

**KOLMEN VIIKON LIVE HIGH – TRAIN LOW -HARJOITUSJAKSON  
VAIKUTUKSET HEMOGLOBIINIMASSAAN, MAKSIMIHAPENOTTOON JA  
MAKSIMIKESTÄVYYSUORITUSKYKYYN HIIHTOLAJIEN URHEILJOILLA**

Heta Virtanen

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Virtanen, H. 2024. Kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutukset hemoglobiinimassaan, maksimihapenottoon ja maksimikestävyysuorituskykyyn hiihtolajien urheilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 29 s.

Tässä tutkielmassa oli tarkoitus selvittää kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson mahdollisia vaikutuksia hemoglobiinimassaan, maksimihapenottoon sekä maksimikestävyysuorituskykyyn hiihtolajien urheilijoilla. Aihe valittiin, jotta voitaisiin selvittää, onko live high – train low -harjoittelulla hyötyjä maksimaaliseen kestävyysuoritukseen. Lisäksi tämän tutkielman kirjoittajan oma urheilutausta vaikutti aiheen valintaan.

Kovalla korkeanpaikan kestävyysharjoittelulla ei olla havaittu etua verrattuna kestävyysharjoitteluun merenpinnan tasolla. 1990-luvulla korkealla elämisellä ja lähempänä merenpinnan tasoa treenaamisella eli live high – train low -harjoittelulla todettiin kuitenkin olevan hyötyä maksimisuorituskyvyn parantamisessa verrattuna merenpinnan tasolla tapahtuvaan kestävyysharjoitteluun. Ympäristön hapen osapaine laskee mentäessä korkeammalle merenpinnan tasosta. Kudosten hapenpuutteen vaikutuksesta punasoluja alkaa muodostumaan luuytimen kantasoluista enemmän. Punasolut sisältävät runsaasti hemoglobiinia eli hapenkuljetuksessa suuressa roolissa olevaa proteiinia. Hengitys- ja verenkiertoelimistön sekä lihassolujen kyky kuljettaa happea lihassoluihin ja sen käyttäminen energiantuottoon lihaksissa ovat olennaisimmat tekijät, jotka vaikuttavat maksimihapenottoon. Maksimihapenotto puolestaan vaikuttaa maksimisuorituskykyyn, mutta tässä tutkielmassa maksimisuorituskyvyllä tarkoitetaan pääasiassa suoran hapenoton testin lopetusaikaa sekä maksiminopeutta.

Tutkimuksessa oli kaksi tutkittavaa ryhmää, joista toinen asui kolmen viikon ajan keskimäärin 18 tuntia vuorokaudesta alppimajassa, jossa hapen osapaine vastasi 2500 metrin korkeutta. Harjoittelu tapahtui merenpinnan tasolla. Toinen ryhmä eli kontrolliryhmä asui ja harjoitteli koko ajan merenpinnan tasolla. Kaikki tutkittavat olivat kansallisen tai kansainvälisen tason hiihtolajien urheilijoita.

Tutkimuksen tulosten perusteella kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakso kasvattaa hemoglobiinimassaa tilastollisesti merkitsevästi. Kontrolliryhmän hemoglobiinimassa puolestaan ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. Maksimihapenottoon sekä maksimisuorituskyky ei muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi kummallakaan ryhmällä. Tämän perusteella kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakso ei kasvata maksimihapenottoon tai paranna maksimikestävyysuorituskykyä.

Asiasanat: live high – train low -harjoitusjakso, hemoglobiinimassa, maksimihapenotto, maksimikestävyysuorituskyky, kestävyysharjoittelu

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 HEMOGLOBIINIMASSA, MAKSIMIHAPENOTTO JA MAKSIMIKESTÄVYYS- SUORITUSKYKY LIVE HIGH – TRAIN LOW -HARJOITTELUSSA .....	3
2.1 Hemoglobiinimassa live high – train low -harjoittelussa .....	3
2.2 Maksimihapenotto live high – train low -harjoittelussa .....	6
2.3 Maksimikestävyysuorituskyky live high – train low -harjoittelussa .....	10
3 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT .....	15
4 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	16
4.1 Tutkittavat.....	16
4.2 Hemoglobiinimassamittaus ja muut hematologiset mittaukset .....	17
4.3 Suora hapenoton testi .....	18
4.4 Tilastolliset testit .....	19
5 TULOKSET .....	20
6 POHDINTA.....	23
LÄHTEET .....	27

# 1 JOHDANTO

Korkeanpaikanharjoittelu on ollut jo lähes 50 vuotta olennainen osa monen kestävyysurheilijan harjoittelua (Mujika 2012, 271). Kovalla korkeanpaikan kestävyysharjoittelulla ei ole kuitenkaan havaittu etua verrattuna kestävyysharjoitteluun merenpinnan tasolla (Adams ym. 1975). 1990-luvulla korkealla elämisellä ja lähempänä merenpinnan tasoa treenaamisella eli live high – train low -harjoittelulla todettiin olevan hyötyä maksimisuorituskyvyn parantamisessa verrattuna merenpinnan tasolla tapahtuvaan kestävyysharjoitteluun (Levine & Stray-Gundersen 1997). Live high – train low -harjoitusjakson vasteet ovat melko samankaltaiset riippumatta siitä, ollaanko simuloitussa hapen osapaineessa vaiko normaaleissa vuoristo-olosuhteissa (Saugy ym. 2016). Optimaalisimmaksi asumiskorkeudeksi on todettu noin 2000–2500 metriä merenpinnan tasosta parhaiden testitulosten aikaansaamiseksi merenpinnan tasolla (Chapman ym. 2013a).

Ympäristön hapen osapaine laskee mentäessä korkeammalle merenpinnan tasosta (McArdle ym. 2015, 598). Kun hapen osapaine vähenee verenkierrossa, kudoksiin muodostuu hapenpuutetta eli hypoksiaa. Tämän vaikutuksesta munuaiset alkavat erittämään erytropoietiinia eli EPO-hormonia, jolloin luuytimen kantasolut alkavat erilaistumaan punasoluiksi. Punasolut sisältävät runsaasti hemoglobiinia eli hapenkuljetuksessa suuressa roolissa olevaa proteiinia. (Leppäluoto ym. 2020, 118–119) Näin ollen hypoksisissa olosuhteissa hemoglobiinimassan määrä kasvaa.

Hemoglobiinimolekyylissä on neljä alayksikköä, joissa jokaisessa on hemiosia sekä globiiniosa. Hemiosat sitovat happea ja luovuttavat sen niille kudoksille, jotka tarvitsevat sitä. (Leppäluoto ym. 2020, 118) Hengitys- ja verenkiertoelimistön sekä lihassolujen kyky kuljettaa lihassoluihin happea ja sen käyttäminen energiantuottoon lihaksissa ovat olennaisimmat tekijät, jotka vaikuttavat maksimihapenottokykyyn (Nummela 1996, 52). Tämän perusteella hemoglobiinimassan kasvu voisi edesauttaa myös maksimihapenottokyvyn parantumisessa.

Maksimihapenotto ilmoitetaan yleensä suhteutettuna kehonpainoon (ml/kg/min) tai absoluuttisena tilavuutena minuutissa (l/min). Absoluuttista arvoa käytetään usein lajeissa, joissa suurimman osan kehonpainosta kannattaa väline, esimerkiksi soudussa tai pyöräilyssä. Lajeissa, joissa kehonpainoa kannatellaan ilman välinettä, kehonpainoon suhteutettu arvo on käyttökelpoisempi. Mitattuun maksimihapenottokykyyn vaikuttavat muun muassa

harjoittelusta, sukupuoli, ikä, työtä tekevien lihasten määrä, testin kuormitusmalli sekä testin kesto. (Nummela 1996, 53) Maksimihapenotto puolestaan vaikuttaa maksimisuorituskykyyn (Robertson ym. 2010). Maksimisuorituskykyyn vaikuttavat monet tekijät, mutta tässä tutkielmassa maksimisuorituskykyä tarkastellaan pääasiassa testituloksien loppuajan sekä suoran hapenottotestin maksiminopeuden perusteella.

## **2 HEMOGLOBIINIMASSA, MAKSIMIHAPENOTTO JA MAKSIMIKESTÄVYYS-SUORITUSKYKY LIVE HIGH – TRAIN LOW -HARJOITTELUSSA**

On havaittu, että hemoglobiinimassa kasvaa live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta (Garvican ym. 2010). Hemoglobiini edistää hapen kuljetusta (Leppäluoto ym. 2020, 118), ja näin ollen se on yhteydessä maksimihapenottokykyyn (Nummela 1996, 52). Maksimihapenotto taas vaikuttaa maksimisuorituskykyyn (Robertson ym. 2010). Maksimisuorituskyvyllä tarkoitetaan tässä tutkielmassa kykyä jatkaa suoraa hapenoton testiä mahdollisimman pitkään sekä maksiminopeutta suoran hapenoton testin viimeisellä kuormalla. Kirjallisuuden tarkastelussa on otettu huomioon myös muiden maksimisuoritustestien loppuajat maksimisuorituskyvyn määrittelyyn.

### **2.1 Hemoglobiinimassa live high – train low -harjoittelussa**

Hemoglobiinimassan on todettu kasvavan live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Hemoglobiinimassan muutokset ovat linjassa punasolujen tilavuuden muutosten kanssa, ja punasolujen tilavuuden kasvu on yhteydessä plasman tilavuuden laskuun. Tämän avulla veren tilavuus säilyy. (Garvican ym. 2010) Live high – train low -harjoitusjakson aikana suun kautta nautittavan rautalisän on havaittu edesauttavan hemoglobiinimassan kasvussa (Govus ym. 2015).

