista (Sperlich ym. 2016). Toisaalta White ym. (2013) eivät löytäneet verestä oksidatiivisen stressin markkereita tutkimuksessaan, jossa urheilijat hyödynsivät palautusjaksojen aikana lisähappea intervalliharjoituksissa.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahden eri harjoitusjakson vaikutusta kestävyysjuoksusuorituksen kehittymiseen kilpaurheilijoilla. Harjoitusjaksoista toinen toteutettiin normoksisissa ja toinen hyperoksisissa olosuhteissa. Lisäksi tutkittiin akuutteja vasteita menetelmien välillä. Tällä hetkellä tiedetään, että kestävyyssuorituskyky paranee akuutisti lisähapen avulla, mutta kroonisista harjoitusadaptaatioista tarvitaan lisää tutkimusnäyttöä.

Tutkimuskysymys 1: Vaikuttavatko HO- ja NO-harjoittelu eri tavalla kestävyysjuoksun suorituskykyyn?

Hypoteesi 1: Kyllä. HO-harjoittelu parantaa kestävyysjuoksun suorituskykyä NO-harjoitteluun verrattuna. Merkittävä 3000 metrin juoksun aikaparannus tapahtui neljä viikkoa kestävässä tutkimuksessa, kolmesti viikossa toteutetun hyperoksiaharjoittelun eduksi verrattuna normoksiaharjoitteluun. Lisäksi maksimaalinen anaerobinen juoksuvauhti paranee hyperoksiaharjoittelun eduksi (Hämäläinen, Nummela, & Rusko, 2000; Cardinale & Ekblom 2018 mukaan). HO-harjoittelu parantaa NO-harjoittelua enemmän kilpapyöräilijöiden suorituskykyä. Morris ym. (2000) havaitsivat, että kolme viikkoa kestävä harjoitusjakso sisältäen kolme intervalliharjoitusta viikossa johtaa tilastollisesti merkitsevään parannukseen maksimaalisessa 120 kJ pyöräilytestissä HO-harjoitelleilla kilpapyöräilijöillä. Toisaalta VO_{2max} vastaava pyöräilyteho ei parane tilastollisesti merkitsevästi HO-harjoittelun johdosta. Kilding ym. (2012) havaitsivat, että neljä viikkoa kestävä harjoitusjakso sisältäen kaksi intervalliharjoitusta viikossa johtaa 20 km mittaisen pyöräilyn TT:n paranemiseen NO-ryhmällä, mutta ei HO-ryhmällä.

Tutkimuskysymys 2: Vaikuttavatko HO- ja NO-harjoittelu eri tavalla maksimaaliseen hapenottokykyyn?

Hypoteesi 1: Ei. VO_{2max} arvoissa ei havaita eroja HO- ja NO-harjoittelun välillä. (Hämäläinen, Nummela, & Rusko, 2000; Cardinale & Ekblom 2018 mukaan.)

Hypoteesi 2: Kyllä. VO_{2max} paranee enemmän NO-ryhmällä (Kilding ym. 2012).

Tutkimuskysymys 3: Vaikuttavatko HO- ja NO-harjoittelu eri tavalla submaksimaaliseen kestävyystasoon?

Hypoteesi 1: Ei. Kynnystasojen kehittymisessä ei havaita eroa HO- ja NO-harjoittelun välillä (Kilding ym. 2012).

Hypoteesi 2: Kyllä. HO-harjoittelu parantaa enemmän submaksimaalista kestävyystasoa (*maximal steady state*) (Morris ym. 2000).

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tutkimuksen aloitti 16 vähintään kansallisella tasolla kilpailevaa suomalaista kestävyysjuoksijaa. Tutkittavista neljä joutui keskeyttämään tutkimuksen terveydellisistä syistä. Onnistuneesti tutkimuksen vei läpi 12 tutkittavaa. Tutkimuksen läpivieneistä tutkittavista seitsemän oli miehiä ja viisi naisia. Iältään tutkittavat olivat 17–50 -vuotiaita. Tutkittavien antropometriset tiedot ensimmäisten mittausten perusteella on esitetty taulukossa 1. Tutkittavat punnittiin henkilövaa`alla ennen jokaista kolmea juoksumattotestiä 0,1 kg tarkkuudella. Tutkittavien pituus mitattiin 0,5 cm tarkkuudella ennen ensimmäistä juoksumattotestiä.

TAULUKKO 1. Tutkittavien keskimääräinen ikä, pituus, paino ja BMI tutkimuksen alkumittauksissa. Tulokset muodossa KA ± KH.

	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m2)
Miehet (n = 7)	24,4 ± 4,3	184,0 ± 6,0	72,0 ± 4,6	21,2 ± 1,1
Naiset (n = 5)	32,1 ± 12,1	166,5 ± 5,0	52,4 ± 4,5	18,9 ± 1,5
Kaikki (n = 12)	27,6 ± 9,3	177,0 ± 9,5	63,8 ± 10,2	20,3 ± 1,7

n, osallistujien määrä; BMI, painoindeksi.

Ennen varsinaisia mittauksia kaikille tutkittaville tiedotettiin sähköpostitse tutkimuksen kulku, missä kerrottiin mahdolliset riskit ja edut tutkimukseen liittyen. Lisäksi tutkittaville kerrottiin, että heillä on oikeus keskeyttää tai jättäytyä tutkimushankkeesta missä vaiheessa tahansa. Tutkimuksen kulku käytiin suullisesti läpi vielä ennen varsinaisia testejä. Tutkittavat lukivat ja allekirjoittivat terveystieto- ja suostumuslomakkeet ennen ensimmäisiä mittauksia. Lisäksi ennen jokaista juoksumattotestiä tutkittavat täyttivät terveystietolomakkeen. Mikäli terveystietolomakkeesta olisi tullut esille jokin testaamisen esteenä oleva terveydellinen syy, ei testiä olisi suoritettu. Tutkimuksen toteuttamista varten Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoi myöntävän lausunnon.

6.2 Koeasetelma

Tutkimus kesti tutkittavien osalta yhdeksän viikkoa sisältäen lähtö-, väli- ja päättötestit, sekä testiviikkojen välissä kaksi kolmen viikon mittaista harjoitusjaksoa. Harjoitusjaksoista toinen toteutettiin normoksisissa (F_IO_2 = 0,21) ja toinen hyperoksisissa (F_IO_2 = 0,25–0,30) olosuhteissa. Harjoitusjaksojen suoritusjärjestys arvottiin siten, että puolet tutkittavista aloitti harjoittelun normoksiassa ja puolet hyperoksiassa. Suoritusjärjestysten arvonnan tuloksena oli taulukon 2 mukainen järjestys.

TAULUKKO 2. Tutkimuksen suoritusjärjestys

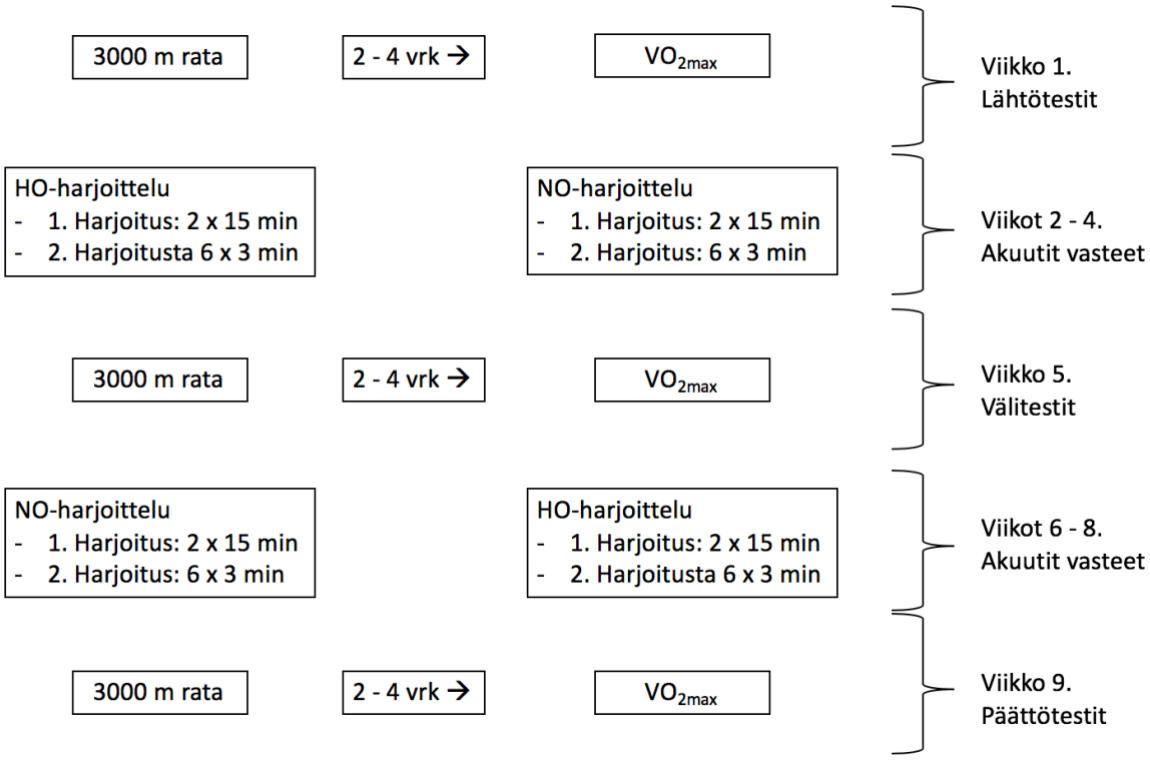
	NO + HO	HO + NO	Yhteensä:
Miehet	4	3	7
Naiset	2	3	5
Yhteensä:	6	6	12

NO, normoksia; HO, hyperoksia

Jokaisella tutkimusviikolla tutkittavat suorittivat kaksi kontrolliharjoitusta tai testiä. Testejä olivat 3000 m ratatesti, missä mitattiin suoritukseen kulunut aika, sekä suora juoksumattotesti uupumukseen asti. Juoksumattotestissä mitattiin sykettä (HR), veren laktaattipitoisuutta (Lac) ja hengityskaasuja.

Harjoitusviikoilla tutkittavat suorittivat kaksi erilaista kontrolliharjoitusta. Harjoitusten vauhdinjakoa ohjattiin mattotestissä määritetyn anaerobisen kynnysvauhdin (vAnK) ja saavutetun maksimivauhdin (V_{max}) perusteella. Ensimmäinen harjoituksista sisälsi 2 x 15 min mittaiset intervallit siten, että ensimmäinen intervalli juostiin 90 % vAnK ja toinen intervalli maksimissaan vAnK vastaavalla nopeudella. Kuormien välinen palautus oli 1,5 min. Toinen harjoitus sisälsi 6 x 3 min mittaiset intervallit. Intervallit aloitettiin vAnK vastaavalla nopeudella ja nostettiin maksimissaan vAnK:in ja V_{max}:in puoliväliin. Kuormien välinen palautus oli 2 min. Harjoituksissa palautusten alku oli passiivinen, jonka aikana otettiin laktaattinäyte ja kysyttiin tutkittavan vointia. Palautuksen loppuaika suoritettiin aktiivisesti juoksumatolla kävellen ja/tai hitaasti juosten. Testi- ja harjoituspöytäkirjat on esitetty liitteissä 1-4.

Harjoitusten ja testien välillä tuli olla 2–4 vuorokautta palautumisaikaa. Tutkittavat saivat toteuttaa omaa harjoittelun ohjelmointiaan tutkimusjakson aikana, mutta heitä neuvottiin ohjelmoimaan harjoittelunsa rasittavuus ja kesto samanlaisiksi harjoitusviikoilla, sekä samanlaisiksi testiviikoilla. Lisäksi tutkittavien kanssa keskusteltiin heidän harjoitussuunnitelmistaan ja tutkittavia kannustettiin saapumaan kontrolliharjoituksiin ja testeihin hyvässä vireystilassa. Tutkittavat täyttivät harjoituspäiväkirjaa läpi tutkimuksen (Liite 6), jotta omatoimisen harjoittelun raportoiminen olisi mahdollista tulosten pohdintaa varten. Lisäksi testit ja harjoitukset pyrittiin suorittamaan samaan aikaan vuorokaudesta ± 2 h sisällä toisistaan. Tutkimuksen koeasetelma on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Tutkimuksen koeasetelma. 3000 m rata, ratatesti; VO_{2max}, suora juoksumattotesti.

6.3 Aineiston keräys ja analysointi

Kaikki tutkittavat suorittivat alkuverryttelyn ennen testi- tai harjoitusmittauksia. Alkuverryttely suoritettiin joko omatoimisesti tai ohjatusti. Suositus ennen jokaista testi- tai kontrolliharjoitusta oli, että tutkittava juoksee 15 min määritettyä aerobista kynnystä rauhallisemmalla vauhdilla, jonka päälle suoritetaan kaksi n. 20 s kiihdytysjuoksua harjoituksen tai testin tavoitevauhdilla.

Tutkittavilta mitattiin syke (Suunto t6, Vantaa, Suomi) jokaisesta kontrolliharjoituksesta ja testistä. Syketulokset tarkistettiin Suunto Training Manager -ohjelmalla. Sykedatasta tutkittiin harjoituksista jokaisen intervallin viimeisen 30 s keskiarvo, sekä suorasta juoksumattotestistä jokaisen kuorman viimeisen 30 s keskiarvo.

