

# **LUMILAUTAILUN HARJOITUSLEIRIN KUORMITUKSEN SEURANTA**

Riku Hokkanen

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

## TIIVISTELMÄ

Hokkanen, R. 2022. Lumilautailun harjoitusleirin kuormituksen seuranta. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausoppi Pro gradu -tutkielma. 50 s, 1 liite.

Slopestyle-lumilautailu on kilpaurheilulaji, jossa urheilijat suorittavat temppuja hyppyreistä ja reileistä koostuvalla radalla. Slopestyle-lumilautailu on loukkaantumisherkkä tekniikkalaji, jonka kuormittavuudesta on tehty vähän tutkimusta. Tässä Pro gradu -työssä tarkastellaan kilpailevien lumilautailijoiden kuormittumista kuuden päivän mittaisen harjoitusleirin aikana. Työn tarkoituksena on selvittää lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuutta ja kuormitukseen seurantaan soveltuvia menetelmiä

Kahdeksan 17–19-vuotiasta tutkittavaa osallistui harjoitusleirin yhteydessä mittauksiin, jossa seurattiin autonomisen hermoston tilaa leirin läpi ortostaattisella syketestillä, sekä yönaikaisella sykeseurannalla leposykkeen ja sykevaihdelun osalta. Suorituskyvyn muuttajat, maksimaalinen isometrinen jalkaprässi (MVC) ja kevennyshyppy (CMJ), mitattiin ennen harjoittelun alkamista ja leirin päätyttyä, sekä kahden seurantapäivän ajan leirin jälkeen. Lisäksi leirin ja seurantajakson aikana tehtiin tutkittavien koettua kuormitusta arvioiva RPE-kysely.

Suorituskykyä mitattavissa MVC ja CMJ testeissä ei havaittu merkitseviä muutoksia missään mittauspisteissä. Ortostaattisissa sykemittauksissa leposykkeen sekä sykevaihdelun osalta havaittiin merkitseviä muutoksia Pre – Mid -mittapisteiden välillä ( $p < 0.05$ ). Leposyke nousi 16,5 %, sykevaihtelu laski -24 %. Lisäksi RPE-mittauksissa merkitsevä muutos havaittiin Pre – Mid -mittapisteiden välillä, jossa RPE kasvoi 36 % ( $p < 0.05$ ). Sykemuuttujien ja koetun kuormituksen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota.

Lumilautailun slopestylen lajiharjoittelun aiheuttamaa kuormitusta pystyttiin havaitsemaan autonomisen hermoston tilan seurannalla sekä koetun kuormituksen kyselyllä (RPE). Harjoittelu ei aiheuttanut merkitsevää muutosta suorituskyvyn muuttujiin. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että RPE-kysely ja sykemuuttujien seuranta voivat olla toimivia mittareita kuormittuneisuuden seurantaan myös slopestyle-lumilautailun harjoitusleireillä muun muassa niiden helppokäyttöisyyden ja kustannustehokkuuden takia. Harjoittelun kuormitus on tärkeä ottaa huomioon, etenkin uusia temppuja harjoitellessa loukkaantumisriskin minimoimiseksi.

Avainsanat: Freestyle-lumilautailu, kuormitus, lumilautailu, harjoitusleiri

## ABSTRACT

Hokkanen, R. 2022. Training load monitoring of snowboard training camp. Faculty of Physical Education, University of Jyväskylä, Master's thesis in Sport Coaching and Fitness Testing. 50 p., 1 appendix.

Slopestyle snowboarding is a competitive sport where athletes perform tricks on a course consisting of jumps and rails. Slopestyle snowboarding is an injury-prone technical sport, and little research has been done on the training load. This Master's thesis examines the training load of competitive snowboarders during a six-day training camp. The purpose of the work is to measure does snowboarding training cause training response and what are the suitable methods for monitoring the training load.

Eight young subjects aged 17–19 took part in measurements during the training camp, where the state of the autonomic nervous system was monitored throughout the camp with an orthostatic heart rate test, as well as nighttime heart rate monitoring for resting heart rate and heart rate variability. The performance variables maximal isometric leg press (MVC) and Counter Movement Jump (CMJ) were measured before the start of training and after the end of the camp, as well as during two follow-up days. In addition, during the camp and the follow-up period, the subjects' RPE, which evaluates the perceived load, was asked.

In the MVC and CMJ tests, which measure performance, no significant changes were observed in any of the measurement points. In orthostatic heart rate measurements, significant changes were observed between the Pre – Mid measurement points regarding resting heart rate and heart rate variability ( $p < 0.05$ ). HRV decreased by 24 % and resting heart rate increased by 16,5 %. In addition, a significant change in RPE was observed between Pre – Mid measurement points as it increased by 36 % ( $p < 0.05$ ). No statistically significant correlations were observed between heart rate variables and RPE.

The training response caused by freestyle snowboarding training could be detected by monitoring the state of the autonomic nervous system, as well as by surveying RPE. Training did not cause a significant change in the performance variables. The RPE survey and the monitoring of heart rate variables could be used to monitor the load. It is important to consider the training load to minimize the risk of injury especially when practicing new tricks.

Keywords: Freestyle snowboarding, loading, snowboarding, training camp

## KÄYTETYT LYHENTEET

ANS	autonomic nervous system, autonominen hermosto
Ach	acetylcholine, Asetyylikoliini
CMJ	counter movement jump, kevennyshyppy
NE	norepinephrine, Norepinefriini
HRV	heart rate variability, Sykevaihtelu
EKG	electrocardiography, elektrokardiogrammista
1 RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi
RPE	rate of perceived exertion, Koettu kuormitus
PPG	fotopletysmografia
PRV	pulse rate variability, pulssivälivaihtelu
SNS	sympathetic nervous system, sympaattinen hermosto
RMSSD	peräkkäisten RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvon neliöjuuri
RMSSD max	peräkkäisten RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvon maksimaalinen arvo
SDNN	normaalien sinuslyöntien välisten intervallien keskihajonta
PNS	parasympathetic nervous system, parasympaattinen hermosto
OTS	overtraining syndrome, ylikuormitustila

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO .....	1
2 AUTONOMISEN HERMOSTON TOIMINTA .....	3
2.1 Sykemuuttujat .....	4
2.1.1 Leposyke .....	4
2.1.2 Sykevaihtelu .....	5
2.2 Sykevaihtelun mittausmenetelmät .....	6
2.2.1 Aikakenttämenetelmät .....	7
2.2.2 Taajuuskenttämenetelmät .....	7
2.3 Sykevaihteluun vaikuttavat tekijät .....	9
3 KUORMITTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	10
3.1 Harjoitusvaikutuksen syntymekanismi .....	10
3.2 Ylikuormitus .....	11
3.3 Hermostollinen kuormittuneisuus .....	13
4 KUORMITUKSEN SEURANTA .....	15
4.1 Sykevaihtelu kuormituksessa .....	15
4.2 Suorituskyvyn seuranta kuormituksessa .....	16
4.3 Koetun kuormituksen seuranta .....	16
5 LUMILAUTAILUN VAATIMUKSET .....	18
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI .....	20
7 MENETELMÄT .....	22
7.1 Tutkittavat .....	22
7.2 Tutkimusasetelma .....	22
7.3 Mittaukset .....	23

7.3.1 MVC .....	23
7.3.2 Kevennyshyppy .....	24
7.3.3 Sykemuuttujien mittaus .....	24
7.3.4 Koettu kuormitus (RPE) .....	25
7.4 Tilastollinen analyysi.....	26
8 TULOKSET.....	27
8.1 MVC & CMJ .....	27
8.2 Yölliset sykemittaukset.....	30
8.3 Ortostaattiset sykemittaukset.....	32
8.4 Koettu kuormitus ja yhteys sykemuuttujiin.....	36
9 POHDINTA.....	39
LÄHTEET .....	45
LIITTEET	
Liite 1: Borg 20 taulukko	

# 1 JOHDANTO

Kuormittumisen seurannalla voidaan kerätä tärkeää tietoa urheilijoiden suorituskyvystä, kokonaiskuormittuneisuudesta ja urheilijan kehityksestä. Kehittävän harjoittelun tavoitteena on tuottaa harjoitusvaste, joka tilapäisesti järkyttää kehon homeostaasia. Kun kehoa kuormitetaan ylikuormitusperiaatteen mukaisesti, niin että homeostaasi järkkyy, voidaan riittävän palautumisen jälkeen saavuttaa harjoitusadaptaatioita kehitettävässä osa-alueessa. (Rusko 2003, 141) Kuormittumista seuraamalla voidaan tarkkailla lyhyen aikavälin ylikuormittumista, joka voi esiintyä akuuttina ylikuormituksena (acute overload) ja toiminnallisena ylikuormituksena (functional overreaching) (Vesterinen 2018).

Kehittävä harjoittelu edellyttää ylikuormitusperiaatteen toteutumista. Urheilijat voivat kokea lyhytaikaista suorituskyvyn heikkenemistä ilman vakavia pitkäaikaisia oireita (Meeusen ym. 2013). Mikäli harjoittelun kuormittumisen ja palautumisen tasapaino ei ole kunnossa, voi ilmetä pitkittynyttä ei-toiminnallista ylikuormitusta (non-functional overreaching), joka voi johtaa kroonisen ylikuormitustilan kehittymiseen (Overtraining syndrome, OTS) (Meeusen ym. 2013; Vesterinen 2018).

Urheilijoille suurena haasteena on kokonaiskuormituksen seuranta ja hallitseminen. Harjoitusten, leirien ja kisamatkojen lisäksi kuormitusta voi kertyä elämän muilta osa-alueilta kuten koulusta, ihmissuhteista, sairastumisesta, sekä paineista suoriutua lajissa. Kun urheilun kuormittumiseen lisätään elämän muiden osa-alueiden kuormitustekijät, on urheilijalla vaarana siirtyä funktionaalista ylikuormituksesta ei-toiminnallisen ylikuormituksen puolelle. (Carfagno & Hendrix 2014; Vesterinen 2018)

Freestyle-lumilautailu on laji, jossa kilpaileminen vaatii paljon matkustamista olosuhteiden vuoksi. Harjoitusleirit ja suurin osa kisoista järjestetään Suomen ulkopuolella ja useissa eri maissa. Koska olosuhteet vaikuttavat lajin harjoitteluun, käytetään kaikki olosuhteiltaan suotuisat leiripäivät tehokkaasti. Suomen freestyle-lumilautailumaajoukkueelle kertyy leiripäiviä yhden kauden aikana 90 ja kilpailumatkoja 50 vuorokautta (Suomen Lumilautaliitto ry 2021). Lajin fyysisten ja psyykkisten vaatimusten lisäksi matkustaminen voi lisätä kuormitusta (Halson & Jeukendrup 2004).

Tässä Pro gradu -työssä tarkastellaan kilpailevien lumilautailijoiden kuormittumista kuuden päivän mittaisen harjoitusleirin aikana. Pro gradu -työssä pyritään selvittämään, miten harjoitusleirin kuormitus näkyy urheilijoiden sykemuuttujissa sekä suorituskyvyssä, jota mitataan kevennyshypyn ja maksimaalisen isometrisen voimantuoton osalta. Urheilijoiden koetun kuormittumisen tilaa selvitetään lisäksi Borgin (Borg 1998) koetun kuormittuneisuuden kyselyllä (RPE). Lumilautailu on viimeisten vuosien aikana siirtynyt kohti ammattimaisempaa harjoittelua ja harrastajamäärien kasvaessa kiinnostus fysiologien ja liikuntatieteilijöiden keskuudessa on myös kasvanut. Vaikka kiinnostus on kasvanut, on tieteellisen tutkimuksen määrä lajin vaatimuksista ja kuormituksesta edelleen vähäistä. Tutkimuksen tarkoituksena on lisätä tietoa freestyle-lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuudesta ja kuormituksen seurannan työkaluista.



## 2 AUTONOMISEN HERMOSTON TOIMINTA

Autonominen hermosto (ANS) on ääreishermoston osa, joka säätelee tahattomia fysiologisia prosesseja, kuten sydämen sykettä, verenpainetta, hengitystä, ruoansulatusta, sydänlihasta ja sileitä lihassoluja. ANS jakautuu sympaattiseen (SNS) ja parasympaattiseen (PNS) hermostoon, jotka eroavat toisistaan anatomisesti ja toiminnallisesti. (Waxenbaum ym. 2021. Mcardle ym. 2010, 328) Parasympaattisella ja sympaattisella hermostolla on laajalti vastakkaiset fysiologiset vaikutukset. PNS edistää itsensä ylläpitäviä prosesseja, kuten ruoansulatusta, energiansäästöä ja tärkeimpien elinten lepoa, kun taas SNS aktivaatio lisää valppautta, verenpainetta ja mobilisoi energiavarastoja tukemaan lihasten toimintaa. (Muller ym. 2017)

SNS ja PNS toimivat rinnakkain ja molemmat sisältävät afferentti ja efferentti hermosoluja, jotka tarjoavat sensorista ja motorista tietoa keskushermostoon. Yleisesti SNS:n ja PNS:n motoriset reitit koostuvat kahden neuronin sarjasta: preganglionisesta hermosolusta, jossa on solurunko keskushermostossa, ja postganglionisesta hermosolusta, jonka solurunko on perifeerisessä osassa ja joka hermottaa kohdekudoksia. (Waxenbaum ym. 2021) Sekä SNS:n että PNS:n presynaptiset neuronit käyttävät asetyylikoliinia (ACh) välittäjäaineenaan. Postsynaptiset sympaattiset hermosolut tuottavat yleensä norepinefriiniä (NE), joka vaikuttaa kohdekudoksiin, kun taas postsynaptiset parasympaattiset neuronit käyttävät asetyylikoliinia. (Waxenbaum ym. 2021).

Sydämen sykettä säätelee sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toisiaan tasapainottavat toiminnot (Mcardle ym. 2010, 328). SNS vaikuttaa pääasiassa kammiolihaksiin ja lisää niiden supistumiskykyä, kun PNS vaikuttaa sinus- ja eteiskammiosolmukkeisiin. Sykkeen parasympaattiseen aktivaatioon vaikuttaa asetyylikoliinin vapautuminen vagushermosta. Kun asetyylikoliinia vapautuu, reagoivat asetyylikoliinireseptorit tähän vapautumiseen lisäämällä solukalvon läpäisevyyttä kaliumioneille. (Kim ym. 2018) Sykkeen sympaattiseen aktivaatioon vaikuttaa adrenaliinin ja noradrenaliinin vapautuminen.  $\beta$ -adrenergiset reseptorit aktivoituvat näiden hormonien vapautuessa, mikä johtaa cAMP-välitteiseen kalvoproteiinien fosforylaatioon, sekä sinussolmukkeiden depolarisaatioon, joka johtaa sydämen sykkeen kohoamiseen. (Kim ym. 2018)

Sympaattisen aktivaation lisääntyessä verenpaine ja sydämen syke kasvavat, kun taas parasympaattisen aktivaation lisääntyessä verenpaine ja syke laskevat (Waxenbaum ym. 2021).

Ilman sympaattisen- ja parasympaattisen hermoston toimintaa syke nousisi sinussolmukkeen vaikutuksesta lyömään tasaisesti noin 100 lyöntiä minuutissa (McArdle ym. 2010, 325). Vagaalinen ja sympaattinen puoli ovat jatkuvasti vuorovaikutuksessa. Lepotilassa vagaalisten aktiivisuus ylittää sympaattisen hermojen aktivaation, ja muutokset sydämen rytmissä ovat riippuvaisia vagaalisista muutoksista. Kun SNS on maksimaalisesti aktivoitunut, voi syke kolminkertaistua ja supistumiskyky kaksinkertaistua. (Kim ym. 2018) Alhaisen tai kohtalaisen intensiteetin harjoituksen alussa ja sen aikana syke kiihtyy parasympaattisen stimulaation inhibition johdosta. Rasittavassa harjoituksessa syke kiihtyy ylimääräisen parasympaattisen inhibition ja sympaattisten aktivoinnin ansiosta. Sykkeen kasvaminen riippuu suoraan fyysisen toiminnan intensiteetistä ja kestosta. (McArdle ym. 2010, 328)

## **2.1 Sykemuuttujat**

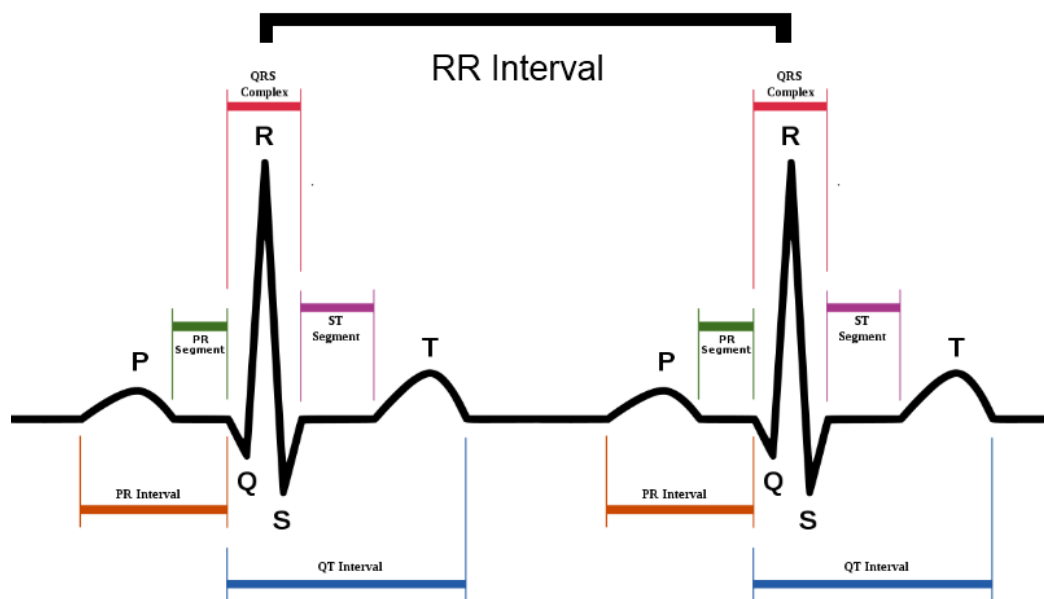
### **2.1.1 Leposyke**

Syke on sydämenlyöntien määrä minuutissa (McCarty & Shaffer 2015). Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston autonominen aktiivisuus vaikuttaa sykkeeseen ja sykevaihteluun. Ilman hermoston aktiivisuutta sydän löisi tasaisesti sinussolmukkeen tasaisen rytmin mukaisesti. (McArdle ym. 2010, 325)

Syke on helposti mitattava muuttuja, joka kuvaa vitaalitoimintojen tilaa. Yleensä alhaisempi syke on yhdistetty pienempään sydän- ja verisuoniperäiseen kuolleisuuteen sekä parempaan terveyden tilaan. Leposykkeen normaaliksi arvoksi on osoitettu 60–90 lyöntiä minuutissa. (Avram ym. 2019) Useissa tutkimuksissa on hyödynnetty leposykkeen ja sykevaihtelun mittausta ylikuormituksen ja suorituskyvyn seurannassa (Hynynen ym. 2006; Karinen ym. 2012; Väyrynen ym. 2015). Tutkimuksissa on havaittu leposykkeen olevan korkeampi ja sykevaihtelu (HRV) vähäisempää stressaantuneessa ja kuormittuneessa tilassa (Rusko 2003, 143). Leposykkeen lisäksi HRV on paljon käytetty menetelmä kuormituksen sekä harjoitusvasteiden seurannassa (Sekiguchi ym. 2019).