Kettusen ym. (2023) tutkimuksessa 34 kansallisen sekä kansainvälisen tason maasto- ja ampumahiihtäjää osallistui live high – train low high -tutkimukseen. 19 tutkittavista eli 28 vuorokautta Vuokatin urheiluopiston alppimajoissa simuloitussa hapen osapaineessa, joka vastasi 2250–2500 metrin korkeutta. He harjoittelivat pääosin merenpinnan tasolla, mutta kaksi kertaa viikossa he tekivät tunnin pituisen peruskestävyysharjoituksen simuloitussa 2500 metrin korkeudessa. Loput tutkittavat asuivat ja harjoittelivat merenpinnan tasolla (normoksiaryhmä). Tutkimus tehtiin huhti-toukokuussa, jolloin tutkittavat olivat ensimmäisellä harjoituskaudellaan. Neljän viikon live high – train low high -harjoitusjakson aikana simuloitussa korkeudessa asuvien tutkittavien absoluuttinen sekä suhteellinen hemoglobiinimassa nousivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Heidän hemoglobiinimassansa nousi keskimäärin 4,2 %, ja plasman volyymi laski tilastollisesti merkitsevästi. Normoksiaryhmän absoluuttinen hemoglobiinimassa ei noussut tilastollisesti merkitsevästi ja

plasman volyymissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Heidän suhteellinen hemoglobiinimassansa kuitenkin nousi tilastollisesti merkitsevästi. (Kettunen ym. 2023) Myös Robertson ym. (2010) havaitsivat kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson kasvattavan hemoglobiinimassaa. Hemoglobiinimassa nousi edelleen toisen kolmen viikon live high – train low -harjoitusjaksoblokin vaikutuksesta, kun jaksosten väli oli viisi viikkoa. (Robertson ym. 2010)

Robachin ym. (2018) tutkimuksen tuloksissa oli 19 norjalaista kansallisen ja alueellisen tason maastohiihtäjää, joista suurin osa oli 18–22-vuotiaita miehiä. Tutkittavista 11 asui 26 vuorokautta 2207 metrin korkeudessa ranskalaisessa vuoristomajassa ja 9 heistä asui 1035 metrin korkeudessa Ranskan Chamonix -kylässä. Tutkittavat harjoittelivat 550–1500 metrin korkeudessa, mutta suurin osa harjoittelusta tapahtui 550–800 metrin korkeudessa. Vuoristomajassa asuneiden suhteellinen hemoglobiinimassa oli alkumittauksissa keskimäärin 12,47 g/kg, 18. vuorokauden kohdalla keskimäärin 12,90 g/kg ja ensimmäisessä loppumittauksessa keskimäärin 12,87 g/kg. Heidän absoluuttinen hemoglobiinimassansa oli alkumittauksissa keskimäärin 867 grammaa, 18. vuorokauden kohdalla keskimäärin 904 grammaa ja ensimmäisissä loppumittauksessa keskimäärin 897 grammaa. Chamonixissa asuvien alkumittausten keskimääräinen suhteellinen hemoglobiinimassa oli 11,83 g/kg, 18. vuorokauden kohdalla se oli keskimäärin 12,18 g/kg ja ensimmäisissä loppumittauksissa keskimäärin 12,39 g/kg. Heidän absoluuttinen hemoglobiinimassansa oli alkumittauksissa keskimäärin 879 grammaa, 18. vuorokauden kohdalla keskimäärin 890 grammaa ja ensimmäisissä loppumittauksessa keskimäärin 905 grammaa. Absoluuttinen sekä suhteellinen hemoglobiinimassa olivat nousseet tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista 18. päivän mittauksiin sekä ensimmäisiin loppumittauksiin vuoristomajassa sekä Chamonixissa asuvilla. (Robach ym. 2018)

Robachin ym. (2005) tutkittavina oli yhteensä 18 Ranskan uintimaajoukkueen urheilijaa, joista 2 oli naisia ja loput miehiä. Interventiojaksolla tutkittavista puolet asuivat 13 vuorokautta hypoksiahuoneissa ja puolet saman ajan normaaleissa huoneissa. Hapen osapaine vastasi hypoksiahuoneissa 2500 metrin korkeutta ensimmäiset viisi päivää, ja loput kahdeksan päivää se vastasi 3000 metrin korkeutta. Majoituspaikka oli 1200 metrin korkeudessa. Molemmissa ryhmissä oli yksi nainen ja kahdeksan miestä. Hemoglobiinimassa mitattiin ennen interventiojaksoa ja 1–2 päivää interventiojakson jälkeen. Hypoksiaryhmän hemoglobiinimassa oli keskiarvon mukaan noussut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista loppumittauksiin.

Kontrolliryhmän hemoglobiinimassassa ei ollut tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta alku- ja loppumittausten välillä. (Robach ym. 2005)

Wehrlinin ym. (2006) tutkimuksessa kymmenen sveitsiläistä maajoukkuesuunnistajaa eli 24 vuorokauden ajan 2456 metrin korkeudessa noin 18 tuntia päivässä, ja harjoitteli 1000 metrin sekä 1800 metrin korkeudessa. Puolet heistä oli naisia ja puolet miehiä. Kontrolliryhmässä oli seitsemän Sveitsin maajoukkuehiihtäjää, joista neljä oli naisia ja kolme miehiä. Kontrolliryhmä asui ja harjoitteli 500–1600 metrin korkeudessa saman ajanjakson kuin hypoksiaryhmä. Molemmat ryhmät olivat mittausten aikaan kilpailukauteen valmistavalla harjoituskaudella. Hemoglobiinimassa nousi tilastollisesti merkitsevästi hypoksiaryhmällä; hemoglobiinimassan kasvu oli peräti 5,3 prosenttia alkutestin ja lopputestin tulosten mukaan. Kontrolliryhmällä hemoglobiinimassa ei noussut tilastollisesti merkitsevästi. (Wehrlin ym. 2006)

Wehrlinin ja Martin (2006) raportissa kerrottiin kahden sveitsiläisen huippukestävyysjuoksijan hematologisista muutoksista live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Toinen tutkittavista oli Sveitsin paras maratoonari ja toinen oli Sveitsin kärkejuoksija 5000 metrillä. He elivät 2456 metrin korkeudessa 26 päivää, ja harjoittelivat noin 1800 metrin korkeudessa. Hematologiset mittaukset tehtiin viikkoa ennen korkeanpaikan jaksoa sekä viikko korkeanpaikan jakson jälkeen. Molemmilla urheilijoilla hemoglobiinimassa oli noussut korkeanpaikan jakson jälkeisiin mittauksiin alkumittauksista. Maratoonarilla hemoglobiinimassa oli alkumittauksissa 952 grammaa ja loppumittauksissa 988 grammaa. Hemoglobiinimassa oli noussut hänellä 3,9 %. 5000 metrin juoksijalla hemoglobiinimassa oli alkumittauksissa 878 grammaa ja loppumittauksissa 945 grammaa. Hemoglobiinimassa oli noussut hänellä 7,6 %. (Wehrlin & Marti 2006) Brugniauxin ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin myös huomattavaa nousua kokonaihemoglobiinimassassa 18 päivän live high – train low -harjoittelujakson vaikutuksesta.

Kaikissa tutkimuksissa tutkittavien hemoglobiinimassa ei ole kuitenkaan noussut tilastollisesti merkitsevästi. Esimerkiksi Siebenmann ym. (2011) totesivat, että 4 viikon live high – train low -harjoitusjakso ei muuttanut hemoglobiinimassaa tilastollisesti merkitsevästi. Tutkittavat elivät hypoksiahuoneessa, jossa hapen osapaine vastasi 3000 metrin korkeutta lukuun ottamatta kahta ensimmäistä vuorokautta, jolloin se vastasi 2500 metrin korkeutta. Majoitus sijaitsi hieman yli 1000 metrin korkeudessa. (Siebenmann ym. 2011) Robachin ym. (2006) tutkimukseen osallistui 11 ranskalaista kansainvälisen tason hiihtolajien urheilijaa, joista kuusi oli naisia ja



viisi miestä. Kolme naista ja kolme miestä asui 18 vuorokautta hypoksiahuoneissa, joissa hapen osapaine vastasi ensimmäiset kuusi vuorokautta 2500 metrin korkeutta, seuraavat kuusi vuorokautta 3000 metrin korkeutta ja viimeiset kuusi vuorokautta 3500 metrin korkeutta. Hypoksiaryhmän tuli olla ainakin 11 tuntia vuorokaudessa hypoksia-altistuksessa. Kontrolliryhmä asui majoituspaikassa, joka sijaitsi 1200 metrin korkeudessa. Kontrolli- sekä hypoksiaryhmän hemoglobiinimassan muutokset alkumittauksista loppumittauksiin eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. (Robach ym. 2006) Hemoglobiinimassan suhteen on tehty myös havainto, että tilastollisesti merkitsevää muutosta ei tapahdu kahden viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta (Dehnert ym. 2002). Laajan kirjallisuuden perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että hemoglobiinimassa todennäköisimmin kasvaa korkeanpaikan oleskelun aikana.

## **2.2 Maksimihapenotto live high – train low -harjoittelussa**

Live high – train low -harjoitusjakson on todettu parantavan myös maksimihapenottokykyä. Robachin ym. (2018) tutkimuksessa tutkittavat tekivät suoran hapenoton testin juoksumatolla. Testin aikana maton kulma oli 10,5 % ja nopeutta lisättiin kilometri tunnissa minuutin välein. Tutkittavat lopettivat testin, kun eivät jaksaneet enää jatkaa. Tavoitteena oli jatkaa testiä niin kauan kuin mahdollista. Alkumittauksissa Chamonixissa asuvan ryhmän keskiarvo suhteellisessa maksimihapenotossa oli 69,6 ml/min/kg, ja ensimmäisessä loppumittauksessa 72,9 ml/min/kg. Heidän absoluuttinen maksimihapenottonsa oli alkumittauksissa keskimäärin 5,005 l/min, ja ensimmäisissä loppumittauksissa 5,208 l/min. Vuoristomajassa asuvan ryhmän suhteellinen maksimihapenotto oli alkumittauksissa keskiarvoltaan 68,9 ml/min/kg, ja ensimmäisessä loppumittauksessa 71,8 ml/min/kg. Heidän absoluuttinen maksimihapenottonsa oli alkumittauksissa keskimäärin 4,879 l/min, ja ensimmäisissä loppumittauksissa 5,069 l/min. Molemmilla ryhmillä maksimihapenotto oli kasvanut tilastollisesti merkitsevästi. (Robach ym. 2018)

Robachin ym. (2005) tutkimuksessa maksimihapenottoa mitattiin uintitestillä, jossa tutkittavat uivat viisi kertaa 200 metriä 15 sekunnin tauoilla. Jokaisella 200 metrillä vauhti kiihtyi, ja vauhdit oli tutkittavien edellisen kuukauden henkilökohtaisen 200 metrin ennätyksen mukaan määritetty. Suora hapenoton testi tehtiin ennen interventiojaksoa, 1–2 päivää interventio jakson jälkeen sekä 15–17 päivää interventiojakson jälkeen. Hypoksia- ja kontrolliryhmän alkutestin

hapenoton tulokset olivat melko samalla tasolla keskenään keskiarvon mukaan. Hypoksiaryhmän maksimihapenoton keskiarvo oli noussut alkutesteistä ensimmäisiin lopputesteihin tilastollisesti merkitsevästi. Kontrolliryhmän hapenoton keskiarvossa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta ensimmäisiin loppumittauksiin. Sekä hypoksia- että kontrolliryhmän toisissa loppumittauksissa hapenoton keskiarvo ei ollut muuttunut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksiin verrattuna. (Robach ym. 2005) Robachin ym. (2005), Robachin ym. (2006) ja Siebenmannin ym. (2011) tutkimuksissa hapen osapaine vastasi yli 2500 metrin korkeutta suurimman osan ajasta korkeanpaikan interventiojaksoilla. Optimaalisimmaksi asumiskorkeudeksi maksimihapenoton parantumisen kannalta on kuitenkin todettu noin 2000–2500 metriä (Chapman ym. 2013a).