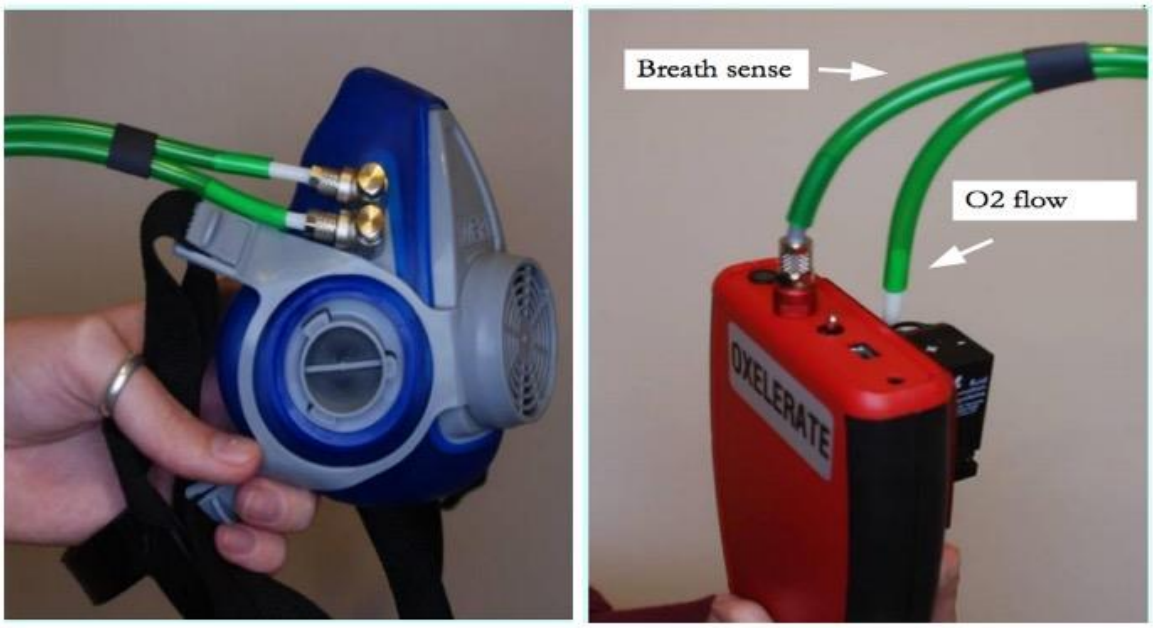
Tutkittavilta otettiin sormenpäästä 20 µl verinäyte laktaattipitoisuuden analysoimiseksi. Näytteet otettiin ennen jokaisen harjoituksen ja juoksumattotestin alkua, jokaisen kuorman päätteeksi, sekä 1 min jälkeen viimeisestä kuormasta, jotta harjoituksen tai testin korkein laktaattiarvo löydettäisiin. Juoksumatto pysäytettiin näytteenoton ajaksi. Suorissa juoksumattotesteissä verinäytteen otto sisältyi seuraavaan kuormaportaaseen, jolloin kuorman juostu aika vaihteli 2 minuutista ja 40 sekunnista 2 minuuttiin ja 30 sekuntiin. Verinäytteistä analysoitiin laktaattipitoisuus (mmol/l) Biosen S_line Lab+ analysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa).

Harjoitusten koettua kuormittavuutta (RPE) seurattiin myös kysymällä tutkittavalta koettua rasituksen tuntemusta asteikolla 0-10+ (Liite 5). Lisäksi harjoituksissa mitattiin veren happisaturaatiota (SpO_2%) sormenpäästä mittaamalla (Nonin 3150 wrist pulse oximeter, Nonin Medical AB, Saksa). RPE ja SpO_2% kysyttiin 2 x 15 min harjoituksessa joka viidennen minuutin alkaessa ja 6 x 3 min harjoituksessa intervallin viimeisen minuutin aikana.

Hyperoksiaharjoituksissa hyödynnettiin Oxelerate mobile 1.3 laitteistoa (Oxelerate AB, Tumba, Ruotsi), jonka avulla hengitysilman happipitoisuus (F_IO_2) pystyttiin nostamaan 25–30 % riippuen tutkittavan hengitystiheydestä. Laite antaa sisäänhengityksen alkuvaiheessa pullosta pienen annoksen puhdasta happea, mikä sekoittuu hengitysilmaan. Ennen harjoituksen alkua maski, joka oli kiinnitetty väliletkun kautta happipullon ohjausyksikköön, asetettiin tutkittavan kasvoille. Laitteisto on esitetty kuvassa 9. Kuvassa 10 esitetään tutkittava hyperoksiaharjoituksessa.

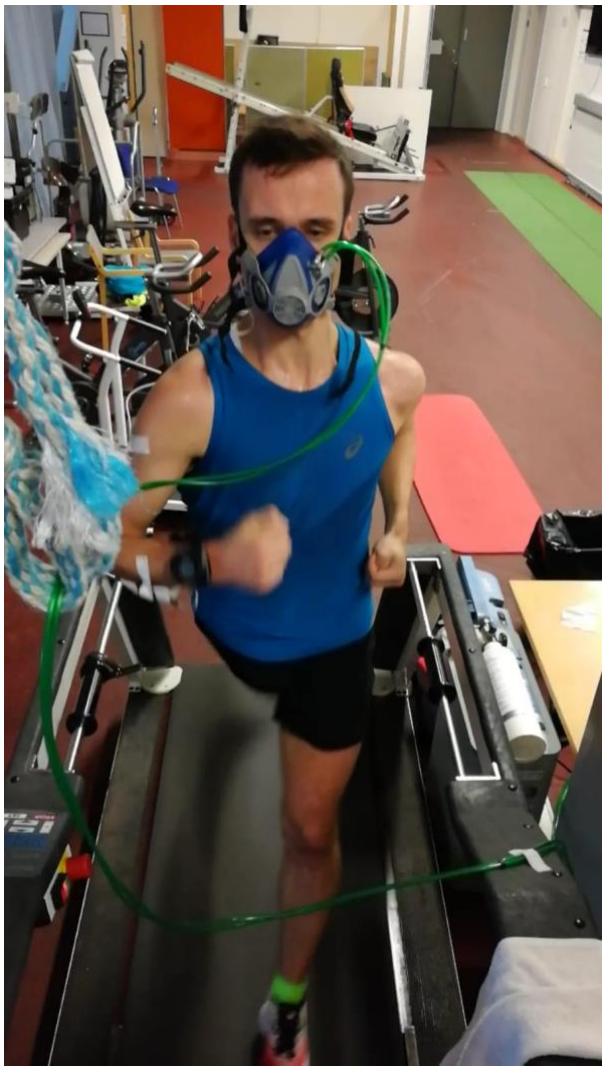
Kolmentuhannen metrin ratatestit suoritettiin Hipposhallissa kiertämällä 200 m mittaista rataa 15 kierrosta. Suorat juoksumattotestit suoritettiin liikuntalaboratoriossa n. 22°C lämpötilassa ja n. 30 % ilmankosteudessa. Suorissa juoksumattotesteissä käytettiin OJK-1-juoksumattoa (Telineyhtymä Kotka, Kotka, Suomi). Juoksumaton kulma asetettiin 0,6 asteeseen (1,0 prosenttia) kaikissa harjoituksissa ja juoksumattotesteissä, koska sen on todettu vastaavan

puuttuvaa ilmanvastusta (Jones & Doust 1996). Harjoitukset vietiin läpi vanhassa biomekaniikan laboratoriossa H/P Cosmos juoksumatolla (Nußdorf, Saksa).



KUVA 9. Lisähappilaitteiston maski ja ohjausyksikkö. Kuva: Oxelerate AB.

Hengityskaasuja mitattiin koko suorien juoksumattotestien ajan. Mittaamisessa käytettiin henkäys-henkäykseltä mittaavaa kannettavaa hengityskaasuanalysaattoria (Oxycon Mobile, VIASYS Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa) ja JLAB -ohjelmaa. Tutkittavan kasvoille aseteltiin mittauksia ennen sopivan kokoinen tiivis suun ja nenän peittävä silikonimaski (Hans Rudolph inc, U.S.A). Hengityskaasuista mitattiin hapenkulutusta (absoluuttinen ja suhteellinen), hiilidioksidin tuottoa ja ventilaatiota (vakio-olosuhteisiin muutettu), jotka raportoitiin viimeisen minuutin keskiarvon mukaan.



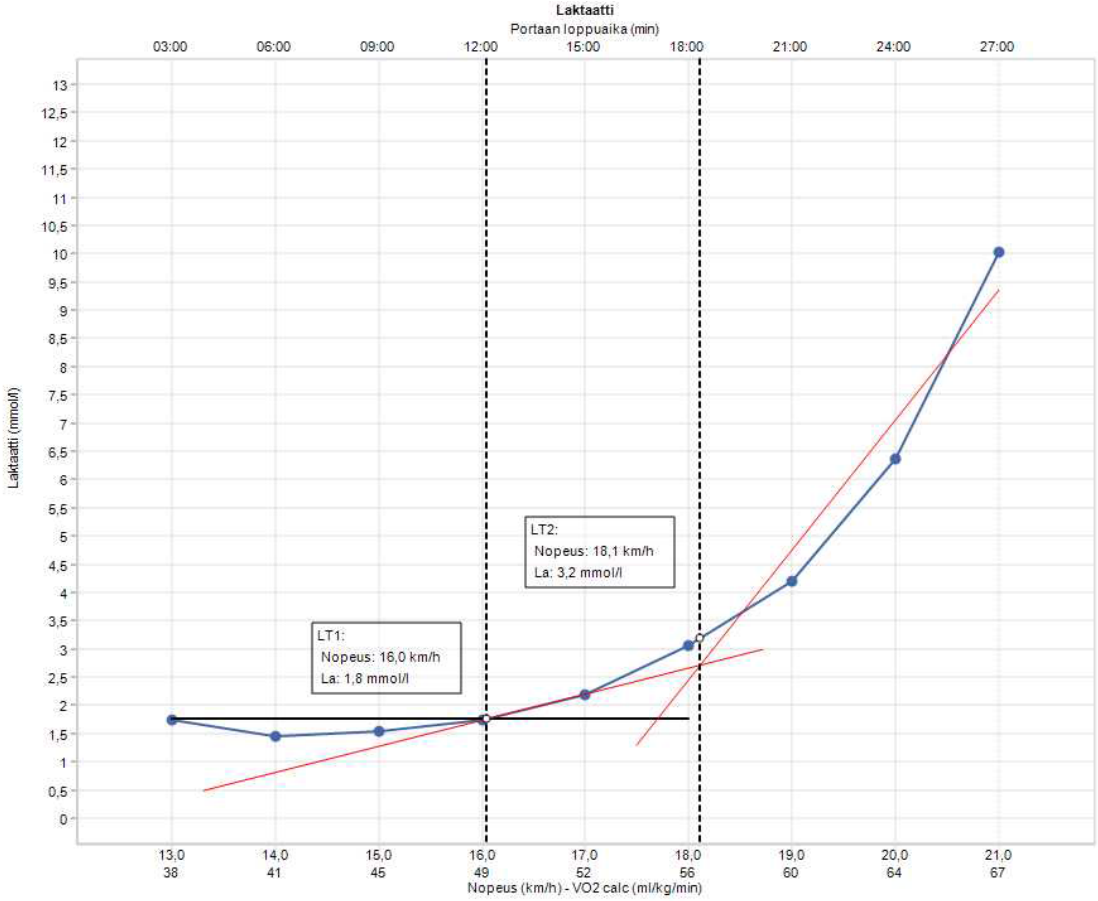
KUVA 10. Tutkittava hyperoksiaharjoituksessa.

KLab-ohjelmaa käytettiin tämän tutkimuksen kynnysmääritysten analysoimisessa. Ohjelma on kehitetty Aino Health Oy:n ja Kuortaneen urheiluopiston toimesta. KLab-määritysmenetelmät ovat kynnysmääritysmenetelmien perusta suomalaisessa kestävyystestauksessa. Ohjelmassa määritetään harjoituskynnykset laktaatista ja hengitysmuuttujista erikseen. Menetelmän myötä automatiikan rooli on hieman kasvanut ja testaajan hieman pienentynyt kynnysmäärityksessä. Suoran testin kynnysmääritysohjelma on kehitetty Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksessa (KIHU). (Kainlauri 2019; Nummela & Hynynen 2019.)

Juoksumattotesteistä määritettiin AeK ja AnK KLabin menetelmällä (Nummela 2014) veren laktaatti-juoksunopeus -käyrästä. Menetelmä ehdottaa AeK määritystä juoksunopeuteen, joka on 0,3 mmol/l alimman mitatun laktaattiarvon yläpuolella. AnK ehdotetaan määritettäväksi kahden lineaarisovitteen väliseen leikkauspisteeseen. Lineaarisovite 1 muodostetaan

kulkemaan AeK:n ja sitä seuraavan kuorman laktaattipitoisuuden kautta ja lineaarisovite 2 korkeimmille laktaattipisteille alkaen siitä pisteestä, missä laktaattipitoisuus nousee ensimmäisen kerran yli 0,8 mmol/l verrattuna sitä edeltävään pisteeseen (Kuva 11). Testin aikana mitattu korkein minuutin keskiarvo määritettiin maksimaaliseksi hapenottokyvyksi.

Tutkittavat saivat testeistään palautteet, mihin kirjattiin maksimaalista suorituskykyä, AnK:stä ja AeK:stä vastaavat arvot hapenoton (absoluuttinen ja suhteellinen), sykkeen, veren laktaattipitoisuuden ja nopeuden osalta. Palautteen tarkoituksena oli seurata tutkittavien kunnon kehittymistä tutkimusjakson aikana. Lisäksi tutkittavat saivat tietoa omasta kestävyyskunnostaan.



KUVA 11. Suoran juoksumattotestin laktaattikäyrä. Laktaatti (mmol/l); nopeus (km/h); laskettu hapenkulutus (ml/kg/min) (Nummela 2014).

