

**KUORMITTUMISEN JA PALAUTUMISEN SEURANTAPROJEKTI TAMPEREEN
URHEILUAKATEMIAN JALKAPALLOILIJOILLA KAUDELLA 2016–2017**

Ulla Kiili

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma
Kevät 2021
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto

ABSTRACT

Ulla Kiili (2021). Monitoring stress and recovery for the football group of boys at the Sports Academy of Tampere during the season 2016–2017. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's Thesis in exercise physiology, 54 p.

The purpose of the study was to determine which variables might react most to the monitoring of stress and recovery from the test pattern that was created at the Varala Sports Institute and whether the variables have any correlation. The test group of the study was the football group of boys at the Sports Academy of Tampere (born between 2000 and 2001). All the tested players were part of the Ilves B-boys team. The test pattern consisted of three parts: a quick recovery test, a submaximal running test and a 30-metre speed test. The variables that were measured in the five-minute Firstbeat quick recovery test were the resting heart rate (HR), the standard deviation of heart rate variability (SDNN), the square deviation of heart rate variability from the average of squares of consecutive R-R intervals (RMSSD), high (HF) and low frequency (LF) heart rate variability and their ratio (LF/HF). The submaximal running test used the YoYo Endurance Test Level 1 Bangsbo version, which was completed at the end of the seventh level (7:25). The heart rate variables that were monitored during the test were the average heart rate (HR Avg) from time 2:25 to 07:25 and the maximum heart rate (HR Max). In addition, at the end of the test, the recovery of the heart rate from the one-minute recovery period was monitored. An absolute recovery heart rate (HR Pal) was documented. The heart rate between the maximum heart rate and the recovery heart rate was calculated (HR erotus). The percent of recovery heart rate (palautus %) was calculated from the recovery period. In addition to the total time, intervals of 5 and 10 meters were taken from the 30-metre speed test. Totally six measurements were performed in the study, but in the end two of these were only used in the analysis of this thesis due to the fragmentation of the participation of the test set.

Statistically significant changes between the measurements were observed only in the mean heart rate (-4.7 strokes, $p \leq 0.01$) and the final times of the 30-metre speed test (-0.09, $p \leq 0.0$). In the quick recovery test, the resting heart rate increased slightly (+1.9) and all other variables decreased (RR RMSSD: -3.6 ms; RR SD: -7.4 ms; HF Ka: -342.2 ms²; LF Ka: -1496.7 ms² and LF/HF: -4.0), but the changes were not statistically significant. Changes were also observed some other parameters (HR Max: -3,0 bpm; HR Pal: -6,6 bpm; HR difference: +3,5 bpm and recovery %: +2,4 %), but these were not statistically significant. The intervals between 5 and 10 m in the 30 m running test also improved (5 m: -0.014 s and 10 m: -0.022 s), but these were not statistically significant changes either. The present study showed that the observed changes during the follow up period were most clear in the mean heart rate of the submaximal running test and in the time of the 30 m speed test.

Keywords: monitoring of stress, heart rate variability, heart rate variables, submaximal running test, speed test

KÄYTETYT LYHENTEET

FOR = functional overreaching (funktionaalinen ylikuormitusjakso)

N-FOR = non-functional overreaching (ei-funktionaalinen ylikuormitusjakso)

OTS = over training syndrome (ylirasitustila)

HRV = sykevälivaihtelu

SDNN = sykevälivaihtelun keskihajonta

RMSSD = neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta.

HF = high frequency (korkea taajuuden sykevälivaihtelu)

LF=low frequency (matala taajuuden sykevälivaihtelu)

VLf=very low frequency (erittäin matalan taajuuden sykevälivaihtelu)

VO2 max = maksimaalinen hapenottokyky

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 KUORMITTUMINEN JA YLIRASITUSTILA	3
2.1 Sympaattinen- ja parasympaattinen yllirasitustila	4
2.2 Funktionaalinen- ja ei-funktionaalinen ylikuormitusjakso sekä yllirasitustila.....	6
3 AUTONOMINEN SÄÄTELY	8
3.1 Sympaattinen- ja parasympaattinen säätely.....	8
3.2 Baroreseptorit	9
4 SYKEMUUTTUUJAT.....	10
4.1 Leposyke.....	10
4.2 Syke muuttujana kuormituksessa	11
4.3 Sykkeen palautuminen kuormituksesta	15
4.4 Sykevälivaihtelu	16
4.4.1 Sykevälivaihtelun analysointimenetelmät	17
4.4.2 Aikakenttämenetelmät	17
4.4.3 Taajuuskenttämenetelmät	17
4.4.4 Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät.....	18
4.5 Sykevälivaihtelu kuormituksessa	20
4.6 Sykevälivaihtelu kuormituksen jälkeen.....	20
5 KUORMITUKSEN SEURANTA JALKAPALLOSSA.....	24
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	27
7 TUTKIMUSMENETELMÄT	29

7.1	Koehenkilöt	29
7.2	Tutkimusprotokolla	30
7.2.1	Pikapalautumistesti.....	30
7.2.2	Syke submaksimaalisessa vakiokuormituksessa ja siitä palautumisesta.....	31
7.2.3	30 metrin nopeustesti.....	32
7.3	Tilastolliset analyysit.....	32
8	TULOKSET	33
8.1	Pikapalautumistesti.....	33
8.2	Submaksimaalinen juoksutesti	37
8.3	Nopeustesti	39
8.4	Muuttujien keskinäinen korrelaatio	41
9	POHDINTA.....	44
9.1	Tutkimuksen rajoitteet.....	47
9.2	Johtopäätökset	48

1 JOHDANTO

Kuormittumisen seurantaan on jo pitkään kohdistunut paljon mielenkiintoa, koska optimaalinen kuormittuminen, erityisesti urheilussa, on hyvin oleellista kehittymisen kannalta. Liiallinen kuormittuminen saattaa johtaa ylirasitustilaan tai loukkaantumisiin, kun taas liian kevyellä harjoittelulla ei saavuteta riittävää harjoitusärsykettä.

Leposykettä on käytetty vakiintuneesti, erityisesti kestävyysurheilijoiden keskuudessa, rasiustilan seurantaan. Muuttujana se on kuitenkin melko herkkä esimerkiksi ulkoisille häiriötekijöille ja muutokset saattavat olla pieniä muutenkin, jolloin ne saattavat sekoittaa mahdollisiin häiriötekijöihin. Sykemuuttujia on käytetty kuormittumisen seurannassa myös vakioituissa submaksimaalisissa testeissä. Näissä alhaisempaa sykettä on pidetty parantuneen kestävyyskunnan yhtenä mittarina (Andrew ym. 1966). Tämän on arveltu pääsääntöisesti johtuvan kasvaneesta iskutilavuudesta (Bellenger ym. 2016). Tutkimustulosten pohjalta on päätelty submaksimaalisen testin toimivan hyvänä seurantametodina maksimaalisen kestävyyskunnan ennustajana. Toisaalta taas esimerkiksi Le Meur ym. (2013) ovat tutkimuksessaan löytäneet yhteyden alentuneeseen sykkeeseen sekä kuormituksessa monella eri intensiteetillä että lepotilassa lyhytaikaisessa kuormituksessa suorituskyvyn ollessa heikentynyt.

Nopeaa sykkeen laskua kuormituksen jälkeen pidetään yleisesti positiivisena merkinä, mutta ylikuormitustilassa olevilla urheilijoilla on saatu myös vastakkaisia tuloksia. Vaikka osassa tutkimuksissa ylikuormitustilassa oletettavasti olevilla henkilöillä sykkeen palautuminen heikkeni, niin osalla sykkeen palautuminen nopeutui ja laski normaalia alemmaksi palautumismittauksen aikana. Le Meur ym. (2013) esittivät tutkimuksissaan, että HRR (heart rate recovery) lasku voi olla merkki ylikuormitustilasta, mutta myös parantuneesta kestävyyskunnosta.

Näiden sykemuuttujien lisäksi sykevälivaihtelu on herättänyt suurta kiinnostusta viimeisinä vuosina kuormittumisen seurannassa. Sykevälivaihteludatan saamiseksi käyttökelpoiseen muotoon on kehitetty erilaisia matemaattisia analysointimenetelmiä. Nämä jaetaan yleisimmin aikakenttä- ja taajuuskenttämenetelmiin. Nimensä mukaisesti aikakenttämenetelmässä dataa tutkitaan ajan funktiona ja taajuuskenttämenetelmä pohjautuu datan muuttamisen taajuusalueisiin.

Sykevälivaihtelu on hyvin yksilöllinen ominaisuus ja vertailu onkin aina tehtävä vain omiin mitattuihin arvoihin (Task Force, 1996). Tähän yksilölliseen arvoon vaikuttavat fyysisen rasituksen lisäksi esimerkiksi sukupuoli, ikä, stressi ja vuorokauden aika (Guyton & Hall 1998, 117).

Erilaisia voimantuotto- ja nopeustestejä, kuten kevennyshyppyjä ja 20–40 metrin juoksutestejä on käytetty paljon kuormittumisen seurannan patteristossa. Hoffman ym. (2000) seurasi koripalloilijoiden kuormittumista ja totesi 27 metrin juoksutestin heijastavan herkimmin väsymyksen oireita johtuen harjoitusmäärän ja intensiteetin kasvusta.

Mittaukset tehtiin osana Varalan Urheiluopiston ja Tampereen Urheiluakatemiaan yhteistyöprojektia. Tutkimuksen testijoukkona toimi urheiluakatemiaan vuonna 2000–2001 syntyneiden poikien jalkapalloryhmä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia, mitkä muuttuja reagoivat mahdolliseen kuormittumiseen tai palautumiseen. Lisäksi muuttujien välisistä yhteyksistä oltiin kiinnostuneita.

2 KUORMITTUMINEN JA YLIRASITUSTILA

Ylirasitustila määritetään yleensä epätasapainotilana kuormittumisen ja palautumisen välillä. Harjoitusärsyke aiheuttaa heilahduksen elimistön homeostaasissa, jota elimistö pyrkii korjaamaan palautumisvaiheessa. Riittävä ärsyke on välttämätön harjoitusvaikutusten saamiseksi, mutta palautumisen ollessa riittämätöntä seuraa ylikuormittuminen, ylirasitustila tai ylikunto riippuen riittämättömän palautumisen kestosta. Näitä termejä käytetään suomen kielessä usein melko vapaasti, vaikka ne eivät ole varsinaisesti synonyymejä keskenään. Ylikuormittuminen ja ylirasitustila viittaavat enemmän lyhytkestoiseen jaksoon ja ylikunnolla puolestaan viitataan pitkäaikaiseen kuormitustilaan. (Uusitalo 2001; Hynynen ym. 2006). Ajallisesti lyhyen aikavälin ylikuormitustilasta palautumiseen on arvioitu menevän noin yhdestä kahteen viikkoa. (Kuipers & Keizer 1988). Vaikka usein kuormitustilan taustalla on fyysisiä syitä, on ylirasitustilan synnyn todettu usein olevan monen stressitekijän summa (Richards 1999). Näihin stressitekijöihin reagoiminen on hyvin yksilöllistä ja toiset kestävät stressitekijöitä enemmän kuin toiset. Myös kaikki palautumista heikentävät tekijät, kuten riittämätön ravinto ja uni, lisäävät riskiä ylikuormitustilan syntyyn. (Uusitalo 2001). Alla on listattuna ylikuormitukseen altistavia tekijöitä. (Israel 1976)

- Infektiot
- Tartuntataudit
- Harjoittelu toipilaana
- Ravintoaineiden puute
- Nautintoaineet
- Univajaus
- Häiriöt biorytmeissä
- Ulkoiset ärsykkeet (esim. melu)
- Ilmasto
- Menestymispaineet
- Työ-, perhe-, rahahuolet
- Yksitoikkoinen harjoittelu
- Luottamuksen puute valmentajaan ja harjoitusohjelmaan
- Kyllästymisen vastoinkäymisiin urheilijana
- Harjoitushaluttomuus

2.1 Sympaattinen- ja parasympaattinen yllirasitustila

Yllirasitustila voidaan jakaa myös sympaattiseen- ja parasympaattiseen rasiitustilaan (Israel 1976). Yleisesti fyysinen harjoittelu sopivassa suhteessa lisää parasympaattisen hermoston toimintaa suhteutettuna sympaattiseen hermostoon. Jos elimistö ei kuitenkaan pääse palautumaan riittävästi ja elimistöön kertyy kuormitusta harjoittelusta ja muista tekijöistä, kääntyy yleensä sympaattinen hermosto aktiivisemmaksi. Tällöin elimistö on eräänlaisessa yliaktiivisessa tilassa. Tätä voidaan pitää usein ylikuormitustilan alkuvaiheena, mutta on myös havaittu, että kaikilla ei esiinny tällaista vaihetta lainkaan. Näissä tapauksissa ajaudutaan ns. parasympaattiseen kuormitustilaan suoraan. Tässä tilassa parasympaattisen hermoston aktiivisuus on hyvin vähäistä, kuten myös sympaattisen hermoston toiminta. (Uusitalo 2000)

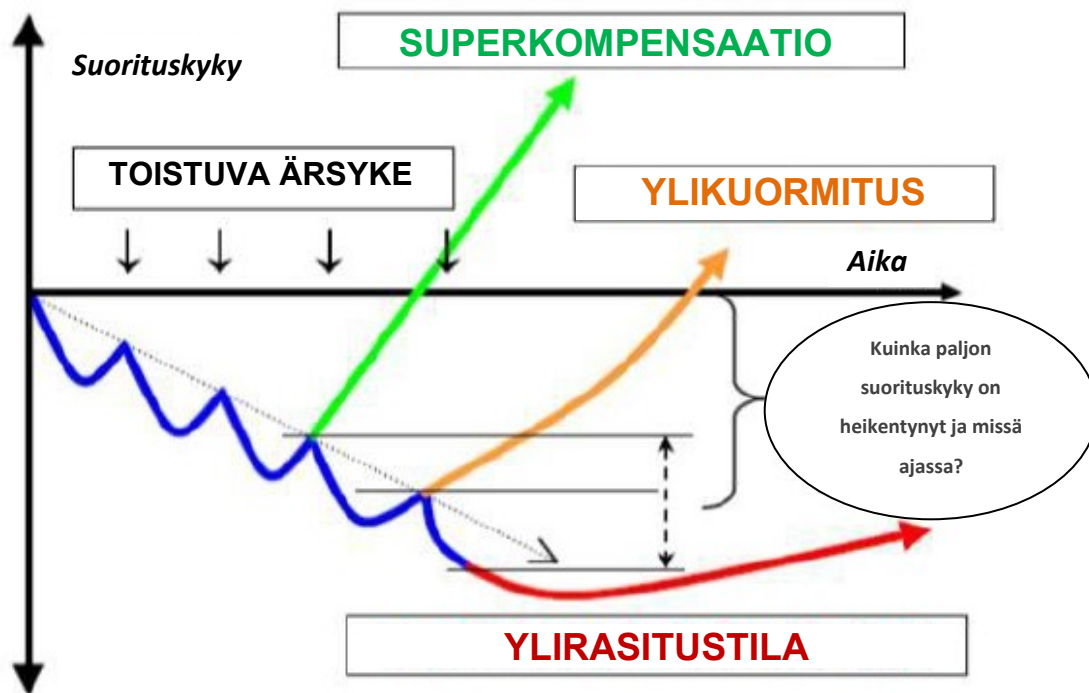
Parasympaattinen rasiitustila on näistä vaikeammin havaittavissa, vaikkakin se on yleisempi verrattuna sympaattiseen yllirasitustilaan. Parasympaattista rasiitustilaa tavataan useammin kestävyysurheilijoilla, kun taas sympaattista rasiitustilaa voima- ja nopeuslajien harrastajilla. (Lehmann ym. 1993). Hankala diagnostiikka parasympaattisen rasiitustilan kohdalla todennäköisesti johtuukin rasiitustilan oireiden sekoittamisesta normaalin kestävyysharjoittelun vaikutuksiin (Israel 1976). Parasympaattinen tila on liitetty usein pidempiaikaiseen rasiitustilaan, jossa neuroendokriininen systeemi on uupunut (Kuipers & Kreizer 1988). Taulukkoon 1 on koottu sympaattisen ja parasympaattisen yllirasitustilan oireita.