## 2.1.2 Sykevaihtelu

HRV kuvaa peräkkäisten sydämenlyöntien välisten aikavälien vaihtelua (McCraty & Shaffer 2015). HRV koostuu muutoksista peräkkäisten sydämenlyöntien välisissä aikaväleissä QRS-kompleksin R-R piikkien välillä ja tämän välin kestosta (kuva 3). Terveen sydämen lyönnit ovat monimutkaisia ja jatkuvasti muuttuvia, minkä ansiosta sydän- ja verisuonijärjestelmä sopeutuu nopeasti äkillisiin fyysisiin ja psyykkisiin homeostaasin haasteisiin. (Johnston ym. 2020; Shaffer ym. 2017; Tawakal ym. 2021)



KUVA 3. R-R intervalli. QRS-kompleksin R-R piikkien väli (Tawakal ym. 2021).

HRV kuvastaa autonomisen tasapainon, verenpaineen, sydämen ja verisuonten tilan säätelyä (Shaffer ym. 2017). Se kuvastaa myös sydämen kykyä reagoida erilaisiin fyysisiin ja ympäristön ärsykkeisiin (Rajendra ym. 2006). Koska sydän ei ole metronomi ja sen lyönnit ovat epäsäännöllisiä (Goldberger 1991), on HRV normaalia ja odotettavissa olevaa (Kim ym. 2018). HRV:a voidaankin käyttää arvokkaana työkaluna autonomisen hermoston SNS ja PNS toiminnan mittaamiseen (Rajendra ym. 2006).

Perinteisesti HRV määritetään mittaamalla sykettä elektrokardiogrammista (EKG) josta HRV lasketaan siihen vaadittavilla ohjelmistolla. Perinteinen prosessi on suhteellisen kallis ja vaativat tietyn tason teknistä tietämystä tulkitsemiseen. Perinteisellä mallilla HRV:n mittaus on osin rajoittunut laboratorio- tai kliinisiin olosuhteisiin. Tekniikan kehityksen ja puettavien

mittauslaitteiden lisääntyneen kiinnostuksen vuoksi monet kaupallisesti saatavilla olevat järjestelmät sisältävät nyt sykevaihtelun mittauksen, ja ne on validoitu jo vuonna 2003 (Dobbs ym. 2019).

Suurin osa vaihtoehtoisista ja puettavista sykkeen mittausmenetelmistä perustuu fotopletysmografiaan (PPG). Fotopletysmografia tekniikka perustuu iholle heijastettavan LED-valon muutoksille, jonka perusteella veritilavuuden muutos voidaan arvioida heijastuneen valon voimakkuuden kautta (Zhang ym. 2020). Systolen jälkeen voidaan havaita suurempi veren tilavuus ja heijastuneen valon intensiteetin lasku, kun taas diastolen aikana veren tilavuus pienenee ja heijastuneen valon intensiteetti kasvaa (Nuutila ym. 2021). Näiden havaintojen perusteella voidaan laskea pulssivälit (PP-intervalli). Vaikka pulssivälien vaihteluun (PRV) voivat mahdollisesti vaikuttaa tekijät, jotka eivät liity tiukasti HRV:hen, PRV ja HRV näyttävät vastaavan melko hyvin lepo-olosuhteissa. Aiemmat tutkimukset, joissa on verrattu PPG- ja elektrokardiografiasta peräisin olevaa HRV:tä unen aikana, ovat osoittaneet sopivuuden menetelmien välillä (Bellenger ym. 2021; Kinnunen ym 2020).

Zhang ym. (2020) totesivat ranteeseen kiinnitettävien fotopletysmografia tekniikalla toimivien mittalaitteiden antavan hyväksyttävät arviot sykkeestä verrattuna elektrokardiografia tai sykevyö mittaukseen. Zhang ym. (2020) jatkoivat toteamalla, että ranteeseen kiinnitettäviä mittalaitteita voitaisiin käyttää sykemuuttujien mittaamiseen väestöpohjaisissa tutkimuksissa antamaan riittävän arvion sykkeestä. Kuitenkin lisää validaatiotutkimuksia tarvitaan. Nuutila ym. (2021) totesivat tutkimuksessaan PPG menetelmän olevan tarkka mittaamaan PP-intervalleja, vaikkakin se aliarvioi hieman yön aikaista sykettä. Lähes täydellinen suhde oli havaittavissa elektrokardiografian ja PPG välillä. Nuutila ym. (2021) myös totesivat, että PPG menetelmän tarkkuutta voidaan pitää riittävänä urheilullisissa ja terveissä populaatioissa HR:n ja HRV:n pitkän aikavälin seurantaan, mikäli tuloksia tulkitaan asianmukaisesti.

## **2.2 Sykevaihtelun mittausmenetelmät**

Sykevaihtelua analysoidaan pääasiassa aika- tai taajuuskenttämenetelmillä (Task force 1996). Aikakenttämenetelmät kuvaavat kulunutta aikaa peräkkäisten sydämenlyöntien välillä. Taajuuskenttämenetelmissä sykevaihtelu muutetaan matemaattisten algoritmien avulla taajuusalueiksi. (Shaffer ym. 2017)

### **2.2.1 Aikakenttämenetelmät**

Aikakenttämenetelmissä määritetään joko syke tai peräkkäisten normaalien QRS-kompleksien väliset intervallit. (Task force 1996) HRV-aikakenttämenetelmä määrittää sykevaihtelun määrän tietyllä aikavälillä, joka usein vaihtelee yhden minuutin ja 24 tunnin välillä. Yleisin aikakenttämenetelmien analysoitava arvo on normaalien sinuslyöntien välisten intervallien (R-R intervalli) keskihajonta (SDNN). (Shaffer ym. 2017) SDNN-analysointia on pidetty 'kultaisena standardina' sykevaihtelun mittauksessa sydän tautiriskien tutkimuksessa, kun vaihtelua seurataan yli 24 tunnin ajan (Task force 1996).

Aikakenttämenetelmänä on usein hyödynnetty myös peräkkäisten sykeväliä keskimääräistä vaihtelua (RMSSD). RMSSD saadaan laskemalla peräkkäisten RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvon neliöjuuri (Task Force 1996). RMSSD-arvoa on pidetty aikakenttämenetelmien ensisijaisena menetelmänä kuvaamaan parasympaattisen hermoston vaikutusta sykevaihteluun. Parasympaattinen hermosto vaikuttaa RMSSD-arvoon enemmän kuin SDNN-arvoon. SDNN:n ja RMSSD:n mittausten pituuden lyhyimmäksi mittausajaksi on suositeltu viiden minuutin mittausa. SDNN on todettu olevan tarkempi, kun arvo on laskettu yli 24 tunnin mittauksesta verrattuna lyhyempiin mittausjaksoihin. (Shaffer ym. 2017)

### **2.2.2 Taajuuskenttämenetelmät**

HRV voidaan analysoida myös taajuuskenttämenetelmillä, jolla voidaan määrittää sykkeen taajuusvaihtelua. Taajuuskenttämenetelmässä sykedataa käsitellään usein Fourierin muunnokseen tai autoregressiivisen mallin menetelmillä, joilla sykevaihtelu saadaan jaettua eri taajuusalueille (Task force 1996). European Society of Cardiology ja North American Society of Pacing and Electrophysiology (Task force 1996) -työryhmä jakoi sykevaihtelut ultramatalan taajuuden (ULF), erittäin matalan taajuuden (VLF), matalan taajuuden (LF) ja korkean taajuuden (HF) osioihin. Ultramatalan taajuuden (ULF) vaihtelu esiintyy alle 0,003 hertsin taajuudella ja erittäin matala taajuuden (VLF) 0,0033–0,04 hertsin taajuudella. ULF vaihtelun mittaaminen edellyttää vähintään 24 tunnin mittausjaksoa (Shaffer ym 2014). VLF vaihtelua mitattaessa vaaditaan vähintään viiden minuutin mittausjakso, mutta voidaan myös mitata yli 24 tunnin ajan jaksolta (Kuusela 2013). VLF ja ULF taajuuteen vaikuttavista mekanismeista ei ole konsensusta. Vuorokausirytmät, kehon sisälämpötila, aineenvaihdunta, hormonit ja sydämen

synnyttämät sisäiset rytmit vaikuttavat VLF vaihteluun. Lisäksi sympaattisen hermoston toiminta vaikuttaa VLF amplitudiin sekä vaihtelun frekvenssiin. (Shaffer ym. 2017)

LF vaihtelua mitataan tyypillisesti vähintään kahden minuutin ajan ja se esiintyy 0.04–0.15 hertsin taajuudella (Shaffer ym. 2014). LF vaihtelua kutsuttiin aiemmin baroreseptori-alueeksi, koska se heijastaa pääasiassa baroreseptorien aktiivisuutta lepotilassa (McCraty ym. 2015). Baroreseptorit ovat mekanoreseptoreita, jotka sijaitsevat aortan kaareissa sekä kaulavaltimossa. Nämä reseptorit toimivat negatiivisen palautteen säätelijöinä inhiboimalla sympaattista ulosvirtausta sydän- ja verisuonikeskuksesta sekä hillitsemällä valtimoverenpaineen liiallista nousua. Verenpaineen noustessa valtimoiden venytys aktivoi baroreseptorit jotka hidastamaan sydämen refleksejä ja laajentamaan ääreisverisuonia. (McArdle ym 2010, 332) LF:n tehoa voivat tuottaa sekä PNS että SNS, ja lisäksi verenpaineen säätely baroreseptorien kautta. Ensisijaisesti tehoa tuotetaan kuitenkin PNS:n avulla tai pelkällä barorefleksitoiminnalla (Shaffer ym. 2017). Lepotilassa LF-alue heijastaa barorefleksin aktiivisuutta eikä sydämen sympaattista hermotusta. Hitaasti hengittäessä vagaalinen toiminta voi helposti synnyttää sydämen rytmeissä värähtelyjä, jotka siirtyvät LF-alueelle. (McCraty ym. 2015)

Korkean taajuuden vaihtelun (HF) alue on 0.15 to 0.4 hertsin välillä (Quintana ym. 2016). Korkean taajuuden vaihtelu heijastaa parasympaattista tai vagaalista aktiivisuutta, ja HF-vaihtelua on kutsuttu myös "hengitys vyöhykkeeksi", koska se vastaa sykkeen muutoksiin, jotka riippuvat hengityssyklistä. Nämä muutokset tunnetaan hengityselinten sinusarytmiana (RSA) (Grossman & Taylor 2005). Syke kiihtyy sisäänhengityksen aikana ja hidastuu uloshengityksen aikana. Sisäänhengityksen aikana vasomotorinen keskus estää vagaalista ulosvirtausta, mikä nopeuttaa sydämen sykettä. Sitä vastoin uloshengityksen aikana se palauttaa vagaalisen ulosvirtauksen, mikä hidastaa sykettä asetyylikoliinin vapautumisen kautta (Eckberg & Eckberg 1982, Shaffer ym. 2014 mukaan) LF:n ja HF:n taajuuksien suhdetta on käytetty autonomisen balanssin tasoa tutkittaessa ja tulkittu seuraavasti: kun LF/HF suhde on matala, vallitsee PNS aktiivisuus ja kun suhde on korkea, vallitsee SNS aktiivisuus. Tulkinta on kuitenkin hyvin riippuvainen mittaustilanteesta ja tulkittava varovasti, sillä autonomisen hermoston molemmat osat, PNS ja SNS, voivat olla aktiivisia samanaikaisesti, ja useat ulkoiset tekijät vaikuttavat niiden muutoksiin. (Shaffer ym. 2014)

### 2.3 Sykevaihteluun vaikuttavat tekijät

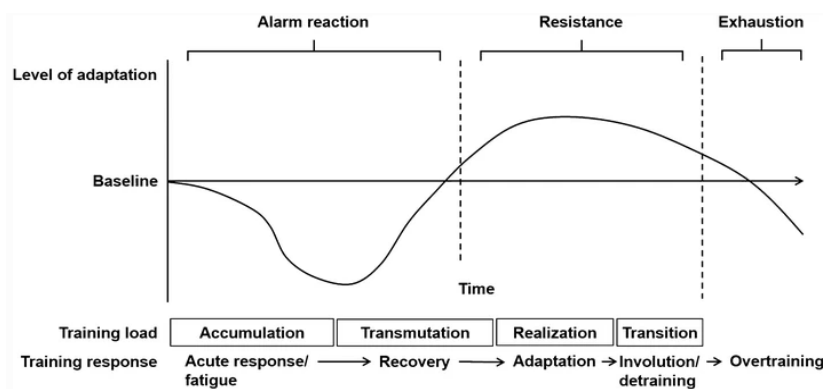
Sykevaihteluun vaikuttaa tutkittavan sukupuoli, ikä, terveydentila, fyysinen aktiivisuus sekä tunteet (Almeida-Santos ym. 2016; Aubert ym. 2003 Bigger ym. 1995; Koenig ym. 2016 Shaffer ym. 2017). Sykkeen vaihtelun aikakenttämenetelmällä tehdyt mittaukset laskevat iän myötä (Almeida-Santos ym. 2016). Almeida-Santos ym. (2016) osoittivat RMSSD:n ensin pienenevän 40 ikävuodesta 60:een ja lisääntyvän sitten 70 vuoden iän jälkeen. Koenig ym. (2016) nostivat esille sukupuolen vaikutuksen sykevaihteluun. Koenig ym. (2016) totesivat, että naisilla esiintyi korkeampaa keskiarvoista sykettä sekä matalampia SDNN-arvoja miehiin verrattuna. Tulosta selitettiin naisten sydämen autonomisen kontrollin vagoalisella dominanssilla miesten sympaattiseen dominanssiin verrattuna (Koenig ym. 2016).

Yleensä HRV:n aikakenttämenetelmä mittausten tulokset heikkenevät terveyden heikkenemisen myötä (Bigger ym. 1995). Vastaavasti aikakenttämenetelmämittaukset paranevat kohonneen aerobisen kunnan myötä (Aubert ym. 2003). HRV:n on osoitettu olevan hyödyllinen ennakoitaessa yleisten mielenterveyden häiriöiden (stressi, masennus, ahdistuneisuus, PTSD) sekä fyysisten sairauksien tai terveysongelmien (tulehdus, krooninen kipu, diabetes, aivotärhähdys, astma, unettomuus, väsymys) esiintyvyyttä. Edellä mainitut oireet lisäävät SNS:n aktiivisuutta tuottaen autonomisen epätasapainon ja suuremman allostattisen kuormituksen. Siten ANS:n tasapainon häiriöt ja muutokset ovat heikon terveydentilan systeeminen yhteinen nimittäjä, joka on yhteydessä akuutteihin ja kroonisiin sairauksiin. (Shaffer ym. 2017)

### 3 KUORMITTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

#### 3.1 Harjoitusvaikutuksen syntymekanismi

Kehittävä harjoittelu perustuu ylikuormitusperiaatteen toteutumiseen (Meeusen ym. 2013). Ylikuormitus periaatteen mukaisesti toistuvan harjoittelun aiheuttama stressi johtaa kehon parantuneeseen kykyyn vastustaa homeostaasin muutosta soluissa, kudoksissa ja elimissä. Stressinsietokyvyn parantuessa saadaan aikaan harjoitusvaikutus (Rusko 2003, 62). Kehittävän harjoittelun on järkytettävä kehon homeostaasia, joka voi ilmetä akuuttina suorituskyvyn laskuna ja koettuna väsymyksenä. Ylikuormituksesta palautuminen voi saada aikaan superkompensaatioefektin (kuva 4), jossa kehon suorituskyky palautumisen aikana nousee aikaisempaa korkeammalle tasolle (Halsen & Jeukendrup 2004). Positiivisen harjoitusvaikutuksen edellytyksenä on, että harjoittelun aiheuttamien stimulusten välissä on riittävästi aikaa palautua korkeammalle tasolle (Meeusen ym. 2013).



KUVA 4. Harjoituksen aiheuttama akuutti suorituskyvyn heikkeneminen, josta palautumalla voidaan saavuttaa korkeampi suorituskyvyn taso (Cunanan 2018).

Ylikuormitusperiaatteen mukaisesti harjoituksen aiheuttaman stressireaktion tulee olla riittävän suuri häiritäkseen kehon solujen, kudosten ja elinten homeostaasia, jotta harjoitusvaikutus voidaan saavuttaa (Halsen & Jeukendrup 2004). Harjoituksen aiheuttama fyysinen stimulus aiheuttaa kehossa stressireaktion, johon keho vastaa akuutilla hälytysreaktiolla. Keho lisää lihasten rekrytointia, stimuluksen vaatimien hormonien ja energian tuottoa, sekä aktivoi kehon puolustusreaktioita. Aktivoituvat reaktiot ovat seurausta hermostollisista ja humoraalisista muutoksista, jotka ovat suurimmilta osin autonomisen hermoston säätlemiä. (Rusko 2003, 62) Näiden muutosten syntyyn vaikuttavat hypotalamus, hypofyyysi, sekä stressihormonien



erittyminen. Reaktioiden seurauksena keho adaptoituu akuutisti ilmenneisiin harjoituksen vaatimuksiin vastustaakseen kehon homeostaasin häirintää (Rusko 2003, 62).