6.4 Tilastolliset menetelmät

Tulosten analysointia varten käytettiin Microsoft Office Excel 2019 -ohjelmaa. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 26.0 -ohjelmaa (IBM Corporation). Ennen muuta tilastollista analysointia varmistettiin mittaustulosten olevan likimain normaalisti jakautuneita muuttujia.

Kaksitoista tutkittavaa (n = 12) suorittivat kaikki kuusi testiä. Kolmena testiviikkona suoritettiin 3000 m ratatesti ja suora juoksumattotesti. Yhdeltä tutkittavalta ei saatu luotettavasti mitattua maksimaalista hapenottokykyä ensimmäiseltä mattotestikerralta. Tutkimuksen läpivieneiden tutkittavien harjoituksiin osallistumisprosentti oli 100.

Tulokset ovat muodossa keskiarvo (KA) ± keskihajonta (KH). Harjoitusjaksojen välisiä tuloksia vertailtiin ANOVAn toistomittausten varianssianalyysillä Bonferronin korjausta hyödyntäen. Lisäksi harjoitusmenetelmien sisäiseen vertailuun käytettiin parittaista *t*-testiä. Harjoitusjaksojen välisten erojen raportoinnissa on esitetty vapausaste (df), F-testin arvo, tilastollinen merkitsevyys p-arvo, Etan neliö (η^2) ja koeasetelman tilastollinen voima (engl. Observed Power). Harjoitusten välisiä eroja sykkeen (HR), laktaatin (Lac), happisaturaatiomittausten (SpO_2%) ja koetun rasituksen tuntemuksen (RPE) osalta analysoitiin normaalisti jakautuneille muuttujille parittaisella *t*-testillä. Muuttujien normaalijakautuneisuus tarkastettiin kaikkien muuttujien osalta Shapiro-Wilkin testillä. Ei-normaalisti jakautuneet ja ei-parametriset muuttujat analysoitiin Wilcoxonin parittaisella *t*-testillä. Tilastollinen merkitsevyys asetettiin $p < 0,05$ tilastollisesti merkitsevä, $p < 0,01$ tilastollisesti hyvin merkitsevä ja $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä. Muuttujien välistä korrelaatiota tarkasteltiin normaalisti jakautuneiden muuttujien osalta Pearsonin testillä ja ei-normaalisti jakautuneiden muuttujien osalta Spearmanin testillä.

6.5 Tutkimuksen aikainen harjoittelun kokonaismäärä

Tutkittavat täyttivät harjoituspäiväkirjaa läpi tutkimuksen (Liite 6). Harjoituspäiväkirjoista laskettiin harjoittelun kokonaisvolyymi ajallisesti (min) ja juostua matkaa kohden (km), sekä harjoituskertojen lukumäärä (lkm) jokaista tutkimuksen kalenteriviikkoa kohden. Harjoitusmäärät esitetään sekä aikajärjestyksessä, että NO- ja HO-jaksot eriteltynä. Ainoa

tilastollisesti merkitsevä ero harjoittelun kokonaismäärissä löydettiin NO- ja HO-jaksojen aikana juostuissa kilometreissä. NO-jakson aikana tutkittavat juoksivat keskimäärin viikossa 64,7 ± 20,7 ja HO-jakson aikana 73,9 ± 26,4 km ($p < 0,05$). Harjoittelun kokonaismäärät on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Harjoittelun toteutuminen tutkimuksen aikana viikkokohtaisesti keskiarvoina ± keskihajonta (KA ± KH). Harjoittelun kokonaismäärä ajallisesti (min), juostu määrä (km), sekä harjoituskerrat (lkm).

Toteutus/vko		Volyymi (min)	Volyymi (km)	Harjoituskerrat (lkm)
Lähtötesti	KA	481	61,9	8,4
	± KH	238	26,2	2,5
Välitesti	KA	510	68,6	8,0
	± KH	186	29,3	2,7
Päättötesti	KA	471	67,6	7,9
	± KH	148	29,2	2,2
NO-jakso/vko	KA	512	64,7*	8,0
	± KH	194	20,7	2,5
HO-jakso/vko	KA	529	73,9*	8,7
	± KH	197	26,4	2,8
Lähtö-väli -jakso/vko	KA	511	68,4	8,2
	± KH	201	22,4	2,8
Väli-päättö -jakso/vko	KA	530	70,2	8,5
	± KH	189	25,8	2,5
Koko tutkimus/vko	KA	509	68,2	8,3
	± KH	169	21,8	2,2

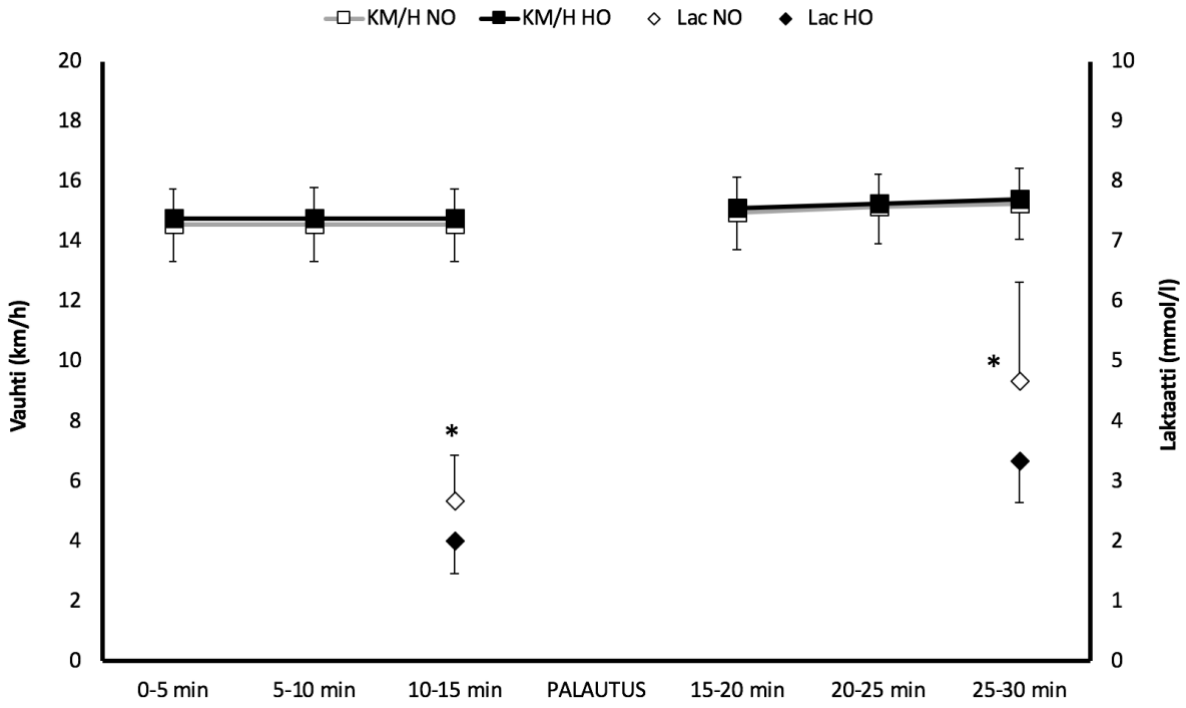
NO, normoksia; HO, hyperoksia; *, $p < 0,05$, ero menetelmien välillä

7 TULOKSET

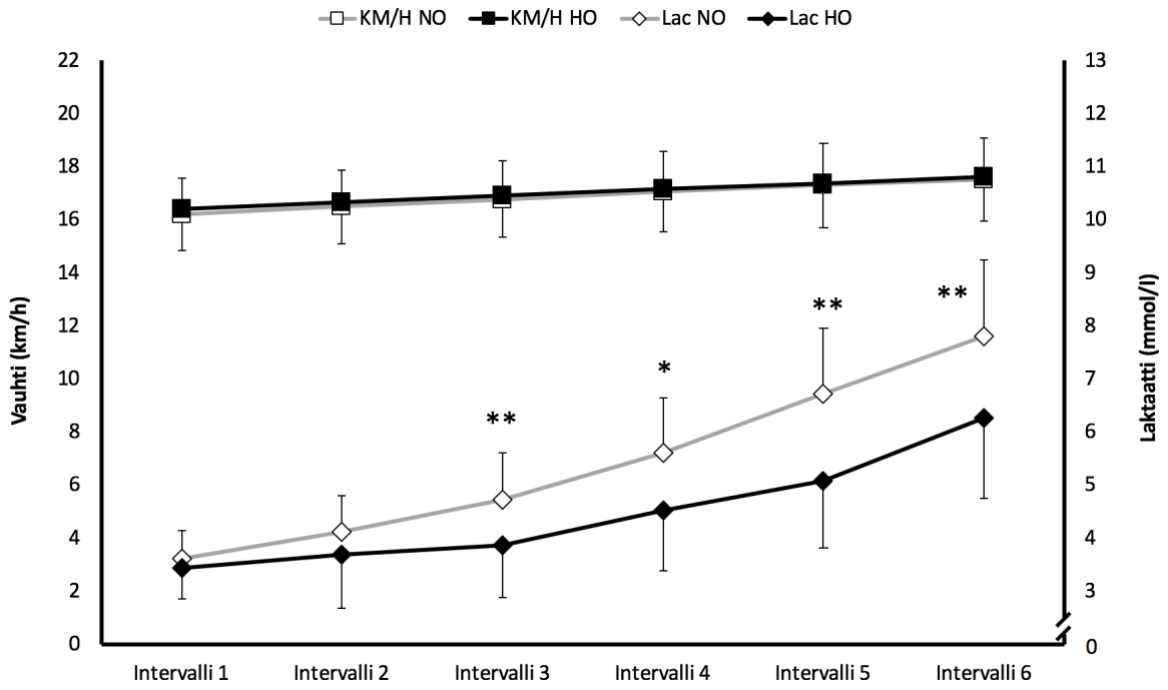
7.1 Harjoitusten akuutit vasteet

7.1.1 Veren laktaattipitoisuus

Veren laktaattipitoisuus pysyi HO-harjoituksissa matalampana kuin NO-harjoituksissa. Veren laktaattipitoisuudet olivat viikon ensimmäisessä kontrolliharjoituksessa, 2 x 15 min, normoksisissa olosuhteissa keskimäärin 3,66 ± 1,01 ja hyperoksisissa 2,66 ± 0,56 mmol/l ($p < 0,05$). Viikon toisessa kontrolliharjoituksessa, 6 x 3 min, laktaattipitoisuudet olivat keskimäärin normoksiassa 5,43 ± 0,88 ja hyperoksiassa 4,48 ± 1,01 mmol/l ($p < 0,05$). 6 x 3 min harjoituksessa veren laktaattipitoisuus oli normoksiassa korkeampi 4. intervallissa ($p < 0,05$) ja intervalleissa 3, 5 ja 6, sekä koko harjoituksen keskiarvon osalta ($p < 0,01$). Laktaattien kuormakohtainen käyttäytyminen 2 x 15 min harjoitukselle on esitetty kuviossa 1 ja 6 x 3 min harjoitukselle kuviossa 2.



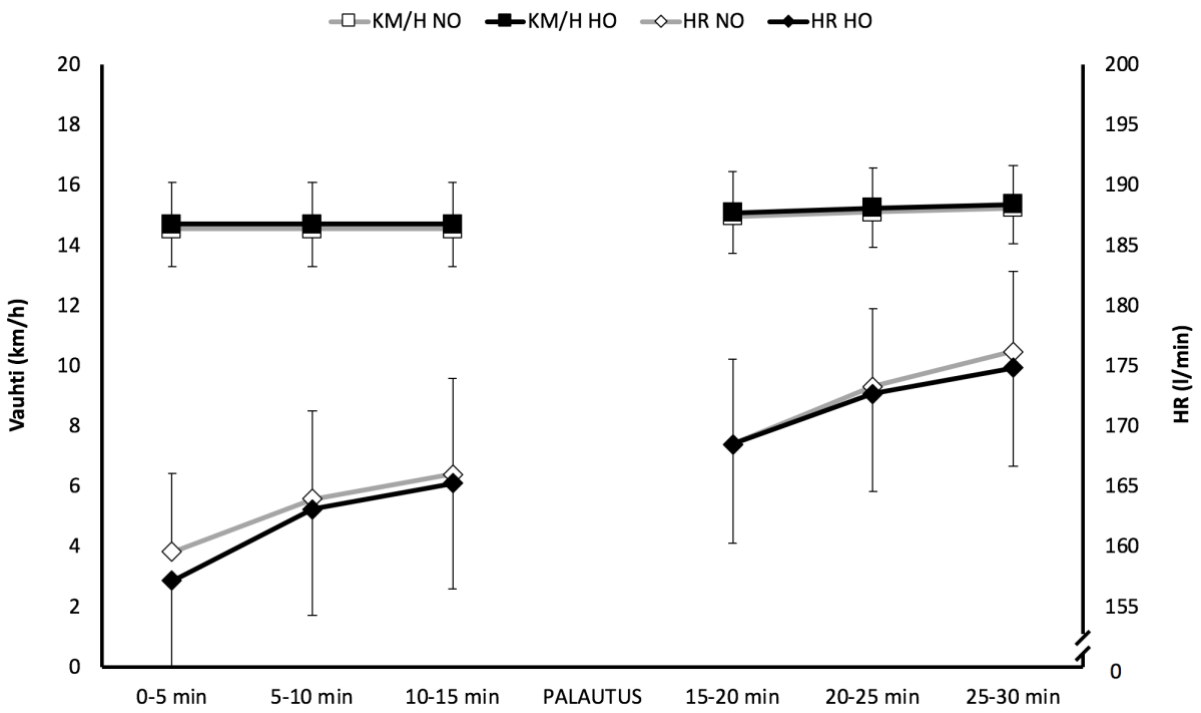
KUVIO 1. Kontrolliharjoituksen 2 x 15 min vauhti ja laktaattitulokset. Vauhti (km/h); laktaatti, Lac (mmol/l); NO, normoksia; HO, hyperoksia; *, $p < 0,05$, ero menetelmien välillä