Wehrlinin ym. (2006) tutkimuksessa molemmat ryhmät suorittivat maksimihapenoton testin päivän ennen interventiojakson alkua. Hypoksiaryhmä teki maksimihapenoton testin myös interventiojakson jälkeen. Testissä tutkittavat lämmittelivät ensin 10 minuuttia, jonka jälkeen varsinainen testi aloitettiin anaerobisen kynnyksen vauhdista. Joka minuutti vauhtia lisättiin kilometri tunnissa. Tutkittavan täytyi ilmoittaa, kun jaksaisi jatkaa testiä enää noin 1,5 minuuttia, jolloin vauhtia ei enää lisätty. Maksimihapenotto nousi hypoksiaryhmällä alkutestistä lopputestiin keskimäärin noin 4,1 %, joka oli myös tilastollisesti merkitsevä tulos. (Wehrlin ym. 2006) Myös Robertson ym. (2010) havaitsivat tilastollisesti merkitsevää kasvua maksimihapenotossa kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Kuitenkaan viiden viikon tauon jälkeen tehdyn toisen kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson aikana maksimihapenotto ei noussut tilastollisesti merkitsevästi. (Robertson ym. 2010)

Stray-Gundersenin ym. (2001) tutkimuksessa oli kaikissa tuloksissa 22 USA:n kansallisen tason kestävyysjuoksijaa, joista 14 oli miehiä ja kahdeksan naisia. He elivät kilpailuun valmistavalla kaudella 27 päivää 2500 metrin korkeudessa, ja tekivät kovimman intensiteetin harjoitukset 1250 metrin korkeudessa. Muuten harjoittelu sijoittui 1250–3000 metrin korkeuteen, yleisimmin 2000–2800 metrin korkeuteen. Tutkittavat juoksivat mattotestin ennen ja jälkeen korkeanpaikan jakson. Mattotestissä juostiin samalla nopeudella väsymykseen asti siten, että kulmaa nostettiin jokaisen kahden minuutin aikana 2 %. Maksimihapenotto oli noussut tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin. Korkeanpaikanjakson jälkeisissä mittauksissa se oli noin 3 % suurempi kuin ennen korkeanpaikanjaksoa. Ennen korkeanpaikanjaksoa suhteellinen maksimihapenotto oli keskimäärin 72,1 ml/kg/min ja

korkeanpaikanolon jälkeen se oli keskimäärin 74,4 ml/kg/min. (Stray-Gundersen ym. 2001) Myös Dehnertin ym. (2002) havaitsivat live-high – train-low -harjoitusjakson parantavan maksimihapenottoa tilastollisesti merkitsevästi. Kahden viikon intervention aikana maksimihapenotto oli noussut 7 % live high – train-low -ryhmällä. (Dehnert ym. 2002)

Myös Clark ym. (2003) ovat havainneet live high – train low -harjoitusjakson parantavan maksimihapenottokykyä. Tutkittavat olivat miespyöräilijöitä tai -triathlonisteja, ja heidät jaettiin kolmeen ryhmään. Yksi ryhmistä (LHTLc) nukkui simuloidussa 2650 metrin korkeudessa 9–10 tuntia kaksikymmentä yötä. Toinen ryhmä (LHTLi) nukkui 9–10 tuntia simuloidussa 2650 metrin korkeudessa viisi yötä ja kaksi seuraavaa normoksiassa, jonka jälkeen he toistivat kaavan vielä kolme kertaa. Kontrolliryhmä nukkui koko ajan normoksisissa olosuhteissa. Ryhmät tekivät maksimihapenoton testin, josta selvitettiin korkein saavutettu hapenotto ( $VO_{2peak}$ ). Ennen maksimihapenoton testiä tehtiin laktaattikynnysten määrittely - testi, ja viisi minuuttia sen jälkeen aloitettiin maksimihapenoton testi. Maksimihapenoton testi tehtiin pyöräillen, ja se aloitettiin sillä teholla, jolla tutkittava oli polkenut laktaattitestissä laktaatin ollessa 4 mmol/l. Testissä nostettiin tehoa 25 wattia 2,5 minuutin välein, kunnes tutkittava halusi lopettaa testin. Kaikki ryhmät tekivät testin interventiojaksoa edeltävällä viikolla. LHTLc ja kontrolliryhmä tekivät testin uudelleen 19–20 päivää interventiojakson alun jälkeen, ja LHTLi-ryhmä teki testin 26 päivää interventiojakson alun jälkeen. (Clark ym. 2003)

LHTLi-ryhmän  $VO_{2peak}$  oli alkutestissä keskimäärin 65,4 ml/kg/min, ja lopputestissä se oli keskimäärin 67,4 ml/kg/min. LHTLc-ryhmän  $VO_{2peak}$  oli puolestaan alkutestissä keskimäärin 64,5 ml/kg/min, ja lopputestissä keskimäärin 66,4 ml/kg/min. Kontrolliryhmän keskimääräinen  $VO_{2peak}$  oli alkutestissä 67,3 ml/kg/min, ja lopputestissä 69,7 ml/kg/min. Jokaisella ryhmällä korkein saavutettu hapenotto oli noussut tilastollisesti merkitsevästi. (Clark ym. 2003)  $VO_{2peak}$  parani myös Garvicanin ym. (2010) tutkimuksessa alkutesteistä lopputestiin live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta tutkittavilla, joilla hemoglobiinimassan annettiin adaptoitua normaalisti. Ryhmällä, jolla hemoglobiinimassan kasvu ehkäistiin verenpoiston avulla, ei havaittu parannusta  $VO_{2peak}$ :issä. (Garvican ym. 2010) Tämä voisi antaa viitteitä siitä, että korkein saavutettu hapenotto on yhteydessä hemoglobiinimassan kasvuun.

Brugniauxin ym. (2005) tutkimuksen tuloksissa oli 11 ranskalaista kansallisen ja kansainvälisen tason keskimatkan miesjuoksijaa. Heistä viisi oli ”live high – train low” -ryhmässä (LHTL-ryhmä), ja kuusi ”live low – train low” -ryhmässä (kontrolliryhmä). Ryhmät tekivät neljän

päivän sisällä alkutestit. Niiden jälkeen he aloittivat 18 päivän harjoittelujakson siten, että LHTL-ryhmä asui 14 tuntia päivässä hypoksiahuoneessa, ja kontrolliryhmä asui 1200 metrin korkeudessa. Molemmat ryhmät harjoittelivat 1200 metrin korkeudessa. LHTL-ryhmän hypoksiahuoneiden hapen osapaine vastasi 2500 metrin korkeutta ensimmäiset kuusi päivää ja 3000 metrin korkeutta viimeiset 12 päivää. Kolmen päivän aikana 18 päivän harjoittelujakson jälkeen sekä 15 päivää 18 päivän harjoittelujakson jälkeen suoritettiin lopputestit. Maksimihapenoton testi tehtiin juoksumatolla juosten. (Brugniaux ym. 2005)

LHTL-ryhmän maksimihapenotto oli loppumittauksissa korkeampi kuin alkumittauksissa. LHTL-ryhmän alkumittauksien maksimihapenotto oli keskimäärin 63,3 ml/kg/min. Ensimmäisessä loppumittauksessa LHTL-ryhmän maksimihapenotto oli keskimäärin 69,4 ml/kg/min ja toisessa loppumittauksessa 66,5 ml/kg/min. LHTL-ryhmä saavutti siis korkeimmat maksimihapenoton tulokset ensimmäisissä loppumittauksissa. Molempien loppumittausten tulokset olivat nousseet LHTL-ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä. Kontrolliryhmän maksimihapenotto oli loppumittauksissa korkeampi kuin alkumittauksissa. Kontrolliryhmän alkumittauksien maksimihapenotto oli keskimäärin 63,3 ml/kg/min. Ensimmäisessä loppumittauksessa kontrolliryhmän maksimihapenotto oli keskimäärin 65,9 ml/kg/min ja toisessa loppumittauksessa 65,1 ml/kg/min. Kontrolliryhmä saavutti siis korkeimmat maksimihapenoton tulokset ensimmäisissä loppumittauksissa, mutta maksimihapenoton kasvu ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä. (Brugniaux ym. 2005)

Levinen ja Stray-Gundersenin (1997) tutkimuksessa tutkittavat olivat kestävyysjuoksijoita. Heidät jaettiin kolmeen ryhmään; yksi ryhmä asui neljä viikkoa 2500 metrin korkeudella ja harjoitteli 1200–1400 metrin korkeudella (LHTL-ryhmä eli live high – train low -ryhmä), toinen ryhmä asui merenpinnan tasolla (LLTL-ryhmä eli live low – train low -ryhmä) ja kolmas ryhmä asui 4 viikkoa 2500 metrin korkeudella ja harjoitteli 2500–2700 metrin korkeudella (LHTH-ryhmä eli live high – train high -ryhmä). Jokaisessa ryhmässä oli yhdeksän miestä ja neljä naista. Tutkittavat tekivät maksimihapenoton testin juoksumatolla juuri ennen interventiojaksoa ja neljä päivää interventiojakson jälkeen. Ennen testiä tehtiin lyhyt lämmittely, jonka jälkeen testi alkoi. Ensimmäinen kuorma oli kahden minuutin pituinen vauhdin ollessa naisilla 8 mailia tunnissa ja miehillä 9 mailia tunnissa juoksumaton kulman ollessa 0 %. Tästä eteenpäin kulmaa nostettiin 2 % kahden minuutin välein niin kauan, kunnes tutkittava halusi lopettaa testin. (Levine & Stray-Gundersen 1997)

Ennen interventiojaksoa LHTL-ryhmän keskimääräinen maksimihapenotto oli 63,8 ml/kg/min, ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 66,3 ml/kg/min. Ennen interventiojaksoa LLTL-ryhmän keskimääräinen maksimihapenotto oli 64,7 ml/kg/min, ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 63,7 ml/kg/min. Ennen interventiojaksoa LHTH-ryhmän keskimääräinen maksimihapenotto oli 64,8 ml/kg/min, ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 67,0 ml/kg/min. LHTL- ja LHTH-ryhmän keskimääräinen suhteellinen maksimihapenotto oli parantunut tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin. LLTL-ryhmän maksimihapenotto ei ollut puolestaan muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. (Levine & Stray-Gundersen 1997)

Kaikissa tapauksissa maksimihapenotto ei kuitenkaan ole kasvanut live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Muun muassa Kettusen ym. (2023) tutkimuksessa suora maksimihapenoton testi tehtiin sauvakävellen ja -juosten juoksumatolla. Nopeutta ja maton kaltevuutta lisättiin joka kolmas minuutti. Normoksiaryhmä nosti suhteellista maksimihapenottoaan alkutestistä lopputestiin, kun taas simuloidussa korkeudessa asuneiden maksimihapenotossa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. (Kettunen ym. 2023) Robachin ym. (2006) tutkimuksessa alkumittaukset tehtiin juuri ennen hypoksiajaksoa, ja loppumittaukset tehtiin 14–16 päivää hypoksiajakson päättymisen jälkeen. Suora hapenoton testi tehtiin juoksumatolla juosten 3 minuutin portaissa vauhtia sekä kulmaa nostaen vakioidun ohjeistuksen mukaan. Kontrolliryhmällä sekä hypoksiaryhmällä keskimääräinen maksimihapenotto ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. (Robach ym. 2006) Siebenmann ym. (2011) eivät myöskään havainneet tilastollisesti merkitsevää muutosta maksimihapenotossa. Kirjallisuuden perustella voidaan pitää kuitenkin todennäköisempänä, että maksimihapenotto kasvaa live high – train low -harjoitusjakson aikana.

### **2.3 Maksimikestävyysuorituskyky live high – train low -harjoittelussa**

Maksimihapenoton muutosten ja 5000 metrin testijuoksun muutosten on havaittu korreloivan keskenään (Levine & Stray-Gundersen 1997). Tässä tutkielmassa kirjallisuuteen viitattaessa maksimikestävyysuorituskyvyn mittarina on käytetty suoran hapenoton testin loppuaikaa sekä muun muassa 3000 metrin ja 5000 metrin loppuaikoja. 2000–2500 metrin korkeudessa asuminen merenpinnan tasosta on todettu olevan optimaalisin maksimisuorituskyvyn parantumisen kannalta (Chapman ym. 2013a). Optimaalisin aika parhaalle

maksimisuorituskyvyille ei ole heti korkealta poistumisen jälkeen (Robach ym. 2018), vaikka toisaalta Chapman ym. (2013b) toteavat aikaisempaan kirjallisuuteen viitaten, että korkealta paluun jälkeen on yksilöllistä, milloin paras suorituskyky ilmenee. Luvussa tarkastellaan myös maksimilaktaattia ja -sykettä.

Hemoglobiinimassan kasvu voi olla yhteydessä maksimisuorituskyvyn paranemiseen. Garvicanin ym. (2010) tutkimuksessa uupumukseen asti tehtävän polkupyörätestin polkemisaika huipputeholla kasvoi ryhmällä, jonka hemoglobiinimassan annettiin adaptoitua normaalisti live high – train low -harjoitusjaksolla. Polkupyörätestin polkemisaika huipputeholla puolestaan laski ryhmällä, jonka hemoglobiinimassan kasvu estettiin. (Garvican ym. 2010) Tämän perusteella voisi päätellä, että hemoglobiinimassan kasvaessa myös maksimisuorituskyky parantuisi. Maksimikestävyysuorituskyvystä on kuitenkin ristiriitaista tutkimustietoa.

Tilastollisesti merkitseviä muutoksia on havaittu maksimisuorituskyvyssä live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Robachin ym. (2018) tutkimuksessa vuoristomajassa asuvien maksiminopeuden keskiarvo suorassa hapenoton testissä oli alkumittauksissa 15,1 km/h ja ensimmäisessä loppumittauksessa 15,3 km/h. Chamonixissa asuvien ryhmän alkutestin maksiminopeuden keskiarvo oli 15,2 km/h ja ensimmäisen loppumittauksen 15,6 km/h. Kummankaan ryhmän maksiminopeus ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista loppumittauksiin. Vuoristomajassa asuneen ryhmän loppuaika suorassa hapenoton testissä oli keskimäärin alkumittauksissa 8,54 minuuttia ja ensimmäisessä loppumittauksessa 9,00 minuuttia. Chamonixissa asuneen ryhmän maksimikesto suorassa hapenoton testissä oli keskimäärin alkumittauksissa 8,62 minuuttia ja ensimmäisessä loppumittauksessa 8,98 minuuttia. Molemmissa ryhmissä testin maksimikesto oli parantunut tilastollisesti merkitsevästi. (Robach ym. 2018)

Wehrlinin ym. (2006) tutkimuksessa hypoksiaryhmä suoritti maksimihapenoton testin päivän ennen interventiojaksoa sekä 8 päivää interventiojakson jälkeen. Hypoksiaryhmä jaksoi juosta maksimihapenoton testissä matolla keskimäärin 41 sekuntia pidempään lopputestissä kuin alkutestissä. Maksimihapenoton testin lisäksi hypoksiaryhmä suoritti 5000 metrin juokсутestin 400 metrin juoksuradalla samoina päivinä kuin maksimihapenoton testin, mutta vain 7–10 tuntia maksimihapenoton testin jälkeen. Tutkittavien loppuaika 5000 metrin juokсутestissä oli noin 18 sekuntia nopeampi lopputestissä kuin alkutestissä. Tulokset olivat tilastollisesti

merkitseviä. (Wehrlin ym. 2006) Myös Dehnertin ym. (2002) tutkimuksessa live-high – train-low -ryhmästä suurin osa paransi juoksumattotestinsä aikaa alkutestistä lopputestiin.

Levinen ja Stray-Gundersenin (1997) tutkimuksessa tutkittavat tekivät 5000 metrin testijuoksun ennen ja jälkeen neljän viikon interventiojakson. LHTL-ryhmän aika ennen interventiojaksoa oli keskimäärin 17,23 minuuttia ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 17,00 minuuttia. LLTL-ryhmän aika ennen interventiojaksoa oli keskimäärin 17,23 minuuttia ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 17,67 minuuttia. LHTH-ryhmän aika ennen interventiojaksoa oli keskimäärin 17,04 minuuttia ja interventiojakson jälkeen se oli keskimäärin 17,10 minuuttia. LHTL-ryhmän keskimääräinen aika oli parantunut tilastollisesti merkitsevästi toisin kuin LHTH- ja LLTL-ryhmillä, joiden testijuoksuajat eivät olleet muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi neljän viikon interventiojakson aikana. 21 päivää interventiojakson jälkeen tehtävässä 5000 metrin testissä LHTL-ryhmän ajat olivat keskimäärin koko tutkimusjakson parhaat, vaikka tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollutkaan. LHTL-ryhmän 5000 metrin ajat olivat kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi paremmat kuin LLTL-ryhmällä. (Levine & Stray-Gundersen 1997) Parkin ym. (2017) live-high – train low -ryhmän sekä live low – train low -ryhmän tutkittavien 3000 metrin ja 5000 metrin testijuoksujen ajat olivat parantuneet neljän viikon harjoittelujakson aikana tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin.

Robachin ym. (2018) tutkimuksessa suoran hapenoton testin maksimihapenoton arvot, maksiminopeus sekä -aika olivat tilastollisesti merkitsevästi parantuneet kolmansissa loppumittauksissa alkutestiin verrattuna molemmilla ryhmillä. Kolmannet loppumittaukset olivat 18–20 päivää interventiojakson jälkeen. (Robach ym. 2018) Wehrlinin ja Martin (2006) raportin urheilijoilla oli 27–29 päivää korkeanpaikan jakson jälkeen edessään maailmanmestaruuskilpailut, ja molemmat saavuttivat parhaat henkilökohtaiset sijoituksensa niissä. 5000 metrin juoksija juoksi ajallisesti myös paremman ajan maailmanmestaruuskilpailuissa kuin ennen live high – train low -harjoitusjaksoa. (Wehrlin & Marti 2006) Brugniauxin ym. (2005) tutkimuksessa maksimihapenoton työteho oli paras ensimmäisissä lopputesteissä LHTL-ryhmällä.

Stray-Gundersenin ym. (2001) tutkimuksessa tutkittavat suorittivat päivää ennen korkeanpaikan jaksoa sekä kolme päivää korkeanpaikan jakson jälkeen 3000 metrin juoksuratatestin merenpinnan tasolla. Tutkittavien loppuaika oli parantunut tilastollisesti

merkitsevästi alkutestistä lopputestiin; keskimäärin 5,8 sekuntia. Alkutestissä 3000 metrin aika oli keskimäärin noin 8,45 minuuttia (min,s) ja lopputestissä keskimäärin noin 8,39 minuuttia (min,s). Tutkimuksessa juoksumattotestin lopetusaika ei ollut kuitenkaan muuttunut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista loppumittauksiin. Lopetusaika oli alkutestissä keskimäärin 8,8 minuuttia ja lopputestissä keskimäärin 9,0 minuuttia. (Stray-Gundersen ym. 2001)

Myös muuta negatiivista tutkimusnäyttöä maksimikestävyysuorituskyvyn parantumisen suhteen on havaittu. Robachin ym. (2006) tutkimuksessa loppuaikaa maksimisuorituksessa mitattiin toisen maksimitestin avulla, joka suoritettiin juoksumatolla 24 tuntia suoran hapenoton testin jälkeen. Testissä juoksumaton kulma oli 14 %, ja vauhti testiin valittiin tutkittavien henkilökohtaisen suoran hapenoton testin vauhdin perusteella. Testissä oli tarkoitus pyrkiä juoksemaan mahdollisimman pitkään tällä vauhdilla. Sekä kontrolli- että hypoksiaryhmän ajat eivät muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi alkutesteistä lopputesteihin. (Robach ym. 2006) Myöskään Kettusen ym. (2023) tutkimuksessa alku- ja loppumittausten tuloksia verrattaessa simuloitussa korkeudessa asuneiden ja normoksiaryhmän suoran hapenoton testin lopetusaika ei ollut muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. Lisäksi Robertsonin ym. (2010) juoksumattotestissä maksimihapenoton kuorman nopeus ei ollut noussut tilastollisesti merkitsevästi live high – train low -ryhmän tutkittavilla.

Robachin ym. (2005) tutkimuksessa maksimisuoritusta mitattiin 2000 metrin vapaan tyylin uintitestillä. Tutkittavien oli tarkoitus yrittää uida matka mahdollisimman nopeasti. Testi suoritettiin ennen interventiojaksoa, 1–2 päivää interventiojakson jälkeen sekä 15–17 päivää interventiojakson jälkeen. Hypoksiaryhmän 2000 metrin aika ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. Puolestaan kontrolliryhmän 2000 metrin uintitestin aika oli keskiarvon mukaan parantunut tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä molempiin lopputesteihin. Toisessa lopputestissä kontrolliryhmän uintitestin aika oli keskimäärin samaa luokkaa kuin ensimmäisessä lopputestissä. (Robach ym. 2005) Siebenmann ym. (2011) eivät havainneet neljän viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta tilastollisesti merkitseviä muutoksia työtehossa tai suorituksen taloudellisuudessa.

Maksimilaktaatin ei ole todettu nousevan live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta usean tutkimuksen perusteella. Esimerkiksi Robachin ym. (2018) tutkimuksessa maksimilaktaatti ei noussut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista ensimmäisiin



loppumittauksiin. Myöskään Wehrilin ym. (2006) tutkimuksessa maksimilaktaattiarvoissa maksimihapenoton testissä ei todettu tilastollisesti merkitsevää muutosta live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Maksimilaktaatti oli kasvanut Kettusen ym. (2023) kontrolliryhmällä alkutestistä lopputestiin, kun taas live high – train low -ryhmällä maksimilaktaatissa ei ollut alku- ja lopputestiä vertailtaessa tilastollisesti merkitsevää muutosta. Clarkin ym. (2003) tutkimuksessa 4 mmol/l laktaatilla tehtävä työtahti maksimihapenoton testissä puolestaan parani alkutestistä lopputestiin tilastollisesti merkitsevästi kaikilla ryhmillä. Voisi siis olettaa, että maksimilaktaatissa ei tapahdu tilastollisesti merkitseviä muutoksia live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta, mutta jos muutoksia tapahtuu, maksimilaktaatti on mahdollisesti korkeampi lopputestissä kuin alkutestissä.

Maksimisykkeessä on havaittu vain vähän muutoksia live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Robachin ym. (2018) tutkittavien maksimisyke ei noussut tilastollisesti merkitsevästi alkumittauksista ensimmäisiin loppumittauksiin. Myöskään Stray-Gundersenin ym. (2001), Brugniauxin ym. (2005) sekä Kettusen ym. (2023) tutkimuksissa maksimisyke ei ollut muuttunut tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin. Wehrilin ym. (2006) tutkimuksessa live high – train low -harjoitusjakson jälkeisessä maksimihapenoton testissä maksimisyke oli puolestaan laskenut keskimäärin kolme lyöntiä minuutissa, mikä oli tilastollisesti merkitsevä tulos. Tästä päätellen maksimisykkeessä ei tapahdu tilastollisesti merkitseviä muutoksia maksimisuorituksessa live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Jos muutoksia kuitenkin tapahtuu, maksimisyke on todennäköisemmin alempi lopputestissä alkutestiin verrattuna.

### 3 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tässä tutkielmassa on tarkoitus selvittää, onko kolmen viikon live high – train low -harjoitusjaksolla vaikutusta hemoglobiinimassaan, maksimihapenottoon ja maksimikestävyysuorituskykyyn hiihtolajien urheilijoilla.

Tutkimuskysymys 1: Muuttuuko hemoglobiinimassa kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta?

Hypoteesi: Kyllä. Kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson on todettu kasvattavan hemoglobiinimassaa (Robertson ym. 2010). Tutkimuksissa, joissa tutkittavina on ollut hiihtolajien urheilijoita, hemoglobiinimassa on kasvanut tilastollisesti merkitsevästi live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta (Kettunen ym. 2023; Robach ym. 2018).

Tutkimuskysymys 2: Kasvaako maksimihapenotto kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta?

Hypoteesi: Kyllä. Maastohiihtäjillä maksimihapenoton on todettu kasvavan live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta (Robach ym. 2018). Lisäksi kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson aikana maksimihapenotto on kasvanut tilastollisesti merkitsevästi (Robertson ym. 2010).

Tutkimuskysymys 3: Parantuuko maksimisuorituskyky kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta?

Hypoteesi: Ei. Vaikka monissa tutkimuksissa maksimisuorituskyky on parantunut live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta, niin Kettusen ym. (2023) tutkimuksessa hiihtolajien urheilijoilla suoran hapenoton testin loppuaika ei ollut kasvanut tilastollisesti merkitsevästi live high – train low high -harjoitusjakson vaikutuksesta. Lisäksi kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson ei olla havaittu nostavan juoksumattotestissä maksimihapenoton kuorman nopeutta (Robertson ym. 2010).

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkielma suoritettiin osana laajempaa Jyväskylän yliopiston simuloitun korkeanpaikan harjoittelujakson tutkimusta, jonka mittaukset tehtiin vuonna 2023 heinäkuusta syyskuuhun. Tutkimus oli interventiotutkimus, jossa oli yhteensä 25 tutkittavaa. 12 tutkittavaa eli 21 vuorokautta alppimajassa (live high – train-low -ryhmä = LHTL-ryhmä), johon ilmanpaine säädettiin vastaamaan korkeudeltaan noin 2500 metriä merenpinnan tasosta. Loput 13 elivät normaalisti merenpinnan tasolla (kontrolliryhmä). Kaikki tutkittavat harjoittelivat merenpinnan tasolla normaalisti. Tutkimuksen mittaukset suoritettiin Vuokatissa Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikössä. Tutkimuksessa käytetyt alppimajat sijaitsevat Vuokatin urheiluopiston majoitustiloissa. Ennen tutkimusta tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen tutkimukseen osallistumisesta sekä täyttivät terveystarkastuksen. Lisäksi tutkimuksessa oli Jyväskylän yliopiston eettisen lautakunnan hyväksymä lausunto.

### 4.1 Tutkittavat

Tutkimuksessa oli tutkittavia yhteensä 25. Tutkittavat olivat vähintään 18 vuotta täyttäneitä kansallisen ja kansainvälisen tason hiihtolajien urheilijoita. Naisia tutkimuksessa oli yhteensä 21 ja miehiä 4. Alppimajajaksolla oli 10 naista ja 2 miestä. He asuivat ja elivät keskimäärin noin 18 tuntia vuorokaudesta alppimajassa, mutta harjoittelivat merenpinnan tasolla. Kontrolliryhmässä oli 11 naista ja 2 miestä, ja he asuivat ja harjoittelivat koko ajan merenpinnan tasolla. Mittaukset suoritettiin kesän lopussa ja alkusyksystä, kun tutkittavilla oli harjoituskausi meneillään. Tutkimuksen aikana kaikki eivät pystyneet tehdä kaikkia lopputestejä sairastumisen vuoksi, ja osa tutkittavien testituloksista jouduttiin hylkäämään testin aikaisten virheiden takia. Lopullisissa analyyseissä LHTL-ryhmän maksimihapenoton testissä huomioitiin 10 tutkittavan tulokset, lukuun ottamatta testin kestoa, jossa huomioitiin 8 tutkittavan tulokset. Kontrolliryhmän absoluuttisen sekä suhteellisen maksimihapenoton tuloksissa huomioitiin 11 tutkittavan tulokset, ja muissa maksimihapenoton testin tuloksissa huomioitiin 12 tutkittavan tulokset. Alppimajaryhmän hemoglobiinimassan tuloksissa huomioitiin 12 tutkittavan tulokset, ja samoin kontrolliryhmän hemoglobiinimassan tuloksissa huomioitiin 12 tutkittavan tulokset.

Tutkittavat eivät saaneet osallistua alppimajajaksolle sairaina, eikä rautaa saanut käyttää ravintolisänä viikkoon ennen alku- ja loppumittauksia. Tutkittavat aloittivat mittauspöytäkirjan täytön viikkoa ennen alppimajajaksoa, josta selvisi päivän tuntemuksiin liittyviä arvioita, sekä merkinnät happisaturaatiosta, majassa vietetystä ajasta, aamupainosta, unen määrästä ja laadusta sekä virtsan väristä ja määrästä. Myös tulehduskipulääkkeiden sekä rautalisän käytöstä tehtiin merkinnät mittauspöytäkirjaan. Ennen alppimajaan menoa happisaturaatiota ja majassa vietettyä aikaa ei merkattu ylös.

Tutkittavien harjoittelua seurattiin Polar Flow -sovelluksen kautta, jonne tutkittavat synkronoivat harjoituksensa. Aamuisin tutkittavat ottivat ortostaattisen sykkeen sykereaktion Polar Vantage V2 kellon ja Polar H10-sykemittarin avulla, ja tulokset synkronoitiin Polar Flow -sovellukseen. Tutkittavat täyttivät myös ruokapäiväkirjaa kolmen vuorokauden ajan. Sitä täytettiin ensisijaisesti 10–12 vuorokautta ennen alku- ja loppumittauksia, mutta ajankohta sai olla perustellusta syystä myös eri. Pääasia oli, että yhdellä tutkittavalla ruokapäiväkirjan täyttö tapahtui yhtä kauan ennen alku- ja loppumittauksia. Aamusykkeiden ottaminen ja ruokapäiväkirjat eivät ole kuitenkaan olennainen osa tätä tutkimusta.

#### **4.2 Hemoglobiinimassamittaus ja muut hematologiset mittaukset**

Hemoglobiinimassamittaus suoritettiin ennen interventiojaksoa sekä 1–2 päivää interventiojakson päättymien jälkeen. Ennen hemoglobiinimassamittauskokeen aloittamista tutkittavilta otettiin koulutetun sairaanhoitajan toimesta verinäyte kyynärtaipeesta, jonka avulla analysoitiin hemoglobiinikonsentraatio sekä hematokriitti plasman volyymin määrittämistä varten. Tämän jälkeen tehtiin optimoitu hiilimonoksidin takaisinhengityskoe Schmidtin ja Prommerin (2005) menetelmää mukaillen (tyypillinen virhe 1,7 %), jonka avulla määritettiin tutkittavan hemoglobiinimassa. Testissä tutkittavat hengittivät pienen annoksen hapen ja hiilimonoksidin kaasusekoitusta (O<sub>2</sub>: ~3 l; CO: naiset 0,9 ml/kg, miehet 1,1 ml/kg) kahden minuutin ajan. Ennen testiä sekä kuuden ja kahdeksan minuutin kohdalla testin jälkeen heiltä otettiin tutkijoiden toimesta sormenpääverinäytteet, joiden avulla analysoitiin karboksihemoglobiinipitoisuus. Myös keuhkojen hiilimonoksidipitoisuus mitattiin ennen testiä sekä kaksi minuuttia testin jälkeen Dräger PAC 7000 -hiilimonoksidimittarilla (Dräger Safety, Lübeck, Germany). Kaikki verinäytteet analysoitiin heti ABL90 FLEX -verikaasuanalysaattoril-

la (Radiometer Medical ApS). Ennen hemoglobiinimassatestiä suositeltiin välttämään harjoittelua saman päivän aikana. Syödä sai kuitenkin normaalisti ennen mittauksia.

Tutkittavilta otettiin myös perusverenkuvaa. Verinäytteet laitettiin jääkaappiin näytteenoton jälkeen ja toimitettiin seuraavaksi päiväksi analysoitavaksi Vita-laboratorioihin. Analyysi tehtiin Sysmex XN-1000 verenkuvaa-analyysaattorilla. Alppimajassa olleet tutkittavat kävivät kuudentena hypoksiajakson aamuna paastoverikokeessa. Paastoverinäyte otettiin myös kaikilta tutkittavilta suoran hapenoton testin aamuina. Ennen verikoetta ei saanut syödä. Nämä verikokeet eivät ole olennaisia tämän tutkimuksen kannalta.

### **4.3 Suora hapenoton testi**

Suora hapenoton testi suoritettiin Vuokatissa Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian suuntauksen testastiloissa Rodby 3500E -juoksumatolla rullahiihtotestinä. Kaikki testattavat hiihtivät Marwen rullasuksilla. Naisilla rullasuksien etupyörät olivat Marwen kilpapyörät, ja takapyörät Marwen 0-pyörät. Miehillä kaikki rullasuksien pyörät olivat Marwen 0-pyöriä. Tutkittavien suoran hapenoton testin alku- ja loppumittausaikataulut pyrittiin vakioimaan, jotta ennen testiä tehtävät toimet olisivat toistettavissa. Alppimajaryhmä teki maksimihapenoton testin aamulla tai päivällä juuri ennen alppimajaan siirtymistä. Loppumittauksissa he tekivät mattotestin 1–2 päivää interventiojakson jälkeen. Tutkittavien sykettä seurattiin Polar H10-sykevyön (Polar Electro Oy) avulla koko testin ajan.

Suoran hapenoton testin aamuina paastoverinäytteen yhteydessä otettiin bioimpedanssimittaus (InBody 770, Bioscape Co., Seoul, Korea). Ennen testiä tutkittavilta mitattiin kehonpaino testivaatteet päällä lukuun ottamatta monoja. Tämän jälkeen he verryttelivät 5 minuuttia aloituskuormalla, 10 minuuttia toisella testikuormalla ja lopuksi vielä 5 minuuttia aloituskuormalla. Yhteensä alkuverryttely kesti siis 20 minuuttia. Testi suoritettiin 3 minuutin portailla wassberg-tekniikalla, ja nopeutta lisättiin aina 1,5 km/h uuden kuorman alkaessa. Aloituskuorman nopeus oli 8 km/h. Testattavat saivat lopettaa testin missä vaiheessa tahansa. Juoksumaton kulma oli 3 astetta koko testin ajan mukaan lukien alku- ja loppuverryttely. Hengitysmuuttujien mittauksessa käytettiin Cosmed k5 -hengityskaasuanalyysaattoria, jossa käytössä oli Mixing chamber -sekoituskammio. Ennen jokaista testiä tehtiin tilavuus- ja kaasukalibraatiot. Maksimihapenotto määritettiin 60 sekunnin keskiarvona. Tutkittavilta

otettiin ennen testiä sekä jokaisen testikuorman jälkeen sormenpääverinäyte, joiden avulla selvitettiin testin aikaiset veren laktaattipitoisuudet. Matto pysäytettiin sormenpääverinäytteiden ottamisen ajaksi. Testin jälkeen laktaattinäytteet vietiin, usein tutkittavan loppuverryttelyn aikana, automaattiseen Biosen C-Line Clinic -laktaattianalysaattoriin (EKF Diagnostics, Barleben / Magdeburg, Germany). Tuloksien valmistuttua arvot kirjattiin tutkittavan testipaperiin. Heti suoran hapenoton testin jälkeen sekä kolme tuntia suoran hapenoton testin jälkeen tutkittavilta otettiin kyynärtaipeesta verinäyte.

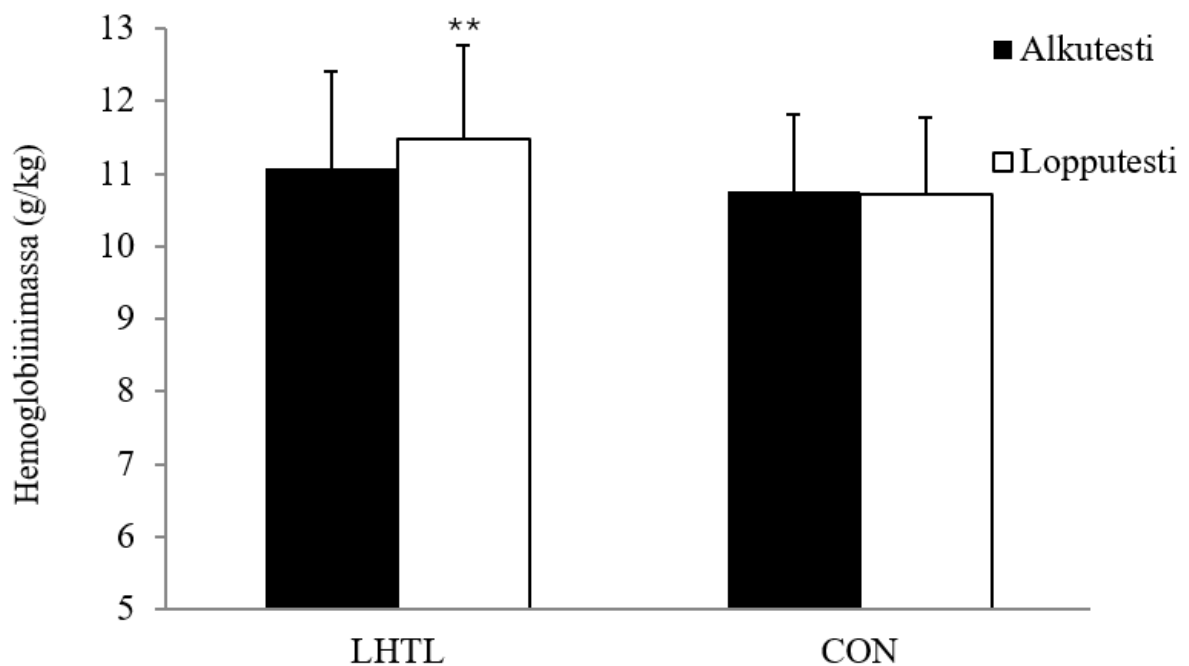
12 tuntia ennen testiä tutkittavat eivät saaneet harjoitella tai nauttia tulehduskipulääkkeitä, alkoholia, nikotiinia tai antihistamiinia. 48 tuntia ennen suoran hapenoton testiä ei suositeltu kylmähoitoja tai hierontaa. Tutkittavien täytyi pitää ruokapäiväkirjaa testiä edeltävänä päivänä ja samana päivänä ennen testiä, ja lopputestiä ennen tuli syödä mahdollisimman samalla tavalla kuin ennen alkumittausta. Testin jälkeen tutkittavat eivät saaneet syödä kolmeen tuntiin muuta kuin testaaajien veteen tekemän palautusjuoman, johon oli suhteutettu painon mukaan sopiva määrä (1,2 g/kg) maltodekstriiniä (Malto Energy, SportLife Nutrition) ja heraproteiinijauhetta (Hera 600 g kotimainen & laktoositon, SportLife Foods).

#### **4.4 Tilastolliset testit**

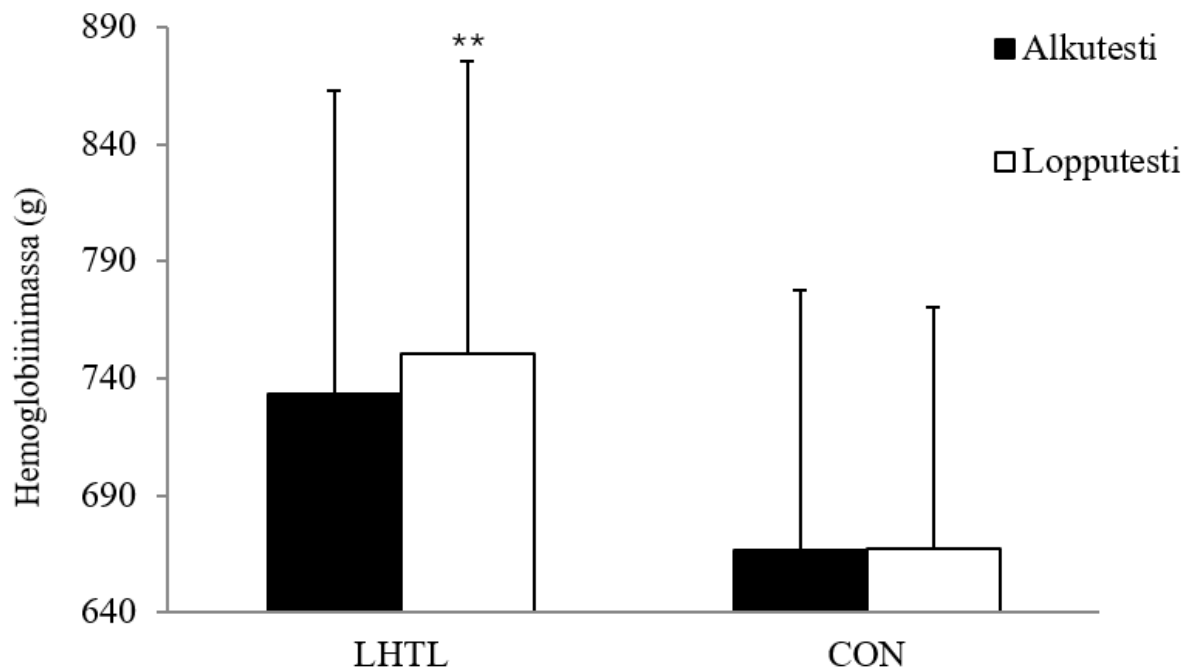
Tulosten tilastollisessa määrittelyssä käytettiin IBM SPSS Statics Version 28.0.1.1. (15) -sovel-lusta. Tulosten normaalijakautuneisuus laskettiin Shapiro-Wilkin testillä ja alku- ja lopputestien väliset erot parillisella t-testillä. Tilastollisen merkitsevyyden tasoksi asetettiin  $p < 0,05$ . Tulokset on ilmoitettu keskiarvoina ja keskihajontoina.

## 5 TULOKSET

LHTL-ryhmällä suhteellinen sekä absoluuttinen hemoglobiinimassa nousivat tilastollisesti merkitsevästi interventiojakson aikana ( $p < 0,01$ ). Kontrolliryhmän hemoglobiinimassassa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. (Kuva 1 & kuva 2) LHTL-ryhmän absoluuttinen hemoglobiinimassa oli alkutestissä 733 g ja lopputestissä 750 g. Heidän suhteellinen hemoglobiinimassansa oli alkutestissä 11,1 g/kg ja lopputestissä 11,5 g/kg. Kontrolliryhmän absoluuttinen hemoglobiinimassa oli 667 g ja lopputestissä 668 g. Heidän suhteellinen hemoglobiinimassansa oli alkutestissä 10,8 g/kg ja lopputestissä 10,7 g/kg.



KUVA 1. Suhteellinen hemoglobiinimassa live-high – train-low -ryhmällä (LHTL,  $n = 12$ ) ja kontrolliryhmällä (CON,  $n = 12$ ) alku- ja lopputestissä, \*\*  $p < 0,01$  tilastollisesti merkitsevä ero alku- ja lopputestin välillä.



KUVA 2. Absoluuttinen hemoglobiinimassa live-high – train-low -ryhmällä (LHTL, n = 12) ja kontrolliryhmällä (CON, n = 12) alku- ja lopputestissä, \*\* p < 0,01 tilastollisesti merkitsevä ero alku- ja lopputestin välillä.

Kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia maksimihapenotossa alkutestistä lopputestiin. Absoluuttinen maksimihapenotto oli LHTL-ryhmällä alkutestissä 4,3 l/min ja lopputestissä 4,2 l/min. Suhteellinen maksimihapenotto oli heillä alkutestissä 64,8 ml/kg/min ja lopputestissä 64,3 ml/kg/min. Kontrolliryhmän absoluuttinen maksimihapenotto oli 3,9 l/min ja lopputestissä 4,0 l/min. Heidän suhteellinen maksimihapenottonsa oli alkutestissä 62,3 ml/kg/min ja lopputestissä 63,7 ml/kg/min. (Taulukko 1)

Myöskään maksimisuorituskyvyn tuloksissa ei tapahtunut kummallakaan ryhmällä tilastollisesti merkitseviä muutoksia alkutestistä lopputestiin. LHTL-ryhmän lopetusaika suorassa hapenoton testissä oli 24,32 minuuttia ja maksiminopeus oli 18,7 km/h. Lopputestissä heidän suoran hapenoton testin lopetusaika oli 24,05 minuuttia ja maksiminopeus 18,5 km/h. Heidän maksimilaktaattinsa oli alkutestissä 10,8 mmol/l ja lopputestissä 9,9 mmol/l. Heidän maksimisykkeensä oli alkutestissä 193 bpm/min ja lopputestissä 194 bpm/min. Kontrolliryhmän lopetusaika suorassa hapenoton testissä oli 23,08 minuuttia ja maksiminopeus oli 18,1 km/h. Lopputestissä heidän suoran hapenoton testin lopetusaika oli 23,18 minuuttia ja maksiminopeus 18,2 km/h. Heidän maksimilaktaattinsa oli alkutestissä 11,0 mmol/l ja



lopputestissä 11,6 mmol/l. Heidän maksimisykkeensä oli alkutestissä 192 bpm/min ja lopputestissä 192 bpm/min. (Taulukko 1)

TAULUKKO 1. Live-high – train-low -ryhmän sekä kontrolliryhmän maksimitulokset maksimihapenoton testissä.

	Live-high – train-low -ryhmä		Kontrolliryhmä	
	Alkumittaus	Loppumittaus	Alkumittaus	Loppumittaus
Maksimihapenotto (l/min)	4,3 ± 0,7 (n = 10)	4,2 ± 0,6 (n = 10)	3,9 ± 0,7 (n = 11)	4,0 ± 0,8 (n = 11)
Maksimihapenotto (ml/kg/min)	64,8 ± 7,7 (n = 10)	64,3 ± 6,4 (n = 10)	62,3 ± 6,3 (n = 11)	63,7 ± 7,5 (n = 11)
Testin kesto (min,s)	24,32 ± 3,23 (n = 8)	24,05 ± 2,42 (n = 8)	23,08 ± 1,51 (n = 12)	23,18 ± 1,59 (n = 12)
Maksiminopeus (km/h)	18,7 ± 1,6 (n = 10)	18,5 ± 1,3 (n = 10)	18,1 ± 1,0 (n = 12)	18,2 ± 1,0 (n = 12)
Maksimilaktaatti (mmol/l)	10,8 ± 1,4 (n = 10)	9,9 ± 1,6 (n = 10)	11,0 ± 2,2 (n = 12)	11,6 ± 2,6 (n = 12)
Maksimisyke (bpm/min)	193 ± 6 (n = 10)	194 ± 6 (n = 10)	192 ± 10 (n = 12)	192 ± 10 (n = 12)

## 6 POHDINTA

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, tapahtuuko hemoglobiinimassassa, maksimihapenotossa tai maksimikestävyysuorituskyvyssä muutoksia kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta. Aihe valittiin, jotta voitaisiin selvittää, onko kolmen viikon live high – train low -harjoitusjaksolla hyötyjä maksimikestävyysuoritukseen. Tulosten perusteella suhteellinen sekä absoluuttinen hemoglobiinimassa kasvavat tilastollisesti merkitsevästi kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta, mutta maksimihapenotto ja maksimikestävyysuorituskyky eivät muutu tilastollisesti merkitsevästi.

Vaikka tutkittavien hemoglobiinimassa kasvoi tilastollisesti merkitsevästi, niin olisiko se voinut kasvaa entistäkin enemmän, jos kaikki harjoittelu olisi tapahtunut korkeammalla merenpinnan tasosta? Hemoglobiinimassan määrän kasvuun voi osaltaan myös vaikuttaa harjoitustenkin aikainen altistus korkealle ilmanalalle. Muun muassa Wehrinin ym. (2006) tutkittavien hemoglobiinimassa oli kasvanut tilastollisesti merkitsevästi. Myös Wehrinin ja Martin (2006) tutkittavien hemoglobiinimassa kasvoi tilastollisesti merkitsevästi, kun harjoittelu tapahtui 1800 metrin korkeudessa ja muu eläminen 2456 metrin korkeudessa.

Jotta punasolut ja hemoglobiini voivat muodostua, tarvitaan muun muassa rautaa, kuparia, B<sub>2</sub>- ja B<sub>12</sub>-vitamiineja, aminohappoja, foolihappoa sekä pyridoksiinia (Leppäluoto ym. 2020, 119). Tutkittavien ravintoaineiden saanti ja riittävyys elimistössä ovat voineet siis vaikuttaa hemoglobiinimassan lisääntymiseen ja näin ollen vaikuttaa tuloksiin. Suun kautta nautittava rautalisä voi auttaa rautatasapainon ylläpidossa sekä auttaa hemoglobiinimassan kasvussa, jos tutkittavilla on matala ferritiiniarvo ennen live high – train low -harjoitusjaksoa (Govus ym. 2015). Kaikki tutkittavat eivät käyttäneet rautalisää, joten hemoglobiinimassa ei välttämättä sen takia kasvanut niin paljon kuin olisi ollut mahdollista. Lisäksi rautalisää käyttävien täytyi pitää viikon tauko rautalisän nauttimisesta ennen alku- ja lopputestejä, mikä osaltaan on voinut vaikuttaa hemoglobiinimassa-arvoihin.

Siebenmannin ym. (2011) mukaan yksilölliset muutokset maksimihapenotossa eivät korreloi hemoglobiinimassan muutoksien kanssa. Hemoglobiinimassalla ja maksimihapenotolla on kuitenkin havaittu olevan yhteys live high – train low -harjoittelussa sekä korkeanpaikanharjoittelussa. Niiden kasvu korreloi keskenään. (Saunders ym. 2013) Tästä voisi päätellä, että hemoglobiinimassan kasvun myötä myös tutkittavien maksimihapenotto- ja kestävyyskyky olisi

kasvanut. Toisaalta tutkimuksessa maksimihapenottokyvyn testi tehtiin 1–2 päivää korkealta tulon jälkeen, mitä ei olla todistettu optimaalisimmaksi suorittamisajankohdaksi parhaan tuloksen saavuttamiseksi maksimihapenottokyvyn testissä (Robach ym. 2018). Toisaalta Robachin ym. (2005) tutkimuksessa live high – train low -ryhmä saavutti parhaat tuloksensa maksimihapenoton testissä 1–2 päivää interventiojakson jälkeen.

Brugniauxin ym. (2005) tutkittavat olivat ensimmäiset kuusi päivää 2500 metriä vastaavassa korkeudessa, jonka jälkeen korkeus vaihdettiin 3000 metriä vastaavaksi. Tutkittavien maksimihapenotto oli parantunut tilastollisesti merkitsevästi. (Brugniaux ym. 2005) Alppimajassa hapen osapaine vastasi 2500 metrin korkeutta koko interventiojakson ajan. Tällöin totuttelua korkeaan ilmanalaan ei ollut, eikä korkeutta myöskään nostettu interventiojakson edetessä. Tällä voi olla osasyynsä maksimihapenoton tuloksiin, sillä liian nopea siirtyminen merenpinnan tasolta voi vaikuttaa harjoittelun toteuttamiseen ja harjoituksissa jaksamiseen. Toisaalta Brugniauxin ym. (2005) tutkimuksen hypoksiahuoneiden vastaava korkeus oli heti myös 2500 metriä.

Tutkittavat harjoittelivat merenpinnan tasolla, jolloin harjoitteluun tottuminen korkeammassa ilmanalassa ei ollut mahdollista. Jos koko harjoittelu olisi tapahtunut esimerkiksi 1000 metrin korkeudessa, voisi se vaikuttaa jaksamiseen positiivisesti merenpinnan tasolla pienempään hapensaantiin tottumisen vaikutuksesta urheilusuorituksen aikana. Muun muassa Levinen ja Stray-Gundersenin (1997) tutkimuksessa tutkittavat asuivat 2500 metrin korkeudessa ja harjoittelivat 1200–1400 metrin korkeudessa, jolloin heidän maksimihapenottokykynsä sekä 5000 metrin juoksuaikansa olivat parantuneet tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin. Lisäksi tilastollisesti merkitsevää muutosta havaittiin maksimihapenotossa sekä maksimisuorituskyvyssä Wehrinin ym. (2006) tutkimuksessa, kun tutkittavat elivät 2456 metrin korkeudessa ja harjoittelivat 1000 ja 1800 metrin korkeuksissa. Myös Brugniauxin ym. (2005) tutkittavien harjoittelu sijoittui noin 1200 metrin korkeuteen, ja heidän maksimihapenottokykynsä oli parantunut tilastollisesti merkitsevästi alkutestistä lopputestiin.

Live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta tapahtuvalla hemoglobiinimassan kasvulla sekä parantuneella maksimisuorituskyvyllä on todettu olevan yhteys (Garvican ym. 2010). Lisäksi lihasten puskurointikapasiteetin on havaittu paranevan live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta (Gore ym. 2001). Olisi ollut siis oletettavaa, että tutkittavat olisivat jaksaneet tehdä ajallisesti suoraa testiä lopputestissä pidempään alkutestiin verrattuna. Osassa

tutkimuksista maksimikestävyysuorituskyky ei ole kuitenkaan parantunut live high – train low -harjoitusjakson vaikutuksesta.

Plasman volyymin laskiessa punasolujen tilavuus voi kasvaa (Garvican ym. 2010). Plasmassa on liuenneena erilaisia ravintoaineita ja suoloja. Plasmassa olevaa kalsiumia tarvitaan lihassupistukseen, (Leppäluoto ym. 2020, 116) joten voisi kuvitella, että sen lasku olisi yleisesti ottaen epäedullista urheilusuorituksen kannalta. Plasman volyymi voi laskea live high – train low -harjoitusjakson seurauksena (Kettunen ym. 2023), joten tutkittavien mahdollinen plasman tilavuuden lasku voi olla yksi selittävä tekijä maksimisuorituskyvyn tuloksille, vaikka hemoglobiinimassa kasvoikin tilastollisesti merkitsevästi.

McArdle ym. (2015, 235) kertovat aiempaan tutkimusnäyttöön viitaten, että laktaatin tuotto on yhteydessä ATP:n lisääntyneeseen muodostumiseen anaerobisilla reiteillä. Tutkittavien maksimilaktaatti ei ollut kasvanut, mikä voi osaltaan siis vaikuttaa testin loppuosassa jaksamiseen. Myös viimeisimmän vuorokauden aikainen energiansaanti on voinut vaikuttaa maksimihapenoton testissä suorituskykyyn. Alku- ja lopputestissä syömiset pyrittiin vakioimaan mahdollisimman samanlaisiksi edellispäivänä ennen maksimihapenoton testiä sekä testiaamuna. Jos tutkittavan energiansaanti on ollut heikkoa ennen alkutestiä, ja hän syö samalla tavalla ennen lopputestiä, voivat tulokset olla tutkittavan omaan tasoon nähden heikompia. Toisaalta, jos tällaisessa tilanteessa tiedostettiin heikko energiansaanti ennen alkutestiä, tietoinen energiansaannin parannus ennen lopputestiä ohjeistuksesta huolimatta saattoi vaikuttaa testissä jaksamiseen. Myös unen määrä ja laatu voivat olla yhteydessä testipäivän suorituskykyyn. Tutkittavien motivaatio sekä psyykkinen tila maksimihapenoton testin suorittamisen aikana vaikuttavat myös tutkimustuloksiin. Maksimihapenoton testissä on loppupuolella tahdosta kiinni, kuinka pitkään matolla yrittää pysyä. Toki raja tulee fyysisestikin vastaan, mutta motivaatio voi loppua hyvinkin aikaisessakin vaiheessa testiä, ja näin maksimihapenottoa ei välttämättä saavuteta.

Myös hemoglobiinimassamittauksessa tutkittavan psyykkinen tila ja motivaatio voivat vaikuttaa testin suorittamiseen. Muun muassa keuhkojen tyhjentäminen puhallusvaiheessa saatiin lopettaa liian aikaisin. Sormenpääverinäytteiden ottaminen tasan tietyllä minuutilla saattoi heittää joitakin sekunteja, jos kello vahingossa pysäytettiin tai ensimmäinen sormenpääverinäyte ei onnistunutkaan. Lisäksi verinäytteiden analysaattorilaite saattoi olla antamatta tulosta joidenkin näytteiden kohdalla.

Tutkimuksessa tutkittavien määrä oli melko pieni. Osa tutkittavista ei voinut tehdä kaikkia lopputestejä sairastumisen takia, ja jotkut tutkittavista täytyi ottaa testin aikaisten virheiden takia pois tuloksista, jolloin tutkittavien määrä väheni entisestään. Hemoglobiinimassamittauksiin osallistui tutkittavia, jotka olivat sairastuneet lähellä loppumittauksia, mikä voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Suurin osa tutkittavista oli naisia, millä voi myös osaltaan olla vaikutusta tutkimustuloksiin. Jokaisella tutkittavalla oli erilainen harjoitusohjelma ennen alppimajaksoa ja sen aikana, mikä voi myös olla selittävänä tekijänä erityisesti maksimihapenoton sekä maksimikestävyysuorituskyvyn tuloksille. Tutkittavat tiesivät myös etukäteen, menevätkö he alppimajaan vai eivät, mikä voi vaikuttaa harjoittelun suunnitteluun. Siebenmannin ym. (2011) tutkimuksessa tutkittavat eikä tutkijat tieneet etukäteen, missä tutkimusryhmässä kukin tutkittava on, jolloin harjoitusohjelman suunnittelua ei voitu välttämättä toteuttaa tutkittavan kehittymisen kannalta optimaalisesti eikä asennoitua testeihin tietyin oletuksin.

Tämän tutkielman perusteella voidaan siis päätellä, että kolmen viikon live high – train low -harjoitusjakso kasvattaa suhteellista ja absoluuttista hemoglobiinimassaa hiihtolajien urheilijoilla. Maksimihapenottokyky puolestaan ei kasva ja maksimikestävyysuorituskyky ei parane tilastollisesti merkitsevästi. Tulevaisuudessa näiden muuttujien mahdollisia muutoksia voitaisiin tutkia hiihtolajien urheilijoilla muun muassa pidentämällä live high – train low -harjoitusjaksoa tai muuttamalla alppimajan hapen osapainetta siten, että se vastaisi korkeampaa korkeutta merenpinnan tasoon nähden.

## LÄHTEET

- Adams, W. C., Bernauer, E. M., Dill, D. B. & Bomar, J. B. (1975). Effects of equivalent sea-level and altitude training on V O<sub>2</sub>max and running performance. *J. Appl. Physiol.* 39: 262–265. doi:10.1152/jappl.1975.39.2.262.
- Brugniaux, J. V., Schmitt, L., Robach, P., Nicolet, G., Fouillot, J-P., Moutereau, S., Lasne, F., Pialoux, V., Saas, P., Chorvot, M-C., Cornolo, J., Olsen, N. V. & Richalet J-P. (2005). Eighteen days of “living high, training low” stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *J Appl Physiol* 100:203–211, 2006. doi:10.1152/jappphysiol.00808.2005.
- Chapman, R. F., Karlsen, T., Resaland, G. K., Ge, R.-L., Harber, M. P., Witkowski, S., Stray-Gundersen, J. & Levine, B. D. (2013a). Defining the "dose" of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *J. Appl. Physiol.* 116(6):595–603. doi:10.1152/jappphysiol.00634.2013.
- Chapman, R. F., Laymon Stickford, A. S., Lundby, C. & Levine, B. D. (2013b). Timing of return from altitude training for optimal sea level performance. *J. Appl. Physiol.* 116(7):837–43. doi:10.1152/jappphysiol.00663.2013.
- Clark, S. A., Aughey, R. J., Gore, C. J., Hahn, A. G., Townsend, N. E., Kinsman, T. A., Chow C-M., McKenna M. J. & Hawley J. A. (2003). Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans. doi:10.1152/jappphysiol.00799.2003.
- Dehnert, C., Hutler, M., Liu, Y., Menold, E., Netzer, C., Schick, R., Kubanek, B., Lehmann, M., Böning, D. & Steinacker, J. M. (2002). Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. *Int J Sports Med* 23:561–6. doi:10.1055/s-2002-35533.
- Garvican, L. A., Pottgiesser, T., Martin, D. T., Schumacher, Y. O., Barras, M. & Gore, C. J. (2010). The contribution of haemoglobin mass to increases in cycling performance induced by simulated LHTL. *Eur J Appl Physiol* (2011) 111:1089–1101. doi:10.1007/s00421-010-1732-z.
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Clark, S. A., Garnham, A. P., Roberts, A. D., Slater, G. J. & McKenna, M. J. (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol. Scand.* 173(3):275–86. doi:10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x.

- Govus, A. D., Garvican-Lewis, L. A., Abbiss, C. R., Peeling, P. & Gore, C. J. (2015). Prealtitude serum ferritin levels and daily oral iron supplement dose mediate iron parameter and hemoglobin mass responses to altitude exposure. *PLoS One*. 10(8):e0135120. doi:10.1371/journal.pone.0135120.
- Kettunen, O., Leppävuori, A., Mikkonen, R., Peltonen, J. E., Nummela, A., Wikström, B. & Linnamo, V. (2023). Hemoglobin mass and performance responses during 4 weeks of normobaric "live high–train low and high". *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33(8), 1335–1344. doi:10.1111/sms.14378.
- Leppäluoto, J., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lauri, T. (2020). *Anatomia ja fysiologia - Rakenteesta toimintaan*. 9.-11. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Levine, B. D. & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high–training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 83:102–112. doi:10.1152/jappl.1997.83.1.102.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch V. L. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. 8. painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health.
- Mujika, I. (2012). *Endurance Training. Science and Practice*. 1. painos. Vitoria-Gasteiz: Iñigo Mujika S.L.U.
- Nummela, A. (1996). A new laboratory test method for estimating anaerobic performance characteristics with special reference to sprint running. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. 2. uudistettu painos. Tampere: Tammerprint Oy, 51–78.
- Park, H-Y., Kim, S. & Nam, S-S. (2017). Four-week "living high training low" program enhances 3000-m and 5000-m time trials by improving energy metabolism during submaximal exercise in athletes. *Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*. 21(1):1–6. doi:10.20463/jenb.2017.0060.
- Robach, P., Schmitt, L., Brugniaux, J. V., Nicolet, G., Roles, B., Millet, G., Hellard, P., Duvallat, A., Fouillot, J. P., Moutereau, S., Lasne, F., Pialoux, V., Olsen, N. V. & Richalet, J. P. (2005). Living high–training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol* 96:422–433. doi:10.1007/s00421-005-0089-1.
- Robach, P., Schmitt, L., Brugniaux, J. V., Nicolet, G., Duvallat, A., Fouillot, J. P., Moutereau, S., Lasne, F., Pialoux, V., Olsen, N. V. & Richalet, J. P. (2006). Living high-training low: effect on erythropoiesis and maximal aerobic performance in elite Nordic skiers. *Eur J Appl Physiol* 97:695–705. doi:10.1007/s00421-006-0240-7.

- Robach, P., Hansen, J., Pichon, A., Meinild Lundby, A. -K., Dandanell, S., Slettaløkken Falch, G., Hammarström, D., Pesta, D. H., Siebenmann, C., Keiser, S., Kériverel, P., Whist, J. E., Rønnestad, B. R. & Lundby, C. (2018). Hypobaric live high-train low does not improve aerobic performance more than live low-train low in cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(6), 1636–1652. doi:10.1111/sms.13075.
- Robertson, E. Y., Saunders, P. U., Pyne, D. B., Aughey, R. J., Anson, J. M. & Gore, C. J. (2010). Reproducibility of performance changes to simulated live high/train low altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 42(2):394–40. doi:10.1249/MSS.0b013e3181b34b57.
- Saugy, J. J., Schmitt, L., Hauser, A., Constantin, G., Cejuela R., Faiss, R., Wehrlin, J. P., Rosset, J., Robinson, N. & Millet, G. P. (2016). Same performance changes after live high-train low in normobaric vs. hypobaric hypoxia. *Front. Physiol.* 7:138. doi:10.3389/fphys.2016.00138.
- Saunders P. U., Garvican-Lewis L. A., Schmidt W. F. & Gore C. J. (2013). Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *Br. J. Sports Med.* 47(Suppl. 1):i26–30. doi:10.1136/bjsports-2013-092841.
- Schmidt, W. & Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5-6), 486–495. doi:10.1007/s00421-005-0050-3.
- Siebenmann, C., Robach, P., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Nordsborg, N., Diaz, V., Christ, A., Olsen, N. V., Maggiorini, M. & Lundby, C. (2011). "Live high-train low" using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. *J. Appl. Physiol.* 112(1):106–117. doi:10.1152/jappphysiol.00388.2011.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F. & Levine, B. D. (2001). “Living high– training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 91:1113–1120. doi:10.1152/jappl.2001.91.3.1113.
- Wehrlin, J. P. & Marti, B. (2006). Live high-train low associated with increased haemoglobin mass as preparation for the 2003 World Championships in two native European world class runners. *Br J Sports Med* 40:e3. doi:10.1136/bjism.2005.019729.
- Wehrlin, J. P., Zuest, P., Hallén, J. & Marti, B. (2006). Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol*, 100, 1938–1945. doi:10.1152/jappphysiol.01284.2005.