TAULUKKO 1. Sympaattisen- ja parasympaattisen ylirasitustilan oireita. (Israel 1986)

	Sympaattisen hermoston ylirasitustilan oireet	Parasympaattisen hermoston ylirasitustilan oireet
Yleinen ryhmä	Voima- ja nopeuslajien urheilijat	Kestävyysurheilijat
Vireystila	Rauhattomuus	Flekmaattisuus/ masentuneisuus
Uni	Unihäiriöitä	Nukahtaa helposti
Leposyke	Kohonnut	Matala
Syke rasituksessa	Hidas palautuminen	Nopea palautuminen lähtötasolle
Verenpaine	Kohonnut, hidas palautuminen	Normaali
Laktaattitasot	Alentunut maksimitaso	Alentunut
Suorituskyky	Heikentynyt suorituskyky	Heikentynyt suorituskyky
Mieliala	Ärtysä	Rauhallinen/Normaali
Paino	Laihtuminen	Ei muutoksia ruumiinpainossa
Lämmönsäätely	Helposti hikoileva	Normaali lämmönsäätely
Ruokahalu	Ruokahaluttomuus	Normaali ruokahalu
Hengitys	Tavallista jyrkempi hengityksen lisääntyminen kuormituksessa	Normaali hengitys
Reaktioaika	Lyhentynyt reaktioaika	Normaali reaktioaika
Koordinaatio	Liikkeet huonosti koordinoituja	Liikkeet kulmikkaita ja huonosti koordinoituja varsinkin kovassa kuormituksessa
Muita oireita	Käsien vapinaa Päänsärkyä Yöhikoilu, kosteat kädet Vilkastunut perusaineenvaihdunta	

2.2 Funktionaalinen- ja ei-funktionaalinen ylikuormitusjakso sekä ylirasitustila

Eri ylikuormittumisen asteita on määritetty myös muilla tavoilla. Näistä yksi on jako funktionaaliseen- (FOR=functional overreaching) ja ei-funktionaaliseen ylikuormitusjaksoon (N-FOR=non-functional overreaching) sekä ylirasitustilaan (OTS=over training syndrome). Merkittävimpana erottelevana tekijänä näissä on suorituskyvyn palautumiseen vaadittava aika. Funktionaalinen ylirasitusjakso on itse asiassa hyvin normaalia harjoittelussa ja usein jopa tietoisesti haettua. Tästä tilasta palautumiseen määritelty ajanjakso on muutamasta päivästä pariin viikkoon. (Meeusen ym. 2012; Uusitalo 2001). Ei-funktionaalisen ylikuormitusjakson palautumisarvioissa puhutaan usein puolestaan kuukausista ja pahan OTS-tilan palautumiseen voi mennä jopa vuosia. On myös viitteitä siitä, että tällainen kuormitustila saattaa aiheuttaa palautumattomia soluvaurioita sydän- ja luurankolihasissa estäen suorituskyvyn täydellisen palautumisen entiselleen. (Uusitalo 2000; Lehmann ym. 1993). Funktionaalisen ylikuormittumistilan palaututtua on mahdollista, että suorituskyky nousee lähtötasoa paremmaksi eli saadaan aikaan superkompensaatio, mutta pidempiaikaisen ylikuormittumisen seurauksena sitä ei tapahdu (Kuva 1). Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto erilaisten ylirasitustilojen vaikutuksista palautumisaikaan ja suorituskykyyn.



KUVA 1. Kuormitusjakson pituuden vaikutus palautumiseen. (Terveurheilijaseminaari 2013)

TAULUKKO 2. Eri kuormitustilojen vaikutukset suorituskykyyn ja palautumiseen. (Terveurheilijaseminaari 2013)

	Harjoittelu (ylikuormitus)	Tehostettu harjoittelu	Tehostettu harjoittelu jatkuu	Tehostettu harjoittelu jatkuu
Tulos	Akuutti väsyminen	Funktionaalinen yllirasitusjakso (esim. harjoitusleiri)	Ei-funktionaalinen yllirasitusjakso	Yllirasitustila
Palautuminen	Päiviä	Päiviä-viikkoja	Viikkoja-kuukausia	Kuukausia-vuosia
Suorituskyky	Parantunut	Hetkellinen lasku -> superkompensaatio -> suorituskyvyn nousu	Kehitys pysähtynyt/heikentynyt	Heikentynyt

3 AUTONOMINEN SÄÄTELY

Autonominen hermosto säätelee sydämen toimintaa, vaikkakin sydän kykenee toimimaan myös ilman hermoston impulsseja ja luomaan aktiopotentialin itsenäisesti (Silverthorn 1998). Ilman autonomisen hermoston säätelyä syke on levossa noin 100–120 lyöntiä minuutissa. Autonominen säätely jakaantuu kahteen osaan; sympaattiseen ja parasympaattiseen osaan, jolla kummallakin on oma vaikutuksensa ja tehtävänsä. Pääsääntöisesti vaikutukset ovat vastakkaisia. (McCarty & Watkins, 1996). Myös hormoneilla on todettu olevan vaikutusta suorasti tai epäsuorasti sydämen toimintaan. Lyöntitiheyttä ja supistusvoimakkuutta lisäävät katekoliamiinit, kilpirauhashormonit ja glukagoni. (Brownley ym. 2000)

3.1 Sympaattinen- ja parasympaattinen säätely

Parasympaattisia hermopäätteitä on pääasiassa sinussolmukkeessa ja eteiskammiosolmukkeessa ja vähäisesti myös sydämen eteisessä ja kammiossa. Sympaattisia hermopäätteitä sen sijaan sijaitsee kaikkialla sydämen alueella ja paljon erityisesti kammioissa. Näistä tekijöistä voidaankin jo päätellä, että parasympaattinen hermosto ei vaikuta juurikaan sydämen kammioden supistusvoimaan vaan sympaattinen hermotus on tässä merkittävässä roolissa (Hainsworth 1998, Mcardle 2007 s. 328–330). Sympaattinen hermosto reagoi nopeasti sekä fyysisiin että psyykkisiin ärsykkeisiin ja toimii sykettä nostavasti. Nämä reaktiot johtuvat katekoliamiinien, adrenaliinin ja noradrenaliinin vapautumisesta, jotka kiihdyttävät sinussolmukkeen depolarisaatiota ja sitä kautta sydämen sykettä. (Mcardle 2007, 328)

Parasympaattinen hermosto puolestaan laskee sydämen sykettä, lepotilassa yleensä noin 60–80 lyöntiin minuutissa (Hainsworth 1998). Sydämen sykkeen aleneminen perustuu asetyylikoliinin erittymiseen hermojen stimuloinnin seurauksena. Tämä puolestaan aiheuttaa tahdistinsolujen hyperpolarisaatiota ja hidastaa myös niiden depolarisaatiota. (Hainsworth 1998). Lepotilassa ja matalalla syketasolla (<100 lyöntiä/min) liikuttaessa parasympaattinen säätely on merkittävämmässä roolissa (Porges & Byrne 1992).

3.2 Baroreseptorit

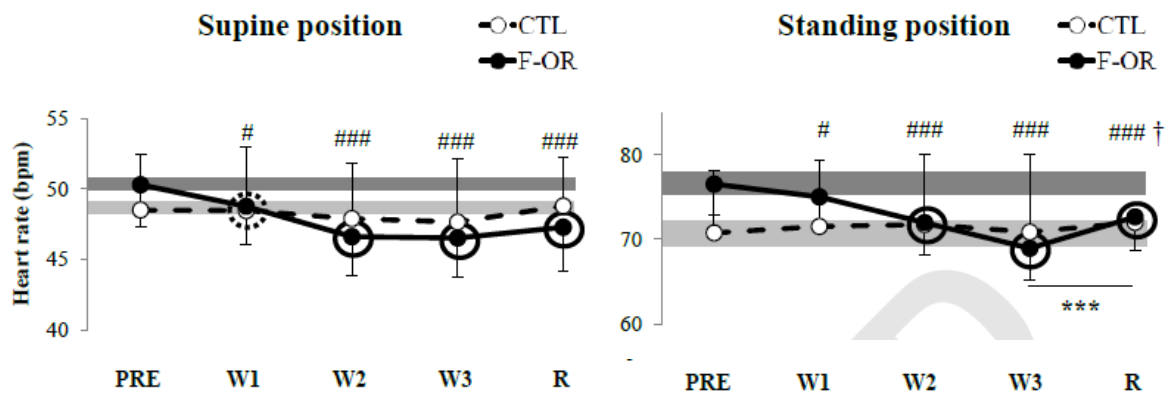
Sydämen ja verenkierron toimintaa säätelevät myös baroreseptorit, joiden pääasiallinen tehtävä on kontrolloida verenpainetta, sydämen iskutilavuutta ja nopeita sykemuutoksia (Uusitalo 2000). Nämä baroreseptorit sijaitsevat kahdessa eri paikassa; karotispoukamassa ja aortan kaaressa. Ilman merkittäviä muutoksia baroreseptorit eivät ole kovin aktiivisia, mutta reagoivat verenpaineen noustessa. Tämä reagointi johtuu oikeastaan verisuonten venymisestä ja joskus baroreseptoreita kutsutaan myös venytysreseptoreiksi (Medical physiology). Venymisen seurauksena aivorunko saa signaalin ja tämän mekanismin kautta sympaattisten impulssien pääsy sydämeen ja verisuoniin estyy ja verenpaine palaa normaalille tasolle. Reaktio toimii myös toiseen suuntaan eli verenpaineen laskiessa sympaattinen hermosto aktivoituu ja parasympaattinen hermosto inhiboituu.

4 SYKEMUUTTUJAT

Sykemuuttujia on jo pitkään käytetty harjoituskuormituksen seurannassa erityisesti kestävyysurheilussa. Näistä käytetyin on ollut leposykkeen mittaus, mutta myös harjoituksen aikaisia sykkeitä ja sykkeen palautumista on käytetty rasiustilan tai harjoitusadaptaation mittarina. Niin sanottujen perinteisten sykemuuttujien rinnalle on tullut sykevälivaihteluun perustuvat mittaukset, jotka ovat tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena.

4.1 Leposyke

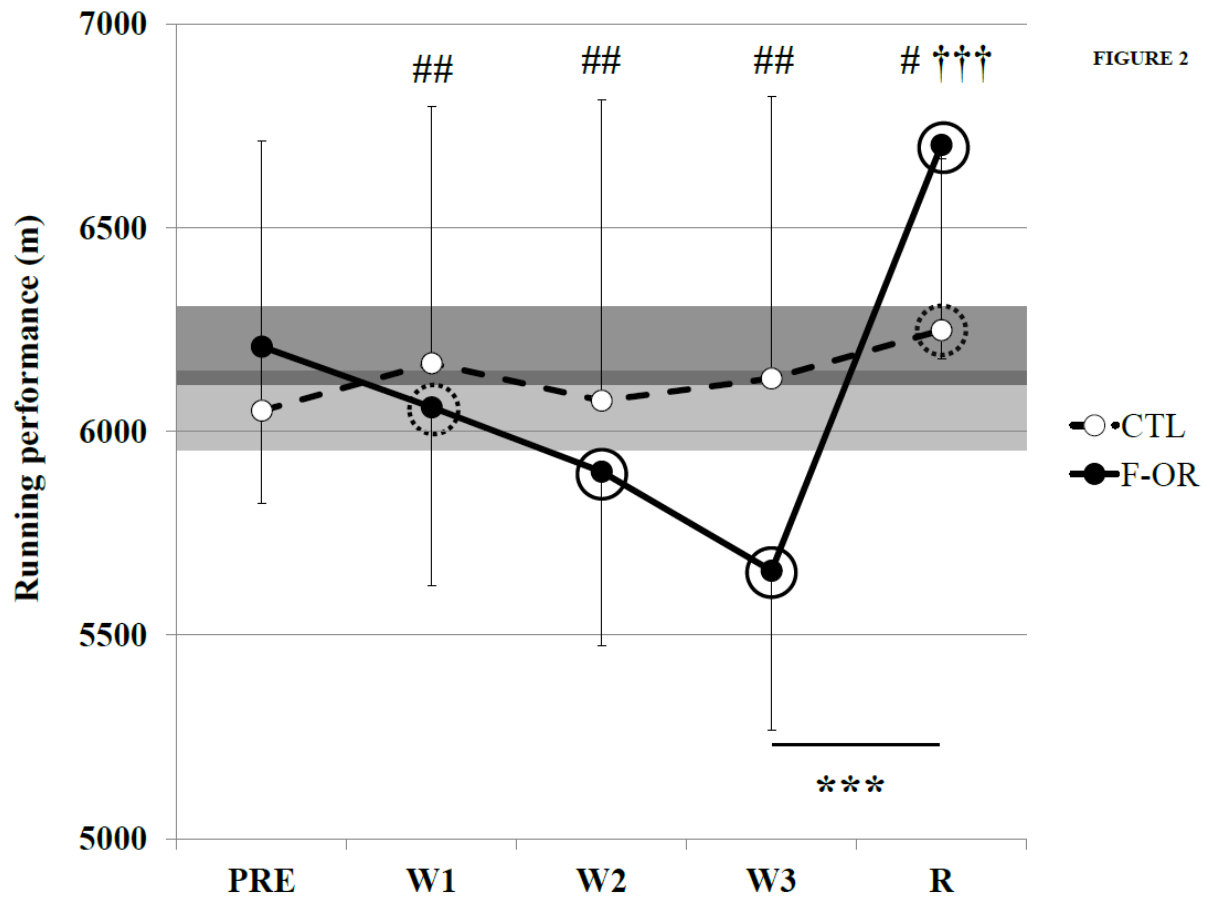
Kuten jo aikaisemmin todettiin, leposyke on normaalilla ihmisellä noin 60–80 lyöntiä minuutissa istuma-asennossa mitattuna (Brownley ym. 2000). Leposykettä on käytetty pitkään, erityisesti kestävyysurheilijoiden keskuudessa, rasiustilan seurantaan. Leposykkeen reagoiminen ylikuormitukseen ei ole tutkimusten mukaan täysin yksiselitteisesti tulkittavissa, sillä ylikuormitustilassa leposyke voi reagoida joko nousemalla tai laskemalla. Sympaattisen hermoston reagointi ylikuormitukseen heijastuu leposykkeen nousuna. Toisaalta taas tiettyjen tutkimusten mukaan parasympaattinen hermosto saattaisi olla hallitsevampi ylikuormitustilassa, mikä taas puolestaan heijastuisi leposykkeen laskuna (kuva 2). (Le Meur ym. 2013, Willmore, s. 383). Leposykettä on kuitenkin käytetty yleisesti lyhytaikaisen rasiustilan seuraamiseen ja sen on havaittu nousevan rasiustilan kasvaessa ja taas laskevan kuormitustilan vähentyessä (Rusko 1994). Pitkäaikaisessa ja pitkälle edenneessä rasiustilassa leposykettä ei puolestaan ole pidetty niin hyödyllisenä muuttujana. Leposyke on muuttuja melko häiriöherkkä, joten vaihtelevat mittausolosuhteet lisäävät epäluotettavuutta. Siihen vaikuttavat ulkopuoliset häiriötekijät, kuten esimerkiksi melu. (Uusitalo-Koskinen 1998). Mittauksen haasteena onkin erottaa häiriötekijöiden vaikutuksesta johtuvat muutokset ns. aidoista muutoksista, koska muutokset leposykkeessä ovat yleensäkin hyvin vähäisiä. Vakioiduissa olosuhteissa sitä voidaan kuitenkin pitää helppoutensa vuoksi yhtenä käyttökelpoisena mittarina muiden muuttujien kanssa.



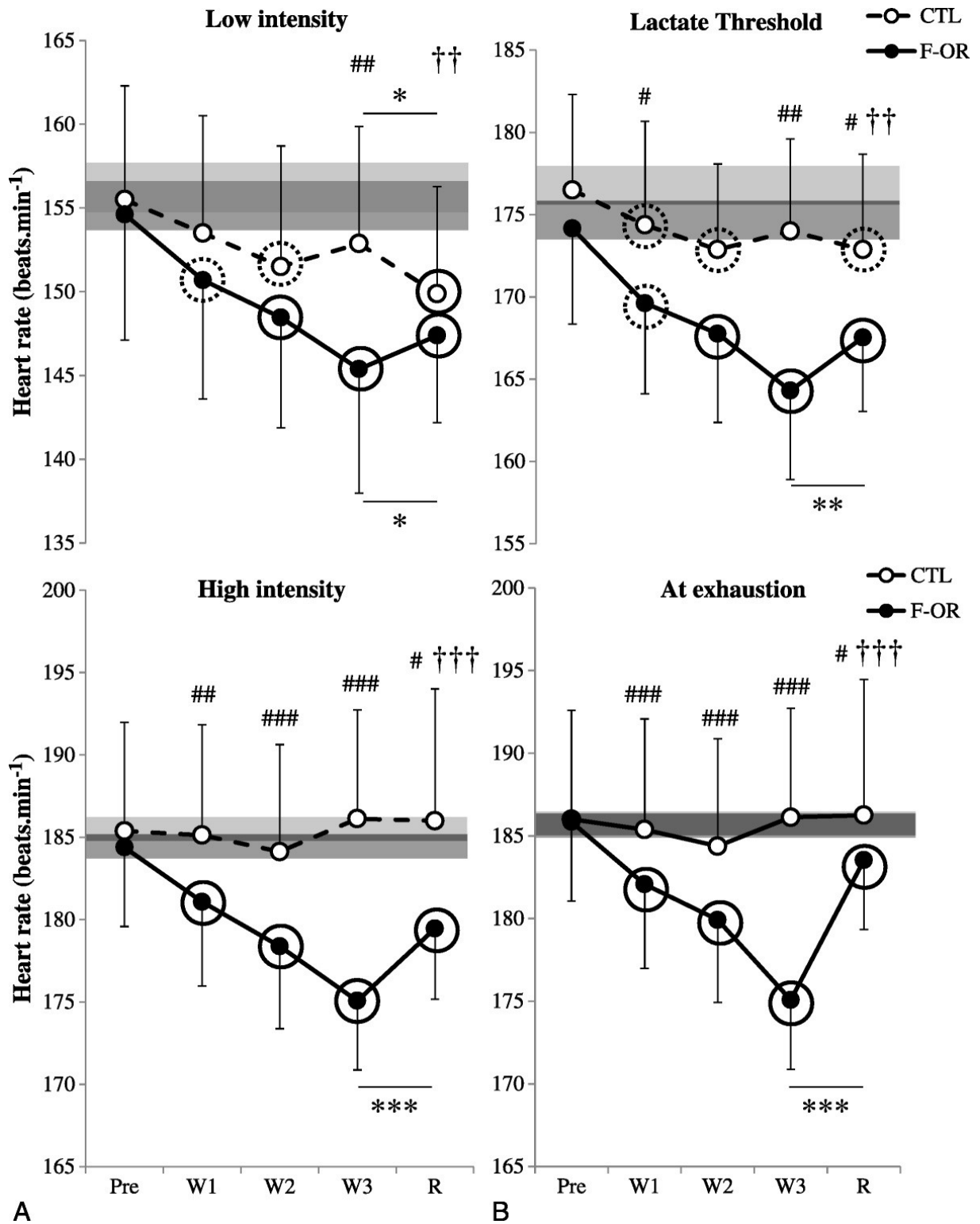
KUVA 2. Leposykkeen muutokset kontrolliryhmällä (CTL) ja ylikuormitusryhmällä (F-OR) (Le Meur ym. 2013).