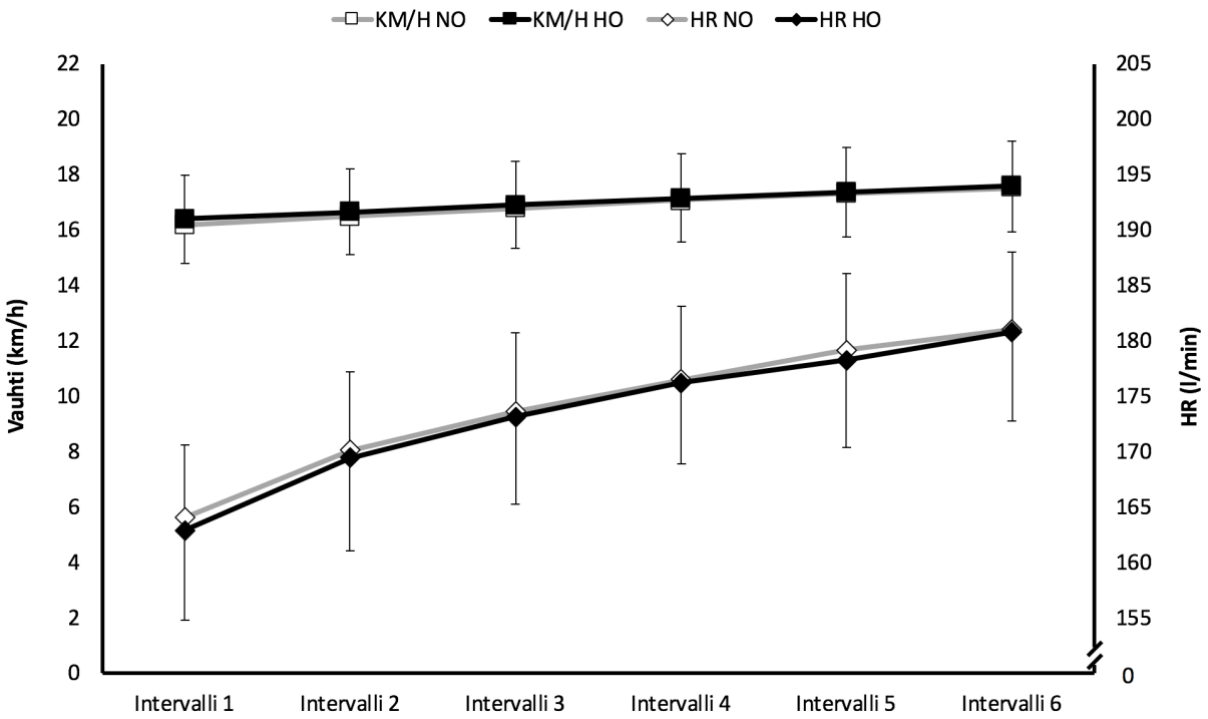
KUVIO 2. Kontrolliharjoituksen 6 x 3 min vauhti ja laktaattitulokset. Vauhti (km/h); laktaatti, Lac (mmol/l); NO, normoksia; HO, hyperoksia; *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$, ero menetelmien välillä

7.1.2 Syke

Sykkeet olivat viikon ensimmäisessä kontrolliharjoituksessa, 2 x 15 min, normoksisissa olosuhteissa keskimäärin 168 ± 7 ja hyperoksisissa 167 ± 8 l/min. Viikon toisessa kontrolliharjoituksessa, 6 x 3 min, sykkeet olivat keskimäärin normoksiassa 174 ± 7 ja hyperoksiassa 173 ± 8 l/min. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei löydetty kummastakaan kontrolliharjoituksesta niin kuormakohtaisesti kuin koko harjoituksen keskiarvoistakaan ($p > 0,05$). Sykkeiden kuormakohtainen käyttäytyminen 2 x 15 min harjoitukselle on esitetty kuviossa 3 ja 6 x 3 min harjoitukselle kuviossa 4.



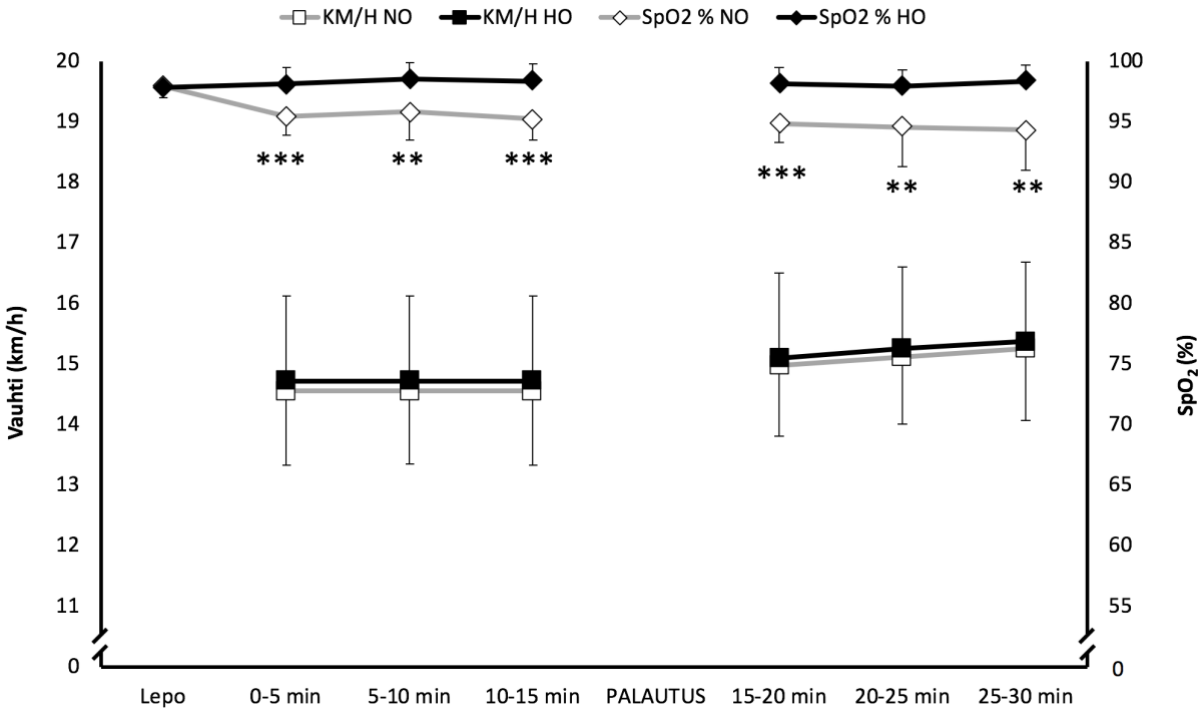
KUVIO 3. Kontrolliharjoituksen 2 x 15 min vauhti ja syke. Vauhti (km/h); syke, HR (l/min); NO, normoksia; HO, hyperoksia



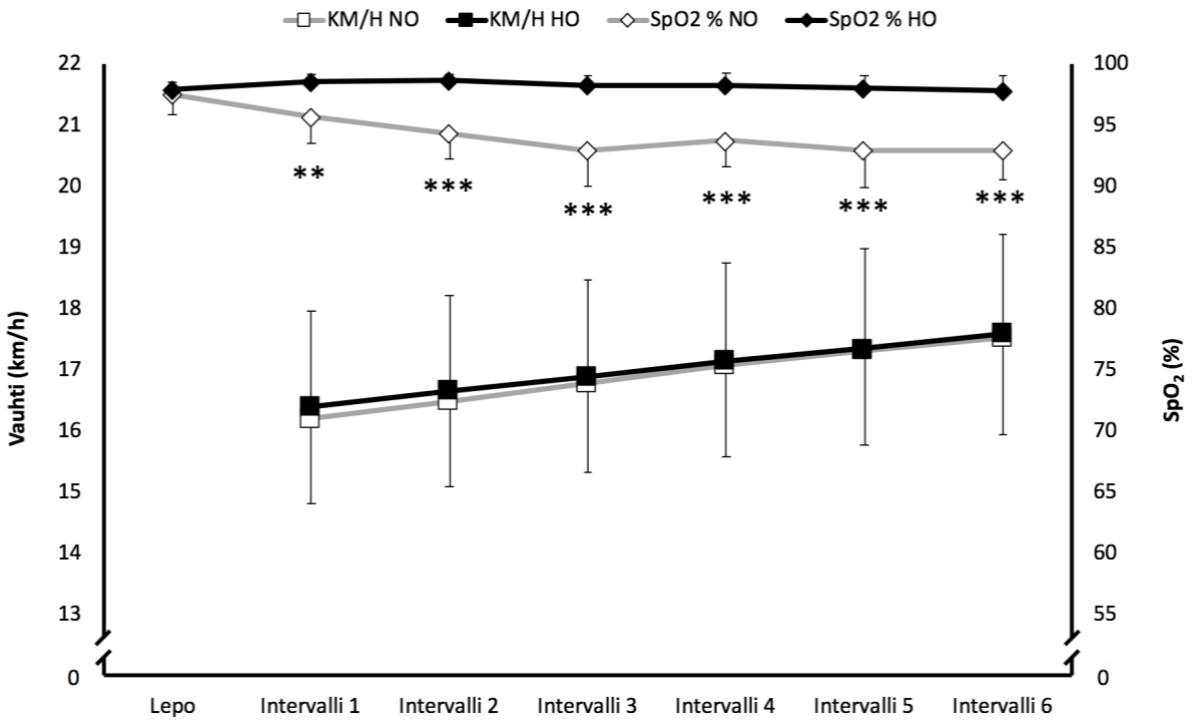
KUVIO 4. Kontrolliharjoituksen 6 x 3 min vauhti ja syke. Vauhti (km/h); syke, HR (l/min); NO, normoksia; HO, hyperoksia

7.1.3 Veren happisaturaatio

Veren happisaturaatio oli viikon ensimmäisessä kontrolliharjoituksessa, 2 x 15 min, normoksisissa olosuhteissa keskimäärin 95,1 ± 2,0 ja hyperoksisissa 98,3 ± 0,6 % ($p < 0,001$). Viikon toisessa kontrolliharjoituksessa, 6 x 3 min, happisaturaatio oli keskimäärin normoksiassa 93,7 ± 2,0 ja hyperoksiassa 98,2 ± 0,7 % ($p < 0,001$). Kun tutkittiin saturaatiotulosten välisiä eroja kuormakohtaisesti, tilastolliset merkitsevyydet löydettiin menetelmien välille 2 x 15 min harjoituksesta niin ensimmäisen, kuin toisen 15 min intervallin väliltä ($p < 0,001$). 6 x 3 min harjoituksessa tilastollinen merkitsevyys löytyi jokaisen intervallin ja koko harjoituksen väliltä. Tilastollinen merkitsevyys ensimmäisessä intervallissa oli ($p < 0,01$) ja intervalleissa 2–6 ($p < 0,001$). SpO_2% kuormakohtainen käyttäytyminen 2 x 15 min harjoitukselle on esitetty kuviossa 5 ja 6 x 3 min harjoitukselle kuviossa 6.



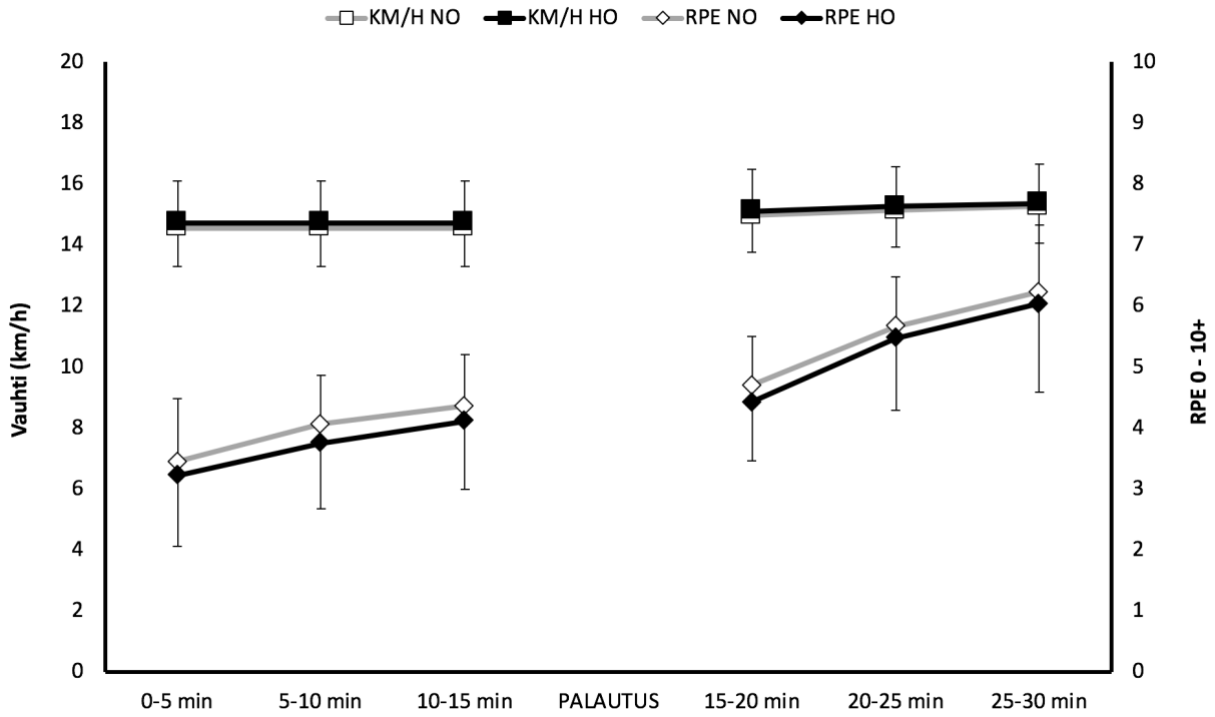
KUVIO 5. Kontrolliharjoituksen 2 x 15 min vauhti ja veren happisaturaatio. Vauhti (km/h); happisaturaatio, SpO_2%; NO, normoksia; HO, hyperoksia; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$, ero menetelmien välillä