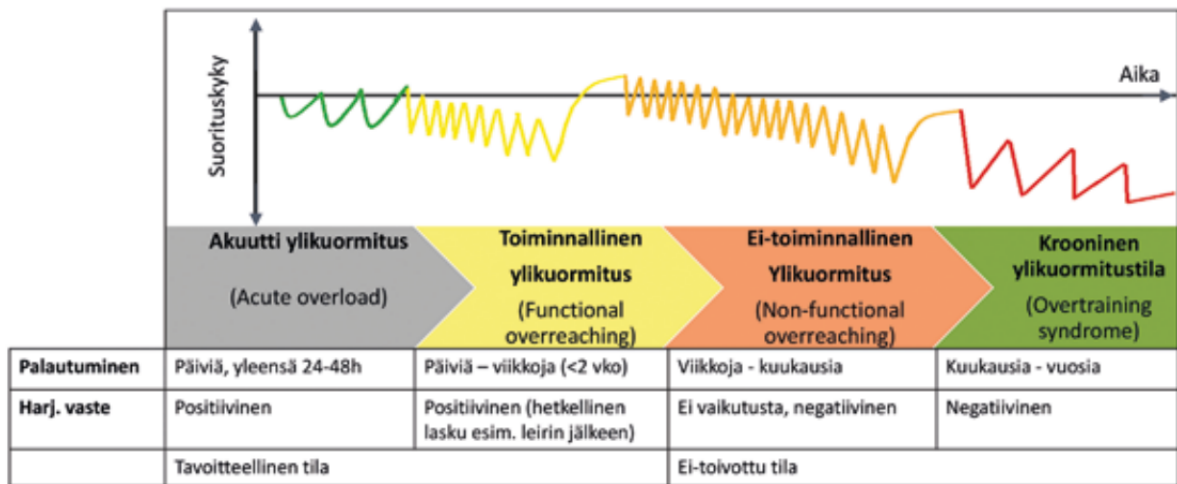
Jotta harjoitusadaptaatio voidaan jatkuvasti saavuttaa, täytyy kehittävän harjoittelun perustua harjoitusten kuormittavuuden progressiiviseen kasvattamiseen (Bompa & Buzzichelli 2015). Harjoituksen kuormittavuuteen vaikuttavat harjoituksen kesto, teho, volyymi ja harjoitusten frekvenssi. Kuormittavuutta voidaan manipuloida vaihtamalla harjoitustapaa, kasvattamalla intensiteettiä, frekvenssiä tai harjoituksen kestoa (Rusko 2003, 62). Harjoittelun kuormittavuutta ei ole suositeltavaa kasvattaa jatkuvasti ilman harjoittelun jaksottamista (Bompa & Buzzichelli 2015) ja riittävää lepoa (Halsen & Jeukendrup 2004). Kehittävän harjoittelun tavoitteena on saavuttaa väliaikainen toiminnallinen ylikuormitustila, josta palauttamalla voidaan kehittyä paremmalle tasolle (kuva 2). (Meeusen ym. 2013; Vesterinen 2018).

### **3.2 Ylikuormitus**

Meeusen ym. (2013) määrittivät ylikuormituksen (overreaching) tilaksi, jossa harjoittelun tai harjoitteluun liittymättömät stressitekijät aiheuttavat toivottua lyhytaikaista suorituskyvyn laskua, jonka yhteydessä voi ilmetä tähän liittyviä fysiologisia ja psykologisia oireita, josta palautuminen kestää useista päivistä viikkoihin. Kun kuormitustasoa kasvatetaan ilman riittävää palautumista, voi yksilön stressinsietokyky ylittyä. Tällöin on mahdollista, että urheilija kuormittuu liikaa ja kuormitus siirtyy ei-toiminnallisen ylikuormituksen puolelle. Ei toivottua ylikuormittumista on luokiteltu muun muassa, ei-toiminnalliseen ylikuormitukseen, sekä krooniseen ylikuormitustilaan. (Meeusen ym. 2013) Kroonisen ylikuormitustilan syntyyn vaikuttavat harjoittelun aiheuttaman kuormituksen lisäksi muut stressitekijät, kuten riittämätön palautuminen, sairastuminen, psykologinen stressi, monotoninen tai liiallinen harjoittelu ja jatkuva matkustaminen. (Halsen & Jeukendrup 2004; Rusko 2003, 141)

Pitkittyneen ylikuormitustilan (overtraining, overtraining syndrome) Meeusen ym. (2013) puolestaan määrittivät tilaksi, jossa harjoittelun tai harjoitteluun liittymättömät stressitekijät aiheuttavat pitkäaikaista suorituskyvyn laskua, jonka yhteydessä voi ilmetä tähän liittyviä fysiologisia ja psykologisia oireita, joiden palauttaminen normaaliin tilaan voi kestää useita viikkoja tai kuukausia (kuva 5).

Vesterinen (2018) luomassa kuvassa ylikuormitustilan vaiheista, jota on mukailtu Halson & Jeukendrup 2004 ja Meeusen ym. (2013) artikkeleista on lisäksi esitelty akuutti ylikuormitus sekä ei-toiminnallinen ylikuormitus (non-functional overreaching). Meeusen ym. (2013) mukaan ei-toiminnallisen ylikuormituksen ja kroonisen ylikuormitustilan erottaminen on kuitenkin hyvin vaikeaa. Molemmissa on kyseessä ylikuormituksen tila, jonka vuoksi urheilijalla usein ilmenee samanlaisia vasteita kliinisesti ja hormonaalisesti. Kroonista ylikuormitustilaa on usein erotettu ei-toiminnallisesta ylikuormituksesta pitkittyneillä negatiivisilla vaikutuksilla harjoitusvasteisiin, sekä biologisiin, neurokemiallisiin ja hormonaalisiin säätelymekanismeihin (Meeusen ym. 2013).



KUVA 5. Akuutti ylikuormitus, toiminnallinen ylikuormitus, ei-toiminnallinen ylikuormitus sekä krooninen ylikuormitus (Vesterinen 2018).

Ylikuormitustila voi ilmentyä hyvin monenlaisia oireina, kuten jatkuvana väsymyksenä, suorituskyvyn laskuna, ruokahaluttomuutena, kuukautiskierron toimintahäiriönä tai immunologisina muutoksina (Halson & Jeukendrup 2004; Rusko 2003, 141). Ylikuormitustilan määrittämiseen ei ole objektiivisia yksiselitteisiä menetelmiä. Jokainen organismi reagoi ylikuormitustilaan eri tavalla, jonka vuoksi ylikuormitustilan oireet voivat vaihdella yksilöiden välillä merkittävästi. Ylikuormitustilan oireet voivat olla epätarkkoja, jotka voivat myös ilmetä sairastumisena. (Armstrong & VanHeest 2002; Platen 2002)

Ylikuormitustilaa ja sen oireita on jaettu sympaattisiin ja parasympaattisiin oireisiin (Armstrong & VanHeest 2002). Sympaattiseen ylikuormitustilaan on yhdistetty unettomuuden ja levottomuuden oireita, sekä verenpaineen ja leposykkeen kohoamista (Armstrong &

VanHeest 2002). Ylikuormitustilan alkuvaiheessa sympaattiset oireet ovat vallitsevassa osassa (Rusko 2003, 141). Kuormituksen jatkuessa voi alkaa ilmentyä parasympaattisia oireita, jotka voivat olla hyvin vastakkaisia sympaattisen ylikuormitustilan oireisiin. Parasympaattisiksi ylikuormitustilan oireiksi on tunnistettu alhaiset syketasot, alhainen verenpaine, harjoituksen aikaisen sykkeen alhaisuus, sekä unen tilan häiriintymättömyys (Armstrong & VanHeest 2002; Rusko 2003, 141). Molemmissa ylirasitustiloissa yhdistävänä oireena on heikentynyt suorituskyky. (Armstrong & VanHeest 2002; Rusko 2003, 141)

### **3.3 Hermostollinen kuormittuneisuus**

Ihmisen hermosto koostuu kahdesta pääosasta: keskushermostosta ja ääreishermostosta. Keskushermosto koostuu aivoista sekä selkäytimestä, jotka ovat kytköksissä toisiinsa ydinjatkeen kautta. Selkäydin on pääasiallinen kanava kaksisuuntaiselle tiedonsiirrolle ihosta, nivelistä ja lihaksista aivoihin. Selkäydin mahdollistaa kommunikation koko kehossa ääreishermoston selkäydinhermojen kautta. Ääreishermosto (perifeerinen hermosto) sisältää 31 paria selkäydinhermoja ja 12 paria aivohermoja. Ääreishermosto sisältää afferentti hermosoluja (sensorisia), jotka välittävät sensorista tietoa perifeerisistä reseptoreista keskushermostoon, sekä efferentti hermosoluja (motorisia), jotka välittävät tietoa aivoista pois perifeerisiin osiin. Somaattiset ja autonomiset hermot ovat kahdenlaisia efferentti neuroneja. Somaattiset hermosyyt (motoneuronit) hermottavat luurankolihasia. Autonomiset hermot ovat tahdosta riippumattomia ja aktivoivat sydänlihasta, hiki- ja sylkirauhasia, sekä sileitä lihassoluja. (McArdle ym. 2010, 377–383)

Hermolihasjärjestelmän väsyminen voidaan määritellä fyysisen suorituskyvyn laskuksi, joka yhdistetään tehtävän tai harjoituksen koetun vaikeuden lisääntymiseen. Lihastyötä vaativassa tehtävässä lihasväsymykseksi voidaan määritellä kyvyttömyydeksi ylläpitää vaadittua voimatasoa. Hermolihasjärjestelmän väsyminen on monimutkainen ilmiö, johon vaikuttavat useat neurofyysiset mekanismit ennen kuin keho kokee väsymystä. Lihaskipua aiheuttavaan väsymykseen vaikuttavat kuormituksen kesto, tyyppi ja nopeus. (Boyas & Guével 2011) Hermolihasjärjestelmän väsymiseen vaikuttaa lisäksi se, onko lihastyöta eksentristä tai konsentristä. Eksentrisen lihastyö voi johtaa suurempaan lihasten mikrovaurioiden muodostumiseen ja lihaskipuun, josta palautuminen kestää kauemmin kuin konsentrisesta lihasaktivaatiosta (Linnamo ym. 2000). Hermolihasjärjestelmän tila alkaa muuttua heti kuormituksen alettua ja lihasväsymys kehittyy progressiivisesti, kunnes lihas ei enää kykene

suorittamaan vaadittua tehtävää. Hermolihasjärjestelmän väsymys kuvaa harjoituksen tuottamaa voiman tai tehon laskua riippumatta siitä voidaanko suoritusta ylläpitää.

Väsymys voidaan jakaa sentraaliseen ja perifeeriseen väsymykseen, joista sentraalinen väsymys kuvaa lihaksen tahdonalaisen aktivaation laskua ja perifeerinen väsymys lihaksen supistumiskyvyn ja aktiopotentialien etenemisen heikentymistä. (Boyas & Guével 2011) Perifeerinen väsymys ilmenee kehon perifeerisissä osissa hermolihaskliitoksessa tai sen distaaliosalla, sentraalinen väsymys puolestaan keskushermostossa (Thomas ym. 2015). Lihasten väsymykseen ei ole yhtä syytä, ja sen vallitsevat mekanismit liittyvät suoritettavaan tehtävään (Gathercole ym. 2015a).

## 4 KUORMITUKSEN SEURANTA

### 4.1 Sykevaihtelu kuormituksessa

HRV kuvaa sydämen kykyä reagoida erilaisiin kuormitustekijöihin, kuten harjoittelun aiheuttamaan kuormitukseen (Rajendra ym. 2006). Ylikuormitus aiheuttaa hormonaalisia muutoksia, jotka johtavat ANS:ssa ilmeneviin muutoksiin (Lehmann ym. 1998). Sydämen autonomisen toiminnan epätasapaino vaikuttaa muutoksiin HRV:ssä ja tämän vuoksi tarjoaa mahdollisuuden urheilijoiden liiallisen harjoittelun havaitsemiseen. Odotuksista huolimatta ylikuormituksesta johtuvista HRV:n muutoksista tiedetään vähän. (Aubert ym. 2003; Lehmann ym. 1998)

Uusitalo ym. (2000) tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että yksilötason ylikuormituksesta johtuvia HRV:n muutoksia pystytään havaitsemaan, vaikka ryhmätasolla muutosten havaitseminen voisi olla hankalaa. Pichot ym. (2000) pystyivät havaitsemaan kuormituksen vaikutusta sykevaihteluun. Pichot ym. (2000) tutkivat ANS-aktiivisuutta seitsemällä keskimatkan juoksijalla kolmen viikon harjoitusleirin aikana. Tulokset osoittivat, että raskas harjoittelu siirsi autonomisen hermoston aktiivisuutta SNS:n puolelle. HRV-parametrien yölliset tulokset osoittautuivat tutkimuksessa hyväksi työkaluksi kumuloituneen fyysisen väsymyksen arvioimiseen. Pichot ym (2000) totesivat, että HRV voisi olla arvokas yksilöllisen harjoitettavuuden analysointiin.

Sekiguchi ym. (2019) tutkivat leposykkettä ja sykevaihtelua kilpailevien naispuolisten maastohiihtäjien keskuudessa harjoitusleirien aikana. Tutkimuksessa havaittiin, että leposyke oli kauden lopussa korkeampi kuin kauden alussa. Myös HRV oli vähäisempää leirin lopussa alkutilanteeseen verrattuna. Kuormituksen vaikutus ANS:n tilaan esiintyi sykevaihtelun alenemisena ja leposykkeeseen kasvuna. Sekiguchi ym. (2019) nostivat myös esille positiiviset vaikutukset leposykkeeseen ja sykevaihteluun yhdeksän viikon harjoitusleirin jälkeen. Parantunut maksimaalinen aerobinen nopeus 10 kilometrin juoksutestissä yhdistettiin laskeneeseen leposykkeeseen ja kohonneeseen sykevaihteluun. Urhaisen ym. (2012) ovat kuitenkin todenneet, että nousu leposykkeessä voi olla myös merkki infektiotaudista tai glykogeenivarastojen vajeesta. Nämä merkit osoittavat siten heikentynyttä suorituskykyä harjoittelussa, joka voi johtaa ylikuormituksen oireisiin (Urhaisen ym. 2012).

## 4.2 Suorituskyvyn seuranta kuormituksessa

Freestyle-lumilautailun lajityypin ja taitopainotteisen luonteen (Wang ym. 2022), sekä alavartalon voimantuoton vaatimusten vuoksi (Vernillo ym. 2018) alavartalon kuormittumisen seuraaminen on tärkeää. Grandou ym. (2020) nostavat esille yleisimpiä suorituskyvyn seurantamittareita olevan lihasvoiman erilaiset maksimivoiman testit, sekä erilaiset hyppytestit. Grandou ym. (2020) katsauksessa ylikuormitusperiodin vaikutus näkyi osassa tutkimuksista 1 RM ja kevennyshyppytestien tulosten laskuna. Tutkimuksissa on yleisesti käytetty maksimaalisen isometrisen supistuksen (MVC) mittaamista väsymisen ja voimantuoton mittarina (Christie ym. 2011; Louis ym. 2009; Zubac ym. 2020).

Hermolihasjärjestelmän väsymys on riippuvainen kuormituksen muuttujista (Boyas & Guével 2011), sekä suoritettavan tehtävän tyypistä. Siihen vaikuttavat urheilijan ikä, genetiikka ja harjoitustausta (Gathercole ym. 2015a). Hyppytestit, kuten kevennyshyppy sekä pudotushyppy, sopivat hermo-lihasväsymyksen seurantaan erityisesti myöhemmässä palautumisen vaiheessa. CMJ-testin korkea toistettavuus ja väsymysherkyys osoittivat sen olevan myös pätevä testi hermolihasjärjestelmän väsymisen seurantaan. (Gathercole ym. 2015a)

## 4.3 Koetun kuormituksen seuranta

Koetun kuormituksen luokitus (RPE) on yleisesti käytetty intensiteetin ja homeostaattisen häiriön mittari. Sitä seurataan tyypillisesti rasiustestien aikana täydentämään muita intensiteettimittauksia. RPE:tä voidaan käyttää monin eri tavoin harjoituskyvyn ennustamiseen sekä harjoitustilan muutosten arvioimiseen. (Eston 2012) Koetun rasituksen luokitus (RPE) ottaa huomioon kollektiivisesti kehon palautejärjestelmien informaatiota sydän- ja hengityselimistä (Eston 2012). Borg 20 asteikon RPE on todettu korreloivan hyvin sydämen sykkeen kanssa (Williams 2017). RPE:iin vaikuttavat psykologiset tekijät kuten muisti, aikaisempi kokemus, tehtävän ymmärtäminen ja suorituksen kesto (Eston 2012). RPE:n käyttö urheilussa, liikunnassa ja kuntoutuksessa perustuu sen vahvoihin yhteyksiin harjoituksen intensiteetin ja fysiologisten tekijöiden, kuten sykkeen, hengityksen, hapenoton ja veren laktaattipitoisuuden kanssa (Eston 2012; Fontes ym. 2010). Yleisin RPE:n mittausmenetelmä aikuisilla on Borgin 6–20-luokan asteikko ja Borgin CR-10 -asteikko. (Eston 2012)

Bromley ym. (2012) osoittivat Borgin CR-10 asteikon toimivan hyvin kuormituksen mittaamisessa judoharjoitusleirin aikana. Koetun kuormituksen CR-10 asteikko osoittautui vakaaksi eri harjoitusten välillä ja sitä pystyttiin hyödyntämään harjoituksen kuormituksen arvioinnissa (Bromley ym. 2012). Mellor ym. 2014 hyödynsivät Borgin 20 RPE-kyselyä vuoristosairautta tarkastelevassa tutkimuksessa 10 päivää kestäneen korkeassa ilmanalassa suoritettun kuormituksen aikana. Mellor ym. 2014 tutkimuksessa kuormituksen jälkeen korkeamman RPE-arvon raportoineiden tutkittavien sykearvot olivat merkitsevästi korkeammat. Lisäksi Mellor ym. 2014 tutkimuksessa lepomittausten aikana sykemuuttajat ja RPE-arvot laskivat. Tutkimuksessa pystyttiin seuraamaan tutkittavien kuormittuneisuutta RPE-mittausten avulla. Dann ym. (2022) suosittelivat freestyle-lumilautailuvalmentajien hyödyntävän kuormituksen seurantastrategioita taitoharjoittelun ja fyysisen harjoittelun aikana, jotta hermo-lihasjärjestelmää ei kuormiteta liikaa. He suosittelivat myös kuormituksen seurannan työkaluiksi hyppyjen kokonaisvolyymia, kevennyshypyn kiihtyvyyttä, tai harjoituksen koetun kuormituksen (RPE) seuraamista.