4.2 Syke muuttujana kuormituksessa

Vakioidussa submaksimaalisessa kuormituksessa alhaisempaa sykettä pidetään parantuneen kestävyyskunnan yhtenä mittarina (Andrew ym. 1966), sillä alhaisempi submaksimaalinen syke vakiokuormituksessa on useissa tutkimuksissa osoittanut vahvaa korrelaatiota korkean intensiteetin kestävyysuorituksen tai maksimaaliseen kestävyysuorituksen. (Lamberts ym. 2010; Buchheit ym. 2012; Buchheit ym. 2013; Vesterinen ym. 2014). Tämän on arveltu pääsääntöisesti johtuvan kasvaneesta iskutilavuudesta (Bellenger ym. 2016). Tutkimustulosten pohjalta on päätelty submaksimaalisen testin toimivan hyvänä seurantametodina maksimaalisen kestävyyskunnan ennustajana. Toisaalta taas esimerkiksi Le Meur ym. (2013) ovat tutkimuksessaan löytäneet yhteyden alentuneeseen sykkeeseen sekä kuormituksessa monella eri intensiteetillä että lepotilassa lyhytaikaisessa kuormituksessa suorituskyvyn ollessa heikentynyt. Kuvassa 3 voidaan nähdä suorituskyvyn heikkeneminen, jota on mitattu juoksutestillä ja kuvassa 4 sykkeen systemaattinen aleneminen eri intensiteettitasoilla. Tutkimuksessa tämän todettiin viittaavan parasympaattisen hermoston yliaktiivisuuteen. (Le Meur ym. 2013). Kevyen viikon jälkeen suorituskyky oli parantunut lähtötasoa korkeammalle syketasojen jäädessä kuitenkin lähtötasoa alhaisimmiksi.

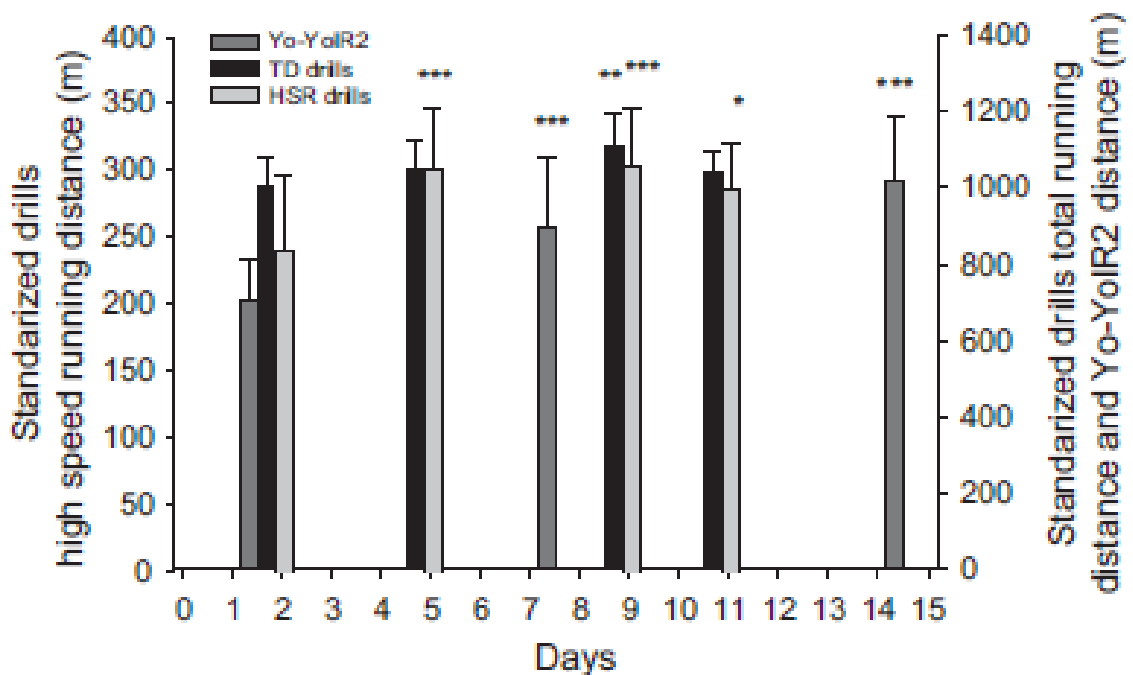


KUVA 3. Kuormituksen vaikutus suorituskykyyn kontrolliryhmällä (CTL) ja ylikuormitusryhmällä (F-OR). Ylikuormitusryhmällä voidaan nähdä suorituskyvyn laskua kovien harjoitusviikkojen seurauksena ja taas parannusta kevyen viikon jälkeen (Le Meur ym. 2013).

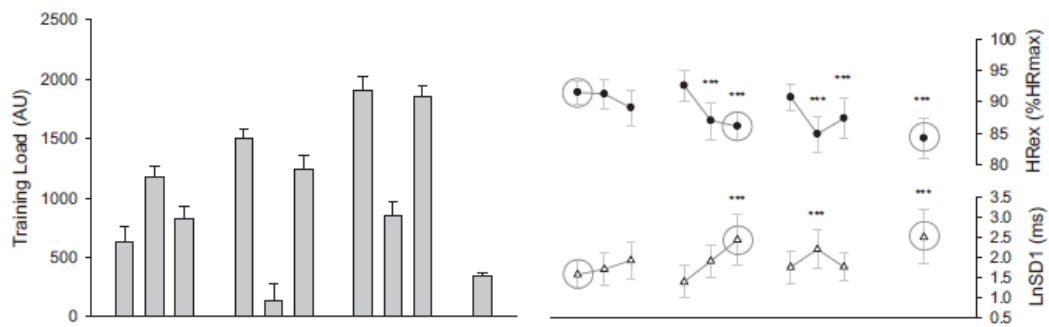


KUVA 4. Sykkeen muutokset eri intensiteeteillä tutkimusjaksolla (Le Meur ym. 2013).

Buscheit ym. (2013) tutkivat myös sykereaktioita jalkapalloilijoilla kahden viikon leirijaksolla, jossa harjoittelua oli normaalia enemmän. Määrän ja tehon oletettiin olevan sellainen, jossa ilmenisi kuormitusoireita. Suorituskykyä mitattiin juokсутestillä (Yo-YoIR2), joka suoritettiin kolme kertaa leirin aikana (kuva 5). Tässä havaittiin keskimääräisesti parannusta jokaisella kerralla. Joka aamu suoritettavassa submaksimaalisessa juokсутestissä kerättiin syketietoja, joissa havaittiin myös muutoksia (kuva 6). Systemaattisesti aina kovan harjoituspäivän jälkeisessä testissä todettiin sykkeiden laskua testin aikana (HRex). Koska näin lyhyellä aikavälillä ei uskottu harjoitusvaikutuksen vielä näkyvän, liitettiin alentunut syke plasman laajenemiseen harjoittelun ja kuumuuden seurauksena. Tästä johtopäätöksenä todettiin, että submaksimaalisen sykkeen käyttö hyvin lyhyen aikavälin seurannassa ei ole välttämättä toimiva. (Buchheit ym. 2013)



KUVA 5. Yo-YoIR2 testin tulokset leirin aikana (Buscheit ym. 2013).



KUVA 6. Leirin arvioitu harjoituskuormitus ja sykkeen reagointi submaksimaaliseen testiin. (Busccheit ym. 2013)

4.3 Sykkeen palautuminen kuormituksesta

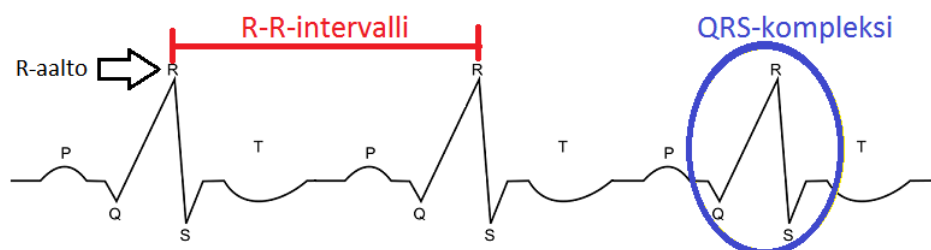
Sykkeen palautumisnopeuden kasvua pidetään parantuneen kestävyyskunnan merkinä ja tämän uskotaan kertovan mahdollisesti myös paremmasta harjoitusadaptaatiosta (Andrew ym. 1966; Hagberg 1980). Se mistä sykkeen nopeampi palautuminen johtuu, on kuitenkin hieman kyseenalaista. Esimerkiksi Buchheit ym. (2012) esittivät, että sykkeen lasku heijastaa submaksimaalisen rasituksen jälkeen parasympaattisen hermoston tilaa. Puolestaan esimerkiksi Kannankeril ym. (2004) ovat ehdottaneet sympaattisen hermoston olevan olennaisessa roolissa sykkeen palautumisessa välittömästi submaksimaalisen rasituksen jälkeen. Sykkeen palautumiseen kuormituksen jälkeen vaikuttaa moni tekijä, kuten kestävyysharjoittelun määrä, kuumuus ja korkeus. Joidenkin ihmisten sympaattinen hermosto reagoi myös voimakkaammin kuormitukseen, mikä pidentää sykkeen palautumisaikaa. (Willmore, s.281–282).

Vaikka nopeampaa sykkeen laskua kuormituksen jälkeen pidetään yleisesti positiivisena merkinä, on ylikuormitustilassa olevilla urheilijoilla saatu myös vastakkaisia tuloksia. Vaikka osassa tutkimuksissa ylikuormitustilassa oletettavasti olevilla henkilöillä sykkeen palautuminen heikkeni, niin osalla sykkeen palautuminen nopeutui ja laski normaalia alemmaksi palautumismittauksen aikana. Le Meur ym. (2013) esittivät tutkimuksissaan, että

HRR (heart rate recovery) lasku voi olla merkki ylikuormitustilasta, mutta myös parantuneesta kestävyyskunnosta. Sykkeen välittömän palautumisen vaiheen uskotaan kuvaavan parasympaattisen hermoston toimintaa ja myöhemmän vaiheen palautumisen sympaattisen hermoston toimintaa sekä hormonaalista toimintaa. Syitä sykkeen nopeaan palautumiseen ylikuormitustilassa on selitetty vähentyneellä keskushermostoperäisellä ohjauksella ja vähentyneellä kemorefleksien aktiivisuudella.

4.4 Sykevälivaihtelu

Sydämen sykevälit eivät ole säännöllisen mittaiset normaalitilassa olevalla aikuisella. Tästä vaihtelusta käytetään nimitystä sykevälivaihtelu (HRV). Sykevälivaihtelulla tarkoitetaan siis kahden lyönnin välisen ajan vaihtelua, tarkemmin sanottuna sydänkäyrästä saatavan QRS-kompleksin R-piikkien välistä aikaa ja sen vaihtelua (Kuva 7). Tästä käytetäänkin usein nimitystä R-R intervalli.



KUVA 7. R-R-intervallin muodostus. (<https://www.haataja.eu/hrv-eli-sykevalivaihtelu-osa-1/>)

Levossa mitatun sykevälivaihtelun uskotaan kuvaavan lähinnä sydämen vagaalista toimintaa eli parasympaattista hermotusta. Tästä on tutkimuksissa saatu vahvoja näyttöjä, sillä sykevälivaihtelun on havaittu häviävän autonomisen hermoston salpauskokeissa, joissa atropiinin vaikutuksesta parasympaattinen toiminta on pystytty inhiboimaan. (Al-Ani ym. 1996)

4.4.1 Sykevälivaihtelun analysointimenetelmät

Sykevälivaihteludatan saamiseksi käyttökelpoiseen muotoon on kehitetty erilaisia matemaattisia analysointimenetelmiä. Nämä jaetaan yleisimmin aikakenttä- ja taajuuskenttämenetelmiin. Nimensä mukaisesti aikakenttämenetelmässä dataa tutkitaan ajan funktiona ja taajuuskenttämenetelmä pohjautuu datan muuttamisen taajuusalueisiin. Aikakenttämenetelmät ovat näistä yksinkertaisempia, koska taajuuskenttämenetelmä vaatii matemaattisia algoritmeja muuntamiseen. (Task Force, 1996). Nykypäivänä kaupalliset mittarit ja ohjelmat muuttavat kuitenkin datan automaattisesti.

4.4.2 Aikakenttämenetelmät

Aikakenttämenetelmistä yksi yleisimmin käytetty on sykevälivaihtelun keskihajonta (SDNN), jossa koko mittausjakson ajalta otetaan keskihajonta R-R-intervalleista (Task Force, 1996). Yleisesti aikakenttämenetelmiä pidetään luotettavimmillaan pidemmällä mittausjaksoilla (24 h), mutta se soveltuu käytettäväksi myös lyhyemmällä mittausjaksoilla. Lyhyissä mittauksissa käytetään usein viiden minuutin aikajaksoa. Tätä lyhyempää mittausjaksoa ei suositella luotettavuuden säilymiseksi. (Task Force, 1996). Keskihajonnan kohdalla toistettavuutta on pidemmällä mittausjaksoilla pidetty kyseenalaisena (Tarkiainen ym. 2005). Olipa mittausjakso pitkä tai lyhyt on erityisen tärkeää pitää se samana, koska sykevälivaihtelun keskihajonta kasvaa automaattisesti mittausjakson pidentyessä. Peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua kuvaa RMSSD, joka on neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta. RMSSD arvoa pidetään hyvänä mittarina parasympaattiselle vaihtelulle. (Task Force, 1996)

4.4.3 Taajuuskenttämenetelmät

Sykevälivaihtelu voidaan jakaa myös erilaisiin taajuusalueisiin. Yleisimmin jaossa käytetään kolmea eri taajuusaluetta; korkean taajuuden, matalan taajuuden ja erittäin matalan taajuuden

vaihtelu. Korkean taajuuden (HF= high frequency) vaihtelu on määritetty alueelle 0,15 Hz-0,4 Hz ja sitä säätelee vahvasti hengitysrytmi. HF arvon on todettu vähenevän hengitystaajuuden lisääntyessä, mutta lisääntyvän kertahengitystilavuuden kasvaessa. Korkean taajuuden vaihtelua pidetään kuitenkin melko luotettavana muuttujana kuvaamaan parasympaattista aktiivisuutta. Matalan taajuuden (LF=low frequency) alue on määritetty puolestaan välille 0,04 Hz-0,15 Hz. Tämän alueen säätelymekanismi perustuu verenpaineeseen, sykevälivaihtelun ollessa todennäköisesti riippuvainen sekä sympaattisesta että parasympaattisesta hermostosta. (Task Force, 1996; Arai ym. 1989; Hedelin ym. 2000c;)

Erittäin matalan taajuuden 0 Hz-0,4 Hz (VLF=very low frequency power) säätelystä on hyvin vähän varmaa tietoa (Task Force, 1996). Viittauksia kuitenkin aineenvaihdunnan ja humoraalisten tekijöiden vaikutuksesta säätelyyn on olemassa (Kettunen & Keltikangas-Järvinen 2001.). Mittauksissa HF ja LF-muuttujia pidetään kuitenkin tärkeimpinä ja VLF jätetään usein huomioimatta. Yksikkönä käytetään joko ms^2 , mikä kuvastaa absoluuttisia arvoja tai sen sijaan voidaan käyttää niin sanottua normalisoitua yksikköä. Normalisoitu arvo kuvaa komponentin osuutta kokonaisvaihtelusta. Absoluuttisia arvoja on pidetty parempina mittarina kuvastamaan autonomisen hermoston tilaa. LF/HF-suhdetta käytetään myös jonkin verran yhtenä mittarina. Sen roolista ei olla täysin yksimielisiä, mutta todennäköisesti se kuvaa vain eri taajuuksien suhdelukua. (Task Force; 1996, Hartikainen ym. 1998). Sekä aikakenttämenetelmä että taajuuskenttämenetelmä vaativat luotettavan mittaustuloksen saamiseksi stationaarisen tilan eli sykesignaalin tulisi olla mittauksen ajan muuttumaton. Käytännössä nämä menetelmät soveltuvat siis luotettavasti vain lepomittauksiin.

4.4.4 Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät

Sykevälivaihtelu on hyvin yksilöllinen ominaisuus ja vertailu onkin aina tehtävä vain omiin mitattuihin arvoihin (Task Force, 1996). Tähän yksilölliseen arvoon vaikuttavat fyysisen rasituksen lisäksi esimerkiksi sukupuoli, ikä, stressi ja vuorokauden aika (Guyton & Hall 1998, 117).