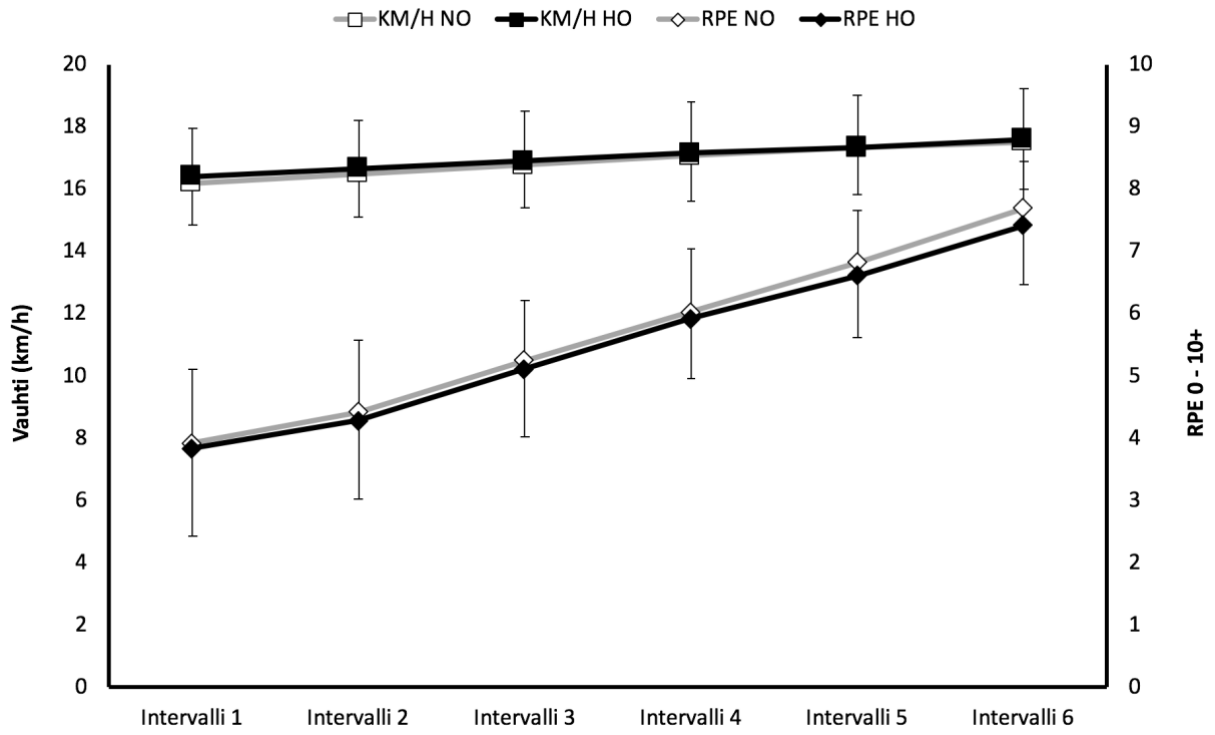
KUVIO 6. Kontrolliharjoituksen 6 x 3 min vauhti ja veren happisaturaatio. Vauhti (km/h); happisaturaatio, SpO_2%; NO, normoksia; HO, hyperoksia; **, $p < 0{,}01$; ***, $p < 0{,}001$, ero menetelmien välillä

7.1.4 Koettu rasituksen tuntemus

Koettu rasituksen tuntemus oli viikon ensimmäisessä kontrolliharjoituksessa, 2 x 15 min, normoksisissa olosuhteissa keskimäärin 4,7 ± 0,8 ja hyperoksisissa 4,5 ± 1,1 asteikolla 0-10+. Viikon toisessa kontrolliharjoituksessa, 6 x 3 min, koettu rasituksen tuntemus oli keskimäärin normoksiassa 5,7 ± 0,9 ja hyperoksiassa 5,5 ± 1,0. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei löydetty kummastakaan kontrolliharjoituksesta niin kuormakohtaisesti kuin koko harjoituksen keskiarvoistakaan ($p > 0{,}05$). RPE:n kuormakohtainen käyttäytyminen 2 x 15 min harjoitukselle on esitetty kuviossa 7 ja 6 x 3 min harjoitukselle kuviossa 8.



KUVIO 7. Kontrolliharjoituksen 2 x 15 min vauhti (km/h) ja koettu rasituksen tuntemus, RPE asteikolla 0 - 10+. NO, normoksia; HO, hyperoksia



KUVIO 8. Kontrolliharjoituksen 6 x 3 min vauhti (km/h) ja koettu rasituksen tuntemus, RPE asteikolla 0 - 10+. NO, normoksia; HO, hyperoksia

7.2 Harjoitusvaikutukset

7.2.1 3000 m tulos

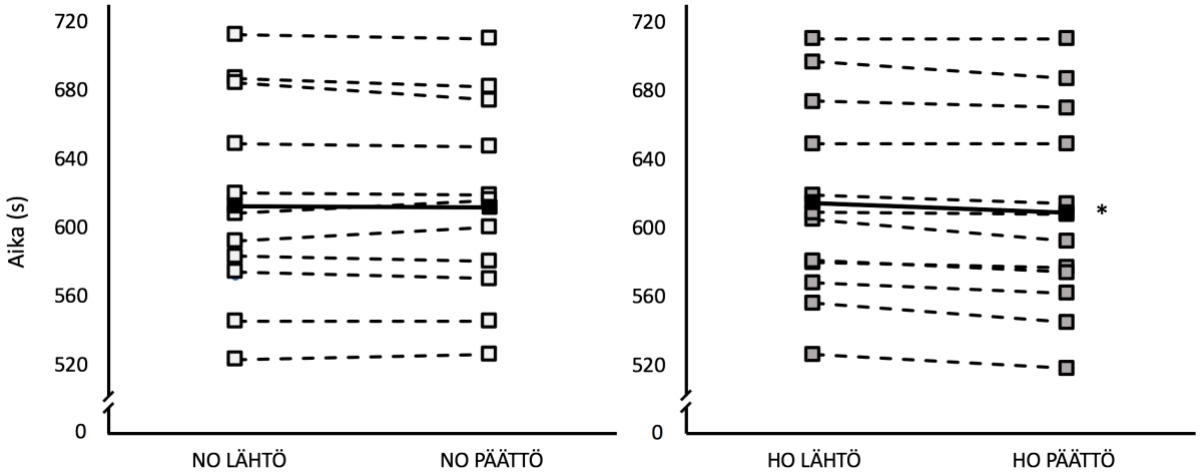
Taulukossa 4. on esitetty 3000 m testien tilastointi NO- ja HO-jaksojen eri vaiheissa. Tutkittavien määrä oli 12 kaikissa ratatesteissä. HO-harjoittelu paransi 3000 m aikakokeen tulosta 5,7 ± 4,3 s ($p < 0,05$). Samanlaista muutosta ei tullut NO-harjoittelussa. NO- ja HO-harjoittelun välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ($p = 0,086$). Kuviossa 9 esitetään kaikkien tutkittavien 3000 m testien tuloskehitys NO- ja HO-jaksojen aikana.

Aikajärjestyksessä 3000 m tulokset paranivat tutkimuksen edetessä. Lähtötestissä 3000 m aikojen keskiarvo oli 615,8 ± 59,0 s, välitestissä 611,0 ± 58,1 s ja päättötestissä 609,3 ± 58,8 s. Lähtö- ja välitestin, sekä lähtö- ja päättötestin välillä oli tilastollinen merkitsevyys ($p < 0,01$), mutta väli- ja päättötestin välillä tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut.

TAULUKKO 4. 3000 metrin suoritusaikojen tilastointi tutkimuksen eri vaiheissa ja tilastolliset muuttujat selittämään muutoksia testikertojen ja menetelmien välille. Tulokset keskiarvoina (KA ± KH). Ala- ja yläraja 95 % luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

	KA (s)	KH (s)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
NO lähtö	612,3	59,6				
NO päättö	611,4	57,5	0,9	-2,373	4,207	0,552
	KA (s)	KH (s)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
HO lähtö	614,5	57,6				
HO päättö	608,8	59,1	5,7	1,323	9,177	0,013*
		df	F-testi	p-arvo	η^2	Tilastollinen voima
NO Δ - HOΔ		1, 11	3,558	0,086	0,244	0,406

KA, keskiarvo; KH, keskihajonta; Δ, muutos; NO, normoksia; HO, hyperoksia; df, vapausaste; η^2, Etan neliö; *, $p < 0,05$, ero menetelmien välillä



KUVIO 9. 3000 m tulosten kehittyminen tutkittavilla NO- ja HO-jaksojen aikana. NO, normoksia; HO, hyperoksia; *, $p < 0,05$, ero menetelmien välillä

7.2.2 Maksimihapenotto

Taulukossa 5 on esitetty VO_{2max} arvot NO- ja HO-jaksojen eri vaiheissa. Lisäksi on tutkittu harjoitusmenetelmien välistä eroa. Tutkittavien määrä maksimihapenoton tuloksissa on 11, koska yhdeltä tutkittavalta menetettiin hengityskaasumittaukset ensimmäisessä mattotestissä. VO_{2max} ei muuttunut NO- tai HO-harjoittelun myötä ($p > 0,05$).

VO_{2max} kasvoi tutkimuksen edetessä, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lähtötesteissä VO_{2max} keskiarvo oli 57,4 ± 5,3, välitesteissä 58,1 ± 4,5 ja päättötesteissä 58,3 ± 5,2 ml/kg/min.

TAULUKKO 5. VO_{2max} (ml/kg/min) keskiarvoina (KA ± KH) harjoitusmenetelmien eri vaiheissa ja tilastolliset muuttujat selittämään muutoksia testikertojen ja menetelmien välille. Ala- ja yläraja 95 % luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

	KA (ml/kg/min)	KH (ml/kg/min)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
NO lähtö	58,2	5,0				
NO päättö	57,9	4,8	-0,3	-1,500	1,937	0,894
	KA (ml/kg/min)	KH (ml/kg/min)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
HO lähtö	57,3	4,7				
HO päättö	58,4	5,0	1,1	-2,900	0,591	0,171
		Df	F-testi	p-arvo	η^2	Tilastollinen voima
NO Δ - HOΔ		1, 10	1,029	0,334	0,093	0,151

KA, keskiarvo; KH, keskihajonta; Δ, muutos; NO, normoksia; HO, hyperoksia; df, vapausaste; η^2, Etan neliö

7.2.3 Mattotestin maksimivauhti

Taulukossa 6 on esitetty mattotestien V_{max} NO- ja HO-jaksojen eri vaiheissa. Lisäksi on tutkittu harjoitusmenetelmien välistä eroa. Tutkittavien määrä kaikissa testeissä oli 12. V_{max} ei muuttunut NO- tai HO-harjoittelun myötä ($p > 0,05$).

V_{max} keskiarvot paranivat lähtötestistä välitestiin ($p < 0,05$), mutta parannusta ei havaittu välitestistä päättötestin tai lähtötestin ja päättötestin välillä ($p > 0,05$). Lähtötesteissä V_{max} keskiarvo oli 19,0 ± 1,8, välitesteissä 19,3 ± 1,5 ja päättötesteissä 19,1 ± 1,6 km/h.

TAULUKKO 6. V_{max} (km/h) keskiarvoina (KA ± KH) harjoitusmenetelmien eri vaiheissa ja tilastolliset muuttujat selittämään muutoksia testikertojen ja menetelmien välille. Ala- ja yläraja 95 % luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

	KA (km/h)	KH (km/h)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
NO lähtö	19.23	1.59				
NO päättö	19.20	1.51	-0.025	-0.163	0.213	0.775
	KA (km/h)	KH (km/h)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
HO lähtö	19.03	1.69				
HO päättö	19.18	1.66	0.15	-0.477	0.177	0.334
		Df	F-testi	p-arvo	η^2	Tilastollinen voima
NO Δ - HOΔ		1, 11	0.694	0.422	0.059	0.119

KA, keskiarvo; KH, keskihajonta; Δ, muutos; NO, normoksia; HO, hyperoksia; df, vapausaste; η^2, Etan neliö

7.2.4 Vauhti anaerobisella kynnyksellä

Taulukossa 7 on esitetty mattotestien vAnK NO- ja HO-jaksojen eri vaiheissa. Tutkittavien määrä kaikissa testeissä oli n = 12. NO-harjoittelun myötä vAnK parani 0,4 ± 0,6 km/h ($p = 0,037$). Samanlaista muutosta ei tapahtunut HO-harjoittelun myötä eikä NO- ja HO-jaksot poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0,05$).

Tutkimuksen edetessä vAnK parani lähtötestistä välitestiin ja lähtötestistä päättötestiin ($p < 0,05$), mutta tilastollisesti merkitsevää muutosta ei tapahtunut välitestistä päättötestin ($p > 0,05$). Lähtötesteissä vAnK keskiarvo oli 16,0 ± 1,3, välitesteissä 16,5 ± 1,6 ja päättötesteissä 16,5 ± 1,6 km/h.