## 5 LUMILAUTAILUN VAATIMUKSET

Lumilautailu on urheilulaji, joka syntyi Yhdysvalloista 1960-luvun puolivälissä ja liitettiin talviolympialaisiin vuonna 1998. Se sisältää useita eri alalajeja: freestyle (slopestyle, half-pipe ja big air), alppilumilautailu, pujottelu, rinnakkaispujottelu sekä lumilautakrossi. Näistä freestyle on arvostelulaji, jossa pisteisiin vaikuttavat muun muassa temppujen amplitudi, omaperäisyys ja laatu. Alppilumilautailussa, pujottelussa ja lumilautakrossissa taas kisataan nopeudesta. (Wang ym. 2022)

Lumilautailu on lähivuosina siirtynyt kohti ammattimaisempaa harjoittelua ja harrastajamäärien kasvaessa kiinnostus fysiologien ja liikuntatieteilijöiden keskuudessa on myös kasvanut. Vaikka kiinnostus on kasvanut, on tieteellisen tutkimuksen määrä lajin vaatimuksista ja ominaisuuksista edelleen vähäistä. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet lihasvoiman olevan tärkeä ominaisuus lumilautailun alalajista riippumatta. (Vernillo ym. 2018) Riittävä lihasvoima voi auttaa lumilautailijaa sietämään korkeampia voimia ja kuormaa suorituksen aikana ja tästä syystä se voi vähentää loukkaantumiseriskiä (Vernillo ym. 2018). Freestyle-lumilautailu on vaativa taitolaji, jossa urheilijat suorittavat riskialttiita temppuja isoista hyppyreistä. Vammautumiseriskistä johtuen (Steffen ym. 2017) urheilijan turvallisuuden kannalta suoritukset olisi optimaalista tehdä silloin kun urheilija ei ole kuormittunut. McPhail ym. (2021) mukaan urheilijan hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn testaaminen säännöllisesti läpi vuoden on tehokas tapa tarjota urheilijalle tietoa tämän sen hetkisestä suorituskyvystä. Tutkiessaan hyvin samankaltaisen lajin freestyle hiihdon suorituskyvyn mittareita McPhail ym. (2021) nostivat esille maksimivoiman ja erityisesti alaraajojen voimantuoton tärkeyden.

Alavartalon voimalla on tärkeä rooli lumilautailijoiden suorituskyvyn parantamisessa kilpailujen aikana. Platzer ym (2009) havaitsivat korrelaation alavartalon tehon ja MM-kisapisteiden välillä naisten alppi- ja lumilautakrossissa. Lumilautailijoiden korkeampi alavartalon voimakkuus ja tehon tuotto voivat vähentää jatkuvan korkean intensiteetin kilpailujen tuottamaa aineenvaihdunnallista stressiä sekä korkeamman reaktivoiman vaikutusta (Wang ym. 2022). Suurempi alavartalon voima ja teho ovat yleisiä huippulumilautailijoille, mutta voiman laadussa on eroja nopeus- ja taitolajien urheilijoiden välillä. Tämä ero heijastuu pääasiassa kahdesta näkökulmasta: lihasten supistumisen tyypistä ja lihasten aktivaatiomalleista. Taitolajeissa urheilijoiden on suoritettava lyhyessä ajassa teknisesti haastavia liikkeitä, kuten ponnistaa hyppyrystä, pyöriä ilmassa ja laskeutua. Etenkin



laskeutuminen aiheuttaa korkeat vaatimukset alavartalon eksentriselle voimantuotolle. (Wang ym. 2022)

Half-pipe- ja big air -urheilijat kokevat laskeutuessaan kehonsa massan nelinkertaisena. Reaktiovoima kohdistuu alavartalon lihaksiin vain 0,1 sekunnissa. Riittävä alavartalon eksentrisen lihasvoima auttaa sietämään reaktiovoiman, vähentämään kaatumisriskiä, sekä ylläpitämään tasapainoa polvi-, nilkka- ja lonkkanivelissä. Lisäksi lihasvoima auttaa asennon ylläpitämistä reilitemppujen suorittamisessa. Taitolajien urheilijoiden alavartalon eksentrisen lihasvoimalla on hallitseva rooli hyppyjen ja vakaiden laskeutumisten suorittamisessa. Rinnakkaispujottelun, suurpujottelun ja lumilautailucrossin urheilijoilla on oltava korkea isometrinen lihasvoima, jotta käänös voidaan suorittaa nopeasti ja alavartalon liikkeiden vakaus voidaan säilyttää. (Wang ym. 2022)

## 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten kuuden päivän mittainen harjoitusleiri vaikuttaa urheilijoiden suorituskykyyn ja havaitaanko suorituskyvyssä muutoksia maksimaalisen isometrin voimantuoton (MVC) ja kevennyshypyn (CMJ) osalta. Tutkimuksessa selvitettiin myös, vaikuttaako leiriviikon kuormitus urheilijoiden kokemaan kuormittuneisuuteen (RPE) tai sykemuuttujiin. Kauden aikana leiritystä kertyy nuorten maajoukkueelle 40 vuorokautta ja aikuisten maajoukkueelle 90 vuorokautta (Lumilautaliitto 2022). Leiriviikkoja toteutetaan sekä ulkomailla että kotimaassa. Leiriviikkojen sisältö vaihtelee tavoitteen mukaisesti. Jotta lajin harjoittelua voidaan kehittää, on tärkeä tietää, miten erilaiset harjoitukset ja leirit kuormittavat urheilijoita.

Tutkimuskysymykset:

- Miten harjoitusleirin kuormitus vaikuttaa maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon sekä kevennyshyppyyn heti leirin päätyttyä ja seurantajakson aikana?
- Miten leirin kuormitus näkyy autonomisen hermoston toiminnassa, leposykkeessä ja sykevaihtelussa harjoitusleirin aikana ja seurantajakson aikana?
- Onko koetun kuormituksen ja mitattujen sykemuuttujien välillä yhteyttä leirin tai seurantajakson aikana?

Hypoteesit:

- 1) Kuormitusperiodin jälkeen nähdään laskua suorituskyvyn muuttujissa.

Perustelu: Grandou ym. (2020) toteavat systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessaan maksimivoiman ja vertikaalisen ponnistusvoiman laskevan useissa tutkimuksissa ylikuormitusperiodin jälkeen. Grandou ym. (2020) mukaan voimatasot palasivat seurantaperiodin jälkeen takaisin lähtötasolle. Esimerkiksi Gathercole ym. (2015b) osoittivat eliittilumilautacross-urheilijoiden kevennyshypyn mitatuissa muuttujissa laskua akuutin kuormituksen jälkeen. Freestyle-lumilautailuun osittain verrattavissa oleva alppihiihto koostuu korkeanvoiman isometrisestä ja eksentrisestä lihastyöstä, joka voi vaikuttaa voimantuottoon perifeeristen ja sentraalisten muutosten vuoksi (Ferguson 2009).

- 2) Leirin vaikutus näkyy autonomisen hermoston toiminnassa leposykkeen kasvuna ja sykevaihtelun pienenemisenä leirin aikana.

Perustelu: Leirin aiheuttama kuormitus järkyttää kehon homeostaasia, mikä vaikuttaa autonomisen hermoston toimintaan (Aubert ym. 2003). Esimerkiksi Sekiguchi ym. (2019) osoittivat tutkimuksessaan harjoitusleirin nostavan maastohiihtäjien leposykettä, sekä alentavan sykevaihtelua, kun verrattiin leirin alkuarvoihin.

- 3) Koetun kuormituksen ja sykemuuttujien muutokset ovat yhteydessä toisiinsa.

Perustelu: RPE on todettu luotettavaksi mittariksi, joka ottaa huomioon myös sykearvoissa tapahtuvat muutokset (Bromley ym. 2012; Eston 2012).

## **7 MENETELMÄT**

### **7.1 Tutkittavat**

Tutkimukseen rekrytoitiin tutkittaviksi nuoria kansallisen ja maajoukkue-tason urheilijoita. Tutkittavia oli kahdeksan: kuusi miestä ja kaksi naista. Tutkittavien rekrytoinnissa hyödynnettiin urheilijoiden valmentajia ja taustajoukkoja. Tutkittavien antropometriset tiedot olivat: ikä 17–19 vuotta, ka 17,5 (kh.  $\pm 0,7$ ) v, pituus 166–184 cm, ka 174,5 ( $\pm 5,9$ ) cm ja paino 56,4–76,9 kg, ka 66,84 ( $\pm 7,3$ ) kg (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta). Poissulkukriteereinä olivat vammat, jotka estivät vaadittavien liikkeiden suorittamisen, sekä sairaudet (kuume, hengitystieinfektiot). Ennen mittaukseen saapumista vapaaehtoiset tutkittavat täyttivät suostumuslomakkeen ja esitieto- ja terveystarkastuksen ja tutkittaville selitettiin mittaukset ja mittausprotokolla. Tutkittavat tiesivät oikeudestaan lopettaa mittaukset milloin tahansa. Tutkittavilla ei ollut kilpailuja edeltävänä viikonloppuna, joten tutkittavien oli mahdollista aloittaa harjoittelu palautuneessa tilassa. Ennen mittauksia kaksi potentiaalista tutkittavaa joutui kuitenkin jättäytymään pois loukkaantumisen ja sairastumisen vuoksi. Kahdeksasta jäljelle jääneestä tutkittavasta neljän tulokset olivat epätäydellisiä loukkaantumisen, sairastumisen tai puutteellisten mittaustulosten vuoksi. Tutkimukselle oli haettu Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto.

### **7.2 Tutkimusasetelma**

Mittaukset suoritettiin Rukan laskettelukeskuksessa toukokuussa 2022 harjoitusleirin yhteydessä 2.5.2022 - 10.5.2022. Urheilijat noudattivat harjoitusohjelmaa, joka sisälsi uusien temppujen sekä tekniikan harjoittamista. Leirin tyypillinen harjoitus koostui kolmen tunnin mittaisesta harjoituksesta rinteessä, jossa tutkittavalle kertyi 15–25 laskua. Yksi lasku sisälsi kolme hyppyriä ja kolme reiliä, joissa tutkittava suoritti temppuja oman taitotasonsa mukaisesti. Suoritusten määrää ei mitattu, vaan arviot perustuivat valmentajien lajiharjoittelun tuntemukseen. Sääolosuhteiden vuoksi uusien haastavampien temppujen harjoittelu painottui leirin keskivaiheille. Mittaukset kestivät kahdeksan päivää ja sisälsivät suorituskyvyn mittaukset (MCV & CMJ), sykemuuttujien seurannan sekä koetun kuormituksen kyselyn (kuva 6). Suorituskyvyn muuttujia mitattiin neljä kertaa. Alkumittaukset (PRE) ja loppumittaukset (post 1, 2 & 3). Sykemuuttujia seurattiin alkumittauksia seuraavasta päivästä harjoitusleirin

loppuun saakka. Koetun kuormituksen (RPE) kyselyt suoritettiin leirin alussa ensimmäisen harjoituspäivän jälkeen (PRE), leirin keskellä (MID) ja leirin jälkeen (post 1, 2 & 3). Mittaukset pyrittiin suorittamaan aina samaan aikaan päivästä.

Aikajana	2.5.2022	3.5.2022	4.5.2022	5.5.2022	6.5.2022	7.5.2022	8.5.2022	9.5.2022	10.5.2022
CMJ	PRE						post 1	post 2	post 3
MVC	PRE						post 1	post 2	post 3
RPE		PRE		MID			post 1	post 2	post 3
Yö sykemittaukset	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ortostaattinen		x	x	x	x	x	x	x	x

KUVA 6. Mittausprotokollan aikajana.

## 7.3 Mittaukset

### 7.3.1 MVC

Voimantuottoa mittaavan maksimaalisen isometrisen supistuksen (MVC) mittaus suoritettiin Jyväskylän yliopiston rakentamalla voimapenkillä (Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä, Suomi) 120 asteen polvikulmalla. Polvikulma valittiin vastaamaan laskuasentoa, ja lisäksi tutkittavien oli mahdollista asettaa jalkapohja kokonaan kiinni voimalevyyn vasta 120 asteen kulmassa. Tämä ei ollut mahdollista pienemmällä polvikulmalla voimapenkin voimalevyn kulman vuoksi. Ennen jokaista mittauskertaa tutkittavat suorittivat saman lämmittelyn, joka koostui viiden minuutin maltillisesta pyöräilystä sekä dynaamisista lämmittelyliikkeistä. Tutkittavan asetuttua penkkiin kirjattiin penkin etäisyys levystä ylös (cm), jotta voitiin varmistaa penkin asetusten yhdenmukaisuus mittauskertojen välillä. Tutkittavaa ohjeistettiin pitämään käsillä kiinni kahvoista ja asettamaan jalat voimalevylle samalla tavalla jokaisella mittauskerralla. Ennen varsinaisia mittauksia tutkittava suoritti kolme harjoitussuoritusta. Tutkittavalta varmistettiin valmius suoritukseen, jonka jälkeen käskytettiin vetämään keuhkot täyteen ilmaa ja painamaan voimapenkin levyä mahdollisimman maksimaalisella voimalla noin kolmen sekunnin ajan. MVC- data luettiin voimapenkin vahvistimen kautta A/D-muuntimelle (Cambridge Electronic Design, Cambridge, Englanti), josta data tallennettiin kannettavalle tietokoneelle Spike2 v5.21 ohjelmistolla (Cambridge Electronic Design, Cambridge, Englanti). Jokaisen suorituksen välissä tutkittava piti 90 sekunnin tauon. Tutkittavalta mitattiin kolme onnistunutta suoritusta. Mikäli tulos parani vielä kolmannella suorituksella, tehtiin lisäsuorituksia. Enimmillään suoritettiin viisi onnistunutta suoritusta.

### **7.3.2 Kevennyshyppy**

Kevennyshyppy (CMJ) mitattiin voimalevyllä (Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä, Suomi). Kevennyshypyssä tutkittavia ohjeistettiin pitämään kädet lanteilla hypyn aikana ja suorittamaan hyppy mahdollisimman räjähtävästi. Kevennyshyppy suoritettiin tavoitellen 90 asteen polvikulmaa. Polvikulmaa ei erikseen kontrolloitu vaan tutkittavat suorittivat hypyn heidän kokemallaan optimaalisella polvikulmalla. Kevennyshyppy oli tutkittaville tuttu mittausmenetelmä ja aktiivisessa käytössä ryhmän harjoittelussa.

Tutkittavalta varmistettiin, onko tutkittava valmis ja lupa suoritukseen annettiin 'saa hypätä' -käskeillä. Tutkittavat suorittivat kolme onnistunutta hyppyä jokaisella mittauskerralla. Palautumisaika hyppyjen välillä oli noin 45 sekuntia. Kevennyshypyn data luettiin kannettavalta tietokoneelta Coachtech-järjestelmään (Ohtonen ym. 2015). Coachtech-järjestelmä laski automaattisesti hypyn impulssista korkeuden, maksimitehon suhteutettuna kehonpainoon, maksiminopeuden sekä tehon suhteutettuna kehonpainoon konsentrisessa ja eksentrisessä vaiheessa. Tutkittavien hyppysuorituksista valittiin paras suoritus analysointia varten. Mikäli suoritus epäonnistui tai Coachtech-järjestelmä ei laskenut tulosta, tehtiin lisäsuorituksia, kunnes kolme onnistunutta suoritusta saatiin tehtyä.

### **7.3.3 Sykemuuttujien mittaus**

Autonomisen hermoston reagoitua harjoitusleirin kuormitukseen mitattiin yön aikaisella leposykkeeseen, sykevaihtelun (RMSSD), keskisykkeeseen ja sykevaihtelun maksimiarvon (RMSSD max) mittauksella sekä aamuisin suoritettavan ortostaattisen testin avulla. Tutkittaville jaettiin Polar vantage V2 -sykemittarit (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) joiden avulla mittaukset suoritettiin itsenäisesti. Yön aikainen syke mitattiin leirin ajalta ensimmäisestä päivästä alkaen kahdeksan päivän ajan. Polar Vantage V2 -kellot oli asetettu aloittamaan yön aikainen mittaus viimeistään 00:00. Sykekello aloittaa yöllisen mittauksen automaattisesti tunnistaessaan unen alkamisen, eikä tutkittavien täytynyt käynnistää mittausta. Polar vantage V2 -kello analysoi unenaikaista sykettä ja sykevaihtelua neljän tunnin mittausajan, joka alkoi 30 minuuttia tunnistetun unen alkamisesta. Tämä on Polarin 'Nightly Recharge' -toiminto (Polar Electro Oy, Kempele, Finland).

Ortostaattinen koe suoritettiin heti herättyä jokaisena leiripäivän aamuna itsenäisesti valitsemalla kellosta ortostaattinen testi. Testi suoritettiin sykevyöllä (Polar H10, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Tutkittavia ohjeistettiin ortostaattisen testin suorittamiseen mittausprotokollaan tutustumisen ja ensimmäisten suorituskykymittausten yhteydessä. Tutkittaville toimitettiin lisäksi ohjevideo ortostaattisen testin suorittamisesta. Ortostaattinen syke mitattiin kellon ohjeistuksen mukaisesti ensin kaksi minuuttia makuuasennossa, jonka jälkeen kello ohjeisti tutkittavia nousemaan seisomaan ja pysymään paikallaan kaksi minuuttia seisomasykkeen mittauksia varten. Mittauksen jälkeen kello ohjeisti tutkittavia päättämään testin. Ortostaattisen testin sykkeestä tarkasteltiin syke levossa, sykevaihtelu levossa (RMSSD), huippusyke, syke seisten ja sykevaihtelu seisten (RMSSD).

Tutkittavien sykemittaukset tallentuivat kelloihin, joista tiedot siirrettiin jokaiselle luodulle Polar Flow -tilille. Polar Flow -tileiltä data haettiin Coach4Pro-sovelluksen (Coach4Pro Oy, Espoo, Finland) tarjoaman integraation avulla kootusti Excel-tilukoihin. Polar Nightly Recharge -toiminto analysoi jokaisesta yönaikaisesta mittauksesta automaattisesti sykearvot neljän tunnin ajalta. Ortostaattisen testin tulokset siirtyvät kelloista Polar Flow -tileille, joista tiedot siirrettiin Excel-tilukkoon analysointia varten. Coach4Pro- ja Polar-integraation avulla pystyttiin kootusti hakemaan tutkittavien leposyke, sykevaihtelu, sekä keskisyke yönaikaisesta mittauksesta.

#### **7.3.4 Koettu kuormitus (RPE)**

Koetun kuormittuneisuuden tilaa arvioitiin Borg 20 RPE -kyselylomakkeella (Rate of perceived exertion). Koettua kuormitusta kysyttiin tutkittavilta mittausjakson aikana viidesti: ensimmäisen harjoituspäivän jälkeen (Pre), leirin kolmantena päivänä (Mid) ja leirin päätyttyä kolmen päivän ajan (Post 1, 2 & 3). Koettua kuormitusta kysyttiin aina samaan aikaan päivästä tutkittaville ennakkoon esitetyllä Borg 20 -kyselyllä. RPE-kysely lähetettiin tutkittaville puhelimeen ja vastaukset kerättiin kootusti Excel-tilukkoon.

#### **7.4 Tilastollinen analyysi**

Tilastollisessa analyysissä käytettiin SPSS 26.0 -ohjelmaa. Tulosten keskiarvot ja hajonta laskettiin Microsoft Excel – ohjelmalla. Aineisto ei ollut kokonaan normaalisti jakautunut ja toistettujen mittausten analyysihin käytettiin non-parametristä Friedmanin kaksisuuntaista varianssianalyysia. Mittauskertojen parivertailuun käytettiin Friedmanin testin pairwise comparison arvoa, Wilcoxin parivertailua sekä parillista t-testiä. Merkitsevyystaso on merkitty tuloksiin tähdillä:  $p < 0.05$ (\*). RPE ja sykemuuttujien korrelaatiota tarkastellessa käytettiin non-parametristä Spearmanin korrelaatiokerrointa, jossa merkitsevyyden rajana  $p < 0.05$ .

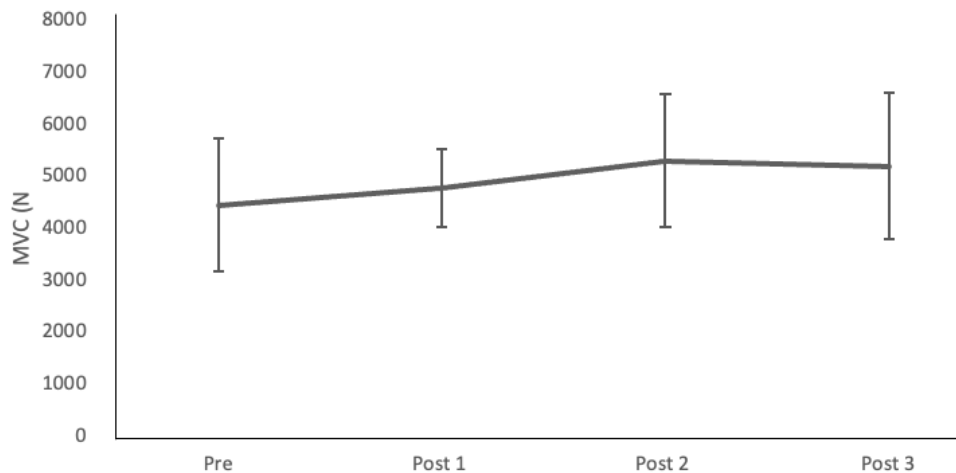


## 8 TULOKSET

Tulokset on jaettu eri mittausosioiden mukaan suorituskyvyn, yösykkeiden ja ortostaattisten sykemittausten, sekä sykemuuttujien ja koetun kuormituksen korrelaatioiden osiin.

### 8.1 MVC & CMJ

*MVC*. Mitattujen MVC-arvojen ryhmän keskiarvo ja keskihajonta on esitettyä kuvassa (kuva 7). Kun tarkastellaan harjoitusjakson vaikutusta suorituskyvyn muuttujiin, voidaan havaita, että MVC:n keskiarvo ei muuttunut merkitsevästi leirin aikana. Pre- ja Post 1 -mittausten välillä ei ollut merkitsevää eroa (7,4 %,  $p=0,686$ ). Myöskään seurantajakson (Post 1 – Post 3) aikana ei havaittu merkitseviä muutoksia (8,8 %,  $p=0,105$ ). Pre- ja Post 3 -tilanteiden prosentuaalinen ero oli 16,8 %. Kaikki Post tilanteissa mitatut MVC-arvot olivat suurempia kuin Pre-tilanteessa, mutta muutos ei ole suuri. Yksittäisten urheilijoiden MVC-mittaukset eri aikapisteissä on esitettyä taulukossa 1.

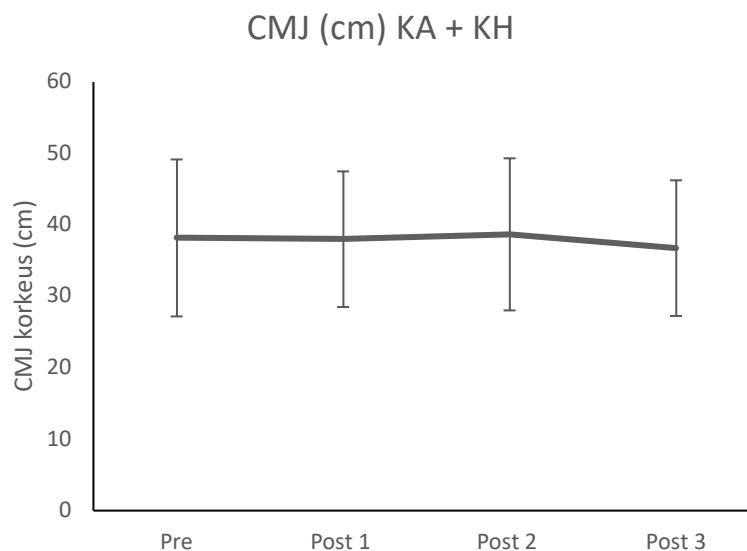


KUVA 7: MVC-tulosten ryhmän keskiarvo. Pre ja Post 1 (n = 5) sekä Post 2 – Post 3 (n=4)

TAULUKKO 1: Yksittäisten urheilijoiden mitatut MVC-arvot ja arvojen keskiarvot sekä keskihajonnat (n=4).

	Pre	Post 1	Post 2	Post 3
KH1	4450,18	-	-	-
KH2	6901,48		7716,99	8031,93
KH3	4590,29	-	-	-
KH4	5341,73	5329,1	5486,03	5513,57
KH5	5884,8	5847,6	7575,68	7360,13
KH6	2280,2	3741,8	3863,4	3750,84
KH7	3817,9	4276,5	4352,58	4195,71
KH8	4942,3	4722	5253,11	
keskiarvo	4453,4	4783,4	5306,1	5205
keskihajonta	1280,9	745,1	1278,8	1402,9

*CMJ*. Harjoitusleirin vaikutusta kevennyshyppyyn tarkasteltiin samojen mittauspisteiden avulla kuin MVC-mittauksissa. Kevennyshyppyn ryhmän keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 2. Mitatuissa CMJ-arvoissa ei nähty ryhmätasolla suuria muutoksia (kuva 8). CMJ:n korkeuden keskiarvo (cm) ei muuttunut merkitsevästi Pre ja Post 1 mittausten välillä leiriosion aikana (-0,45 %,  $p= 0,686$ ). CMJ:n korkeudessa ei myöskään ollut merkitsevää muutosta seurantajaksojen Post 1, Post 2 ja Post 3 välillä. Post 1 - ja Post 3 -mittausten CMJ:n korkeus muuttui prosentuaalisesti -3,28 %. Seurantajakson mittauksen tulos oli merkitsevyyden rajalla ( $p = 0.05$ ), mutta parivertailun p-arvot olivat 0,102 tai enemmän.



KUVA 8: Kevennyshypyn korkeuden keskiarvot ja keskihajonta eri aikapisteissä (n=4).

Tarkasteltaessa muita kevennyshypystä mitattuja muuttajia, huomataan, että merkitseviä muutoksia ei tapahtunut missään muuttujissa (taulukko 2). Maksimiteho suhteessa kehon painoon (W/kg max) leirin- ja seurantajakson aikana ( $p=0,64$ ,  $p=0,47$ ), hypyn maksiminopeus (m/s max) leirin- ja seurantajakson aikana ( $p=0,68$ ,  $p=0,065$ ), konsentrisen teho suhteessa kehonpainoon (W/kg avg, Con) leirin- ja seurantajakson aikana ( $p=0,89$ ,  $p=0,549$ ), eksentrisen teho suhteessa kehonpainoon leirin- ja seurantajakson aikana ( $p=0,713$ ,  $p=0,472$ ).

TAULUKKO 2: CMJ:llä mitattujen muuttujien ryhmän keskiarvo ja keskihajonta

	Pre	Post 1	Post 2	Post 3
CMJ (cm)	38,1 ± 12,6	38,0 ± 12,6	38,6 ± 12,2	36,7 ± 10,9
W/kg Max	52,4 ± 8,2	51,2 ± 10,1	51,36 ± 9,2	51,1 ± 10,4
m/s max	2,74 ± 0,2	2,7 ± 0,3	2,7 ± 0,3	2,7 ± 0,3
W/kg avg, Con	30,6 ± 6,1	29,8 ± 7	29,6 ± 7,1	30,3 ± 7,3
W/kg avg, Exc	6 ± 1	6,3 ± 1,6	6,8 ± 2,2	6,1 ± 1,6

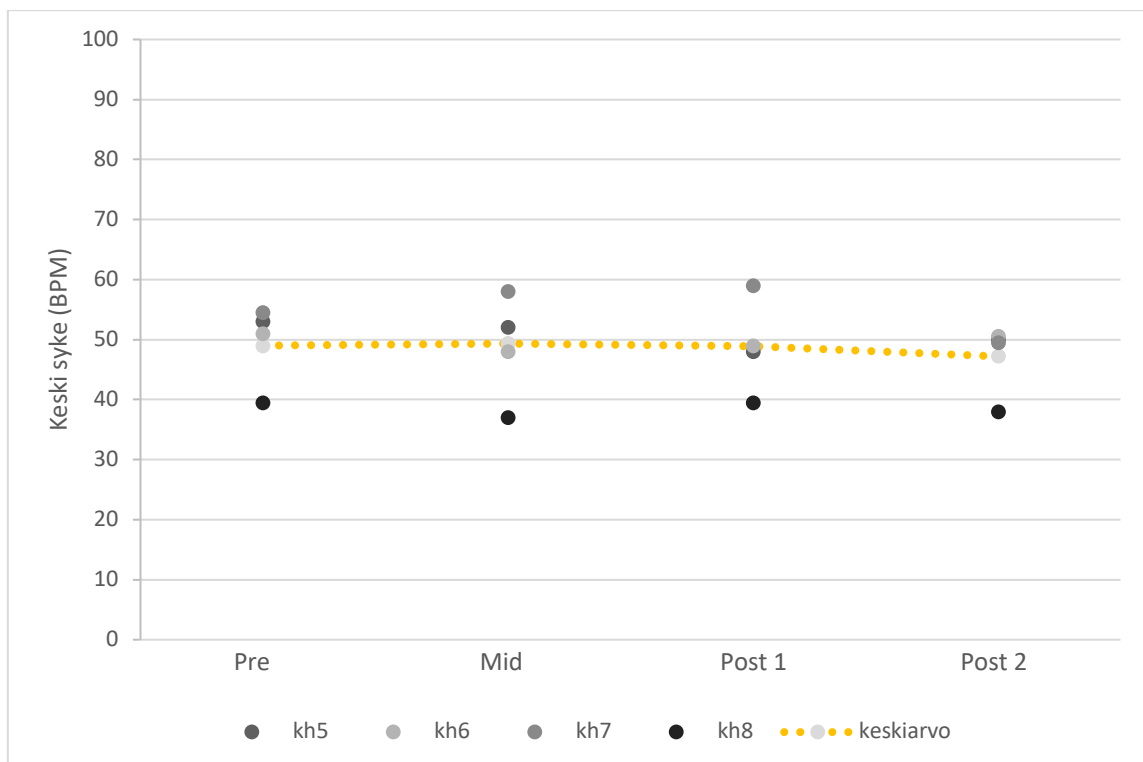
(n=4)

## 8.2 Yölliset sykemittaukset

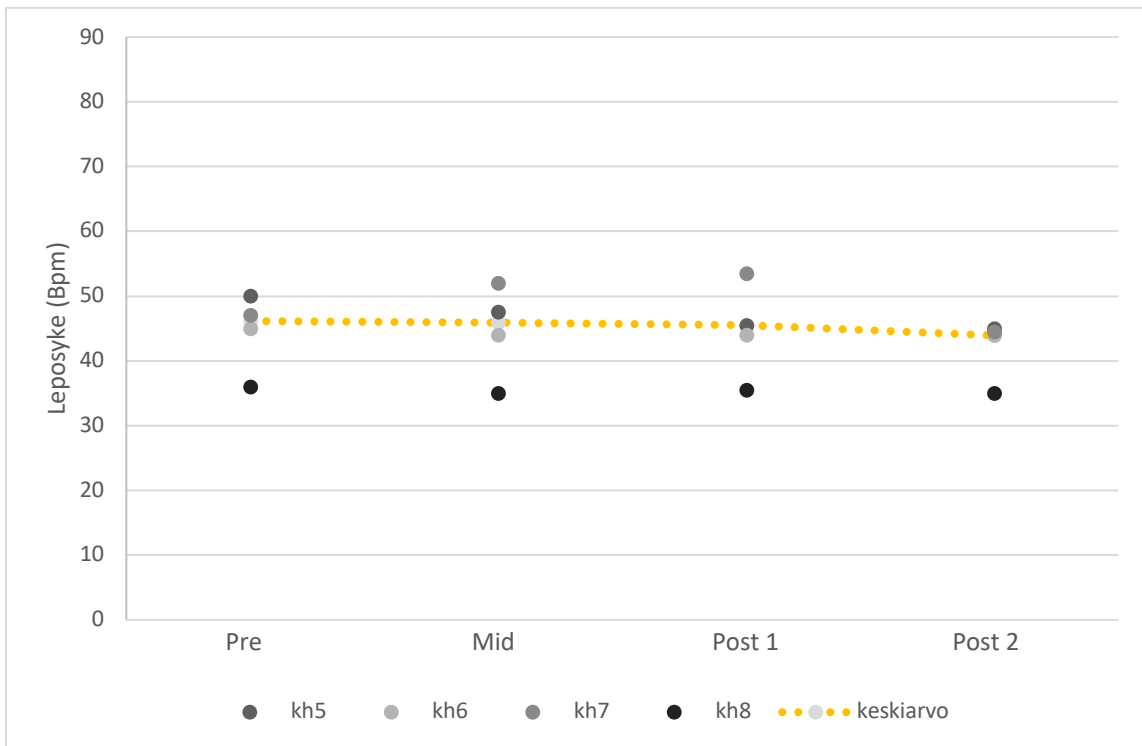
Yöllisiä sykemuuttujia tarkasteltiin leirin läpi ensimmäisen päivän yöstä viimeisen seurantajakson yöhän saakka. Arvoista on laskettu kahden peräkkäisen yön keskiarvot leirin alussa (Pre), leirin keskeltä (Mid), leirin päättymisestä (Post 1) sekä seurantajaksesta (Post 2).

Keskisyke ei muuttunut merkitsevästi leirin aikana Pre, Mid ja Post 1 -mittauspisteiden välillä (kuva 9) (2,2 %,  $p=0,504$ ). Keskisykkeessä ei ollut myöskään merkitsevää muutosta leirin päättymisen Post 1 ja seurantajakson Post 2 välillä (-6,9 %,  $p=0,854$ ). Leposyke ei myöskään muuttunut merkitsevästi leirin aikana Pre, Mid ja Post 1 -mittauspisteiden välillä (kuva 10) (2,0 %,  $p=0,331$ ). Leposykkeessä ei ollut myöskään merkitsevää muutosta leirin päättymisen Post 1 ja seurantajakson Post 2 välillä (-6,5 %,  $p=0,102$ ). Sykevaihtelu (RMSSD) ei muuttunut merkitsevästi leirin aikana Pre, Mid ja post 1-tilanteissa (kuva 11) (-6,3 %,  $p=0,819$ ). Muutosta ei myöskään ollut Post 1 ja seurantajakson Post 2 välillä (2,9 %,  $p=1$ ).

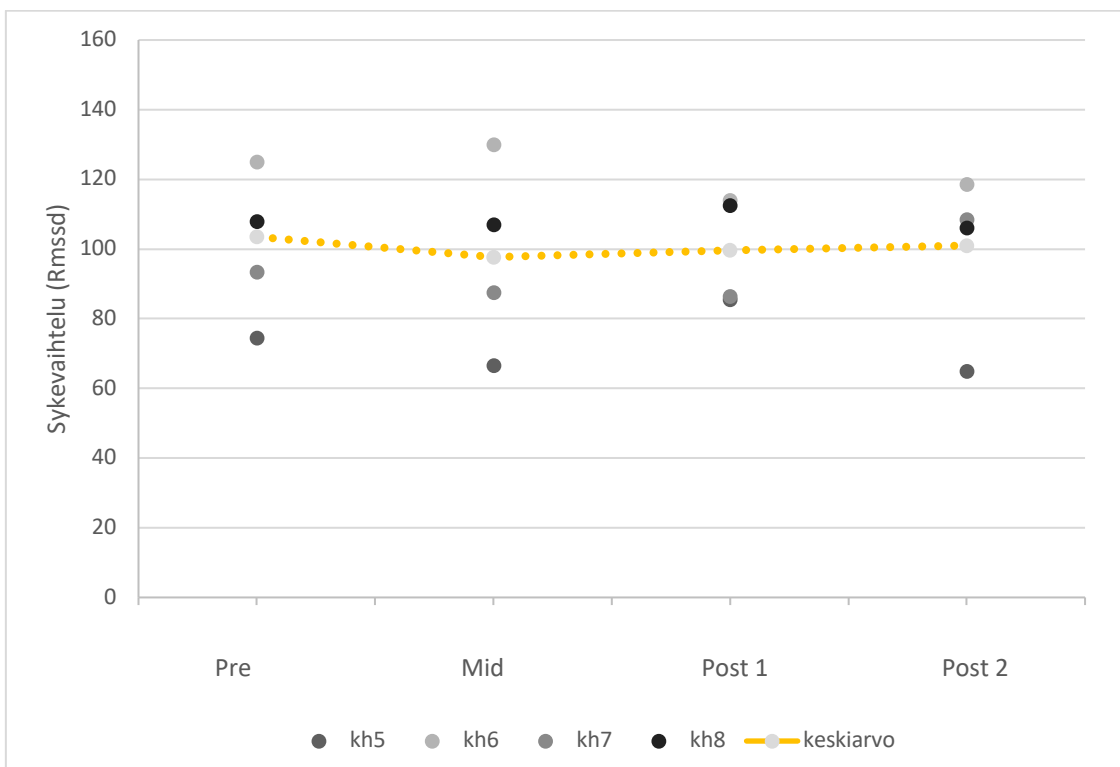
Sykevaihtelun maksimiarvossa (RMSSD max) ei havaittu merkitsevää muutosta Pre, Mid ja Post 1 -tilanteiden välillä (kuva 12) (-9,7 %,  $p=0,165$ ). Myöskään leirin lopun ja seurantajakson lopun Post 2-tilanteiden välillä ei ollut merkitsevää eroa (-1.8 %,  $p=0,715$ ).



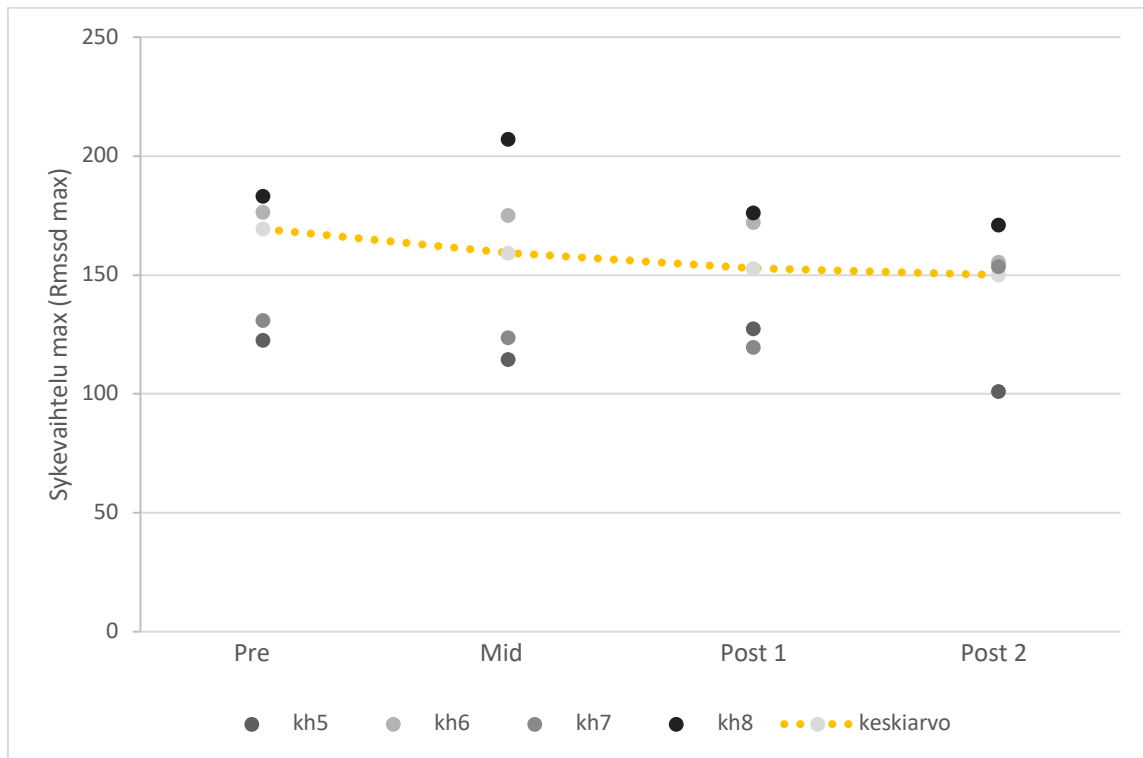
KUVA 9. Yönaikaisen keskisykkeen yksittäisten urheilijoiden arvot ja ryhmän keskiarvo eri aikapisteissä (n=4).



KUVA 10. Yönaikaisen leposykkeeseen yksittäisten urheilijoiden arvot ja ryhmän keskiarvo eri aikapisteissä. Pre, Mid ja Post 1 (n=5), Post 2 (n=4).



KUVA 11. Yönaikaisen sykevaihtelun (RMSSD) yksittäisten urheilijoiden arvot ja ryhmän keskiarvo eri aikapisteissä (n=4).



KUVA 12. Yönaikaisen sykevaihtelun maksimi-arvot yksittäisten urheilijoiden osalta ja ryhmän keskiarvo eri aikapisteissä (n=4).

### 8.3 Ortostaattiset sykemittaukset

Ortostaattisia sykemittauksia suoritettiin leirin ensimmäisestä aamusta toiseksi viimeiseen aamuun asti. Ortostaattisen sykkeen osalta seurattiin muutoksia ortostaattisen leposykkeen, sykevaihtelun, huippusykkeen, seisomasykkeen ja sykevaihtelun seisoma-asennossa mitattujen arvojen osalta. Ortostaattisista sykemittauksista on laskettu kahden peräkkäisen mittauksen keskiarvo leirin alussa (Pre), leirin keskellä (Mid), leirin päättyessä (Post 1) ja seurantajaksolla (Post 2). Arvot ovat nähtävillä taulukossa 3.

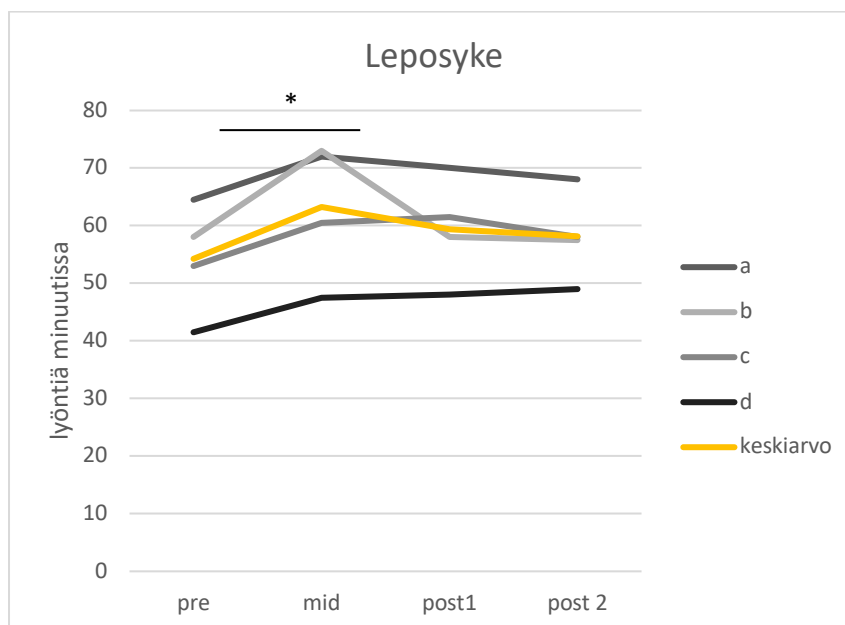
TAULUKKO 3. Ortostaattisten mittausten keskiarvot, keskihajonnat sekä prosentuaalinen muutos Pre – Mid välillä ja p-arvo Pre - Mid mittapisteiden parivertailusta.

	Pre	Mid	Post 1	Post 2
Leposyke	54,2 ± 9,7	63,2 ± 11,9*	59,3 ± 9,1	58,1 ± 6,7
Hrv	144 ± 24,8	109,3 ± 26,3	134,6 ± 25,2	143 ± 39,1

Huippusyke	107,2 ± 10,1	116 ± 6,4	108,1 ± 6,8	104,8 ± 7,5
Syke seisten	93 ± 16	102,2 ± 18,1	99,5 ± 10	95,8 ± 10,9
Hrv seisten	26 ± 21	25,6 ± 25	21,8 ± 16,9	22,5 ± 14,2

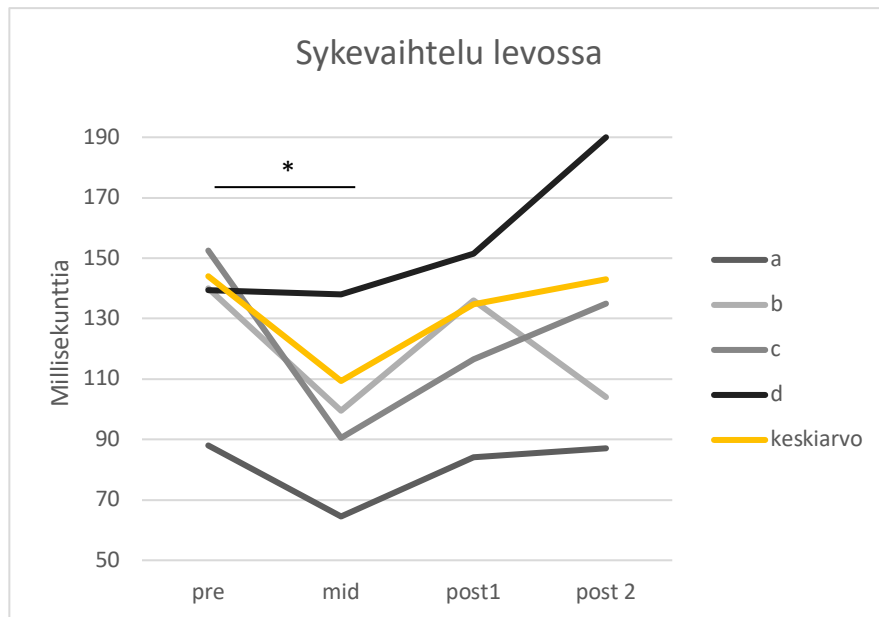
\*p<0.05. n.s.=not significant; ei tilastollista merkitsevyyttä.

Tarkasteltaessa ortostaattista leposykettä leirin ajalta Pre, Mid ja Post 1 -tilanteiden välillä ei havaittu merkitsevää eroa (kuva 13) (p=0,085). Myöskään leirin ja seurantajakson Post 1 ja Post 2 välillä ei ollut merkitsevää ero (p=0,273). Ortostaattinen leposyke kuitenkin kasvoi Pre- ja Mid-mittausten välillä merkitsevästi (16,5 %, p=0.021).



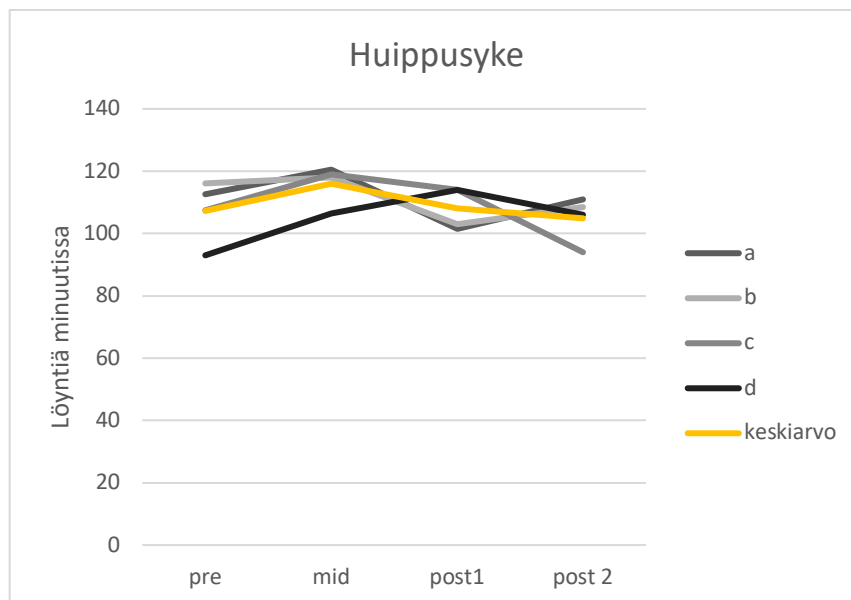
KUVA 13. Yksittäisten urheilijoiden ortostaattinen leposyke sekä ryhmäkeskiarvo (n=4)

Ortostaattisen sykevaihdelun osalta Pre, Mid ja Post 1 -mittauksessa havaittiin merkitsevä ero (kuva 14) (p=0,039). Tulosten parivertailussa ortostattisen sykkeen osalta Pre- ja Mid-mittausten välillä oli merkitsevä ero (-24 %, p=0,04). Post 1- ja Post 2 -mittausten välillä ei ollut merkitsevää eroa (6,1 %, p=0,465). Kuitenkin Mid- ja Post 2 -mittausten välillä oli merkitsevä ero (30,7 %, p=0,04).



KUVA 14. Yksittäisten urheilijoiden ortostaattinen sykevaihtelu levossa sekä ryhmäkeskiarvo (n=4)

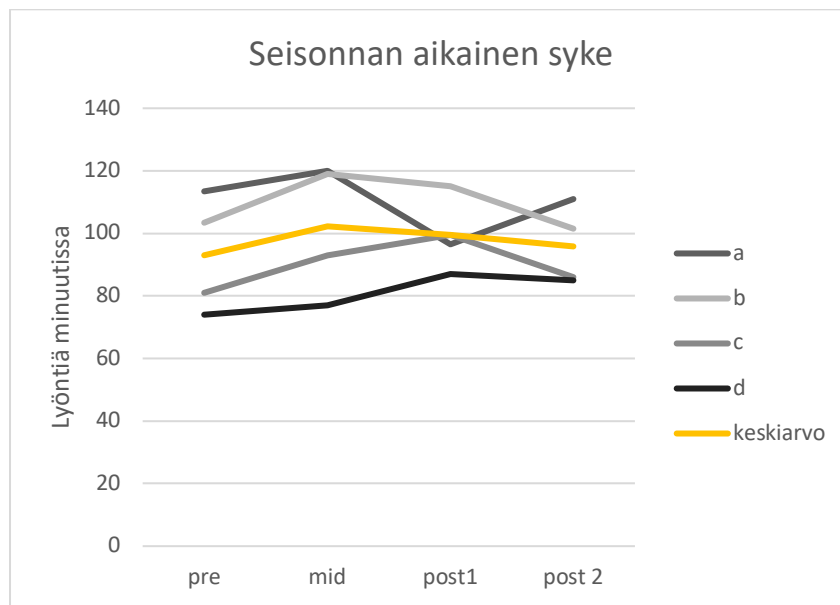
Huippusykkeen arvoissa ei ollut merkitseviä eroja Pre, Mid ja Post 1 -tilanteiden välillä (kuva 15) (8,5 %, p=0,174). Myöskään Post 1- ja Post 2 -mittausten välillä ei ollut merkitsevää eroa (-3 %, p=0,715).



KUVA 15. Yksittäisten urheilijoiden ortostaattinen huippusyke sekä ryhmäkeskiarvo (n=4).

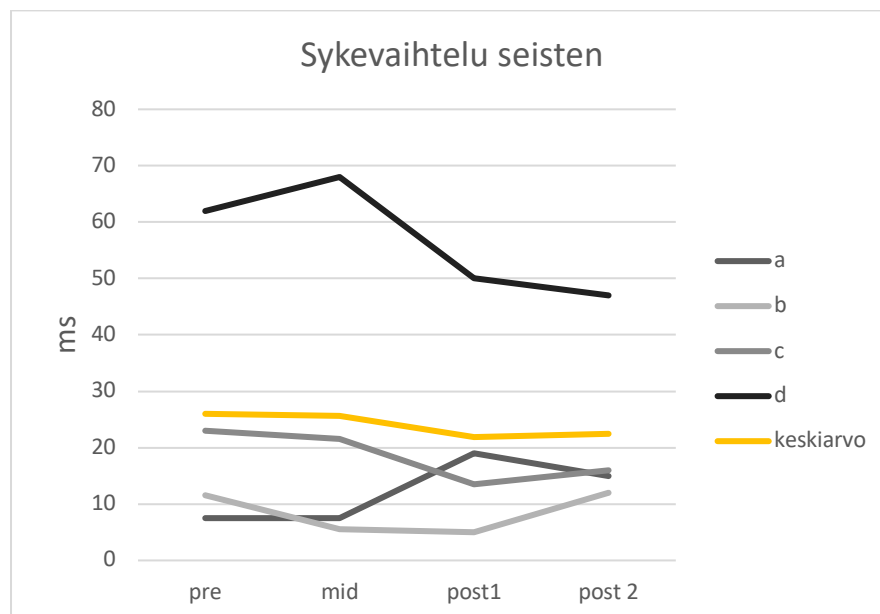
Seisomasykkeen arvoissa ei ollut merkitsevää eroa Pre, Mid ja Post 1 -mittauspisteissä (kuva 16) (9,9 %, p=0,174). Leirin loppumittauksen Post 1 ja seurantajakson mittauksen Post 2 välillä ei ollut merkitsevää eroa (-3,6 %, p=0,713).





KUVA 16. Yksittäisten urheilijoiden ortostaattinen seisannon aikainen syke sekä ryhmäkeskiarvo (n=4).

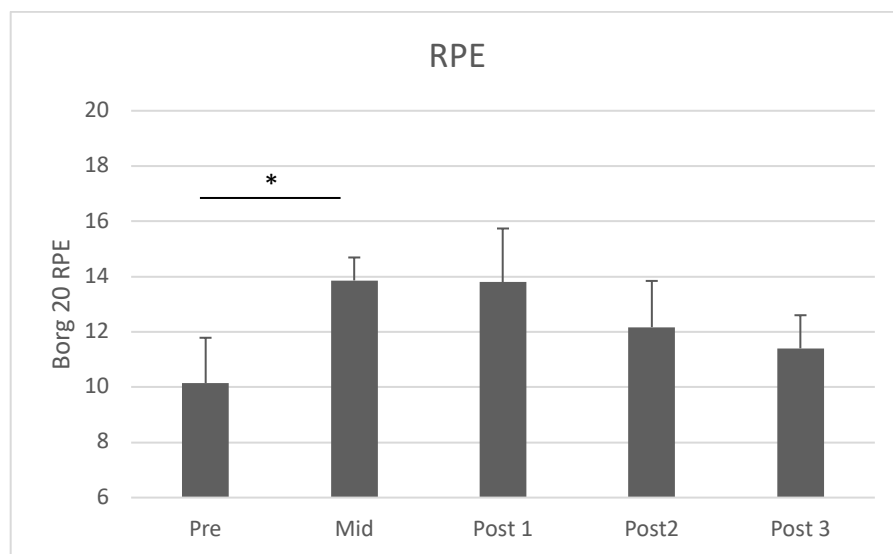
Seisoma-asennossa mitatun sykevaihtelun arvoissa Pre, Mid ja Post 1 -mittauspisteissä ei ollut merkitsevää eroa (kuva 17) (-1,4 %, p=0,420). Leirin lopputilanteen ja seurantajakson mittauksen Post 2 välillä ei myöskään ollut merkitsevää eroa (2,8 %, p=1).



KUVA 17. Yksittäisten urheilijoiden ortostaattinen sykevaihtelu (RMSSD) seisten sekä ryhmän keskiarvo (n=4).

#### 8.4 Koettu kuormitus ja yhteys sykemuuttujiin

Koettu kuormitus mitattiin viiden mittauspisteen ajalta leirin ensimmäisenä päivänä (Pre), leirin keskellä (Mid), heti leirin päätyttyä (Post 1), 24 h jälkeen (Post 2) sekä leirin lopussa 48 h jälkeen (Post 3) (kuva 18). Keskiarvoistetuissa RPE-arvoissa havaittiin merkitsevää eroa leirin alun ja keskivaiheen välillä toistettujen mittausten t-testillä  $p=0,03$ . RPE kasvoi 36 % Pre- ja Mid-pisteiden välillä. RPE-arvoissa ei havaittu merkitseviä muutoksia muiden aikapisteiden välillä. Seurantajakson post 1 – post 3 mittausten välillä ei ollut merkitsevää eroa  $p=0,368$ . Koettu kuormitus oli leirin keskellä mitatussa Mid-mittapisteessä korkein.



KUVA 18. Koetun kuormituksen keskiarvot ja keskihajonta eri mittapisteissä. Pre ja mid (n=7), post 1, post 2 ja post 3 (n=4).

Korrelaatioita on verrattu koetun kuormituksen ja sykemuuttujien osalta absoluuttisissa arvoissa. Korrelaatiota tutkiessa on tarkasteltu RPE:n sekä sykemuuttujia alun ja keskivaiheen, sekä seurantajakson alun ja lopun absoluuttisten muutosten välillä, koska sykemuuttujia puuttui sekä yöllisten että ortostaattisten mittausten osalta melko runsaasti. Tulokset on esitetty alla taulukoissa 4 ja 5. Absoluuttisten arvojen korrelaation tarkastelu on suoritettu Spearmanin korrelaatiokerrointa hyödyntäen pienen otoskoon vuoksi.

Tarkastellessa RPE:n ja sykemuuttujien keskiarvojen korrelaatiota, voidaan todeta, että tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota ei ole havaittavissa (taulukot 4 ja 5). Ortostaattisissa mittauksissa korrelaatiokerroin RPE:n ja mitattujen sykemuuttujien välillä oli korkein huippusykkeen ( $R = -.949$ ,  $P=0,051$ ) ja leposykkeen ( $R = 0,833$ ,  $p = 0,167$ ) osalta.

TAULUKKO 4. Ortostaattisen mittauksen pre – mid absoluuttisen muutoksen ja RPE:n pre – mid absoluuttisen muutoksen välinen korrelaatio. Ei merkitsevää korrelaatiota.

		Leposyke	HRV	Huippu Hr	Hr Seisten	Hrv seisten
RPE muutos	r	.833	-.316	-.949	.632	-.632
	p	.167	.684	.051	.368	.368
	n	4	4	4	4	4

TAULUKKO 5. Ortostaattisen mittauksen post 1 – post 2 absoluuttisten muutosten ja RPE:n post 1 – post 3 absoluuttisten muutosten arvoihin. Ei merkitsevää korrelaatiota.

		Leposyke	HRV	Huippu Hr	Hr Seisten	Hrv seisten
RPE muutos	r	.000	-.866	.866	-.500	.866
	p	1.000	.333	.333	.667	.333
	n	3	3	3	3	3

Yöllä mitattujen sykemuuttujien ja koetun kuormituksen muutosten väliltä ei myöskään löydetty merkitsevää korrelaatiota leirin aikana tai seurantajaksoilla. Yöllisten sykemuuttujien korrelaatiokertoimet leirin ajalta on esitetty taulukossa (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Yöllisten sykemittausten pre – mid absoluuttisten muutosten ja RPE:n pre – mid absoluuttisten muutosten korrelaatio. Ei merkitsevää korrelaatiota.

		Keskisyke	Leposyke	RMSSD	RMSSDmax
RPE muutos	r	-.205	-.379	-.154	.088
	p	.741	.459	.805	.868
	n	5	6	5	6

Mittapisteiden Post 1 (leirin päättymisen) ja Post 2 (seurantajakson päättymisen) korrelaatiokertoimet on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Yöllisten sykemittausten post 1 – post 2 absoluuttisten muutosten ja RPE:n post 1 – post 3 absoluuttisten muutosten korrelaatio. Ei merkitsevää korrelaatiota.

		Keskisyke	Leposyke	RMSSD	RMSSDmax
RPE muutos	r	.949	.500	-.632	-.949
	p	.051	.500	.368	.051
	n	4	4	4	4

## 9 POHDINTA

Tämän Pro Gradu -tutkielman tarkoituksena oli tuottaa uutta tietoa freestyle-lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuudesta sekä sen seurantakeinoista. Aikaisempaa tutkimusta freestyle-lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuudesta ei juurikaan ole olemassa. Hyppyjen alastulon aiheuttamaa kuormaa alaraajoille on tutkittu, mutta freestyle-lumilautailun harjoitusleirin vaikutusta voimantuottoon ja autonomisen hermoston toimintaan ei ole juuri selvitetty.

Tutkimuksen ensimmäisenä päätuloksena voidaan todeta, että suorituskyvyn muuttujina käytetyissä maksimaalisessa isometrisessä supistuksessa ja kevennyshypyssä ei tapahtunut merkitseviä muutoksia mittauspisteiden välillä. Yksittäisten urheilijoiden osalta voitiin nähdä suorituskyvyn mittareiden osalta laskua Pre ja Post 1 tilanteiden välillä, mutta ryhmätasolla muutosta ei ollut havaittavissa. Toisena päätuloksena havaittiin, ettei yöllisten sykemuuttujien arvoissa nähty tilastollisia muutoksia ryhmätasolla missään mitatuissa muuttujissa. Kolmantena tuloksena voidaan todeta, että ortostaattisen syketestin muuttujissa havaittiin merkitsevä muutos leposykkeen ja sykevaihdelun osalta leirin alun ja keskivaiheen välillä. Samoissa mittapisteissä havaittiin myös koetun kuormituksen kasvua ryhmätasolla. Koetun kuormituksen ja sykemuuttujien välillä ei ollut merkitsevää korrelaatiota.

**Suorituskyvyn muuttujat.** MVC:ssä ei havaittu merkitseviä muutoksia leirin alun ja seurantajakson mittapisteissä. Keskiarvoja tarkasteltaessa MVC:n tulos parani Post mittauksissa lähtötasoon verrattuna. MVC:n tulos kasvoi leirin alun ja lopun (Post 1) välillä 7,4 % sekä alun ja seurantajakson lopun (Post 3) välillä 16 %. Leirin jälkeisiä parempia tuloksia voidaan mahdollisesti selittää suorituksen oppimisena. Tutkittavat eivät olleet ennen suorittaneet MVC-mittauksia isometrisessä voimapenkissä, jonka vuoksi tilanne oli monille uusi. Tutkittavat saivat tutustua mittalaitteeseen ensimmäisellä mittauksella, mutta tämä ei todennäköisesti riittänyt oppimisen vaikutuksen minimointiin. Oppimisen vaikutusta olisi voitu vähentää harjoitusmittauksilla ennen varsinaisia mittauksia. Harjoitusmittauksia ei kuitenkaan saatu järjestettyä aikataulun muutosten ja logististen haasteiden vuoksi. Myöskään verrokkiryhmän käyttämistä oppimisen minimointiin ei voitu hyödyntää tutkittavien vähäisen määrän vuoksi. Voidaan myös pohtia, oliko kuusi päivää kestävä lumilautailuleirin kuormitus riittävän suuri näkyäkseen suorituskykymittauksissa. Onkin mahdollista, että kokeneille lumilautailijoille leiri, joka keskittyy lajiharjoitteluun ja temppujen opetteluun, ei ollut niin

suuri kuormitustekijä ilman muuta oheisharjoittelua tai matkustuksen tuomaa kuormitusta. Kuormituksen suuruutta on hankalaa tarkastella, sillä lajiharjoittelun kuormaa ei seurattu riittävällä tarkkuudella. Tutkittavien suorittamien laskujen ja hyppyjen määrää tai rinteessä vietettyjä tunteja ei voida tietää tarkasti. Lisäksi tutkittavien välillä on mahdollisesti eroja harjoittelun volyymissa harjoitusleirin aikana. MVC-mittauksen tulosta tukee osittain Seifert ym. (2009) tutkimus alppiihdon kuormituksen vaikutuksesta voimantuottoon, jossa kolmen tunnin mittainen alppiihtharjoitus ei vaikuttanut tutkittavien voimantuottoon, jota mitattiin isometrisesti jalkaprässissä 10 minuuttia harjoituksen jälkeen. Myös Koller ym. (2015) raportoivat samankaltaisia tuloksia tutkiessaan neljän tunnin alppiihtharjoituksen vaikutusta alaraajojen voimantuottoon isokineettisellä dynamometrillä tunti ja 24 tuntia harjoituksen jälkeen. Koller ym. (2015) tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu merkitsevää muutosta alaraajojen konsentrisessa voimantuotossa, vaikka eksentrisessä voimantuotossa havaittiin voimantuoton laskua vielä 24 tuntia harjoituksen jälkeen.

CMJ:n osalta ei myöskään nähty merkitseviä muutoksia tutkimuksessa käytettyjen mittapisteiden välillä. Voidaan siis todeta, että harjoitusleirin kuormituksella ei ollut vaikutusta CMJ:n tuloksiin. Havaintoa tukee myös Hydren ym. (2013) tutkimus, jossa alppiihittäjien CMJ:n korkeudessa ei havaittu muutoksia viikon mittaisen korkean paikan leirin aikana. Tässä tutkimuksessa CMJ:ia voidaan pitää luotettavana mittarina, koska se oli tutkittaville tuttu suorituskyvyn mittaumenetelmä ja heillä aktiivisesti käytössä harjoittelun seurannassa. Oppiminen ei täten vaikuttanut tuloksiin samalla tavalla kuin MVC:n mittauksissa. Gathercole ym. (2015b) tutkimuksessa akuutin kuormituksen jälkeen lumilautailijoiden kevennyshypyn maksimaalinen voimantuotto laski ja hypyn suorituksen kesto pidentyi. Tutkimuksessa oli kuitenkin kyseessä kontrolloitu akuutti kuormitus, jossa mittaukset suoritettiin nopeasti kuormituksen jälkeen. Tässä tutkimuksessa harjoitusten ja ensimmäisen jälkimittauksen (Post 1) välissä kului useampi tunti ja akuutti kuormitus ei vaikuttanut mittauksiin. Lisäksi korkein koettu kuormitus ja sykemuuttujien arvot mitattiin leirin keskivaiheella, josta ensimmäiseen jälkimittaukseen kului kaksi päivää. Mahdollinen kuormitus on siis voinut jo poistua tässä ajassa, mistä kertoo myös sykemuuttujien ja koetun kuormituksen laskeminen Mid-mittapisteestä Post-mittapisteisiin.

**Sykemuuttujat.** Tutkimuksessa yöllisistä sykemuuttujista seurattiin leposykettä, keskisykettä ja sykevaihtelua harjoitusviikon läpi ja seurantajakson ajan. Arvoista on laskettu kahden yön keskiarvot leirin alussa (Pre), leirin keskeltä (Mid), leirin päättymisestä (Post 1) ja

seurantajaksosta (Post 2). Yöllä mitatuista sykearvoista ei ollut havaittavissa merkitseviä muutoksia. Leposykkeen ja keskisykkeen osalta nähtiin kuitenkin ryhmätasolla laskua leirin päättymisen ja seurantajakson välillä. Sekiguchi ym. (2018) raportoivat myös tutkimuksessaan leirin loppuvaiheessa korkeampia arvoja leposykkeelle, sekä sykevaihtelun laskua harjoitusleirin edetessä. Nämä tulokset viittaavat siihen, että harjoitusleirin kuormitus on vaikuttanut autonomisen hermoston toimintaan ja sen kautta leposykkeen ja sykevaihtelun muutoksiin kehon sopeutuessa stressitekijöihin. Palautumisvaiheessa leposykkeen lasku ja sykevaihtelun lisääntyminen viittaavat puolestaan vagaalisten toimintojen palautumiseen ja kehon kokeman stressitason laskuun. Tätä havaintoa tukee Pichot ym. (2000) tutkimus, jossa kuormittava harjoittelu lisäsi huomattavasti sympaattista aktiivisuutta sekä laski parasympaattista aktiivisuutta. Kuormittavan jakson jälkeen sykemuuttajat alkoivat palata takaisin lähtöarvoihin viikon mittaisen palauttavan jakson aikana, jolloin sympaattinen aktiivisuus väheni ja parasympaattinen aktiivisuus palasi. Myös Meeusen ym. (2013) mainitsevat harjoitusleirille tyypillisen tavoitteellisen akuutin ylikuormituksen palautumisajaksi muutamista päivistä viikkoon.

Ortostaattisissa sykemittauksissa havaittiin tilastollisesti merkitseviä muutoksia leirin alun ja keskivaiheen välillä. Leposyke ja sykevaihtelu muuttuivat merkitsevästi näiden mittapisteiden välillä ja lisäksi huippusyke sekä syke seisten olivat korkeammat keskiarvallisesti Mid mittapisteessä. Alun ja keskivaiheen välillä leposyke kasvoi 16 % ja sykevaihtelu väheni keskiarvallisesti 24 %. Tulokset viittaavat harjoituksen kuormituksen aiheuttamaan reaktioon kehossa, joka esiintyy autonomisen hermoston toiminnan muutoksina. Leposykkeen nousu ja sykevaihtelun samanaikainen lasku kuvaavat autonomisen hermoston toiminnan siirtymistä parasympaattisesta aktiivisuudesta sympaattisen aktiivisuuden puolelle (Hedelin ym. 2000; Jeukendrup ym. 1992; Uusitalo ym. 2000). Ortostaattisissa mittauksissa nähtiin samankaltaisia muutoksia kuin yöllisissä sykemittauksissa seurantajakson aikana. Leposyke, syke seisten ja huippusyke laskivat leirin päättymisen ja seurantajakson lopun välillä ja palasivat lähtötasolle. Samalla sykevaihtelu, joka oli laskenut leirin aikana, palasi lähtötasolle. Havainnot siis tukevat toisiaan. Baumert ym. (2006) raportoivat samankaltaisia tuloksia tutkimuksessaan harjoitusleirin vaikutuksesta sykevaihteluun. Baumert ym. (2006) tutkimuksessa tutkittavien leposyke kohosi leirin aikana, ja palautui lähtötasolle 3–4 päivän levon jälkeen. Lisääntyneen harjoittelun aiheuttamaa sympaattisen aktiivisuutta osoitti myös sykevaihtelun laskeminen samanaikaisesti. Baumert ym. (2006) tutkimuksessa sykkeiden palautuminen lähtötasolle tapahtui kuitenkin vasta leirin jälkeen. Tässä tutkimuksessa merkitsevät muutokset

sykemuuttujissa tapahtuivat jo leirin keskivaiheilla Mid-mittapisteessä, josta arvot alkoivat jo palautua lähtötasoa kohti. Tässä tutkimuksessa sykemuuttajat palautuivat lähelle lähtötasoa tai lähtötasolle viiden päivän aikana, joka on linjassa aikaisemman kirjallisuuden kanssa (Baumert ym. 2006; Meeusen ym. 2013; Pichot ym. 2000).

**RPE & Korrelaatiot.** Koetun kuormituksen arvoa kysyttiin tutkittavilta leirin alussa, keskellä ja seurantajakson jokaisena päivänä. RPE-arvossa nähtiin merkitsevä muutos alun ja keskivaiheen välillä samoin kuin ortostaattisissa sykemittauksissa. RPE:in tulokset siis muuttuivat samanaikaisesti ortostaattisen testin sykemuuttujien kanssa, kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on osoitettu (Fontes ym. 2010). Tässä tutkimuksessa RPE:n ja sykemuuttujien välillä ei voitu osoittaa tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Tutkittavat arvioivat kuormittuneisuutensa koko mittausjakson ajalta korkeimmaksi leirin keskivaiheessa, jolloin RPE:n keskiarvo oli 13,9. Post 1 -tilanteessa RPE oli 13,8 jonka jälkeen arvo laski Post 2 -tilanteessa 12,2:een ja viimeisenä päivänä mitattuun 11,4 arvoon. Tätä subjektiivista arviota tukee sykemuuttujilla mitatut arvot leirin ajalta ja seurantajaksolla. Ortostaattinen leposyke kasvoi pre – mid -mittauspisteiden välillä 16 %, sekä ortostaattinen sykevaihtelu laski 24 % samalla kun koettu kuormitus kasvoi keskiarvollisesti 36 %. Myös seurantajakson arvoja tarkastellessa nähdään, että RPE-arvot laskevat Mid-mittapisteestä viimeiseen mittapisteeseen samalla kun leposyke ja keskisyke laskevat ja sykevaihtelu lisääntyy. Samankaltaisia havaintoja nähtiin myös Herman ym. (2006) tutkimuksessa, jossa sykke ja harjoituksen RPE-muuttuivat samanaikaisesti harjoituksen intensiteetin mukaan.

RPE-kysely näyttäisi siis toimivan myös freestyle-lumilautailun harjoittelun intensiteetin ja kuormituksen seurannassa. Havaintoa tukee Estonin (2012) huomiot RPE:n käytöstä harjoittelun seurannassa. Estonin (2012) mukaan RPE ottaa huomioon niin psykologisen kuin fysiologiset muutokset kehossa ja soveltuu työkaluksi kehon homeostaasin muutosten seurannassa. RPE:n seuranta voisi siis toimia yksinkertaisena kuormituksen seurannan työkaluna harjoitusleirien yhteydessä. Havaintoa tukee myös Mellor ym. 2014 tutkimus, jossa RPE-kyselyä hyödynnettiin 10 päivän mittaisen korkeassa ilmastossa suoritettun kuormituksen aikana. Mellor ym. 2014 tutkimuksessa korkeamman RPE-arvon raportoineiden tutkittavien sykearvot olivat merkitsevästi korkeammat. RPE-kyselyä pystyttiin käyttämään kuormituksen arvioinnissa pidemmän kuormituksen aikana yhdessä muiden mitattujen muuttujien kanssa.



**Tutkimuksen rajoitteet.** Tutkimuksen suurena haasteena oli sopivien tutkittavien saaminen ja sitouttaminen tutkimukseen. Kansallisella tai kansainvälisellä tasolla kilpailevia freestyle-lumilautailijoita on Suomessa hyvin vähän ja heidän saamisensa tutkimukseen osoittautui haastavaksi. Lisäksi alkuperäisestä joukosta tapahtui merkittävää poisjääntiä jo ennen mittauksen alkua sairastumisten ja loukkaantumisten takia. Jäljellejääneistä tutkittavista jättäytyi vielä pois henkilöitä sairastumisen ja loukkaantumisen vuoksi. Sykemuuttujien osalta tutkittavat suorittivat mittaukset itsenäisesti saatujen ohjeiden perusteella, mikä osoittautui haasteelliseksi. Sykemuuttujissa oli puutteita jäljellejääneiden tutkittavien osalta, mikä entisestään supisti tutkittavien määrää. Tutkittavien määrä jäi huomattavan alhaiseksi ja samalla tutkimuksen tilastollinen vahvuus matalaksi. Tämän vuoksi tuloksia on tulkittava varoen.

Täysin optimaalisissa olosuhteissa olisi tutkittavien lähtötason mittauksia edeltänyt valvottu kevennysjakso, jotta olisi voitu varmistua tutkittavien kuormittuneisuuden tilasta. Nyt mittaukset osuivat loppukauteen, jolloin tutkittavat viettivät runsaasti aikaa lumilautailun parissa myös vapaa-ajalla. Tästä syystä ei voida tietää, miten kuormittuneita henkilöt olivat ennen mittauksia ja miten luotettavia alkumittaukset olivat. Tutkittavilla ei ollut kilpailuja edeltävänä viikonloppuna, mutta omaa lumilautailua ei kontrolloitu ennen harjoitusleirin alkua ja alkumittauksia. Lisäksi harjoitusten sisältö on saattanut vaihdella tutkittavien välillä; Osa on voinut harjoitella isoja voimia aiheuttavia hyppyjä maksimaalisella vaikeusasteella, kun osa on voinut harjoitella matalamman intensiteetin temppuja. Esimerkiksi Wang ym. (2022) mainitsivat halfpipe- ja Big Air -laskijoiden kokevan nelinkertaisen painovoiman lyhyessä ajassa isojen hyppöjen alastuloissa. Erot suoritettavien harjoitteiden laadussa voivat siis vaikuttaa kuormituksen määrään, jos tutkittava on keskittynyt isoihin hyppyihin. Runsaat hyppäykset altistaa toistuvalla korkeavoimaisella eksentrisellä lihastyöllä, joka voi aiheuttaa enemmän lihasten mikroaurioita ja lihaskipuja, kuin konsentrisen lihastyöskentely (Linnamo ym. 2000). Eroja on mahdollisesti myös harjoittelun määrässä tutkittavien välillä.

Tutkimuksen seurantajakson kesto on myös otettava huomioon rajoitteena. Mikäli harjoitusleiri oli riittävän kuormittava, on mahdollista, että sykemuuttujissa olisi nähty pidemmällä seurantajaksoilla selkeämpiä muutoksia. Kirjallisuudessa palautuminen kuormituksesta voi kestää päivistä viikkoon (Baumert ym. 2006; Meeusen ym. 2013; Pichot ym. 2000). Tutkimuksessa kuitenkin RPE ja sykemuuttujat palautuivat seurantajakson loppuun mennessä lähelle lähtötasoa.

Tutkimuksen vahvuutena on mainittava se, että tutkimusta freestyle-lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuudesta ei oikeastaan ole olemassa. Tutkimuksessa tästä näkökulmasta ja lajista on siis tarvetta. Jatkotutkimuksia suunnitellessa olisi hyvä huomioida tässä tutkimuksessa havaitut haasteet ja rajoitteet lajin tutkimisessa. Lajille tyypillinen loukkaantumisherkkyys voi mahdollisesti aiheuttaa haasteita tutkittavien poisjäämisenä tutkimuksen aikana.

**Johtopäätökset ja käytännön sovellukset.** Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lumilautailun lajiharjoitteluun keskittyvä harjoitusleiri aiheutti kuormitusta, jota pystyttiin havaitsemaan koetun kuormituksen ja sykemuuttujien mittausmenetelmillä. Suorituskykyä mittaavissa kevennyshypyssä ja maksimaalisessa isometrisessä supistuksessa ei nähty kuormituksen merkkejä ryhmätasolla. Vaikka kuormituksen merkkejä ei havaittu suorituskyvyn muuttujissa tilastollisesti on tärkeää, että lajin harjoittelu korkeita voimia tuottavien isojen hyppyjen ja vaikeiden temppujen osalta tehtäisiin mahdollisimman palautuneessa tilassa loukkaantumisriskin vuoksi (Steffen ym. 2017). Ryhmän sisällä oli tuloksissa niin sykemuuttujien kuin suorituskyvyn muuttujissa yksilöllistä vaihtelua. Valmentajien olisikin hyvä seurata kuormitusta freestyle-lumilautailussa yksilöllisesti ja ottaa huomioon mitä urheilija on pääosin tehnyt lajiharjoittelun aikana. Vaikka tilastollista korrelaatiota RPE:n ja sykemuuttujien välille ei voitu osoittaa, voi näitä tarkastellessa nähdä arvojen muuttuvan samoissa mittapisteissä. RPE:n hyödyntäminen kuormituksen seurannassa olisi non-invasiivinen, edullinen ja helposti käyttöönotettava työkalu. RPE:n lisäksi urheilurannekellolla voitaisiin arvioida harjoituksen kuormittavuutta autonomiselle hermostolle non-invasiivisesti ja kustannustehokkaasti. Maajoukkuelumilautailijat leireilevät ja kilpailevat vuoristossa ja osittain myös korkeassa ilmanalassa. Jatkotutkimuksissa olisi mielenkiintoista selvittää, miten korkealla harjoittelu vaikuttaa freestyle-lumilautailun lajiharjoittelun kuormittavuuteen.

## LÄHTEET

- Almeida-Santos, M. A., Barreto-Filho, J. A., Oliveira, J. L. M., Reis, F. P., da Cunha Oliveira, C. C., & Sousa, A. C. S. (2016). Aging, heart rate variability and patterns of autonomic regulation of the heart. *Archives of gerontology and geriatrics*, 63, 1-8.
- Armstrong LE, VanHeest JL. The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Med.* 2002;32(3):185-209. doi: 10.2165/00007256-200232030-00003. PMID: 11839081.
- Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Med* 33, 889–919 (2003). <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
- Avram, R., Tison, G.H., Aschbacher, K. et al. Real-world heart rate norms in the health eHeart study. *npj Digit. Med.* 2, 58 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0134-9>
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., & Voss, A. (2006). Changes in heart rate variability of athletes during a training camp
- Bellenger, C. R., Miller, D. J., Halson, S. L., Roach, G. D., & Sargent, C. (2021). Wrist-based photoplethysmography assessment of heart rate and heart rate variability: Validation of WHOOP. *Sensors*, 21(10), 3571.
- Bigger Jr, J. T., Fleiss, J. L., Steinman, R. C., Rolnitzky, L. M., Schneider, W. J., & Stein, P. K. (1995). RR variability in healthy, middle-aged persons compared with patients with chronic coronary heart disease or recent acute myocardial infarction. *Circulation*, 91(7), 1936-1943.
- Bompa, T. O. & Buzzichelli, C. (2015). *Periodization training for sports (Third Edition.)*. Human Kinetics.
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 54(2), 88-108. *British Journal of Sports Medicine* 2021; 55:968-974.
- Bromley SJ, Drew MK, McIntosh A, Talpey S. Rating of perceived exertion is a stable and appropriate measure of workload in judo. *J Sci Med Sport.* 2018 Oct;21(10):1008-1012. doi: 10.1016/j.jsams.2018.02.013. Epub 2018 Mar 15. PMID: 29551273.
- Carfagno, David G. DO, CAQSM1; Hendrix, Joshua C. MS-III2 Overtraining Syndrome in the Athlete, *Current Sports Medicine Reports: January/February 2014 - Volume 13 - Issue 1 - p 45-51* doi: 10.1249/JSR.0000000000000027

- Christie, A., Snook, E. M., & Kent-Braun, J. A. (2011). Systematic review and meta-analysis of skeletal muscle fatigue in old age. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(4), 568.
- Cunanan, A.J., DeWeese, B.H., Wagle, J.P. et al. The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Med* 48, 787–797 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0855-3>
- Dann, Rick A. MPhil1; Kelly, Vincent G. PhD2. Considerations for the Physical Preparation of Freestyle Snowboarding Athletes. *Strength and Conditioning Journal*: February 2022 - Volume 44 - Issue 1 - p 84-94 doi: 10.1519/SSC.0000000000000651
- Dann, Rick A. MPhil1; Kelly, Vincent PhD2. Evidence-Based Strength and Conditioning Plan for Freestyle Snowboarding Athletes. *Strength and Conditioning Journal*: October 2021 - Volume 43 - Issue 5 - p 1-11 doi: 10.1519/SSC.0000000000000619
- Dobbs, W.C., Fedewa, M.V., MacDonald, H.V. et al. The Accuracy of Acquiring Heart Rate Variability from Portable Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 49, 417–435 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01061-5>. Published 31 January 2019 issue Date 13 March 2019.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement* (4th ed.). Human Kinetics.
- Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International journal of sports physiology and performance*, 7(2), 175-182.
- Ferguson, R. A. (2010). Limitations to performance during alpine skiing. *Experimental physiology*, 95(3), 404-410.
- Fontes, E. B., Smirmaul, B. P. C., Nakamura, F. Y., Pereira, G., Okano, A. H., Altimari, L. R., ... & De Moraes, A. C. (2010). The relationship between rating of perceived exertion and muscle activity during exhaustive constant-load cycling. *International journal of sports medicine*, 31(10), 683-688
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531.
- Gathercole, R. J., Stellingwerff, T., & Sporer, B. C. (2015). Effect of acute fatigue and training adaptation on countermovement jump performance in elite snowboard cross athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 37-46.
- Goldberger, A. L. (1991). Is the normal heartbeat chaotic or homeostatic? *Physiology*, 6(2), 87-91.

- Grandou, C., Wallace, L., Impellizzeri, F. M., Allen, N. G., & Coutts, A. J. (2020). Overtraining in resistance exercise: an exploratory systematic review and methodological appraisal of the literature. *Sports Medicine*, 50(4), 815-828.
- Grossman, P., & Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological psychology*, 74(2), 263-285.
- Halson, S.L., Jeukendrup, A.E. Does Overtraining Exist? *Sports Med* 34, 967–981 (2004). <https://doi.org/10.2165/00007256-200434140-00003>
- Heart Rate Variability. (1996). Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*, 17(3), 354-381. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00021-3). <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
- Hedelin R, Wiklund U, Bjerle P, Henriksson-Larsén K. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000 Sep;32(9):1531-1533. DOI: 10.1097/00005768-200009000-00001. PMID: 10994900.
- Herman, L., Foster, C., Maher, M. A., Mikat, R. P., & Porcari, J. P. (2006). Validity and reliability of the session RPE method for monitoring exercise training intensity. *South African Journal of Sports Medicine*, 18(1), 14-17.
- Hydren, J. R., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Szivak, T. K., ... & Maresh, C. M. (2013). Performance changes during a weeklong high-altitude alpine ski-racing training camp in lowlander young athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(4), 924-937.
- Hynynen, E. S. A., Uusitalo, A., Konttinen, N., & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(2), 313.
- Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K. C., Snyder, A. C., Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *International journal of sports medicine*, 13(07), 534-541.
- Johnston, B. W., Barrett-Jolley, R., Krige, A., & Welters, I. D. (2020). Heart rate variability: Measurement and emerging use in critical care medicine. *Journal of the Intensive Care*
- Karinen, H. M., Uusitalo, A., Vähä-Ypyä, H., Kähönen, M., Peltonen, J. E., Stein, P. K., ... & Tikkanen, H. O. (2012). Heart rate variability changes at 2400 m altitude predicts acute

- mountain sickness on further ascent at 3000–4300 m altitudes. *Frontiers in physiology*, 3, 336.
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry investigation*, 15(3), 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Kinnunen, H., Rantanen, A., Kenttä, T., & Koskimäki, H. (2020). Feasible assessment of recovery and cardiovascular health: accuracy of nocturnal HR and HRV assessed via ring PPG in comparison to medical grade ECG. *Physiological measurement*, 41(4), 04NT01.
- Koenig, J., & Thayer, J. F. (2016). Sex differences in healthy human heart rate variability: a meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 64, 288-310.
- Koller, A., Fuchs, B., Leichtfried, V. & Schobersberger, W., 2015, Decrease in eccentric quadriceps and hamstring strength in recreational alpine skiers after prolonged skiing. *BMJ Open Sport Exerc Med*
- Kuusela, T. (2013). Methodological aspects of heart rate variability analysis. *Heart rate variability (HRV) signal analysis: Clinical applications*, 10–42.
- Lehmann, M. A. N. F. R. E. D., Foster, C. A. R. L., Dickhuth, H. H., & Gastmann, U. (1998). Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(7), 1140-1145. [10.1097/00005768-199807000-00019](https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00019)
- Linnamo, R Bottas, P.V Komi, Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue,
- Louis, J., Hausswirth, C., Bieuzen, F., & Brisswalter, J. (2009). Muscle strength and metabolism in master athletes. *International journal of sports medicine*, 30(10), 754-759.
- Lumilautaliitto 2021: Toimintakertomus:  
<https://www.ski.fi/lumilautaliitto/toimintakertomukset-ja-suunnitelmat/>
- Malone, S., Hughes, B., Roe, M., Collins, K., & Buchheit, M. (2017). Monitoring player fitness, fatigue status and running performance during an in-season training camp in elite Gaelic football. *Science and Medicine in Football*, 1(3), 229-236.
- McCarty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart rate variability: new perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. *Global advances in health and medicine*, 4(1), 46-61.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint

- consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1-24.
- Mellor, A. J., Woods, D. R., O'Hara, J., Howley, M., Watchorn, J., & Boos, C. (2014). Rating of perceived exertion and acute mountain sickness during a high-altitude trek. *Aviation, space, and environmental medicine*, 85(12), 1214-1216
- Müller, M. S., Vyssotski, A. L., Yamamoto, M., & Yoda, K. (2017). Heart rate variability reveals that a decrease in parasympathetic ('rest-and-digest') activity dominates autonomic stress responses in a free-living seabird. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 212, 117-126.
- Nuuttila, O. P., Korhonen, E., Laukkanen, J., & Kyröläinen, H. (2021). Validity of the wrist-worn polar vantage V2 to measure heart rate and heart rate variability at rest. *Sensors*, 22(1), 137.
- Ohtonen, O., Ruotsalainen, K., Mikkonen, P., Heikkinen, T., Hakkarainen, A., Leppävuori, A., & Linnamo, V. (2015). Online feedback system for athletes and coaches. ICSNS Congress proceedings. 3rd International Congress on Science and Nordic Skiing. *Violate*. s. 35.
- Petra Platen (2002) Overtraining and the Endocrine System—Part 1: Terminology, *European Journal of Sport Science*, 2:1, 1-7, DOI: 10.1080/17461390200072108
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., ... & Barthelemy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1729-1736.
- Platzer, H. P., Raschner, C., Patterson, C., & Lember, S. (2009). Comparison of physical characteristics and performance among elite snowboarders. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(5), 1427-1432. Published 04 September 2012
- Quintana, D. S., Elstad, M., Kaufmann, T., Brandt, C. L., Haatveit, B., Haram, M., ... & Andreassen, O. A. (2016). Resting-state high-frequency heart rate variability is related to respiratory frequency in individuals with severe mental illness but not healthy controls. *Scientific Reports*, 6(1), 1-8
- Rajendra Acharya, U., Paul Joseph, K., Kannathal, N., Lim, C. M., & Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical and biological engineering and computing*, 44(12), 1031-1051
- Rusko: Handbook of Sports Medicine and Science Cross Country Skiing. 2003  
<https://stillmed.olympics.com/media/Document%20Library/OlympicOrg/IOC/Who->

- Seifert, J., Kröll, J., & Müller, E. (2009). The relationship of heart rate and lactate to cumulative muscle fatigue during recreational alpine skiing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 698-704
- Seifert, J., Kröll, J., & Müller, E. (2009). The relationship of heart rate and lactate to cumulative muscle fatigue during recreational alpine skiing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 698-704.
- Sekiguchi, Y., Adams, W. M., Benjamin, C. L., Curtis, R. M., Giersch, G. E., & Casa, D. J. (2019). Relationships between resting heart rate, heart rate variability and sleep characteristics among female collegiate cross-country athletes. *Journal of Sleep Research*, 28(6), e12836.
- Shaffer F, McCraty R, Zerr CL. (2014) A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Front Psychol* 5:1040. doi:10.3389/fpsyg.2014.01040
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*, 258. Society, 21(2), 148-157. *Journal of Electromyography and Kinesiology*,
- Steffen K, Moseid CH, Engebretsen L, et al. Sports injuries and illnesses in the Lillehammer 2016 Youth Olympic Winter Games *British Journal of Sports Medicine* 2017;51:29-35.
- Tawakal, Iqbal & Suryana, Eka & Noviyanto, Ari & Satwika, I Putu & Alvissalim, Sakti & Hermawan, Indra & M. Isa, Sani & Jatmiko, Wisnu. (2012). Analysis of multi codebook GLVQ versus standard GLVQ in discriminating sleep stages. 2012 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACISIS 2012 - Proceedings. 197-202.
- Thomas, K., Goodall, S., Stone, M., Howatson, G., Gibson, A. S. C., & Ansley, L. (2015). Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-, 20-, and 40-km time trials. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(3), 537-546.
- Urhausen, A., Kindermann, W. Diagnosis of Overtraining. *Sports Med* 32, 95–102 (2002). <https://doi.org/10.2165/00007256-200232020-00002>
- Uusitalo 2017: <https://terveurheilija.fi/wp-content/uploads/2019/08/Urheilijan-ylikuormitustila-Uusitalo-2017-Liikunta-ja-Tiede.pdf>



- Uusitalo A. L, Uusitalo A. J & Rusko (2000) Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in female athletes. *International Journal of sports medicine* 21(01), 45-53).
- Väyrynen, T., Kyröläinen, H., Huovinen, J., & Vaara, J. (2015). Cardiac autonomic regulation and hormonal responses during a two-week military training.
- Vernillo, G., Pisoni, C., & Thiébat, G. (2018). Physiological and physical profile of Snowboarding: a preliminary review. *Frontiers in physiology*, 9, 770.
- Vesterinen 2018: Harjoittelun ja palautumisen seuranta. [https://www.lts.fi/media/liikuntatiedelehden-artikkelit/6\\_2018/lt\\_6-18\\_28-34\\_lowres.pdf](https://www.lts.fi/media/liikuntatiedelehden-artikkelit/6_2018/lt_6-18_28-34_lowres.pdf).
- Wang, Z., Zhong, Y., & Wang, S. (2022). Anthropometric, Physiological, and Physical Profile of Elite Snowboarding Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 10-1519.
- Waxenbaum JA, Reddy V, Varacallo M. Anatomy, Autonomic Nervous System. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021. PMID: 30969667.
- Williams, N. (2017). The Borg rating of perceived exertion (RPE) scale. *Occupational Medicine*, 67(5), 404-405
- Yanan Zhang, R. Glenn Weaver, Bridget Armstrong, Sarah Burkart, Shuxin Zhang & Michael W. Beets (2020) Validity of Wrist-Worn photoplethysmography devices to measure heart rate: A systematic review and meta-analysis, *Journal of Sports Sciences*, 38:17, 2021-2034, DOI: 10.1080/02640414.2020.1767348
- Zubac, D., Šimunič, B., Buoite Stella, A., & Morrison, S. A. (2020). Neuromuscular performance after rapid weight loss in Olympic-style boxers. *European Journal of Sport Science*, 20(8), 1051–1060.

LIITE 1. Tutkimuksessa käytetty Borg 20 RPE -taulukko.

Borg 20 -rpe	
RPE	
6	Lepo
7	Erittäin kevyt
8	
9	Hyvin kevyt
10	
11	Kevyt
12	
13	Hieman rasittunut
14	
15	Rasittunut
16	
17	Hyvin rasittunut
18	
19	Erittäin rasittunut
20	Maksimaalisesti rasittunut