Sukupuoliriippuvaiset erot näkyvät tyypillisesti taajuusalueissa. Naisilla matalan taajuuden vaihtelu on vähäisempää ja korkean taajuuden vaihtelu taas suurempaa verrattuna miehiin. (Liao ym. 1995). Iän myötä erot kuitenkin muuttuvat ollen suurimmillaan alle 30-vuotiailla ja yli 50-vuotiailla erot olivat hävinneet lähes täysin. Eron on esitetty johtuvan hormonitoiminnan eroavaisuuksista. Tätä selitystä tukee ainakin naisilla havaittu sykevälivaihtelun ero kuukautiskierron eri vaiheissa (Sato ym. 1995). Eräässä tutkimuksessa todettiin ovulaation ja kuukautisten välisellä ajalla muutoksia matalataajuuksisessa ja korkeataajuuksisessa sykevälivaihtelussa. Matalataajuuksisen sykevälivaihtelun ja LF/HF-suhteen todettiin olevan hallitsevampaa kierron tässä vaiheessa verrattuna kuukautisten ensimmäisestä päivästä ovulaatioon. (Sato ym. 1995). Vaihdevuosien alettua on puolestaan estrogeenin määrällä todettu olevan merkitystä sykevälivaihteluun. Estrogeeni vähentää sympaattisen hermoston säätelyä ja vaihdevuosien alettua estrogeenin määrä vähenee ja näin ollen myös sympaattisen hermoston säätely heikkenee. Tästä seurauksena sykevälivaihtelu pienenee. Parasympaattisen hermoston ollessa hallitsevana korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu kasvaa ja näin ollen siis LF/HF suhde pienenee. (Liu ym. 2003). On myös löydetty viitteitä, että naisilla olisi matalampi sykevälivaihtelun kokonaisvaihtelu kuin miehillä, kuitenkin parasympaattisen aktiivisuuden säilyessä samalla tasolla tai sen ollessa korkeampi verrattuna miehiin. Naisten vähäisempää kokonaisvaihtelua on selitetty alhaisemmalla sympaattisella säätelyllä ja puolestaan korkeammalla parasympaattisella säätelyllä. (Vandeput ym. 2012; Huikuri ym. 1996; Carter ym. 2003).

Sykevälivaihtelu muuttuu iän myötä ollen suurimmillaan nuoruusiässä eli karkeasti 15–39-vuotiailla ja puolestaan vähäisintä yli 60-vuotiailla. (Liao ym. 1995, Laitio ym. 2001; Umetani ym. 1997). Lapsuusiässä sykevälivaihtelun on todettu olevan suurimmillaan yhdeksän vuoden iässä verrattuna nuorempiin (3–6-vuotiaat) ja vanhempiin (12–15-vuotiaat) lapsiin. Sympaattinen säätely vaikuttaisi pysyvän melko samalla tasolla ikääntymisestä huolimatta, mutta parasympaattinen säätely vaihtelee iän myötä yleensä vähentyen. Tämä väheneminen on liitetty normaaliin ikääntymiseen liittyviin asioihin, kuten baroreseptoreiden heikompaan toimintaa, joka nostaa verenpainetta ja vähentää sykevälivaihtelua. (Byrne ym. 1996, Pfeffer ym. 1983)

Myös vuorokaudenajalla on oma vaikutuksensa sykkeeseen, sykevälivaihteluun ja verenpaineeseen (Beckers ym. 2006). Sykevälivaihtelua on todettu tapahtuvan enemmän yöaikaan kuin päivisin ja myös sykkeen ja verenpaineen on huomattu olevan alhaisimmillaan yöllä. Tämän uskotaan olevan seurausta parasympaattisen hermoston hallitsevasta tilasta unessa. Myös sykevälivaihtelun on havaittu olevan suurempaa öisin. Nämä vaihtelut on liitetty vahvasti ihmisen luonnolliseen uni-valve-rytmiin. (Ito ym. 2001)

4.5 Sykevälivaihtelu kuormituksessa

Akuutin rasituksen vaikutusta sykevälivaihtelun kokonaisvaihteluun sekä korkean ja matalan taajuuden muuttujiin on tutkittu jonkin verran (Arai ym. 1989; Bernardi ym. 1990; Casadei ym. 1995). Tutkimustulokset eivät ole kuitenkaan yksiselitteisiä, mutta selvältä vaikuttaa kokonaisvaihtelun väheneminen rasituksessa lepotasoon nähden. Noin 50–60 prosentin teholla maksimaalisesta hapenotosta kokonaisvaihtelu häviää lähes kokonaan (Hautala ym. 2003, Tulppo ym. 1998). Myös ventilaatiokynnystä voidaan pitää tällaisena rajapyykkinä (Yamamoto ym. 1991). Osan muista eroavaisuuksista on arveltu johtuvan erilaisista testiprotokollista ja tulosten analysoinnista ja tulkinnasta.

4.6 Sykevälivaihtelu kuormituksen jälkeen

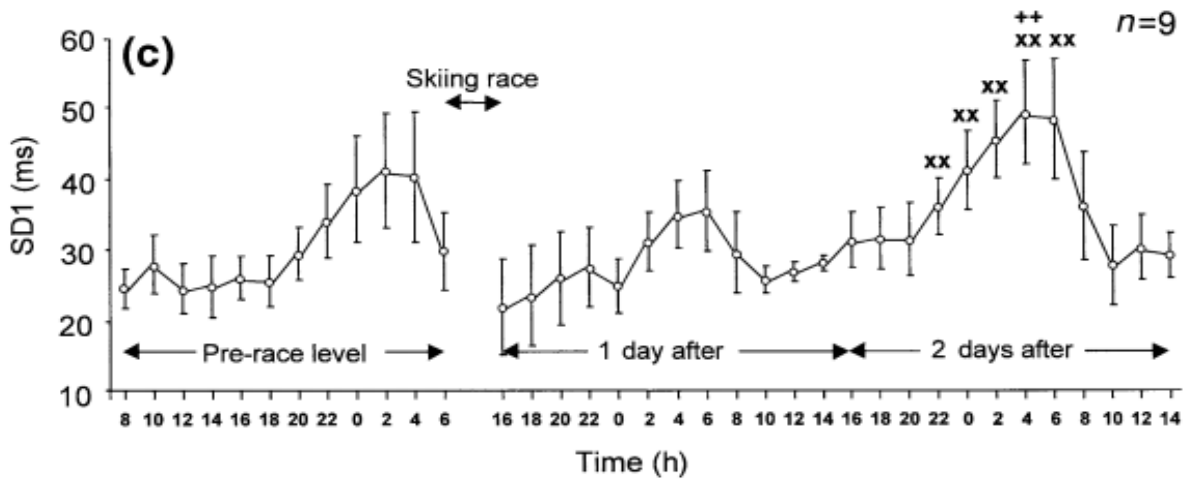
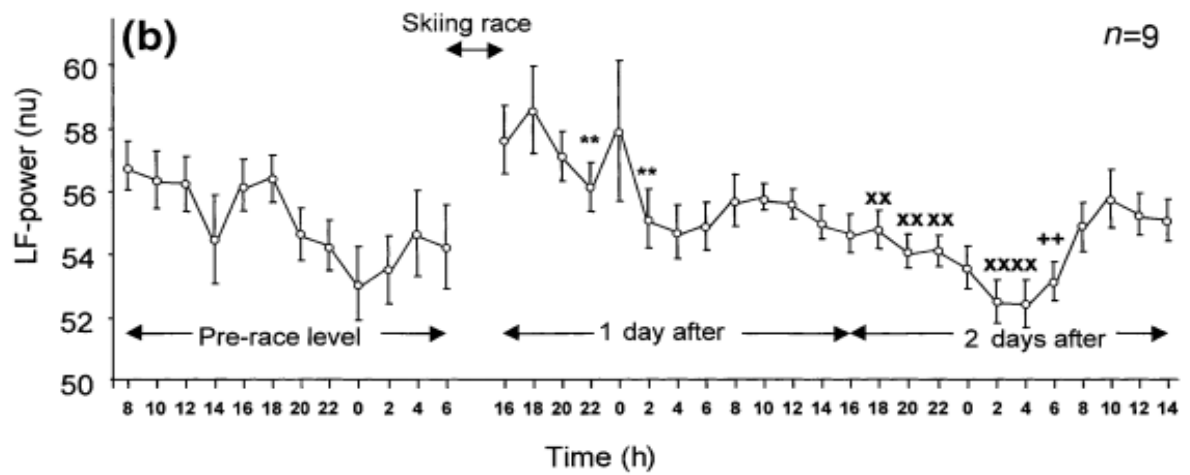
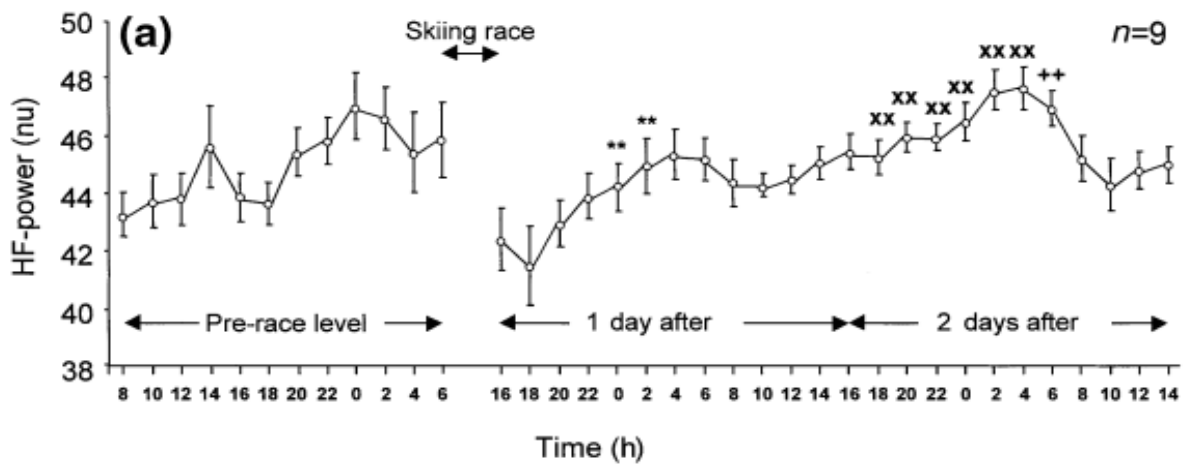
Välittömän palautuksen aikaisesta sykevälivaihtelusta on esitetty joitain tutkimuksia (Task Force, 1996). Usein ensimmäinen viisi minuuttia palautuksen alusta otetaan pois menetelmällisten asioiden takia (Task Force, 1996). Osassa tutkimuksissa on kuitenkin tutkittu myös sykevälivaihtelua välittömästi kuormituksen päättymisen jälkeen. Näissä muuttujana on käytetty sykevälivaihtelua ja sen on havaittu olevan huomattavasti alhaisempaa harjoituksen päätyttyä verrattuna lähtötasoon. Palautumisvaiheessa muutaman ensimmäisen minuutin aikana osassa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu jo HRV (heart rate variation) arvon nousua (Casties ym. 2006; Goldberger ym. 2006; Martinmäki & Rusko, 2008). Osassa tutkimuksissa puolestaan arvo on pysynyt muuttumattomana (Buchheit ym. 2000; Oliveira ym. 2013). Todennäköisiä selityksiä tälle ovat kuormituksen vaativuus ja koehenkilöiden erilainen

harjoittelutausta. Monissa tutkimuksissa kuormituksen intensiteetti on määritetty suhteutettuna maksimaaliseen hapenottookykyyn ja kuormitukset ovat kestävyyspainotteisia. Kuitenkin myös anaerobisia kuormitusmalleja on käytetty osassa tutkimuksissa (Martinmäki & Rusko 2008). Buchheit ym. (2000) havaitsivat, että anaerobisen vetoharjoituksen jälkeen vagaalinen aktiivisuus heikkeni vahvasti palautusvaiheen ensimmäisten minuuttien ajan. Parasymptaattisen hermoston uudelleen aktivoituminen palautumisessa on siis vahvasti liitännäinen myös edeltäneen harjoituksen metabolisiin rasituksiin (Martinmäki & Rusko 2008; Buchheit ym. 2000). Harjoituksen keston vaikutuksia välittömän palautuksen HRV-arvoihin on julkaistu huomattavasti vähemmän. Seiler ym. (2007) tutkivat miten harjoituksen keston tuplaaminen 60 minuutista 120 minuuttiin vaikutti sykevälivaihteluun harjoituksen intensiteetin ollessa noin 77 prosenttia maksimaalisen hapenottokyvyn arvosta. Tällä kuormituksen lisäyksellä ei havaittu merkittävää muutosta sykevälivaihteluun. Koeryhmä oli tosin paljon harjoitustaustaa omaava, joten he olivat tottuneet suuriin harjoitusmääriin.

Harjoituksen jälkeisen välittömän palautumisen lisäksi on tutkijoiden kiinnostuksen kohteena ollut kuormituksen vaikutukset yön aikaiseen sykevälivaihteluun (Hynynen ym. 2010). Hynynen ym. tekemässä tutkimuksessa havaittiin sekä keskiteholla että kovalla teholla tehdyn kestävyysharjoituksen vaikuttavan seuraavan yön arvoihin (taulukko 3). Muutoksia havaittiin leposykkeessä ja sykevälivaihtelussa. Leposyke nousi keskiteholla ja kovalla teholla harjoituksen jälkeisessä yömittauksessa verrattuna lepopäivän jälkeiseen mittauksiin. Leposyke nousi myös kovatehoisen harjoituksen jälkeisessä mittauksessa verrattuna keskitehoisen harjoituksen jälkeiseen mittaukseen. Sykevälivaihtelun arvot (SDNN, RMSSD, HFP, TP) laskivat kaikki tilastollisesti merkitsevästi, kun keskitehoisen ja kovatehoisen harjoituksen jälkeisiä arvoja verrattiin lepopäivän jälkeisiin arvoihin. Samoin kovatehoisen harjoituksen jälkeisiä arvoja verrattaessa keskitehoisen harjoituksen jälkeisiin arvoihin. Ainoana erotuksena myös matalan taajuuden arvot (LFP) muuttuivat merkitsevästi. Myös Hautala ym. (2001) havaitsivat muutoksia yömittauksissa 75 kilometrin maastohiihtokisan jälkeisenä yönä ja sitä seuraavana yönä. Muutokset on esitetty kuvassa 8. Muutokset olivat samankaltaisia kummassakin tutkimuksessa lukuun ottamatta korkean taajuuden muutosta, mikä Hynynen tutkimuksissa laski, mutta Hautalan tutkimuksissa nousi suhteessa lepoarvoon.

TAULUKKO 3. Yömittausten tulokset lepopäivän, keskitehoisen harjoituksen ja kovatehoisen harjoituksen jälkeisenä yönä. Tilastollisesti merkittävät erot verrattuna lepopäivän jälkeisiin arvoihin * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ ja tilastollisesti merkittävä ero verrattuna keskitehoisen harjoituksen jälkeisiin arvoihin # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$, ### $p < 0.001$ (Hynynen ym. 2010).

	Rest	Moderate exercise	Marathon
HR (bpm)	47±2	50±3***	61±6***,###
SDNN (ms)	142±16	126±15**	91±19***,###
RMSSD (ms)	61±19	53±19**	34±18***,###
LFP (ms ²)	1798±543	1725±780	1031±667**,##
HFP (ms ²)	1214±920	952±754**	445±612***,###
TP (ms ²)	3011±1230	2677±1408*	1476±1255***,###
LF/HF ratio	2.56±2.38	3.17±3.51	3.75±2.57
CVRRI (%)	11.0±1.0	10.6±1.1	9.2±1.7**,#



KUVA 8. Maastohiihtokisan (75 km) vaikutus sykevälimuuttujiin kahtena seuraavana yönä. Hautala ym. (2001)

5 KUORMITUKSEN SEURANTA JALKAPALLOSSA

Kuormittumisen ja harjoitusvasteen seurantaan on kehitelty monenlaisia seurantamalleja jalkapallonpelaajille. Huomioiden lajin luonteen tulee kuormitusseurannan pystyä mahdollisimman monipuolisesti testaamaan erityyppisiä väsymystiloja ja mahdollisesti huomioimaan myös muun elämän tuoman stressin. Lisäksi itse seuranta ei saisi olla liian aikavievää eikä testien tulisi aiheuttaa merkittävää lisäkuormaa pelaajille. Sykettä ja sykevälivaihtelua on käytetty hyvin laajasti kuormittumisen seurannassa.

Sykkeen seurannassa kuormitusmallina on ollut yleisesti jonkinlainen submaksimaalinen juoksutesti, jonka ajalta tehdään sykeseuranta ja myös sykkeen palautumista seurataan. Myös sykevälivaihtelua saatetaan seurata rasituksessa ja palautusvaiheessa. (Buchheit ym. 2008; Buchheit ym. 2010). Buchheit ym. (2010) on käyttänyt tutkimuksissaan 5'-5'-testiä, jossa juostaan viisi minuuttia 9 km/h vauhdilla. Testi juostaan esimerkiksi juoksuradalla eli ns. suorana juoksuna eikä sukkulajuoksuna (Buchheit ym. 2010). Tämän jälkeen testattavat pysähtyvät kolmeksi sekunniksi, jonka jälkeen istuutuvat viideksi minuutiksi. Viiden minuutin palautusmittauksen aikana tulisi olla mahdollisimman paikallaan. (Bloomfield ym. 2001). Osassa tutkimuksissa testi on suoritettu polkemalla kuntopyörää juoksemisen sijasta, vastuksen ollessa 130 W ja kierrosluvun 85 kierrosta minuutissa (Thorpe yms. 2015).

Tämän tyyllisen helpon juoksu/pyörätestin etuna on sen vähäinen kuormittavuus ja se voidaan aloittaa suoraan ilman lämmittelyä. Ilman alkulämmittelyä tehty testi säästää aikaa, mutta on myös samalla vakioitu tilanne, koska alkulämmittely on usein vaikea pitää täysin vakiona. (Bloomfield ym. 2001). Submaksimaalisesta juoksutestistä Buchheit ym. (2010) analysoivat sykkeen keskiarvon, mikä otettiin juoksun viimeisen 30 sekunnin ajalta (HRex), palautumissykkeen (HRR), mikä laskettiin harjoitusyrykkeen ja palautusvaiheen ensimmäisen minuutin erotuksena. Erotus ilmoitettiin prosentteina. Palautusjakson viimeiseltä kolmelta minuutilta laskettiin sykevälivaihtelun RMSSD, koska tämän arvon todettiin kuvaavan parhaiten vagaalista aktiivisuutta harjoituksen jälkeisessä lyhyen aikavälin mittauksessa (Task Force, 1996). Yhtenä syynä todettakoon esimerkiksi hengitysrytmin vähäinen vaikutus. Lisäksi

näin lyhyt mittausaika ei antaisi todennäköisesti luotettavia tuloksia LF-mittauksista (Task Force, 1996).

Kuten jo todettiin vakioidun rasituksen, esimerkiksi juuri submaksimaalisen juoksutestin, jälkeistä sykkeen palautumista on käytetty seurannoissa yhtenä muuttuja. Aiemmin kappaleessa 4.3. keskusteltiin tämän muuttujan käytöstä rasiustilan mittarina ja sen ristiriitaisista tuloksista (Fry ym. 1991). Vaikka yksittäisenä muuttujana palautumissyke on vaikeasti tulkittava, voidaan sitä kuitenkin muiden muuttujien rinnalla pitää relevanttina mittarina.

Submaksimaalisten testien lisäksi myös uupumukseen asti suoritettuja juoksutestejä on käytetty suorituskyvyn mittaamisessa. Protokollat ovat melko vaihtelevia ja osassa tutkimuksissa on käytetty esimerkiksi YoYo –recovery testiä (Thorpe yms. 2015) ja Vam-Eval testiä, joka juostaan radalla (Buchheit 2012). Myös nopeuskestävyystesti, johon kuuluu 30 metrin juoksu 30 sekunnin palautuksella toistaen 10 kertaa, on ollut testiprotokollassa (Buchheit 2012). Suorituskykytesti on erittäin hyvä mittari kuormitustilan seurantaan sinänsä, mutta sen käyttö usein toistuvana aiheuttaa helposti sekä fyysistä että henkistä lisäkuormaa pelaajille. Mm. Le Meur ym. (2013) ovat esittäneet, että sykkeen muutokset submaksimaalisessa ja maksimaalisessa kuormituksessa ovat merkittävimmät muuttujat verrattaessa kuormittunutta urheilijaa kontrolliryhmään.

Kevennyshyppyä on monissa tutkimuksissa myös pidetty yhtenä kuormitusseurannan markkerina ja se on myös hyvin yleinen testi jalkapalloilijoiden fyysisissä testeissä. Kevennyshyppy suoritetaan normaalia protokollaa noudattaen. Yhtä lailla erilaiset maksimaaliset juoksunopeustestit ovat olleet osana testiprotokollaa. Esimerkiksi 40- metrin kiihdytysjuoksua 10 metrin väliajoilla on käytetty testeissä (Buchheit ym, 2012). Hoffman ym. (2000) seurasi koripalloilijoiden kuormittumista ja totesi 27 metrin juoksutestin heijastavan herkimmin väsymyksen oireita johtuen harjoitusmäärän ja intensiteetin kasvusta (taulukko 4). Hälyttävän heikkenemisenä pidettiin 0,15 sekunnin heikkenemistä kokonaisajassa.

TAULUKKO 4. Harjoitusmäärän ja intensiteetin vaikutus maksimaaliseen juoksunopeuteen.

Example of red-flag (<i>Italic</i>) and Subsequent Results When Training Volume Was Reduced			
Month	27-m sprint (s)	Training volume (h wk-1)	Training intensity
November	4.00	15.3	3.6
<i>December</i>	<i>4.17</i>	<i>22.3</i>	<i>4.2</i>
January	3.98	17.3	4.0

Myös subjektiivisia tuntemuksia on käytetty tutkittaessa niiden korrelaatiota muihin tuloksiin. Eräässä tutkimuksessa käytettiin kyselylomaketta, jossa pelaajien piti arvioida joka päivä mm. unen laatua, lihasarkuutta ja väsymysastetta asteikolla 1–7. (Thorpe ym. 2015).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Urheilijan optimaalisen kehityksen kulmakivenä on sopiva kuormituksen ja palautumisen suhde. Kuormituksen ja palautumisen suhdetta voi olla kuitenkin välillä vaikea tunnistaa erityisesti tilanteessa, jossa kuormittuminen on ollut pitkäaikaista. On myös muistettava, että kuormittuminen on kokonaisuus ja fyysisen kuormituksen lisäksi muut tekijät vaikuttavat kuormittumisen lisääntymiseen tai palautumisen heikkenemiseen.

Kuten jo aiemmin todettu, niin erilaisia sykemuuttujia on käytetty kuormituksen seuraamiseen niin levossa kuin rasituksessa. Osaltaan tutkimustulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia ja lisäksi jotkin muuttujat, kuten leposyke, ovat osoittautuneet melko häiriöherkiksi seurantameteodeiksi. Toisaalla taas erilaisten suorituskykytestien on todettu heijastavan kuormitustilaa melko luotettavasti, mutta jatkuvassa seurannassa niiden käyttö aiheuttaa helposti niin fyysistä kuin henkistä lisäkuormaa urheilijoille.

Täysin toimivien seurantamenetelmien puute onkin lisännyt mielenkiintoa sykevälivaihtelun mittaamisen mahdollisuuksista kuormittumisen seurannassa. Kuten muidenkin sykemuuttujien kohdalla, myös sykevälivaihtelun tuloksissa on saatu ristiriitaisia johtopäätöksiä. Osassa tutkimuksissa on saavutettu samansuuntaisia tutkimustuloksia sykemuuttujien reagoinnissa rasitukseen, mutta siitä mitä ne kertovat on ristiriitaisia näkemyksiä. Sykevälivaihteluun perustuvat mittaukset ovat pohjautuneet lisäksi paljon yömittauksiin. Näiden käyttö kuitenkin nuorilla joukkueurheilijoilla ei takaa välttämättä luotettavinta tulosta ja lisäksi tämä vaatisi kaikille omat henkilökohtaiset mittalaitteet.

Tässä tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita selvittämään lyhyemmän ja kevyemmän testipatteriston toimivuutta nuorilla jalkapalloilijoilla. Testipatteristo oli luotu aiempien tutkimustulosten pohjalta, joita esimerkiksi Buchheit on tehnyt lukuisia. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mitkä muuttujat mahdollisesti reagoivat elimistön kuormittumiseen

ja palautumiseen. Lisäksi haluttiin selvittää, oliko muuttujilla keskenään mitään yhteyttä. Tämän pohjalta tässä työssä on kaksi keskeisintä tutkimusongelmaa:

Tutkimusongelma 1: Mitkä testipatteriston muuttujat heijastavat kuormittumista tai palautumista herkimmin?

Tutkimusongelma 2: Havaitaanko erillisillä muuttujilla keskinäistä korrelaatiota?

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen testijoukkona toimi Tampereen Urheiluakatemia vuonna 2000–2001 syntyneiden poikien jalkapalloryhmä. Kaikki testattavat pelasivat Ilveksen B-poikien ikäkausijoukkueessa. Kyseinen ryhmä oli jo aiemmin osallistunut kyseisen testipatteriston tekemiseen muutamia kertoja. Samaa testipatteristoa suoritettiin myös muille ryhmille, mutta tämä ryhmä valikoitui tutkimukseen sen koon perusteella (n=17 alun perin). Koska kyseessä oli Tampereen Urheiluakatemia ryhmä ja aamuharjoitukset olivat osa heidän opiskeluaan, niin tämä oli testattavista ryhmistä paikallaoloprosenteiltaan parhaita. Koehenkilöiltä ja heidän huoltajiltaan kerättiin kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta ja heille annettiin tutkimusseloste, josta kävi ilmi tutkimuksen kulku.

Kauden aikana muutama pelaaja siirtyi eri ryhmään ja näin ollen lopullinen testattavien lukumäärä oli 15. Hajanaisen osallistumisen takia kaikkia tuloksia ei kuitenkaan voitu käyttää analysoinnissa ja varsinaisessa analysoinnissa oli mukana lopulta 14 henkilöä.

Kausi jakaantui pelaajilla neljään eri kauteen, jossa jokaisessa harjoituspainotus oli hiukan eri.

Kauden karkea vuosisuunnitelma oli seuraava:

- harjoituskausi I: marras-joulukuu (kestävyyspainotus)
- harjoituskausi II: tammi-helmikuu (voimapainotus)
- pelikauteen valmistava kausi: maaliskuu-huhtikuu (nopeus-nopeuskestävyyspainotus)
- pelikausi: touko-syyskuu (lajipainotus)

7.2 Tutkimusprotokolla

Tutkimus toteutettiin Varalan urheiluopiston testiasemalle. Tässä työssä käytettyä testipatteristoa oli jo käytetty jonkin verran teisteissä aiemmin. Tutkimukseen kuului kuusi eri mittauskertaa, jotka ajoittuivat loppuvuodesta 2016 vuoden 2017 kevääseen (9.12.2016-17.3.2017).

Tutkimus koostui kokonaisuudessaan kolmesta eri testiosiosta: Firstbeatin pikapalautumistestistä, submaksimaalisesta YoYo-testistä ja 30 metrin nopeustestistä. Testit suoritettiin aina perjantaiamuisin ennen harjoituksia noin kahden viikon välein. Joulutauko ja pelit kuitenkin aiheuttivat muutoksia kahden viikon sykliin.

Jokaiselle testattavalle oli oma mittarinsa ja mittarit olivat numeroitu ennen testiä osallistujille. Mittareita luovuttaessa vielä tarkastettiin mittareiden numerot mahdollisten sekaannusten varalta. Ennen mittausta vältettiin ylimääräistä liikuntaa ja testattavia ohjeistettiin saapumaan ajoissa, jotta ennen testiä testattavat ehtivät rauhoittua riittävästi.

7.2.1 Pikapalautumistesti

Pikapalautumistesti suoritettiin Firstbeatin mittareilla makuuasennossa mittauksen kestäessä viisi minuuttia. Testi analysoitiin aina myöhemmin iltapäivällä ja analysointiin käytettiin Firstbeatin omaa ohjelmaa. Analysoitavina muuttujina olivat viiden minuutin testiajalta leposyke ja sykevälivaihteluun perustuvia muuttujia. Sykevälivaihtelun laskennalliset muuttujina olivat peräkkäisten sykevälien kesimääräistä vaihtelua kuvaava arvo, joka on neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta (RMSSD), sykevälivaihtelun keskihajonta (SDNN), korkean (HF) ja matalan taajuuden (LF) keskiarvot ja näiden suhdeluku. Firstbeat ohjelma antoi myös kokonaislukeman henkilön palautumistilasta, mutta tässä tutkimuksesta siitä ei oltu kiinnostuneita.

Testimuuttajat pähkinänkuoressa:

- Leposyke
- RR RMSSD (neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, mikä kuvaa peräkkäisten sykeväliä keskimääräistä vaihtelua)
- RR SDNN (sykeväliä vaihtelun keskihajonta, jossa koko mittausjakson ajalta otetaan keskihajonta R-R-intervalleista)
- HF Ka (korkean taajuuden keskiarvo)
- LF Ka (matalan taajuuden keskiarvo)
- LF/HF (matalan ja korkean taajuuden suhdeluku)

7.2.2 Syke submaksimaalisessa vakiokuormituksessa ja siitä palautumisesta

Submaksimaalinen juoksutesti toteutettiin aikavakioituna (7:25) YoYo-testinä (Endurance testi level 1 Bangsbo). YoYo-testin viimeiseltä viideltä minuutilta mitattiin keskisyke (HR Ka) ja maksimisyke (HR Max) testin päättyttyä, minkä jälkeen sykettä seurattiin vielä yhden minuutin palautumisjaksolta. Testin häiriöiden minimoimiseksi testi alkuosaa ei otettu mukaan keskisykkeen seurantaan. Minuutin palautusjaksolta mitattiin syke palautusjakson päättyessä (HR Pal) ja näistä laskettiin palautumissyke eli erotus (HR erotus) testin päättyttyä ja palautumisjakson loputtua ja näistä arvoista palautumisprosentti (palautus %).

Testimuuttajat pähkinänkuoressa:

- YoYo Endurance Test Level 1 (Bangsbo) 7: nnen tason loppuun (07:25)
 - keskiarvosyke viimeiseltä viideltä (5) minuutilta eli 02:25 – 07:25 (bpm)
 - maksimisyke testin ajalta (bpm)
 - absoluuttinen palautumissyke (bpm) minuutin jälkeen testin päättyttyä
 - erotussyke maksimisykkeen ja absoluuttisen palautumissykkeen välillä
 - suhteellinen palautumissyke (%) minuutin palautumisjaksolta testin päättyttyä

7.2.3 30 metrin nopeustesti

30 metrin juoksutestissä aika mitattiin valokennoilla. 30 metrin ajan lisäksi mitattiin väliajat viiden metrin ja kymmenen metrin kohdalla. Lähtö oli paikallaan seisten etujalka lähtömerkillä ja lähtömerkki oli 70 senttiä taaempaan ensimmäisestä valokennosta. Testi juostiin kolme kertaa ja paras 30 metrin aika huomioitiin. Alustana oli tekonurmi ja pelaajat käyttivät testissä jalkapallokenkiä. Ajat kirjattiin manuaalisesti koneelle. Ennen testiä ryhmä suoritti aina samanlaisen alkulämmittelyn.

7.3 Tilastolliset analyysit

Tulosten analysoinnin alkuvaiheessa käsiteltiin, mitä ja miten mittauksia voitaisiin analysoida. Ongelmalliseksi osoittautua mittausaineiston hajanaisuus. Ensin aineistolle suoritettiin silmämääräinen tarkastelu ja todettiin, että kaikkia mittauskertoja ei välttämättä ole järkevää käyttää.

Aineiston tarkastelussa ja analysoinnissa käytettiin IBM SPSS ohjelmistoa. Ensimmäisenä leposykedatasta tehtiin Friedmanin analyysi ja todettiin, että mikäli kaikki mittauskerrat otettaisiin tarkasteluun mukaan, tulisi N olemaan vain kuusi. Näin ollen todettiin, että kaikkien mittauskertojen käyttäminen ei ole järkevään N: n jäädessä liian pieneksi. Tarkastelun jälkeen päätettiin käyttää toista ja kuudetta mittauskertaa datan analysoinnissa, jotta N saadaan luetettavalle tasolle. Tilasto ei ole normaalisti jakautunut, joten parametrisiä testejä ei voida käyttää dataan.

Aineistosta laskettiin mittauskertojen keskiarvot ja keskihajonnat. Lisäksi suoritettiin toisen ja kuudennen mittauskerran aineistosta t-testi, joilla saatiin laskettua mittauskertojen erotusten keskiarvo, keskihajonta ja tilastolliset merkitsevyysluvut.

Koska tutkimuksessa haluttiin tutkia myös muuttujien keskinäistä yhteyttä, selvitettiin toisen ja kuudennen kerran erotusmuuttujien korrelaatiota.

8 TULOKSET

Tulokset on jaettu testipatteriston osioiden mukaan pikapalautumistestin, submaksimaalisen juokсутestin ja nopeustestin tuloksiin. Lopussa on tarkasteltu myös muuttujien keskinäistä korrelaatiota.

8.1 Pikapalautumistesti

Pikapalautumistestin tuloksissa toisen ja kuudennen mittauskerran välillä ei löydetty tilastollisesti merkittäviä muutoksia. Huomioitavaa on kuitenkin sykevälivaihteluun perustuvien muuttujien suuri hajonta (taulukko 5), mikä ilmentää jo aiemmin mainittua yksilöllistä tasoa sykevälivaihtelussa. Eniten muutosta syntyi matalan taajuuden (LF Ka) sykevälivaihtelussa ($-1496,7 \pm 4026,0 \text{ ms}^2$), mutta tässäkin on huomioitava, että keskihajonta oli erittäin suuri. Kaikki muutkin sykevälivaihtelun arvot laskivat (RR RMSSD: $-3,6 \pm 15,9 \text{ ms}$; RR SD: $-7,4 \pm 24,5 \text{ ms}$; HF Ka: $-342,2 \pm 1622,5 \text{ ms}^2$ ja LF/HF: $-4,0 \pm 1622,5$), mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkittäviä. Leposyke puolestaan hieman nousi ($1,9 \pm 7,8 \text{ bpm}$) Pikapalautumistestin toisen ja kuudennen mittauskerran muuttujien (HR lepo, RR RMSSD, RR SD, HF Ka, LF Ka, LF/HF) keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Pikapalautumistestin 2. ja 6. mittauskerran muuttujien keskiarvot (Ka) ja niiden hajonnat (SD).

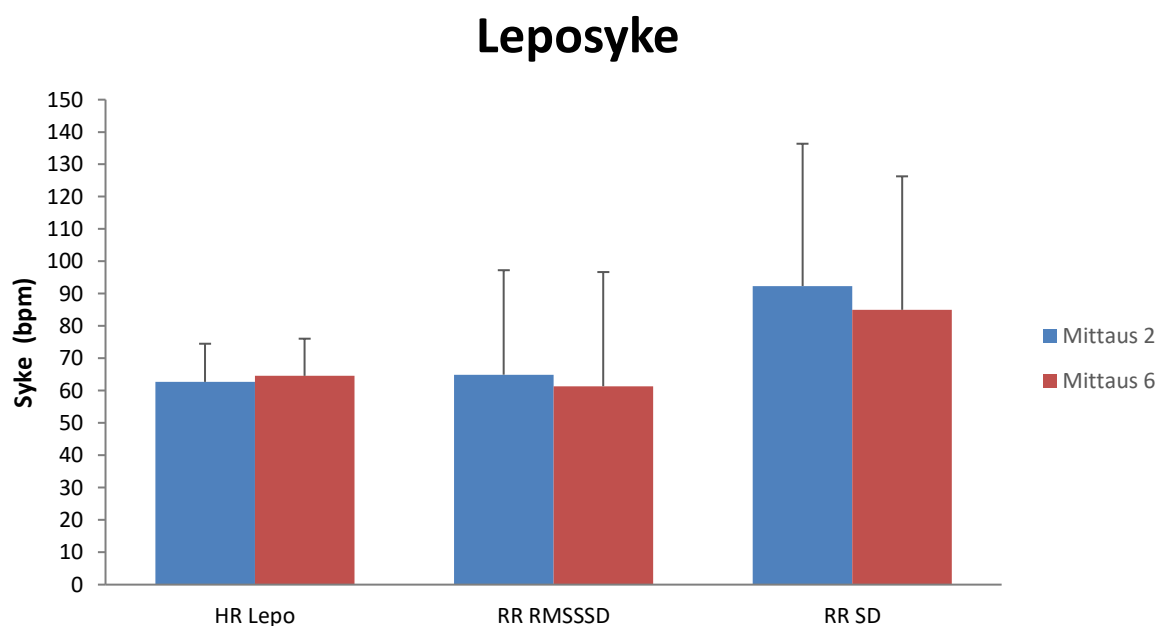
Muuttuja	2. mittaus		6. mittaus	
	Ka	SD	Ka	SD
HR lepo (bpm)	62,7	11,8	64,6	11,5
RR RMSSD (ms)	64,9	32,3	61,4	35,3
RR SD (ms)	92,4	44,0	85,0	41,3
HF Ka (ms^2)	5022,8	4140,3	4680,6	3598,6
LF Ka (ms^2)	5250,5	6154,3	3753,9	2611,0
LF/HF	236,9	444,3	232,9	531,9

Pikapalautumistestin toisen ja kuudennen mittauskerran muuttujien erotukset, keskihajonnat ja p-arvo on koottu taulukkoon 6. Kuten jo todettu, niin muutokset eivät olleet tilastollisesti merkittäviä, mikä voidaan nähdä p-arvoista.

TAULUKKO 6. Pikapalautumistestin 2. ja 6. mittauskerran muuttujien erotusten keskiarvo, keskihajonta ja p-arvo.

Muuttuja	Δ Ka	SD	p-arvo
HR lepo (bpm)	1,9	7,8	0,388
RR RMSSD 2 (ms)	-3,6	15,9	0,415
RR SD (ms)	-7,4	24,5	0,281
HF Ka (ms ²)	-342,2	1622,5	0,444
LF Ka (ms ²)	-1496,7	4026,0	0,188
LF/HF	-4,0	110,5	0,899

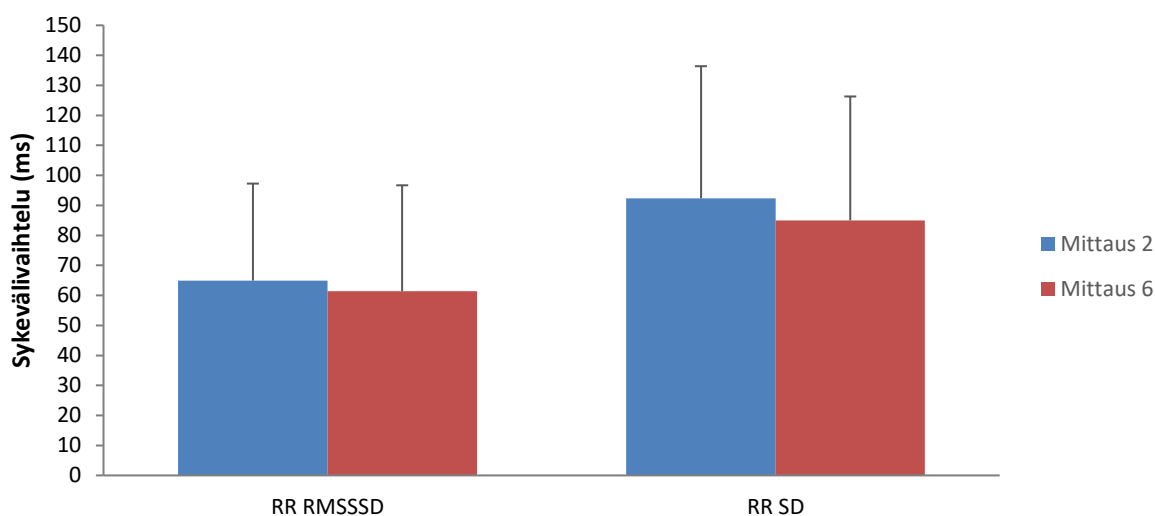
Kuviossa 1 on esitetty pikapalautumistestin leposykearvot graafisessa muodossa.



KUVIO 1. Pikapalautumistestin leposyke (HR Lepo) 2. ja 6. mittauskerralla.

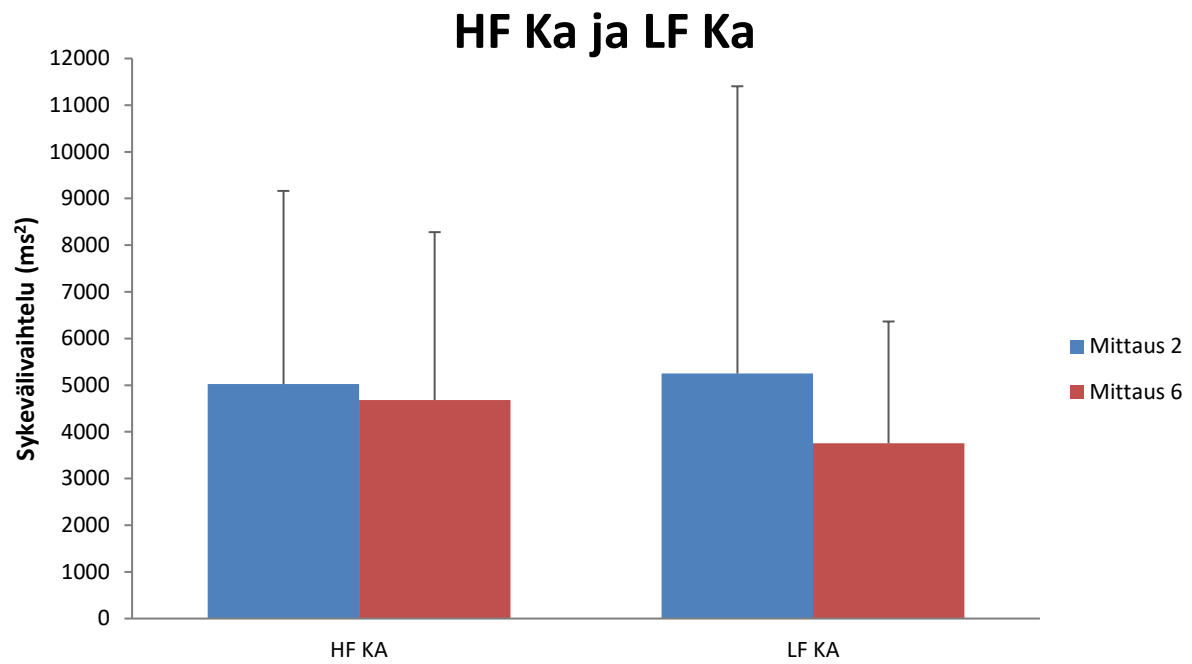
Kuvio 2 havainnollistaa pikapalautumistestin peräkkäisten R-R-välien erotusta neliöiden keskiarvosta, mikä kuvaa peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua (RR RMSSD) ja sykevälivaihtelun keskihajontaa, jossa koko mittausjakson ajalta on otettu keskihajonta R-R-intervalleista (RR SDNN). Näissä muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkittävää muutosta.

RR RMSSD ja RR SD



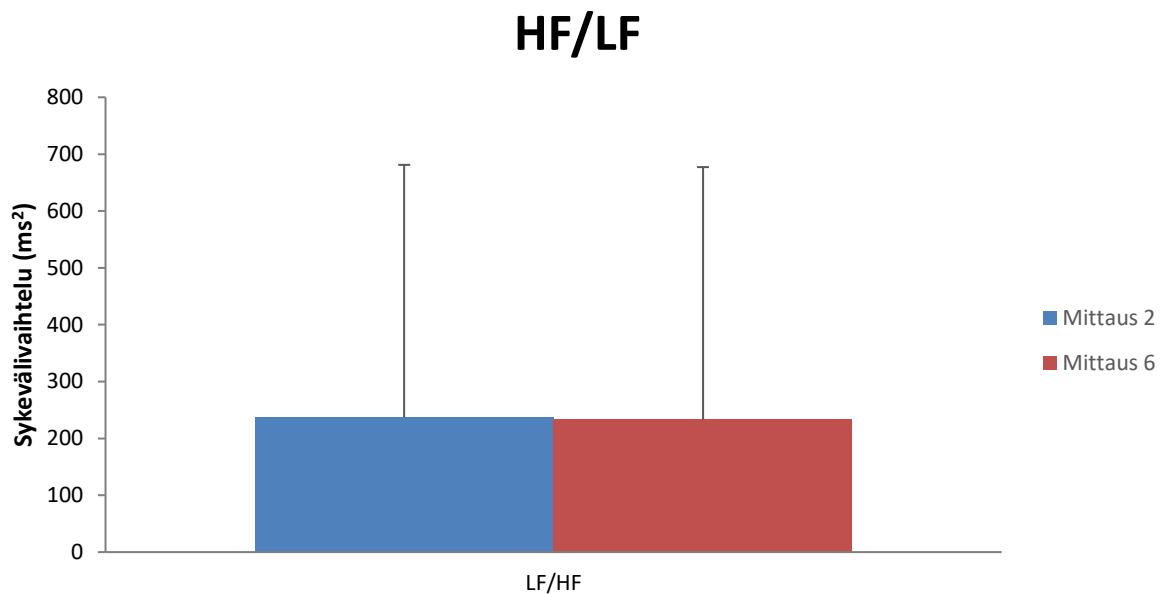
KUVIO 2. Pikapalautumistestin neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta, mikä kuvaa peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua (RR RMSSD) ja sykevälivaihtelun keskihajontaa, jossa koko mittausjakson ajalta on otettu keskihajonta R-R-intervalleista (RR SDNN).

Korkea taajuuden sykevälivaihtelu ja matalan taajuuden sykevälivaihtelun keskiarvot mittausjaksolta on esitetty kuviossa 3. Grafiikka ilmentää hyvin erityisesti näiden muuttujien suurta hajontaa.



KUVIO 3. Pikapalautumistestin korkean (HF) ja matalan taajuuden (LF) keksiarvot mittausjaksolta.

Kuviossa 4 puolestaan on esitetty matalan ja korkean taajuuden suhdeluku (LF/HF).



KUVIO 4. Pikapalautumistestin matalan ja korkean taajuuden suhdeluku (LF/HF) 2. ja 6. mittauskerralla.

8.2 Submaksimaalinen juoksutesti

Submaksimaalisen juoksutestin toisen ja kuudennen mittauskerran välisiä muutoksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että juoksutestin aikaisen keksisykkeen muutos oli tilastollisesti merkittävä. Toisella mittauskerralla keskiarvo keskisykkeestä oli $160,2 \pm 10,0$ bpm ja kuudennella mittauskerralla $155,5 \pm 8,5$ bpm, joten keskisyke laski keskimäärin $4,7 \pm 4,5$ lyöntiä minuutissa (taulukko 7 ja 8). Muutoksen p-arvo oli 0,006 ja näin ollen tilastollisesti merkittävä (taulukko 7). Maksimisyke pieneni 3,3 lyöntiä minuutissa, mutta mittauskertojen erotusten p-arvo oli 0,058, mikä ei ihan täytä tilastollisesti merkittävän muutoksen kriteereitä. Myös palautumissykkeessä havaittiin muutosta ($-6,6 \pm 16,0$ bpm), mutta tässä hajonta oli suurta (taulukko 8). Submaksimaalisen juoksutestin toisen ja kuudennen mittauskerran kaikkien muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 7. Muuttujat ovat keskiarvosyke (HR Avg), maksimisyke (HR Max), palautumissyke minuutin jälkeen testin päättymisestä (HR

Pal), maksimisykkeen ja palautumissykkeen erotus (HR erotus) ja palautumisprosentti (Palautus %).

TAULUKKO 7. Submaksimaalisen juoksutestin sykemuuttujien keskiarvot (Ka) ja keksihajonnat 2. ja 6. mittauskerralla.

Muuttuja	2. mittaus		6.mittaus	
	KA	SD	KA	SD
HR Avg (bpm)	160,2	10,0	155,5	8,5
HR Max (bpm)	176,4	9,8	173,4	8,1
HR Pal (bpm)	133,7	15,5	127,1	21,3
HR erotus (bpm)	42,8	14,7	46,3	21,7
Palautus %	24,2	8,0	26,6	12,4

Submaksimaalisen juoksutestin toisen ja kuudennen mittauskerran erotusten keskiarvot, keskihajonnat ja p-arvot on koottu taulukkoon 8.

TAULUKKO 8. Submaksimaalisen juoksutestin 2. ja 6. mittauskerran muuttujien erotusten keskiarvo, keskihajonta ja p-arvo.

Muuttuja	Δ Ka	SD	p-arvo
HR Avg (bpm)	-4,7	4,5	0,006**
HR Max (bpm)	-3,0	5,2	0,058
HR Pal (bpm)	-6,6	16,0	0,165
HR erotus (bpm)	+3,5	15,3	0,424
Palautus %	+2,4	8,9	0,346

*** $p \leq 0.001$, ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero mittauskertojen välillä.

Kuviossa 5 on submaksimaalisen juoksutestin sykemuuttujat graafisessa muodossa. Juoksutestin aikaisen keskiarvosykkeen muutos on tilastollisesti merkittävä.



KUVIO 5. Submaksimaalisen juokсутestin keskiarvosyke (HR Avg), maksimisyke (HR Max), palautumissyke minuutin jälkeen testin päättymisestä (HR Pal) sekä maksimisykkeen ja palautumissykkeen erotus (HR erotus). *** $p \leq 0.001$, ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero mittauskertojen välillä.

8.3 Nopeustesti

Nopeustestissä havaittiin tilastollisesti merkittävä ero 30 metrin ajoissa toisen ja kuudennen mittauskerran välillä. Toisen mittauskerran ryhmän keskiarvo aika oli $4,29 \pm 0,14$ sekuntia ja kuudennen mittauskerran $4,20 \pm 0,16$ sekuntia, joten eroa oli $0,9 \pm 0,072$ sekuntia kertojen välillä ja muutoksen p-arvo oli 0,001. Aiemmissä tutkimuksissa esimerkiksi Hoffman ym. (2000) on pitänyt 27 metrin juokсутestissä merkittävänä muuttuja vasta $0,15$ sekunnin muutosta. Viiden ja kymmenen metrin väliajoissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia, vaikka näissäkin ajoissa oli lievää parannusta kuudennella mittauskerralla verrattuna toiseen mittauskertaan. Nopeustestin tulokset viiden ja kymmenen metrin väliajoilla on esitetty kokonaisuutena taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Nopeustestin 2. ja 6. mittauskerran muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat.

Muuttuja	2. mittaus		6.mittaus	
	Ka	SD	Ka	SD
Nopeus 5 m	1,03	0,04	1,01	0,04
Nopeus 10 m	1,76	0,06	1,73	0,07
Nopeus 30 m	4,29	0,14	4,20	0,16

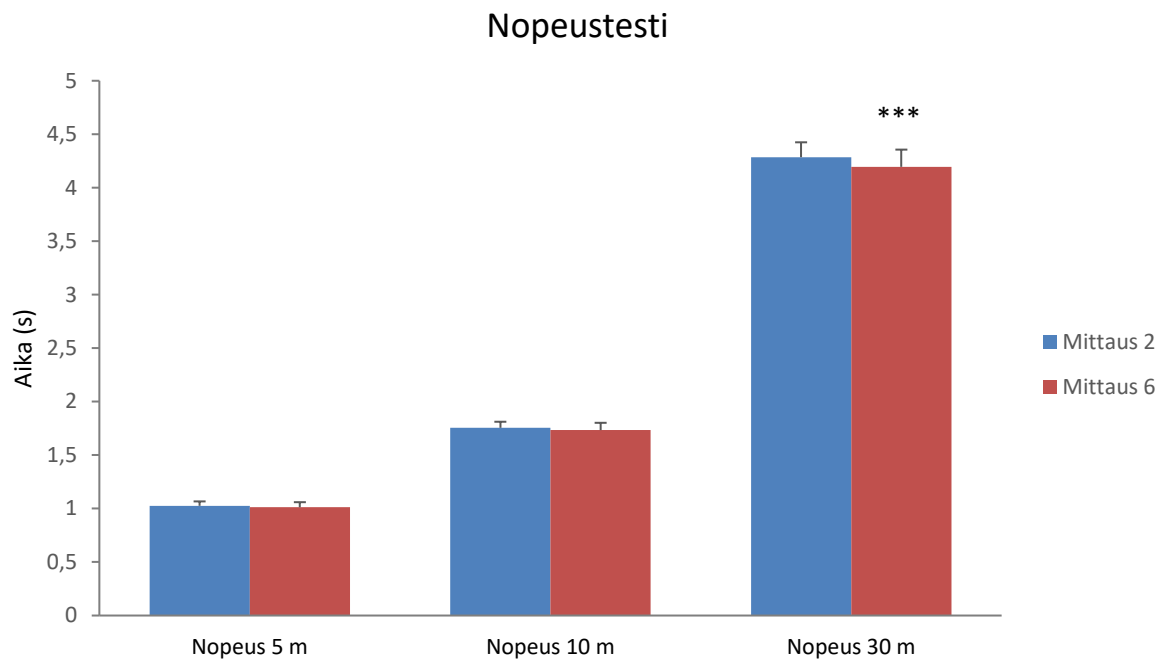
Nopeustestikertojen muutosten keskiarvo ja keskihajonnat on esitetty taulukossa 10. Tilastollisesti merkittävänä ero ($-0,09 \pm 0,072$ s) voidaan havaita 30 metrin aikojen muutoksessa (p-arvo 0,001).

TAULUKKO 10. Nopeustestin 2. ja 6. mittauskerran muuttujien erotusten keskiarvo, keskihajonta ja p-arvo.

Muuttuja	Δ Ka	SD	p-arvo
Nopeus 5 m	- 0,014	0,038	0,229
Nopeus 10 m	- 0,022	0,040	0,09
Nopeus 30 m	- 0,090	0,072	0,001***

*** $p \leq 0.001$, ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero mittauskertojen välillä.

Kuviossa 6 on havainnollistettu nopeustestin tuloksia. 30 metrin kokonaisajan muutos mittauskertojen välillä oli tilastollisesti merkittävä.



KUVIO 6. Nopeustestin 2. ja 6. mittauskerran tulokset. *** $p \leq 0.001$, ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä ero mittauskertojen välillä.

8.4 Muuttujien keskinäinen korrelaatio

Toisen ja kuudennen testikerran erotusmuuttujien välistä yhteyttä tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiomatriisilla (taulukko 11). Korrelaatiomatriisin perusteella voidaan todeta, että leposyke ja peräkkäisten sykevälivaihtelun keskimääräinen vaihtelu näyttäisi olevan yhteydessä toisiinsa. Sykevälivaihtelun keksihajonta ja matalan taajuuden sykevälivaihtelun välille näyttäisi myös muodostuvan korrelaatiota.

Juoksutestin aikaisista sykemuuttujista testin aikaisen keskiarvosykkeen ja testin aikaisen maksimisykkeen osalta nähtiin vahva korrelaatio, kuten myös palautumissykkeen erotuksen ja

prosentuaalisella palautumisprosentilla. Jälkimmäinen on toki hyvin odotettavaa, koska palautumisprosentti on laskennallinen arvo erotussykkeestä.

Nopeustestissä nähtiin vahva korrelaation 5 ja 10 metrin väliajoilla, mutta ei kuitenkaan 30 metrin aikaan.

Kolmen eri testipatteriston suhteen keskinäistä vahvaa korrelaatiota ei nähty millään muuttujalla. Lievää korrelaatiota oli kuitenkin havaittavissa juokсутestin palautumissykkeellä ja pikapalautumistestin sykevälivaihtelun keskihajonnalla sekä palautumissykkeellä ja matalan taajuuden sykevälivaihtelulla.

TAULUKKO 11. Muuttujien keskinäinen korrelaatiotaulukko (Spearmanin) ** $p \leq 0.01$ * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä. Vihreällä korostetuissa korrelaatioissa p-arvo on ≤ 0.01 ja keltaisella merkityissä korrelaatioissa $p \leq 0.05$.

		Δ HR Lepo	Δ RRRMSSD	Δ RR SD	Δ HF Ka	Δ LF Ka	Δ LF/HF	Δ HR Avg	Δ HR Max	Δ HR Pal	Δ HR erotus	Δ HR palautus %	Δ Nopeus 5 m	Δ Nopeus 10 m	Δ Nopeus 30 m
Δ HR Lepo	Korrelaatio	1,000	-,712**	-,657*	-0,458	0,181	0,385	0,155	-0,094	0,333	-0,283	-0,253	0,472	0,381	0,109
	p-arvo		0,004	0,011	0,099	0,537	0,194	0,649	0,761	0,266	0,348	0,404	0,122	0,222	0,735
	N	14	14	14	14	14	13	11	13	13	13	13	12	12	12
Δ RRRMSSD	Korrelaatio	-,712**	1,000	0,512	,586*	-0,267	-0,421	0,169	0,344	-0,209	0,289	0,287	-0,340	-0,135	-0,018
	p-arvo	0,004		0,062	0,028	0,357	0,152	0,620	0,249	0,492	0,338	0,343	0,280	0,676	0,957
	N	14	14	14	14	14	13	11	13	13	13	13	12	12	12
Δ RR SD	Korrelaatio	-,657*	0,512	1,000	,715**	-0,013	-0,127	-0,401	-0,223	-,564*	0,418	0,468	-0,163	-0,117	-0,014
	p-arvo	0,011	0,062		0,004	0,964	0,680	0,222	0,464	0,045	0,155	0,107	0,614	0,718	0,965
	N	14	14	14	14	14	13	11	13	13	13	13	12	12	12
Δ HF Ka	Korrelaatio	-0,458	,586*	,715**	1,000	-0,156	-0,148	-0,409	-0,308	-,582*	0,440	0,533	-0,356	-0,138	0,007

	p-arvo	0,099	0,028	0,004		0,594	0,629	0,212	0,306	0,037	0,133	0,061	0,256	0,669	0,983
	N	14	14	14	14	14	13	11	13	13	13	13	12	12	12
Δ LF Ka	Korrelaatio	0,181	-0,267	-0,013	-0,156	1,000	,659*	0,064	0,027	-0,258	0,544	0,467	0,176	0,127	0,014
	p-arvo	0,537	0,357	0,964	0,594		0,014	0,853	0,929	0,394	0,055	0,108	0,583	0,694	0,965
	N	14	14	14	14	14	13	11	13	13	13	13	12	12	12
Δ LF/HF	Korrelaatio	0,385	-0,421	-0,127	-0,148	,659*	1,000	0,103	-0,070	-0,049	0,231	0,154	0,372	0,406	0,303
	p-arvo	0,194	0,152	0,680	0,629	0,014		0,777	0,829	0,880	0,471	0,633	0,259	0,216	0,365
	N	13	13	13	13	13	13	10	12	12	12	12	11	11	11
Δ HR Avg	Korrelaatio	0,155	0,169	-0,401	-0,409	0,064	0,103	1,000	,891**	0,536	-0,136	-0,282	0,494	0,588	0,477
	p-arvo	0,649	0,620	0,222	0,212	0,853	0,777		0,000	0,089	0,689	0,401	0,177	0,096	0,194
	N	11	11	11	11	11	10	11	11	11	11	11	9	9	9
Δ HR Max	Korrelaatio	-0,094	0,344	-0,223	-0,308	0,027	-0,070	,891**	1,000	0,505	-0,093	-0,231	0,174	0,238	0,092
	p-arvo	0,761	0,249	0,464	0,306	0,929	0,829	0,000		0,078	0,762	0,448	0,608	0,481	0,788
	N	13	13	13	13	13	12	11	13	13	13	13	11	11	11
Δ HR Pal	Korrelaatio	0,333	-0,209	-,564*	-,582*	-0,258	-0,049	0,536	0,505	1,000	-,835**	-,912**	0,495	0,458	-0,202
	p-arvo	0,266	0,492	0,045	0,037	0,394	0,880	0,089	0,078		0,000	0,000	0,121	0,157	0,552
	N	13	13	13	13	13	12	11	13	13	13	13	11	11	11
Δ HR erotus	Korrelaatio	-0,283	0,289	0,418	0,440	0,544	0,231	-0,136	-0,093	-,835**	1,000	-,967**	-0,422	-0,375	0,376
	p-arvo	0,348	0,338	0,155	0,133	0,055	0,471	0,689	0,762	0,000		0,000	0,196	0,255	0,254
	N	13	13	13	13	13	12	11	13	13	13	13	11	11	11
Δ HR palautus %	Korrelaatio	-0,253	0,287	0,468	0,533	0,467	0,154	-0,282	-0,231	-,912**	-,967**	1,000	-0,431	-0,394	0,248
	p-arvo	0,404	0,343	0,107	0,061	0,108	0,633	0,401	0,448	0,000	0,000		0,185	0,231	0,463
	N	13	13	13	13	13	12	11	13	13	13	13	11	11	11
Δ Nopeus 5 m	Korrelaatio	0,472	-0,340	-0,163	-0,356	0,176	0,372	0,494	0,174	0,495	-0,422	-0,431	1,000	-,941**	0,139
	p-arvo	0,122	0,280	0,614	0,256	0,583	0,259	0,177	0,608	0,121	0,196	0,185		0,000	0,668
	N	12	12	12	12	12	11	9	11	11	11	11	12	12	12
Δ Nopeus 10 m	Korrelaatio	0,381	-0,135	-0,117	-0,138	0,127	0,406	0,588	0,238	0,458	-0,375	-0,394	-,941**	1,000	0,263
	p-arvo	0,222	0,676	0,718	0,669	0,694	0,216	0,096	0,481	0,157	0,255	0,231	0,000		0,408
	N	12	12	12	12	12	11	9	11	11	11	11	12	12	12
Δ Nopeus 30 m	Korrelaatio	0,109	-0,018	-0,014	0,007	0,014	0,303	0,477	0,092	-0,202	0,376	0,248	0,139	0,263	1,000
	p-arvo	0,735	0,957	0,965	0,983	0,965	0,365	0,194	0,788	0,552	0,254	0,463	0,668	0,408	
	N	12	12	12	12	12	11	9	11	11	11	11	12	12	12

9 POHDINTA

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää, mitkä testipatteriston muuttujat reagoivat pelaajien kuormittumiseen ja/tai palautumiseen. Lisäksi oltiin kiinnostuneita, oliko eri muuttujilla korrelaatiota keskenään.

Tilastollisesti merkittävää muutosta havaittiin mittauskertojen välillä vain submaksimaalisen juokсутestin aikaisessa keskiarvosykkeessä ($-4,7 \pm 4,5$ bpm, $p \leq 0,01$) ja 30 metrin nopeustestin loppuajoissa ($-0,09 \pm 0,072$ s, $p \leq 0,001$). Pikapalautumistestissä leposyke nousi hieman ($+1,9$) ja kaikki muut muuttujat laskivat (RR RMSSD: $-3,6 \pm 15,9$ ms; RR SD: $-7,4 \pm 24,5$ ms; HF Ka: $-342,2 \pm 1622,5$ ms² ja LF/HF: $-4,0 \pm 1622,5$), mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkittäviä. Submaksimaalisen testin muissa muuttujissa kuin keskisykkeessä havaittiin myös muutosta (HR Max: $-3,0 \pm 5,2$; HR Pal: $-6,6 \pm 16,0$; HR erotus: $+3,5 \pm 15,3$ ja palautus %: $+2,4 \pm 8,9$), mutta nämä eivät olleet tilastollisesti merkittäviä. 30 metrin juokсутestin viiden ja kymmenen metrin väliajat paranivat myös (5 m: $-0,014 \pm 0,038$ ja 10 m: $-0,022 \pm 0,040$), mutta nämä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkittäviä muutoksia. Muuttujien välistä korrelaatiota tutkittaessa ei eri testiosoiden väliltä löytynyt vahvaa korrelaatiota.

Tilastollisten muutosten valossa voitaisiin siis sanoa, että submaksimaalisen juokсутestin aikainen keskisyke ja 30 metrin juokсутestin kokonaisaika heijastavat herkimmin kuormittuneisuuden tai palautuneisuuden tilaa. On kuitenkin huomattava, että mittauskertojen välillä on ollut seitsemän viikkoa väliä ja harjoittelun kuormittavuudesta ei ole tällä välillä luotettavaa tietoa. Kuitenkin esimerkiksi Hoffman ym. (2000) seurattessaan koripalloilijoiden kuormitusta, totesi 27 metrin juokсутestin heijastavan herkimmin väsymyksen oireita johtuen harjoitusmäärän ja intensiteetin kasvusta. Tähän pohjautuen voidaan vahvasti olettaa, että pelaajat ovat olleet keskimäärin palautuneemmassa tilassa kuudennella mittauskerralla kuin toisella. Keskisykkeen laskeminen submaksimaalisessa juokсутestissä tukee tutkimusten mukaan tätä väitettä (Lamberts ym. 2010; Buchheit ym. 2012; Buchheit ym. 2013; Vesterinen ym. 2014). Toisaalta taas esimerkiksi Le Meur ym. (2013) ovat tutkimuksessaan löytäneet yhteyden alentuneeseen sykkeeseen kuormituksessa monella eri intensiteetillä lyhytaikaisessa

kuormituksessa suorituskyvyn ollessa heikentynyt. Palautumisjakson jälkeen syke on testissä ollut taas korkeampi, mutta kuitenkin jäänyt alemmas lähtötasoon verrattuna. Palautusjakson jälkeisessä suorituskykytestissä tulos parani lähtötasoa paremmaksi. He ovat myös esittäneet, että sykkeen muutokset submaksimaalisessa ja maksimaalisessa kuormituksessa ovat merkittävimmät muuttujat verrattaessa kuormittunutta urheilijaa kontrolliryhmään. Submaksimaalisen juoksutestin muutoksia arvioitaessa on huomioitava, puhutaanko akuuteista muutoksista (kuormituksesta seuraavana päivänä) vai pidemmän aikavälin muutoksista (viikkoja), jolloin parantunut kestävyyskunto iskutilavuuden kautta on vaikuttavana tekijänä. Akuuteissa muutoksissa sykkeen aleneminen voi liittyä myös plasman laajenemiseen harjoittelun ja olosuhteiden (esim. kuumuus) seurauksena (Buchheit ym. 2013).

Submaksimaalisessa juoksutestissä myös maksimisykkeessä voitiin havaita lievää laskua, vaikka tämä ei ollutkaan tilastollisesti merkittävä (p-arvo 0,058). Lasku on sinänsä looginen ja korreloi alhaisempaa keskisykettä (korrelaatiokerroin 0,891). Keskisykkeen tavoin, myös maksimisykkeen muutoksista submaksimaalisessa testissä on eroa tutkimustuloksia, mutta niissäkin muutokset korreloivat keskisykkeen muutokseen.

Submaksimaalisen testin keskisykkeen käyttö kuormituksen seurannassa voidaankin näin ollen todeta olevan reagoiva muuttuja, mutta sen käyttö ja tulkinta ei ole yksiselitteistä.

Submaksimaalisen testin minuutin pituisen palautusjakson jälkeisessä sykkeessä havaittiin lievää laskua ($-6,6 \pm 16,0$), mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkittävä. Aiemmissä tutkimuksissa tämänkin muuttujan kohdalla on saatu ristiriitaisia tuloksia kuormituksen seurantatutkimuksissa (Le Meur ym. 2013). Nopeampaa sykkeen palautumista on pidetty myös yhtenä kasvaneen kestävyyskunnan markerina (Andrew ym. 1966; Hagberg 1980).

Mielenkiintoista tämän tutkimuksen tuloksissa oli tilastollisesti merkittävä muutos submaksimaalisen juoksutestin keskisykkeessä, mutta merkittävää muutosta ei kuitenkaan havaittu leposykkeessä ($+1,9 \pm 7,8$). Näiden muuttujien yhtenä merkittävimpinä tekijöinä on pidetty kasvanutta sydämen iskutilavuutta (Bellenger ym. 2016). Kuten jo aiemmin

todettu, niin leposyke on muuttujana kohtalaisen häiriöherkkä. Tilastollisen analyysin ulkopuolelta voidaan myös todeta, että leposykkeen osalta osallistujilla mittauskertojen välillä osalla leposyke laskee ja osalla nousee. Taas submaksimaalisen juoksupuolelta trendi oli kauttaaltaan laskevat osallistujilla. Myös aiemmissa tutkimuksissa on keskenään todettu ristiriitaa leposykkeen reagoinnista kuormittumiseen ja palautumiseen. Erot voivat selittyä sillä, onko sympaattisen (leposyke nousee) vai parasympaattinen (leposyke laskee) hermosto hallitsevampana reagoijana ylikuormitukseen (Le Meur ym. 2013, Willmore, s. 383).

Tutkimuksen tulosten tulkinnassa voidaan käyttää tukena myös ryhmällä tehtyä YoYo testiä marraskuussa ja huhtikuussa. Testin tuloksia ei käytetty varsinaisessa työssä, koska testin suorittamisessa oli tiettyjä epävarmuustekijöitä, kuten osallistujien varastamista ennen äänimerkkiä ja kolmelta kuormittumisen seurantaan osallistuneilla ei ollut testitulosta sekä syksyiltä että keväällä. Ryhmän keksiarvotulos oli marraskuussa 2904±790 metriä ja huhtikuussa 3600±929 metriä. Näin ollen parannusta testissä oli ryhmällä 696±384 metriä. Muutos oli tilastollisesti erittäin merkittävä $p \leq 0,001$. On vaikea arvioida, kuinka paljon epävarmuustekijät vaikuttivat testituloksiin, mutta muutos on niin iso, ettei ainakaan heikkenemistä tällä aikavälillä ole tapahtunut suorituskyvyssä.

Pikapalautumistestin muuttujissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia, joten voitaisiin todeta, että viiden minuutin valveilla tehtävä pikapalautumistesti ei heijasta yhtä herkästi muutoksia kuin submaksimaalinen juoksupuolelta ja 30 metrin nopeustesti. Jonkinasteista muutosta voidaan sanoa olleen matalan taajuuden sykevälivaihtelussa (LF Ka: -1496,7±4026,0 ms). Matalan taajuuden sykevälivaihtelun merkityksestä tiedetään yleisesti vielä melko vähän, mutta sen on arveltu heijastavan sekä sympaattista että parasympaattista tilaa. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu rasituksen jälkeisissä sykevälivaihtelun yömittauksissa LF-arvon nousun ennen rasitusta verrattuun tilaan, ja LF-arvo on jälleen lähtenyt taas laskuun palautumisajan edetessä. LF-arvon laskun voidaan siis varovasti tulkita heijastavan parempaa palautumisen tilaa. Pikapalautumistestissä mittausjakso on kuitenkin huomattavasti lyhyempi ja mittauksen aikana ei olla unessa. Haasteena sykevälivaihtelun tulkintaan tilastollisin menetelmin voidaan todeta olevan suuri keskihajonta jo lähtöarvoissa N:n ollessa pieni.

30 metrin nopeustestissä tilastollisesti merkittävä muutos mittauskertojen välillä todettiin 30 metrin loppuajassa, mutta ei viiden ja kymmenen metrin väliajoissa. Parantuneet nopeustestin tulokset voisivat sinänsä kertoa siitä, että ainakaan kokonaisuutena pelaajat eivät olleet kuormittuneempia kuin aiemmalla testikerralla. Tuloksinassa on huomioitava, että kuudennen mittauskerran ajankohta oli maaliskuun puolivälissä, kun toinen mittauskerta suoritettiin tammikuun puolessa välissä. Harjoituspainotukseen marras-joulukuu oli kestävyyspainotteista, kun taas tammi-helmikuun harjoittelu painottui voimaharjoitteluun. Maaliskuun alussa painotus oli vaihtunut nopeus- ja nopeuskestävyysharjoitteluun. Harjoitusjaksotuksen ja pelaajien iän ottaen huomioon nopeustestin tulokset ovat saattaneet parantua harjoittelun seurauksena. Voidaan kuitenkin olettaa, että mikäli pelaajat olisivat testihetkellä olleet kuormittuneessa tilassa, niin testitulokset eivät olisi parantuneet.

9.1 Tutkimuksen rajoitteet

Luotettavan tutkimuksen kannalta testattavien pelaajien määrä jäi melko pieneksi (N=14). Alun perin testattavan joukon oli tarkoitus olla suurempi, mutta akatemiaurheilijat saattoivat vaihtaa joukkuetta tai harjoitusryhmää kesken testijakso ja lisäksi kaikki ryhmään kuuluvat eivät olleet aina paikalla. Niinpä kuudesta eri mittauskerrasta päädyttiin lopulta käyttämään vain kahta mittauskertaa, jolloin paikalla oli suurin osa harjoitusryhmään kuuluvista pelaajista. Tutkimuksen kannalta testausjoukko olisi ollut parempi valita kyseistä tutkimusta varten.

Laitteistojen ja mittarien voidaan sanoa toimineen luotettavasti, muutamia hetkellisiä mittarien kontaktihäiriöitä lukuun ottamatta submaksimaalisen juoksutestin alussa. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut tuloksiin, sillä submaksimaalisesta juoksutestistä alkuosaa ei otettu huomioon analyysissä juuri mahdollisten mittarihäiriöiden takia. Mittarit oli myös huolella numeroitu käyttäjille ja varmistettiin vielä aina ennen testin alkua, joten mittarien sekaantuminen ei oikeastaan ollut mahdollista.

Testin alkuaika oli aina samaan vuorokaudenalkuun ja ennen testiä pyrittiin välttämään ylimääräistä liikuntaa ja rauhoittumaan ennen testiä. Sitä mitä kukin oli esimerkiksi ennen testiä

aamalla tehnyt, ei voitu kuitenkaan kontrolloida. Pääsääntöisesti pelaajat ehtivät hyvin rauhoittumaan ennen testiä yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta. Testi suoritettiin aina myös samassa paikassa sisäolosuhteissa. Tämä on tärkeää, sillä esimerkiksi kuumuuden ja siitä johtuvien elimistön muutosten on todettu aiheuttavan muutosta sykemuuttujissa. Ennen 30 metrin nopeustestiä suoritettiin aina mahdollisimman vakioitu lämmittely. Toki joka kerta yksilö voi suorittaa lämmittelyn ja lihasten aktivointiharjoitteet eri lailla, mutta tätä voidaan pitää melko hyvin vakioituna ja osallistujia ohjeistettiin tekemään lämmittely mahdollisimman samankaltaisesti joka kerta.

Kuormittumisen ja palautumisen seurannan tutkimuksessa usein haasteena on todentaa lähtökohtainen tila ja kuormittumisen arviointi, eikä tämä tutkimus tehnyt siinä suhteessa poikkeusta. Harjoittelun kausipainotukset olivat tiedossa ja pelaajilta oli tarkoitus kerätä myös dataa harjoittelusta, mutta tätä ei saatu toteutettua riittävän luotettavalla tasolla kokonaisuutena. Lisäksi tehtäessä tilastollista analyysiä, tarkkaillaan aina koko otosta, jolloin osa ryhmästä on voinut olla eri kuormitustilassa kuin osa. Myös sykemuuttujien reagointi voi olla hyvin yksilöllistä ja tutkimusten pohjalta on ristiriitaista tietoa siitä, mihin suuntaa sykemuuttajat reagoivat kuormituksen kasvaessa.

9.2 Johtopäätökset

Kokonaisuutena voidaan todeta, että kuormittumista heijastavien muuttujien tutkiminen on hyvin haastavaa erityisesti sykemuuttujien osalta. Jatkotutkimuksien kannalta testausasetelman huolellinen valinta on erittäin tärkeää ja näin monen muuttuja tutkimuksessa testiryhmä on hyvä rakentaa erityisesti tutkimusta varten, jolloin heille voidaan teettää tietynlaista harjoittelua kuormitusefektin todennäköiseksi saavuttamiseksi. Myös kontrolliryhmä olisi tutkimuksessa luultavasti hyödyllinen. Lisäksi ennen testijaksoa tarvittaisiin jonkinlainen kevyt ja kontrolloitu valmistautumisjakso, minkä avulla voitaisiin asettaa vertailutaso sykevälivaihteluun perustuville muuttujille.

Vaikka tutkimuksen asetelmasta voidaan todeta olleen joitakin kehityskohteita, pystytään näiden tulosten pohjalta kohtalaisella luotettavuudella toteamaan muutamia seikkoja käytännön sovelluksen kannalta jatkossa. Submaksimaalinen juoksutesti ja erityisesti testin aikainen keskisyke näyttäisi heijastavan muutoksia kuormituksessa ja kestävyyskunnossa melko herkästi. On kuitenkin tärkeää huomioida tämän muuttujan kohdalla siihen vaikuttavat tekijät ja mikä testiväli on. Keskisykkeen lasku voi heijastaa niin kuormitusta kuin parantunutta kestävyyskuntoa ja näiden erottaminen vaatii jatkuvaa seurantaa (1–2 viikon välein). Liian pitkä testausväli saattaa jättää huomiotta kuormittumisesta johtuvan sykkeen laskun ja aiheuttaa väärän tulkinnan parantuneesta kestävyyskunnosta. Submaksimaalinen testi yksinään käytettynä voikin johtaa väriin tulkintoihin. Submaksimaalisen juoksutestin rinnalla 30 metrin nopeustestin voidaan todeta olevan toimiva seurantaväline kuormituksen ja voima-/nopeusominaisuuksien seurannassa. Viiden ja kymmenen metrin väliajat taas eivät olleet merkittäviä ja testauksen helpottamiseksi nämä voidaan tarvittaessa jättää myös pois. Harjoittelu ennen testauspäivää tulisi olla aina mahdollisimman samanlaista ja mielellään kohtalaisen kevyttä.

Pikapalautumistestin hyödytä kuormittumisen seurannassa ei tämän tutkimuksen pohjalta nähty arvoa. On kuitenkin huomioitava jo aiemmin esille tuodut rajoitteet erityisesti sykevälivaihtelua tutkittaessa otosjoukon ollessa näin pieni. Pikapalautumistestin käytön hyödyllisyyden selvittäminen osana testipatteristoa vaatisi vahvemman tulkinnan saamiseksi lisäselvitystä ja mahdollisesti toisenlaisen tutkimusasetelman. Aiempiin tutkimuksiin peilaten pikapalautumistestin muuttujat voivat heijastaa parhaiten akuutteja muutoksia kuormitukseen kuin niinkään pidemmän aikavälin muutoksia. Tällöin tuloksiin saattaa merkittävästi vaikuttaa edellisen päivän harjoittelun laatu ja kuormittavuus, koska sympaattinen hermosto reagoi nopeasti sekä fyysisiin että psyykkisiin ärsykkeisiin.

LÄHTEET

Al-Ani, M., Munir, S., White, M., Townend, J. & Coote J. 1996. Changes in R-R variability before and after endurance training measured by power spectral analysis and by the effect

- of isometric muscle contraction. *European journal of applied physiology*, 74: 397-403.
- Andrew GM, Guzman CA, Becklake MR (1966) Effect of athletic training on exercise cardiac output. *J Appl Physiol* 21:603–608.
- Arai, Y., Saul, J., Albrecht, P., Hartley, L., Lilly, L., Cohen, R. & Colucci, W. 1989. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 256, H132–H141.
- Beckers, F., Verheyden, B. & Aubert, A.E. 2006. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *American Journal of Physiology: Heart & Circulatory Physiology* 290, 2560-2570.
- Bernardi, L., Salvucci, F., Suardi, R., Solda, P., Calciati, A., Perlini, S., Falcone, C. & Ricciardi, L. 1990. Evidence for an intrinsic mechanism regulating heart rate variability in the transplanted and the intact heart during submaximal dynamic exercise? *Cardiovascular Research* 24, 969–981.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O.J.C. & Woods, J.J. 1983. Contractile Speed and EMG Changes During Fatigue of Sustained Maximum Voluntary Contractions. *Journal of Neurophysiology* 50, 313–324
- Bloomfield DM, Magnano A, Bigger JT Jr, Rivadeneira H, Parides M, Steinman RC (2001) Comparison of spontaneous vs metronomeguided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 280:H1145–H1150
- Brownley, K., Hurwitz, B. & Schneiderman, N. 2000. *Cardiovascular psychophysiology*. Teoksessa: Cacioppo, J., Tassinari, L. & Berntson, G. (toim.) *Handbook of psychophysiology*. 2.painos. Cambridge: University Press, 224 – 264.
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550–555.
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young

- soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711–723.
- Buchheit, M., Laursen, P. & Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 293, H133-H141.
- Byrne, E.A., Fleg, J.L., Vaitkevicius, P.V., Wright, J. & Porges, S.W. (1996) Role of aerobic capacity and body mass index in the age-associated decline in heart rate variability. *J Appl Physiol* 81, 743-750.
- Carter, J., Banister, E. & Blaber, A. 2003. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Medicine* 33, 33-46.
- Casadei, B., Cochrane, S., Johnston, J., Conway, J. & Sleight, P. 1995. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta Physiology Scandica* 153, 125–131.
- Casties, J.-F., Mottet, D. & Le Gallais, D. 2006. Non-linear analysis of heart rate variability during heavy exercise and recovery in cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 27, 780-785.
- Edwards, R.H.T. 2008. *Human Muscle Function and Fatigue*. Teoksessa: (toim.) Porter, R. & Whelan, J. Ciba Foundation Symposium 82 - Human Muscle Fatigue: Physiological Mechanisms. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK
- Enoka, R.M. & Stuart, D.G. 1992. Neurobiology of muscle fatigue. *J. Appl. Physiol.* 72, 1631-1648.
- Force, T., Society, E., North, T., & Society, A. (1996). Guidelines Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, 354–381.
- Fry, R. W., Morton, A. R., & Keast, D. (1991). Overtraining in athletes. *Sports Medicine*, 12(1), 32-65.
- Goldberger, J., Le, F., Lahiri, M., Kannankeril, P., Ng, J. & Kadish, A. 2006. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 290, H2446- H2452.

- Guyton, A.C. & Hall, J.E. 1998. Text book of Medical Physiology. 9. pianos. W.B. Saunders Company, Pennsylvania.
- Hagberg, J. M., Hickson, R. C., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1980). Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. *Journal of Applied Physiology*, 48(2), 218-224
- Hainsworth, R. 1998. Physiology of the cardiac autonomic system. In: Malik, M (ed.) *Clinical guide to cardiac autonomic tests*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 3-29.
- Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., & Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238-245.
- Hautala, A., Mäkikallio, T., Kiviniemi, A., Laukkanen, R., Nissilä, S., Huikuri, H. & Tulppo, M. 2003. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 285, H1747- H1752.
- Huikuri, H., Pikkujämsä, S., Airaksinen, J., Ikäheimo, M., Rantala, A., Kauma, H., Lilja, M. & Kesäniemi, A. 1996. Sex-related differences in autonomic modulation of heart rate in middle-aged subjects. *Circulation* 94, 122-125.
- Hynynen, E., Vesterinen, V., Rusko, H. & Nummela, A. 2010. Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV. *International Journal of Sports Medicine* 31, 428-432.
- Israel, S. (1976) Zur Problematik des Übertraining aus Internistischer und Leistungsphysiologischer Sicht. *Med. U. Sport* 16.1 1-12
- Ito, H., Nozaki, M., Maruyama, T., Kaji, Y. & Tsuda, Y. 2001. Shift work modifies the circadian patterns of heart rate variability in nurses. *International Journal of Cardiology* 79, 231-236.
- Kettunen, J. & Keltikangas-Järvinen, L. 2001. Intraindividual analysis of instantaneous heart rate variability. *Psychophysiology*, 38, 659 - 668.
- Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1988). Overtraining in elite athletes. *Sports Medicine*, 6(2), 79-

- Laitio T., Scheinin H., Kuusela T., Mäenpää M. & Jalonen J. 2001. Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo?. *Finnanest* 34, 3, 249, 254.
- Lamberts RP, Rietjens GJ, Tjeldink HH, Noakes TD, Lambert MI (2010) Measuring submaximal performance parameters to monitor fatigue and predict cycling performance: a case study of a world-class cyclo-cross cyclist. *Eur J Appl Physiol* 108:183–190
- Lehmann, M., Foster, C., Keul, J. (1993) Overtraining in Endurance Athletes: A Brief Review. *Medicine & Science in Sport and Exercise*. 25: 854-862
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., ... Hauswirth, C. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2061–2071.
- Liao, D., Barnes, R.W., Chambless L.E., Simpson, R.J. Jr., Sorlie, P., Heiss, G. 1995. Age, race and sex differences in autonomic cardiac function measured by spectral analysis of heart rate variability - the ARIC study. *Am J Cardiol* 76, 906-912.
- Martinmäki, K. & Rusko, H. 2008. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology* 102, 353-360.
- McCarty, R. & Watkins, A. 1996. Autonomic assessment report; A Comprehensive heart rate variability analysis. Boulder Creek: Institute of HeartMath.
- Meusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Gerard, R., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2006) Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *European Journal of Sport Science* 6 (1): 1-4
- Pferrer, M.A., Weinberg, C.R. & Cook, D. 1983 Differential changes of autonomic nervous system functioning with age in man. *Am J Med* 75, 249-258.
- Porges, S. & Byrne, E. 1992. Research methods for measurement of heart rate and respiration. *Biological physiology*, 34 : 93 – 130.
- Richards, R. (1999) "Burnout" -The overtraining syndrome in swimming. ASCTAConvention.

- Rusko, H. 1994. Recovery and overtraining. The way to win, International congress on applied research in sports. Helsinki, Finland.
- Sato, N., Miyake, S., Akatsu, J. & Kumashiro, M. 1995. Power spectral analysis of heart rate variability in healthy young women during the normal menstrual cycle. *Psychosomatic Medicine* 57, 331-335.
- Seiler, S., Haugen, O. & Kuffel, E. 2007. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39, 1366-1373.
- Silverthorn, D., (1998) *Human physiology: An Integrated Approach*. Prentice Hall, New Jersey.
- Tarkiainen, T., Timonen, K., Tiittanen, P., Hartikainen, J., Pekkanen, J., Hoek, G., Ibaldo-Mulli, A. & Vanninen, E. 2005. Stability over time of short-term heart rate variability. *Clinical Autonomic Research* 15, 394-399.
- Terveurheilijaseminaari
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 10(8), 958-964.
- Tulppo, M., Mäkikallio, T., Seppänen, T., Laukkanen, R. & Huikuri, H. 1998. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 274, H424–H429
- Uusitalo-Koskinen, A. (2000) Urheilijan ylikuormitustila diagnostisena ja hoidollisena ongelmana. *Suomen lääkirilehti* 40, 4045-4050.
- Vandeput, S., Verheyden, B., Aubert, A. & Van Huffel, S. 2012. Nonlinear heart rate dynamics: circadian profile and influence of age and gender. *Medical Engineering & Physics* 34, 108-117.
- Vollestad, N.K. 1997. Measurement of human muscle fatigue. *J. Neurosci. Methods*, 74, 219–227.
- Willmore, J. & Costill, D. 1994. *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, Champaign.

Yamamoto, Y., Hughson, R. & Peterson, J. 1991. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *Journal of Applied Physiology* 71, 1136–1142.