TAULUKKO 7. vAnK (km/h) keskiarvoina (KA ± KH) harjoitusmenetelmien eri vaiheissa ja tilastolliset muuttujat selittämään muutoksia testikertojen ja menetelmien välille. Ala- ja yläraja 95 % luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

	KA (km/h)	KH (km/h)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
NO lähtö	16,18	1,38				
NO päättö	16,59	1,56	0,42	-0,804	-0,029	0,037*
	KA (km/h)	KH (km/h)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
HO lähtö	16,38	1,58				
HO päättö	16,37	1,59	-0,01	-0,258	0,274	0,946
		df	F-testi	p-arvo	η^2	Tilastollinen voima
NO Δ - HOΔ		1, 11	2,678	0,130	0,196	0,321

KA, keskiarvo; KH, keskihajonta; Δ, muutos; NO, normoksia; HO, hyperoksia; df, vapausaste; η^2, Etan neliö; *, $p < 0,05$, ero menetelmien välillä

7.2.5 Juoksun taloudellisuus

Juoksun taloudellisuutta tutkittiin viimeiseltä täydeltä kuormalta ennen vAnK:ä. Näin pystyttiin vertailemaan suoritusta testien välillä siten, että anaerobinen energiantuotto ei ollut vielä suuressa roolissa. Tutkittujen kuormien nopeus oli 15,6 ± 1,5 km/h. Taulukossa 8 on esitetty mattotestien RE arvot NO- ja HO-jaksojen eri vaiheissa. Tutkittavien määrä juoksun taloudellisuutta tutkittaessa oli 11, koska yhdeltä tutkittavalta menetettiin hengityskaasumittaukset ensimmäisessä mattotestissä. RE ei muuttunut NO- tai HO-harjoittelun myötä ($p > 0,05$).

RE keskiarvoissa ei tapahtunut muutoksia tutkimuksen edetessä ($p > 0,05$). Lähtötesteissä RE keskiarvo oli 197,8 ± 14,4, välitesteissä 196,6 ± 13,9 ja päättötesteissä 197,3 ± 12,1 $mlO_2/kg/km$.

TAULUKKO 8. RE ($mlO_2/kg/km$) tulokset keskiarvoina (KA ± KH) harjoitusmenetelmien eri vaiheissa ja tilastolliset muuttujat selittämään muutoksia testikertojen ja menetelmien välille. Ala- ja yläraja 95 % luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

	KA ($mlO_2/kg/km$)	KH ($mlO_2/kg/km$)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
NO lähtö	198,9	14,7				
NO päättö	195,6	12,7	-3,3	-2,507	9,053	0,236
	KA ($mlO_2/kg/km$)	KH ($mlO_2/kg/km$)	KA Δ	Alaraja, 95 % luottamusväli	Yläraja, 95 % luottamusväli	p-arvo
HO lähtö	195,5	13,3				
HO päättö	198,2	13,2	2,7	-8,009	2,555	0,277
		df	F-testi	p-arvo	η^2	Tilastollinen voima
NO Δ - HOΔ		1, 10	2,519	0,144	0,201	0,301

KA, keskiarvo; KH, keskihajonta; Δ, muutos; NO, normoksia; HO, hyperoksia; df, vapausaste; η^2, Etan neliö

8 POHDINTA

Tutkimuksen tulosten mukaan hyperoksia- ja normoksiaharjoittelun välillä ei syntynyt eroja 3000 m suoritukseen kuluneessa ajassa, mattotestissä saavutetussa maksimivauhdissa, maksimaalisessa hapenottokyvyssä, anaerobista kynnystä vastaavassa vauhdissa, eikä juoksun taloudellisuudessa. Toisaalta, 3000 m tulos parani HO-harjoittelun myötä ($p < 0,05$), vaikkei menetelmien välillä ollut tilastollista merkitsevyyttä ($p > 0,05$).

Hämäläinen, Nummela & Rusko (2000) mukaan hyperoksiaharjoittelu johtaa parantuneeseen 3000 metrin suorituskykyyn mieskestävyysjuoksijoilla, kuten tämänkin tutkimuksen tulokset osoittavat. Kyseisessä tutkimuksessa harjoittelun luonne oli erilainen tähän tutkimukseen nähden. Tutkittavat suorittivat neljän viikon ajan kolme kovaa harjoitusta joko hyperoksiassa tai normoksiassa. Toisaalta tutkittavat tekivät vain toisen harjoitusjakson. Lisäksi tutkimus oli yksöissokkotutkimus, eli tutkittavat eivät tienneet saivatko he harjoittelunsa aikana normoksista vai hyperoksista ilmaa. Tutkijat pohtivat parannuksen johtuneen anaerobisen juoksukyvyn parantumisesta, mikä osoitettiin MART -testillä (maximal anaerobic running test), jossa juostaan kiihtyvästi 10 x 150 m.

Syy siihen, miksi menetelmien välille ei syntynyt tilastollisesti merkitseviä eroja tässä tutkimuksessa saattaa johtua siitä, että harjoitusjaksot olivat samankaltaisia keskenään. Tässä tutkimuksessa kontrolliharjoituksissa juostuilla vauhdeilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa menetelmien välillä. Lisähappea käytettäessä urheilijan suorituskyky paranee (Peltonen ym. 1995; Peltonen ym. 1997; Prieur ym. 2002; Tucker ym. 2007; Ohya ym. 2016). Jotta hyperoksiaharjoittelun mahdolliset hyödyt olisivat tulleet ilmi, olisi parantunut suorituskyky tullut hyödyntää ja tutkittaville olisi todennäköisesti täytynyt teettää hyperoksiaharjoitukset kovemmilla vauhdilla kuin normoksiaharjoitukset. Harjoituksissa koetussa rasittavuuden tuntemuksessa ei myöskään ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Koettua rasitusta hyperoksiaharjoituksissa on saattanut lisätä epämukavuuden tunne harjoituksien aikana ylläpidetystä maskista. Laktaattitulokset pysyivät HO-harjoituksissa matalampina ja veren happisaturaatio korkeampana NO-harjoituksiin verrattuna.

Hyperoksiaharjoittelun ei ole todistettu parantavan kilpaurheilijoiden maksimaalista hapenottokykyä (Hämäläinen, Nummela & Rusko 2000; Kilding ym. 2012), kuten ei tässäkään

tutkimuksessa. Morris ym. (2000) epäonnistuivat nuoriin kilpapyöräilijöihin kohdistuvassa tutkimuksessaan VO_{2max} muutosten mittaamisessa teknisten ongelmien vuoksi.

Kestävyysjuoksun suorituskykyisyyden mittaamiseksi 3000 m ratatesti on luotettava valinta selittämään mahdollista kehitystä. Testi on pituudeltaan kestävyyssuoritukseksi lyhyt, eikä vauhdinjaon epäonnistumiseen ole yhtä suurta riskiä kuin esimerkiksi 5000 m testissä. Lisäksi 3000 m testisuorituksesta on mahdollisuus palautua suhteellisen nopeasti. Toisaalta 3000 m testijuoksu ei mittaa pitkäaikaista kestävyyttä. Kolmentuhannen metrin testin käyttäminen suorituskyvyn mittarina suoran mattotestin lisäksi mahdollisti tiheän testaamisrytmin tässä tutkimuksessa, koska molemmissa testeissä juostu aika maksimikestävyysalueella on ajallisesti varsin lyhyt.

Suorituskyvyn mittarina mattojuoksutestissä saavutettu maksimivauhti ei ole yhtä luotettava muuttuja määrittämään muutoksia kestävyyssuorituskyvyssä kuin ratatestin tulos. Perusteluna tälle on se, että mattotesti on tilanteena epäautenttinen urheilijalle. Urheilijat ovat tottuneet jakamaan voimansa ja arvioimaan vauhdinjakonsa tietylle absoluuttisesti mitattavalle matkalle. Mattotestissä suoritus jatkuu niin kauan, kun urheilija haluaa tai pysyy maton kyydissä. Strategiaa mattotestin vauhdinjakoa varten on hankalaa tehdä. Molemmat testimuodot kysyvät motivaatiota, mutta eri tavalla. Lopettamisen kriteerit ovat epäselvemmät mattotestissä kuin ratatestissä, jossa juostaan etukäteen tiedossa oleva matka lähdöstä maaliin asti.

On tarpeen pohtia myös harjoittelun lajispesifisyyttä. Vaikka tasamaalla ja juoksumatolla juokseminen ovat samankaltaisia suoritusmuodoltaan, eivät ne biomekaanisesti ole täysin identtisiä (Riley ym. 2008; Sinclair ym. 2013). Kaikki kontrolliharjoitukset toteutettiin juoksumatolla, joten kehitys mattojuoksun vauhdeissa olisi tuntunut luontevalta tulokselta. Toisaalta HO-jakson jälkeen V_{max}:ssa havaittiin kehitystä, joka ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,05$). Tämä löytö tukee osittain 3000 m testissä HO-harjoittelun myötä havaittua parannusta. Radalla juosten ei toteutettu yhtään kontrolliharjoitusta, eivätkä tutkittavat systemaattisesti sitä harjoitelleet. Hyperoksiajakson myötä ratatuloksissa nähtiin tilastollisesti merkitsevä parannus toisin kuin normoksiajakson myötä, vaikka tutkittavat eivät harjoitelleet ratajuoksua.

Akuutteja vasteita tutkimalla saatiin lisää tietoa siitä, oliko harjoitusmenetelmien välillä eroja. Harjoituksissa juostuilla vauhdeilla, sykkeillä tai koetulla rasittavuuden tuntemuksella ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja normoksia- ja hyperoksiaharjoittelun välillä. Harjoituksissa mitattu veren laktaattipitoisuus ja veren happisaturaatio poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi. Veren laktaattipitoisuus pysyi matalampana hyperoksiaharjoituksissa, mikä oli myös odotettu löydös (Linnarsson ym. 1974; Peltonen 2002; Stellingwerff ym. 2006; Kilding ym. 2012; Sperlich ym. 2016). Veren happisaturaatio taas pysyi korkeammalla hyperoksiaharjoituksissa, mikä oli niin ikään odotettu löydös (Nummela ym. 2002; Peltonen 2002; Peeling & Andersson 2011; Sperlich ym. 2011; Kilding ym. 2012; Ohya ym. 2016). Nämä molemmat tulokset antavat viitteitä siitä, että tutkittavat ovat päässeet helpommalla hyperoksiaharjoituksissa ja että heillä olisi ollut reserviä juosta hyperoksiaharjoitukset normoksiaharjoituksia kovempaa. Matalampia laktaattituloksia voidaan selittää hyperoksian mahdollistamalla suuremmalla aerobisella energiametabolialla, vähentyneellä harjoittelun aikaisella happivajeella, epäorgaanisten fosfaattien, vetyionien ja pyruvaatin tuotolla (Linnarsson ym. 1974; Stellingwerff ym. 2006). Vaikka hyperoksia lisää hapen saatavuutta, se ei vaikuttaisi rasittavan hengitysjärjestelmää normoksiaharjoittelua enempää (Mallette 2017). Vaikka laktaattitulokset pysyivät HO-harjoituksissa matalampana kuin NO-harjoituksissa, ei RPE:ssä ollut eroa. On vaikea tehdä suoria johtopäätöksiä kuinka paljon kovempaa HO-harjoitukset olisi pitänyt juosta, jotta laktaattitulokset olisivat olleet harjoitusmenetelmien välillä samat tai kuinka paljon kovempaa HO-harjoitukset olisi pitänyt juosta, jotta mahdollisia eroja kehityksessä olisi syntynyt menetelmien välille. Yhtenä vaihtoehtona harjoitusten kontrollointiin olisi voinut olla tavoitelaktaattitaso. Toisaalta laktaattinäytteet kerättiin kapillaareihin ja laktaattitulokset analysoitiin vasta harjoitusten jälkeen.

Laktaattitulokset olivat tässä tutkimuksessa keskeisessä roolissa harjoitusten rasittavuuden seurannassa, sekä kynnystasojen seuraamisessa tutkimuksen aikana. On syytä huomioida, että niin absoluuttinen pitoisuus kuin laktaattipitoisuudessa tapahtuvat muutoksetkin voivat vaihdella päiväkohtaisesti, vaikka varsinaista kehitystä tai suorituskyvyn alenemista ei olisikaan tapahtunut. (Kainlauri 2019.) Nämä seikat voivat vaikuttaa esimerkiksi yhtenä tutkimuskohteena olleeseen anaerobisen kynnyksen määrittämisen tarkkuuteen. Toisaalta tässä tutkimuksessa ei oltu pelkästään laktaattitulosten varassa, sillä käytössä oli myös huomattava määrä muita muuttujia.

Tutkimuksen vahvuutena voidaan nähdä se, että tutkittavat toteuttivat molemmat harjoitusjaksot eli sekä normoksia-, että hyperoksiajakson. Tämä tutkimus on tiedettävästi ensimmäinen kilpaurheilijoilla teetetty hyperoksiaharjoittelua käsittelevä ristikkäistutkimus. Ristikkäistutkimus mahdollistaa virheiden minimoinnin verrattuna siihen, että tutkittavat olisivat toteuttaneet vain toisen harjoitusjaksoista. Lisäksi se tuo tilastollista luotettavuutta mahdollistaen suuremman otoskoon. Näin tutkittavat ovat toimineet itse itsensä kontrolleina (Bose & Dey 2009).

Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää sitä, että hapen osuutta tutkittavien sisäänhengitysilmasta ei tarkasti tiedetä. Sperlich ym. (2016) totesivat, että mitä suurempi F_IO_2, sitä enemmän suoritusteho paranee. Käytössä olleet laitteet eivät mahdollistaneet F_IO_2 mittaamista ja saatavan lisähapen määrä oli yhteydessä tutkittavien hengityskäyttäytymiseen. Suurimmillaan F_IO_2 on valmistajan ohjeiden mukaan ollut 0,3. Suurempi F_IO_2 määrä olisi saattanut mahdollistaa suuremmat nopeudet kontrolliharjoituksiin ja tätä myötä johtanut eroihin harjoitusmenetelmien kroonisissa vasteissa.

Lisäksi tutkimuksen heikkoutena voidaan nähdä harjoittelun ohjelmointi. Kaksi kontrolliharjoitusta kolmen viikon aikana saattoi olla liian vähän mahdollisten erojen esiintuomiseksi menetelmien välillä. Lisäksi tutkittavien juoksemat harjoitukset hyperoksiassa olisi voitu teettää kovemmilla vauhdeilla. Toteutuneissa vauhdeissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa menetelmien välillä. Veren laktaattipitoisuus jäi tilastollisesti merkitsevästi matalammalle tasolle hyperoksiaharjoituksissa ja veren happisaturaatio pysyi korkeammalla normoksiaharjoitteluun verrattuna. Olisi yllättävää, jos HO-harjoittelulla ei olisi potentiaalia parantaa suorituskykyä NO-harjoittelua enemmän, sillä menetelmän akuutisti suorituskykyä parantavista vaikutuksista on runsaasti tutkimusnäyttöä. Olemassa oleva vauhtikapasiteetti jäi tässä tutkimuksessa hyödyntämättä. Epävarmuutta tutkimuksen suunnitteluvaiheessa vauhdin nostamisen osalta hyperoksiaharjoituksiin toi se, että aiemmassa kirjallisuudessa käytetyt menetelmät ovat poikenneet toisistaan ja käytetyt testit ovat olleet erilaisia. Lisäksi tutkittava harjoitusmuoto on useimmiten ollut juoksun sijaan pyöräily. Ennen tutkimuksen aloittamista olisi voitu tehdä perusteellisemmat pilottikokeet siitä, kuinka paljon suorituskyky paranee käytössä olevalla laitteistolla. Toinen vaihtoehto olisi ollut se, että olisi rohkeasti määritetty arvioon perustuen, kuinka paljon kovempaa HO-harjoitukset juostaan.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET

Vaikka tämän tutkimuksen mukaan hyperoksiassa harjoitteleminen merenpinnan tasolla ei ole normoksiaharjoittelua parempi menetelmä kehittämään kilpakestävyysjuoksijoiden suorituskykyä, tutkimusryhmä ei poissulje mahdollisuutta, etteikö oikein ohjelmoituna hyperoksiaharjoittelun avulla olisi mahdollista kehittää kilpajuoksijoiden suorituskykyä normoksiaharjoittelua paremmin. Jotta hyperoksiaharjoittelun suorituskykyä mahdollisesti parantavat vaikutukset saataisiin esiin, tulee harjoitusjaksojen olla riittävän pitkiä ja harjoitusten riittävän rasittavia. Tutkimusta suunnitellessa tavoitteena oli, että kontrolliharjoitukset juostaisiin samoilla RPE-, Lac- ja HR-tasoilla hyperoksia- ja normoksiaharjoituksissa. Nopeammat harjoitusvauhdit hyperoksiassa olisivat oletettavasti johtaneet hermo-lihasjärjestelmän voimantuoton paranemiseen, tutkittavien tottuessa nopeampiin juoksuvauhteihin.

Tieteelliselle kentälle tämä tutkimus lisäsi ristiriitaista näyttöä hyperoksiaharjoittelun hyödystä kilpaurheilijoille. Tulevaisuuden tutkimuksissa tulisi vielä tarkemmin keskittyä niihin fysiologisiin mekanismeihin, joihin hyperoksiaharjoittelu saattaa vaikuttaa. Esimerkiksi HO-harjoittelun vaikutuksia keskushermoston väsymiseen voitaisiin tutkia (Cardinale & Ekblom 2018). Toinen sopiva tutkimusaihe olisi hyperoksiaharjoittelun tehokkuus palautumismuotona (Mallette ym. 2017). Lisäksi yksilöllisille eroille HO-harjoittelun vasteissa olisi tutkimustarvetta, sillä EIAH:n syntymisessä urheilijoiden välillä on eroja. Tulevaisuuden tutkimuksissa voitaisiin myös selvittää, että hyötyvätkö suuremmin desaturoivat urheilijat enemmän hyperoksiaharjoittelusta.

Jos urheilijan valmentautumisessa päädytään hyödyntämään hyperoksiaharjoittelua, olisi luontevaa, että menetelmää hyödynnettäisiin maksimi- tai nopeuskestävyysharjoittelussa mahdollistaen suuremmat suoritustehot mihin normoksiaharjoittelulla päästäisiin. Anaerobista kynnystä matalammilla tehoilla ei vielä suurempaa valtimoveren hypoksemiaa synny, jolloin lisähapen käyttämisen hyödyt eivät vielä ole niin selkeät verrattuna harjoitustehoihin, joissa EIAH:ta alkaa syntyä. Hyperoksian käytön tarpeellisuutta ja kannattavuutta kustannuksiin nähden on kuitenkin mietittävä erikseen. Hyperoksiaharjoittelun tarjoaminen on kallista ja tarvittavat valmistelut (mm. hapen paineistaminen) vievät huomattavasti aikaa. Nämä tekijät voivat olla muulta valmennustyöltä pois. Lisäksi laitteiston käyttäminen muualla kuin

juoksumaton ääressä on hankalaa ja epäkäytännöllistä. Näistä syistä johtuen hyperoksian systemaattista käyttöä harjoittelussa tullaan tuskin lähivuosina näkemään kilpaurheilijoiden valmentautumisessa. Kilpaurheilijoiden tulisi ensin keskittyä saamaan harjoittelussaan ja valmentautumisessaan perusasiat, kuten harjoittelun rytmitys, intensiteetti, volyymi, ravinto, palautuminen ja muut tärkeät osatekijät kuntoon ennen kuin huomiota kannattaa siirtää hyperoksiaharjoittelun kaltaisen lisälaitteiston hyödyntämiseen merenpinnan tasolla.

LÄHTEET

Abbiss, C. & Laursen, P. 2005. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. Sports Med. 2005;35:865–98.

Andersen, K., Shephard, R.; Denolin, H., Varnauskas, E. & Masironi, R. 1971. Fundamentals of exercise testing. World Health Organization, Geneva, s. 58-73.

Armstrong, J., Jacks, D., Sowash, J., Andres, F. 2000. The effects of training while breathing oxygen-enriched air on time-to-exhaustion and aerobic capacity. Journal of Exercise Physiology 2000 ; 3 : 12–20

Asmussen, E. & Nielsen, M. 1955. The cardiac output in rest and work at low and high oxygen pressures. Acta Physiologica Scandinavica, 35(1), 73–83. doi:10.1111/j.1748-1716.1955.tb01266.x

Barnes, K. R. & Kilding, A. E. 2015. Strategies to improve running economy. Sports Medicine, 45(1), 37–56.

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.

Bose, M. & Dey, A. 2009. Optimal Crossover Designs. World Scientific. ISBN 978-9812818423

Cardinale, D. & Ekblom, B. 2018. Hyperoxia for performance and training, Journal of Sports Sciences, 36:13, 1515-1522, DOI: 10.1080/02640414.2017.1398893

Casey, D., Joyner, M., Claus, P., Curry, T. 2011. Hyperbaric hyperoxia reduces exercising forearm blood flow in humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2011;300:H1892–7.

Chan, E., Chan, M., Chan M. 2013. Pulse oximetry: understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. Respir Med 2013; 107:789.

Collins, J., Rudenski, A., Gibson, J., Howard, L., O'Driscoll R. 2015. Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin-oxygen dissociation curve. Breathe 2015; 11: 194–201.

Daniels, J. & Daniels, N. 1992. Running economy of elite male and elite female runners. Medicine and science in sports and exercise, 24(4), 483-489.

Dean, J., Mulkey, D., Henderson, R., Potter, S., Putnam, R. 2004. Hyperoxia, reactive oxygen species, and hyperventilation: oxygen sensitivity of brain stem neurons. J Appl Physiol (1985) 2004: 96: 784–791.

Dempsey, J., Hanson, P. & Henderson, K. 1984. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. J Physiol. 1984;355:161.

Dempsey, J. & Wagner, P. 1999. Exercise-induced arterial hypoxemia. J Appl Physiol. 1985;1999(87):1997–2006.

Dempsey, J., Amann, M., Romer, L., Miller, J. 2008. Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. Med Sci Sports Exerc. 2008;40:457–61.

Ekblom, B., Huot, R., Stein, E., Thorstensson, A. 1975. Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. J Appl Physiol, 39, 71-75.

Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. 2009. Lactate Threshold Concepts: How Valid are They?. Sports Medicine, 39(6), 469-490

Favier, F., Prieur, F., Grataloup, O., Busso, T., Castells, J., Denis, C., Geyssant, A, Benoit H. 2005. A high blood lactate induced by heavy exercise does not affect the increase in submaximal VO2 with hyperoxia. Eur J Appl Physiol 2005: 94: 107–112.

Foster, C. & Lucia, A. 2007. Running economy. Sports medicine, 37(4-5), 316-319.

Ganong, W. 2003. Review of Medical Physiology. 21st Edn. USA, McGraw Hill, 2003; s. 669–672.

Joyner, M. & Coyle, E. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. Journal of Physiology 586(1), 35–44.

Hämäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 2000. Training in hyperoxia improves 3 000-m running performance in national level athletes. Med Sci Sports Exerc, 32, S47.

Harms, C., McClaran, G., Nickele, D., Pegelow, W., Nelson, J., Dempsey, J. 2000. Effect of exercise-induced arterial O2 desaturation on VO2max in women. Exer. Sci. Med Sport. In press.

Hauser, T., Bartsch, L. Baumgärtel, H., Schulz, H. 2013. Reliability of Maximal Lactate-Steady-State. International Journal of Sports Medicine 34 (3), 196-199. DOI: 10.1055/s-0032-1321719.

Hauser, A., Zinner, C., Born, D.-P., Wehrlin, J. P., & Sperlich, B. 2014. Does Hyperoxic Recovery during Cross-country Skiing Team Sprints Enhance Performance? Medicine & Science in Sports & Exercise, 46(4), 787–794.

Jones, A. & Doust, J. 1996. A 1 % Treadmill Grade Most Accurately Reflects the Energetic Cost of Outdoor Running. Journal of Sports Sciences 14 (4), 321–327.

Jones, A. & Carter, H. 2000. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness, Sports Medicine, 29(6): 373–86

Joyner, M. & Casey, D. 1985. Muscle blood flow, hypoxia, and hypoperfusion. J Appl Physiol. 1985;2014(116):852–7.

Jubran, A. 2004. Pulse oximetry. Intensive Care Med 2004; 30:2017.

Katch, V. L., McArdle, W. D., Katch, F. I., & McArdle, W. D. 2011. Essentials of exercise physiology. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health. 192, 281-286.

Kainlauri, V. 2019. Sykkeen, veren laktaattipitoisuuden ja hengitysmuuttujien toistettavuus anaerobisella kynnyksellä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntatieteellinen tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. Viitattu 10.4.2020. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/66608/URN%3ANBN%3Afi%3Ajyu-201912035095.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kestävyysurheilu. 2015. https://www.kestavyysurheilu.fi/hiihto/11265-nain-suomalaiset-kayttavat-lisahappea-vuoristossa-katso-video . Viitattu 12.5.2019

Kilding, A, Wood, M., Sequira, G., Bonetti, D. 2012. Effect of hyperoxic-supplemented interval training on endurance performance in trained cyclists. International Journal of Sports Medicine, 33(5), 359–363. doi:10.1055/s-0031-1297999

Kyröläinen, H., Belli, A., Komi, P. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. Med Sci Sports Exerc. 2001;33(8):1330-1337. doi:10.1097/00005768-200108000-00014

Linnarsson, D., Karlsson, J., Fagraeus, L., Saltin, B. 1974. Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. J Appl Physiol 1974: 36: 399–402.

Linossier, M., Dormois, D., Arsac, L., Denis, C., Gay, J., Geyssant, A., Lacour, J. 2000. Effect of hyperoxia on aerobic and anaerobic performances and muscle metabolism during maximal cycling exercise. Acta Physiol Scand 2000: 168: 403–411.

Mallette, M., Stewart, D., Cheung, S. 2017. The Effects of Hyperoxia on Sea-Level Exercise Performance, Training, and Recovery: A Meta-Analysis. Sports Med (2018) 48:153–175. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0791-2

Margaria, R., Camporesi, E., Aghemo, P., & Sassi, G. 1972. The effect of O_2 breathing on maximal aerobic power. Pflugers Archiv: European Journal of Physiology, 336(3), 225–235. doi:10.1007/BF00590047

McArdle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L. 2015. Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance. Baltimore: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins. 166–168, 342–352.

Morgan, D., Martin, P., Krahenbuhl, G. 1989. Factors affecting running economy. Sports Medicine, 7(5), 310-330.

Nielsen, H., Boushel, R., Madsen, P., Secher, N. 1999. Cerebral desaturation during exercise reversed by O2 supplementation. Am J Physiol 1999: 277: H1045–H1052.

Nummela, A., Hämäläinen, I., Rusko, H. 2002. Effect of hyperoxia on metabolic responses and recovery in intermittent exercise. Scand J Med Sci Sports. 2002;12:309–15.

Nummela, A., Keskinen, K., Vuorimaa, T. 2007. Kestävyys. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen & K. Häkkinen (toim.) Urheiluvalmennus. VK-Kustannus Oy, 333– 363.

Nummela, A. 2010. Kestävyysominaisuuksien mittaaminen. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen. Kuntotestauksen käsikirja. VK-Kustannus Oy, Tampere 1. Painos, 51 – 124.

Nummela, A. 2014. KLab – suora maksimitesti. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus – KIHU julkaisu. Kuntotestausverkosto. Jyväskylä 21.3.2014. 26 sivua. Viitattu 10.8.2019

Nummela, A. 2016 Kestävyysharjoittelu. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. Huippu-urheiluvalmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. Lahti: VK-Kustannys Oy. 271–295

Nummela, A. 2019. Suullinen tiedonanto. 12.5.2019

Nummela, A. & Hynynen, E. 2019. Suullinen tiedonanto. 20.11.2019, Jyväskylä.

Ohya, T., Yamanaka, R., Ohnuma, H., Hagiwara, M. & Suzuki, Y. 2016. Hyperoxia Extends Time to Exhaustion During High-Intensity Intermittent Exercise: a Randomized, Crossover Study in Male Cyclists. Sports Medicine - Open (2016) 2:34 DOI 10.1186/s40798-016-0059-7

OXELERATE AB. Oxelerate_User_Manual_1.3-02_FINAL.pdf. Viitattu 26.10.2019

Oussaidene, K., Prieur, F., Bougault, V., Borel, B., Matran, R., Mucci, P. 2013. Cerebral oxygenation during hyperoxia-induced increase in exercise tolerance for untrained men. Eur J Appl Physiol 2013: 113: 2047–2056.

Peeling, P. & Andersson, R. 2011. Effect of hyperoxia during the rest periods of interval training on perceptual recovery and oxygen re-saturation time. JSports Sci. 2011;29:147–50.

Peltonen, J., Rantämäki, J., Niittymäki, S., Sweins, K., Viitasalo, J., Rusko, H. 1995. Effects of oxygen fraction in inspired air on rowing performance. Med Sci Sports Exerc 27:573–579

Peltonen, J., Rusko, H., Rantamäki, J., Sweins, K., Niittymäki, S., Viitasalo, J. 1997. Effects of oxygen fraction in inspired air on force production and electromyogram activity during ergometer rowing. Eur J Appl Physiol. 1997;76:495–503.

Peltonen, J., Leppävuori, A., Kyrö, K., Mäkelä, P., Rusko, H. 1999. Arterial haemoglobin oxygen saturation is affected by FIO2 at submaximal running velocities in elite athletes. Scand J Med Sci Sports. 1999;9:265–71.

Peltonen, J. 2002. Effects of oxygen fraction in inspired air on cardiorespiratory responses and exercise performance. University of Jyväskylä. Studies in Sport, Physial Education and Healt 80, 37–48

Perry, C., Reid, J., Perry, W., Wilson, B. 2005. Effects of hyperoxic training on performance and cardiorespiratory response to exercise. Med Sci Sports Exerc. 2005;37:1175–9.

Perry, C., Talanian, J., Heigenhauser, G., Spriet, L. 2007. The effects of training in hyperoxia vs. normoxia on skeletal muscle enzyme activities and exercise performance. J Appl Physiol. 2007;102:1022–7.

Plet, J., Pedersen, P., Jensen, F., Hansen, J. 1992. Increased working capacity with hyperoxia in humans. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1992: 65: 171–177.

Powers, S., Lawler, J., Dodd, S., Kirtley, M., Landry, G., Kirtley, M., McKnight, T., Grinton S. 1988. Incidence of exercise-induced hypoxemia in elite athletes at sea level. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 58: 298-302, 1988

Prefaut, C., Durand, F., Mucci, P., Caillaud, C. 2000. Exercise-induced arterial hypoxaemia in athletes: a review. Sports Med 2000: 30: 47–61.

Prieur, F., Benoit, H., Busso, T., Castells, J., Geyssant, A., Denis, C. 2002. Effects of moderate hyperoxia on oxygen consumption during submaximal and maximal exercise. Eur J Appl Physiol. 2002;88:235–42.

Richardson, R., Grassi, B., Gavin, T., Haseler, L., Tagore, K., Roca, J., Wagner, P. 1999. Evidence of O2 supply-dependent VO2 max in the exercise-trained human quadriceps. J Appl Physiol. 1985;1999(86):1048–53.

Riley, P., Dicharry, J., Franz, J., Della Croce, U., Wilder, R., Kerrigan, D. 2008. A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. Med Sci Sports Exerc. 2008 Jun;40(6):1093-100. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181677530.

Robach, P., Bonne, T., Fluck, D., Burgi, S., Toigo, M., Jacobs, R. A., Lundby, C. 2014. Hypoxic Training: Effect on Mitochondrial Function and Aerobic Performance in Hypoxia. Medicine & Science in Sports & Exercise, 46(10), 1936–1945.

Sinclair, J., Richards, J., Taylor, P., Edmundson, C., Brooks, D., Hobbs, S. 2013. Three-dimensional kinematic comparison of treadmill and overground running, Sports Biomechanics, 12:3, 272-282, DOI: 10.1080/14763141.2012.759614

Sinex, J. & Chapman, R. 2015. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance J Sport Health Sci, 4 (2015), pp. 325-332

Sperlich, B., Zinner, C., Krueger, M., Wegrzyk, J., Mester, J., Holmberg, HC. 2011. Ergogenic effect of hyperoxic recovery in elite swimmers performing highintensity intervals. Scand J Med Sci Sports. 2011;21:e421–9.

Sperlich, B., Calbet, J. A., Boushel, R., & Holmberg, H. C. 2016. Is the use of hyperoxia in sports effective, safe and ethical? Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. doi:10.1111/sms.12746

Sperlich, B., Zinner, A., Hauser, H., Holmberg, H., Wegrzyk, J. 2017. The impact of hyperoxia on human performance and recovery. Sports Medicine 47:429. doi:10.1007/ s40279-016-0590-1).

Stellingwerff, T., Leblanc, P., Hollidge, M., Heigenhauser, G., Spriet, L. 2006. Hyperoxia decreases muscle glycogenolysis, lactate production, and lactate efflux during steady-state exercise. Am J Physiol End Metabol 2006: 290: E1180–E1190.

Stewart, I. & Pickering, R. 2007. Effect of prolonged exercise on arterial oxygen saturation in athletes susceptible to exercise-induced hypoxemia. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 17(4), 445-451

Tucker, R., Kayser, B., Rae, E., Raunch, L., Bosch, A., Noakes, T. 2007. Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. Eur J Appl Physiol. 2007;101:771–81.

WADA. World Anti-Doping Agency. 2019. https://www.wada-ama.org/en/media/news/2009-09/wada-executive-committee-approves-2010-prohibited-list-0 Viitattu 12.5.2019.

Welch, H., Mullin, J, Wilson, G., Lewis, J. 1974. Effects of breathing O2-enriched gas mixtures on metabolic rate during exercise. Med Sci Sports, 6, 26-32.

Welch, H. 1982. Hyperoxia and human performance: a brief review. Med Sci Sports Exerc, 14, 253-262.

Welch, H. 1987. Effects of hypoxia and hyperoxia on human performance .Exerc Sport Sci Rev 1987; 15 : 191–221

White, J., Dawson, B., Landers, G., Croft, K., Peeling, P. 2013. Effect of supplemental oxygen on post-exercise inflammatory response and oxidative stress. Eur J Appl Physiol 2013: 113: 1059–1067.

LIITE 1 - Ennen mattotestiä täytettävä terveystietolomake

ESITIETOLOMAKE

Nimi:_____ **Synt.aika:**_____

Oireet viimeisen 6 kk aikana:	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
1. Onko sinulla ollut rintakipuja?			
2. Onko sinulla ollut rasitukseen liittyvää hengenahdistusta?			
3. Onko sinulla ollut huimausoireita?			
4. Onko sinulla ollut rytmihäiriötuntemuksia?			
5. Onko sinulla ollut harjoittelua estäviä kipuja liikuntaelimissä?			
Missä?			
6. Oletko tuntenut ylikuormitus- tai stressioireita?			

Todetut sairaudet: Onko sinulla tai onko sinulla ollut jokin/joitakin seuraavista? (ympyröi)

01 sepelvaltimotauti	02 sydäninfarkti	03 kohonnut verenpaine	04 sydänläppävika
05 aivohalvaus	06 aivoverenkierron häiriö	07 sydämen rytmihäiriö	08 sydämentahdistin
09 sydänlihassairaus	10 syvä laskimotukos	11 muu verisuonisairaus	12 krooninen bronkiitti
13 keuhkolaajentuma	14 astma	15 muu keuhkosairaus	16 allergia
17 kilpirauhasen toimintahäiriö	18 diabetes	19 anemia	20 korkea veren kolesteroli
21 nivelreuma	22 nivelrikko, -kuluma	23 krooninen selkäsairaus	24 mahahaava
25 pallea-, nivus- tai napatyrä	26 ruokatorven tulehdus	27 kasvain tai syöpä	28 leikkaus äskettäin
29 mielenterveyden ongelma	30 tapaturma äskettäin	31 matala veren K tai Mg	32 kohonnut silmänpaine
33 näön tai kuulon heikkous	34 urheiluvamma äskettäin		

muita sairauksia tai oireita, mitä:_____

Lääkitys: Käytätkö jotain lääkitystä tai lääkeainetta säännöllisesti tai usein? 1 En 2 Kyllä, mitä:_____
_____

Tupakoitko? 1 En 2 Kyllä

Raskaus/synnytykset: 1 Olen raskaana, raskausviikko_____ **2 Olen synnyttänyt** _____**kk / v sitten**

Kuumetta, flunssaista oloa tai muuten poikkeavaa väsymystä viimeisen kahden viikon aikana:
1 Ei 2 Kyllä

Kauanko on kulunut aikaa viimeisestä ateriasta _____**h, viimeisestä kofeiinipitoisesta juomasta (kahvi, tee, energia- tai kolajuoma)** _____**h, viimeisestä alkoholijuomasta** _____**h / vrk**

Kahden edeltävän päivän harjoitukset:
Eilisen päivän harjoitus: _____
Edellisen päivän harjoitus: _____

Onko lähisuvussasi ennenaikaiseen kuolemaan johtaneita sydänsairauksia? 1 Ei 2 Kyllä
Lähisukulainen? _____**Minkä ikäisenä?**_____
Onko todettu synnynnäinen sydänvika? _____

Olen vastannut kysymyksiin rehellisesti parhaan tietämykseni mukaan

Päivä_____ **Allekirjoitus** _____

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU Rautpohjankatu 6, 40700 Jyväskylä Puh. 020 781 1500, Fax 020 781 1501
KIHU – Research Institute for Olympic Sports Rautpohjankatu 6, FI-40700 Jyväskylä, Finland Tel. +358 20 781 1500, Fax +358 20 781 1501
http://www.kihu.fi

LIITE 2 - Ote mattotestin testipöytäkirjasta

Aika	Nopeus	Kulma°	Kuorma	Syke	La
0	-	-	-		
3	10,0	0,5	27		
6	11,0	0,5	31		
9	12,0	0,5	34		
12	13,0	0,5	38		
15	14,0	0,5	41		
18	15,0	0,5	45		
21	16,0	0,5	49		
24	17,0	0,5	52		
27	18,0	0,5	56		
30	19,0	0,5	60		
33	20,0	0,5	64		
36	21,0	0,5	67		
Uupumisaika:					

LIITE 3 - Harjoitusviikon ensimmäisen kontrolliharjoituksen pohja

Harjoitus 2 x 15 min /1 min palautus – JAKSO 1				
Nimi: Päivämäärä:				
Mattotestistä	Vauhti (km/h)		Syke	
Lähtötesti Max				
Lähtötesti AnK				
Harjoituksen tavoitevauhti (90% vAnK):			0	
Harjoituksen maksimivauhti (vAnK):			0	
Veto 1.	0 - 5 min	5 - 10 min	10-15 min	Avg:
Vauhti (km/h)				
Syke				
RPE				
O2 saturation				
Veto 2.	15-20 min	20-25 min	25-30 min	Avg:
Vauhti (km/h)				
Syke				
RPE				
O2 saturation				
Laktaatti	Lepo	Veto 1.	Veto 2.	Post 1.
Kommentit:				

LIITE 4 - Harjoitusviikon toisen kontrolliharjoituksen pohja

Harjoitus 6 x 3 min /2 min palautus - JAKSO 1						
Nimi: Päivämäärä:						
Mattotestistä	Vauhti (km/h)			Syke		
Lähtötesti Max						
Lähtötesti AnK						
			Min		Max	
Harjoituksen tavoitevauhti vAnK – vAnK + 1/2 (vVO2max - vAnK)			0		0	
Lepolaktaatti						
Veto 1.	Veto 1	Veto 2	Veto 3	Veto 4	Veto 5	Veto 6
Vauhti (km/h)						
Syke						
RPE						
Lac						
O2 saturation						
Kommentit:						

LIITE 5 - Harjoituksissa kysytty koettu rasittavuuden taulukko

Harjoitusten kuormittavuuden arviointi

Maksimaalinen kuviteltavissa oleva	**10+**
Erittäin paljon	10
	9
Hyvin paljon	8
	7
	6
Paljon	5
	4
Kohtuullisesti	3
Vähän	2
Melko vähän	1
Erittäin vähän	0.5
Ei ollenkaan	0

LIITE 6 - Harjoituspäiväkirjapohja tutkittaville

Tutkimusviikko 1:		Laji ja intensiteetti:	Harjoituksen kesto (min):	Harjoituksessa juostu matka (km):	Päivän harjoitteluaika (min)	Päivässä juostut kilometrit	Vapaat kommentit:
MA:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
TI:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
KE:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
TO:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
PE:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
LA:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
SU:	Harjoitus 1 Harjoitus 2 Harjoitus 3				0	0,0	
VIIKON YHTEENVETO:		Harjoitusten lukumäärä:			Kokonaiskesto (min): 0	Juostut kilometrit: 0,0	Vapaat kommentit viikosta: