

**SYDÄMEN AUTONOMISEN SÄÄTELYN YHTEYS  
KESTÄVYYSHARJOITTELUVASTEeseen**

Ida Heikura

Liikuntafysiologia

Kandidaatintutkielma

LFYA005

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Seminaariohjaaja: Mikko Virmavirta

Tutkimusohjaajat: Esa Hynynen

Ville Vesterinen

# TIIVISTELMÄ

**Heikura, Ida.** 2013. Sydämen autonomisen säätelyn yhteys kestävyysharjoitteluvasteeseen. Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 51 sivua.

Kestävyysurheilussa harjoitusmäärät ovat usein suuria, sillä kestävyysominaisuuksien kehittyminen vaatii runsasta ja monipuolista harjoittelua. Elimistöön kohdistuvan kokonaiskuormituksen hallinta on kuitenkin haastavaa, sillä keho ei erottele fyysistä stressiä psyykkisestä. Autonominen hermosto on herkkä reagoimaan elimistöön kohdistuvaan kuormitukseen. Sykevaihtelun on havaittu kuvastavan hyvin etenkin parasympaattisen hermoston toimintaa levon ja kevyen liikunnan aikana. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa kestävyysharjoitteluvastetta.

**Menetelmät.** Tutkittavat olivat kestävyysjuoksutaustan omaavia ( $n = 40$ ) kestävyyskuntoilijoita (ikä  $35.0 \pm 7.9$  vuotta, pituus  $171.0 \pm 8.5$  cm, paino  $69.1 \pm 11.4$  kg), joista 20 naisia ja 20 miehiä. Tutkimusjakso oli kestoltaan kahdeksan viikkoa ja painotus oli peruskestävyysalueen ja aerobisen kynnyksen tuntumassa tapahtuvassa harjoittelussa. Keskimääräisiä harjoituskertoja viikossa oli 3-6. Yönaikaista ja ortostaattista sykevaihtelua mitattiin Garmin 610-sykemittarilla ja sykekeräykset analysoitiin Firstbeatin SPORTS-ohjelmistolla. Sykedatasta analysoitiin seuraavat muuttujat: leposyke (HR), matalataajuuksinen sykevaihtelu (LF), korkeataajuuksinen sykevaihtelu (HF) ja kokonaisykevaihtelu (TP = LF + HF). Ennen ja jälkeen kahdeksan viikon harjoitusjakson suoritettiin maksimaalinen hapenottokykytesti juoksumatolla uupumukseen asti.

**Tulokset.** Lähtökunnan taso oli yhteydessä ortostaattisiin syke- ja sykevaihteluarvoihin makuun (HR, LF:  $p < 0.01$ ; HF:  $p < 0.05$ ) ja seisonnan (LF, HF, TP:  $p < 0.05$ ) aikana. Yhteys oli positiivinen sykevaihtelun ja negatiivinen sykkeiden osalta. Peräkkäiset yö- ja ortostaattiset makuukeräykset olivat vahvasti yhteydessä toisiinsa ( $p < 0.01$ ). Kuntomuutos oli tilastollisesti merkitsevää muiden paitsi suhteellisen  $VO_{2max:n}$  kohdalla ( $VO_{2max}$  l/min  $\Delta: -1.6 \pm 4.5$  %,  $p < 0.05$ ; maksimivauhti ( $V_{max}$ )  $\Delta: 3.0 \pm 2.6$  %,  $p < 0.001$ ; anaerobinen kynnysvauhti ( $V_{AnK}$ )  $\Delta: 4.3 \pm 3.7$  %,  $p < 0.001$ ; aerobinen kynnysvauhti ( $V_{AerK}$ )  $\Delta: 5.6 \pm 4.4$  %,  $p < 0.001$ ). Kuntomuutos oli kääntäen yhteydessä yöllisiin sykevaihtelumuuttujiin koko ryhmän ja naisten kohdalla (HR:  $p < 0.05$ , LF:  $p < 0.01$ , HF:  $p < 0.05$ , TP:  $p < 0.01$ ) sekä ortostaattiseen makuukeräyksen HF-arvoon ( $p < 0.05$ ). Sykkeiden osalta yhteys oli positiivinen. Yöllinen LF korreloi negatiivisesti  $V_{max:n}$  muutoksen kanssa koko ryhmällä ( $p < 0.05$ ), naisilla anaerobisen kynnyksen vauhdin muutos oli negatiivisesti yhteydessä ortostaattisen makuusykkeen kanssa ( $p < 0.05$ ). Miehillä löytyi positiivinen yhteys  $VO_{2max:n}$  muutoksen ja yön HF:n väliltä ( $p < 0.05$ ) sekä negatiivinen yhteys  $V_{max:n}$  muutoksen ja yön LF:n ( $p < 0.05$ ) ja TP:n ( $p < 0.05$ ) sekä ortostaattisen makuukeräyksen HF:n ( $p < 0.05$ ) ja TP:n ( $p < 0.05$ ) väliltä.

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Sykevaihtelu lähtötilanteessa oli positiivisessa yhteydessä kuntotasoon. Lisäksi yöllinen ja ortostaattisen makuukeräyksen aikainen syke ja sykevaihtelu olivat positiivisessa yhteydessä toisiinsa. Varsinkin yönaikainen sekä ortostaattisen makuukeräyksen LF olivat yhteydessä kestävyyskunnan muutokseen harjoitusjakson aikana siten, että henkilöillä, joilla oli enemmän sykevaihtelua, kestävyyskunnan muutokset olivat vähäisimpiä. Yhteys oli naisilla selkeämpi kuin miehillä. Sykevaihtelun avulla saattaa olla mahdollista ennustaa tulevaa harjoitteluvastetta, sillä tulosten mukaan yhteys näiden välillä on olemassa. Tosin tässä tutkimuksessa yhteys oli negatiivinen johtuen luultavasti harjoittelun peruskestävyyspainotteisuudesta ja tutkittavien harjoitustaustasta. Tulosten perusteella vaikuttaisikin siltä, että henkilöt, joilla on vähän

sykevaihtelua lähtötilanteessa, hyötyvät matalatehoisesta peruskestävyysarjoittelusta enemmän kuin ne, joilla sykevaihtelua on enemmän.

**Avainsanat:** sykevaihtelu, autonominen hermosto, kestävyysarjoittelu, kestävyysarjoitteluvaste

## LYHENTEET

HR (lnt/min)	yösyke
HR <sub>supine</sub> (lnt/min)	ortostaattinen leposyke makuuasennossa
HR <sub>stand</sub> (lnt/min)	ortostaattinen seisontasyke
HR <sub>max</sub> (lnt/min)	maksimisyke
LF (ms <sup>2</sup> )	matalataajuuksinen sykevaihtelu, 0.04-0.15 Hz
HF (ms <sup>2</sup> )	korkeataajuuksinen sykevaihtelu, 0.15-0.40 Hz
TP (ms <sup>2</sup> )	kokonaissykevaihtelu (LF + HF), 0.04-0.40 Hz
VO <sub>2max</sub>	maksimaalinen hapenottokyky
V <sub>max</sub>	maksimaalinen juoksunopeus
V <sub>AnK</sub>	nopeus anaerobisella kynnyksellä
V <sub>AnK</sub> %max	anaerobisen kynnysnopeuden osuus maksiminopeudesta
V <sub>AerK</sub>	nopeus aerobisella kynnyksellä
V <sub>AerK</sub> %max	anaerobisen kynnysnopeuden osuus maksiminopeudesta

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

LYHENTEET

1 JOHDANTO .....	6
2 SYDÄMEN JA AUTONOMISEN HERMOSTON TOIMINTA.....	8
2.1 Sykevaihtelu kuvastaa autonomisen hermoston toimintaa .....	10
2.2 Sykevaihtelun mittausmenetelmät .....	11
2.3 Sykevaihtelun yhteys ikään, kuntotason ja sukupuoleen .....	14
2.4 Sykevaihtelu ja psyykinen stressi.....	15
3 KESTÄVYYSHARJOITTELU .....	17
3.1 Kestävyysharjoittelun vaikutus hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaan .....	18
3.2 Kestävyysharjoittelun vaikutus hermo-lihasjärjestelmän toimintaan .....	20
4 SYKEVAIHTELUN JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN YHTEYDET .....	21
4.1 Sykevaihtelun muutokset kestävyysharjoittelun seurauksena .....	21
4.2 Voiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa harjoitteluvastetta?.....	23
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT.....	26
6 MENETELMÄT .....	27
6.1 Tutkittavat .....	27
6.2 Tutkimusasetelma .....	28
6.3 Aineiston keräys ja analysointi .....	29
6.4 Tilastolliset menetelmät .....	31
7 TULOKSET .....	32
8 POHDINTA .....	39

LÄHTEET.....	48
--------------	----

# 1 JOHDANTO

Kestävyysurheilussa menestyäkseen urheilijalta vaaditaan pitkäjänteistä ja sinnikästä harjoittelua vuosien ajan. Yleisesti hyväksytty tosiasia on se, että saavuttaakseen huipputason kestävyysurheilijan on harjoiteltava paljon ja usein. Runsas määräharjoittelu ei kuitenkaan sellaisenaan riitä, vaan mukaan on otettava myös sopivassa suhteessa teoharjoittelua. Vain oikein koostettu harjoittelu yhdistettynä riittävään lepoon saa aikaan suorituskyvyn nousun. Kun elimistöä kuormitetaan aiempaa suuremmalla teholla, tapahtuu palautumisen aikana sopeutumista eli superkompensatiota. Tämä johtaa suorituskyvyn nousuun ja näin urheilija pystyykin selviytymään aiempaa pienemmällä energiankulutuksella tietystä kuormitustasosta.

Suurimpia haasteita urheilijoille ja kuntoilijoille on usein juuri kokonaisrasituksen hallitseminen. Urheilija kohtaa päivittäin erilaisia haasteita paitsi harjoittelun, myös muun muassa ihmissuhteiden sekä työ- ja opiskelukiireiden taholta. Usein unohdetaan, että psyykkinen stressi kuormittaa elimistöä yhtä paljon kuin fyysinenkin. Jos urheilijalla on vaikkapa parisuhdehuolia tai paineita työasioista, saattaa monesta eri lähteestä tuleva kuormitus kasautua liian suureksi. Urheilijoilla on tällöin vaarana ylikuormitustilaan ajautuminen, työssä käyvillä kuntoilijoilla riskinä on myös loppuun palaminen. Molemmat tilat ovat kiusallisia, jopa vaarallisia, ja niistä palautuminen saattaa kestää tuskanpitkään. Tämän takia kokonaisrasituksen hallinta ja ylikuormittumisen välttäminen ovatkin tärkeitä niin urheilijan kuin kuntoilijankin terveyden ja harjoittelun jatkuvuuden kannalta.

Autonominen hermosto reagoi herkästi elimistöön kohdistuvaan stressiin, ja siksi sen toiminta heijastaakin melko hyvin elimistön palautuneisuustilaa. Kaikenlainen stressi, oli se sitten fyysisen kuormituksen tai henkisten paineiden aikaansaamaa, saa aikaan muutoksia autonomisen hermoston toiminnassa. Sykevaihtelu kuvastaa autonomisen hermoston toimintaa, ja etenkin parasympaattisen hermoston tilaa. Parasympaattinen hermosto aktivoituu levossa ja korkea sykevaihtelun taso onkin usein merkki palautuneesta kehosta. Liika stressi puolestaan kiihdyttää sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja laskee sykevaihtelua, mikä heijastaa elimistön kuormittuneisuutta.

Sykevaihtelua kohtaan onkin ollut kasvavaa kiinnostusta viime aikoina liittyen juuri sen käyttöön elimistön kokonaiskuormittuneisuuden havainnoinnissa. Tarkastelemalla sykevaihtelun tasoa ja muutoksia suhteessa aiempaan voisi olla mahdollista ennaltaehkäistä loppuun palamisia ja ohjelmoida harjoittelua yksilöllisesti, kullekin parhaaksi sopivalla tavalla. Sykevaihtelu on terveen sydämen merkki, ja onkin sanottu, että mitä suurempaa sykevaihtelu on, sitä terveempi henkilö myös on. On myös viitteitä siitä, että sykevaihtelun avulla saattaisi olla mahdollista kertoa jo etukäteen, kuinka elimistö reagoi tietyn tyyppiseen harjoitteluun. Suurempi parasympaattinen aktiivisuus on ainakin joidenkin tutkimusten mukaan merkki elimistön suuresta vastaanottavuudesta harjoittelulle. Tutkimalla sykevaihtelua voi siis tulevaisuudessa olla mahdollista tietää jo etukäteen, minkä tyyppinen harjoittelu kullekin henkilölle parhaiten sopisi. Tämä puolestaan toisi varmasti uutta mielenkiintoa harjoittelua kohtaan ja lisäksi yksilöidämpää otetta perinteiseen harjoittelun ohjelmointiin verrattuna.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa kestävyysharjoitteluvastetta. Siinä tapauksessa että yhteys kestävyysharjoitteluvasteen ja sykevaihtelun väliltä löytyy, pyritään selvittämään, mitkä sykemuuttujat ja missä yhdistelmässä ovat parhaita selittämään harjoitteluvastetta.



## 2 SYDÄMEN JA AUTONOMISEN HERMOSTON TOIMINTA

Ymmärtääkseen sykevaihtelun taustalla olevia mekanismeja on välttämätöntä tietää perusasiat liittyen sydämen ja autonomisen hermoston toiminnan säätelyyn. Tässä kirjallisuuskatsauksessa luodaan aluksi katsaus sydämen toiminnan perusteisiin, jonka jälkeen pureudutaan itse sykevaihteluun, sen mittausmenetelmiin ja aiempaan tutkimukseen aiheesta. Lisäksi käydään läpi kestävyysharjoittelun vaikutusmekanismeja sekä tutkimustietoon pohjautuvia mahdollisia yhteyksiä kestävyysharjoittelun ja sykevaihtelun välillä.

Sydän on noin omistajansa nyrkin kokoinen itsenäisesti toimiva lihas, joka pumppaa verta elimistöön. Sydän koostuu itse asiassa kahdesta erillisestä pumpusta: oikea puoli pumppaa verta pieneen verenkiertoon eli keuhkoihin, vasen puoli taas huolehtii veren ohjauksesta muualle elimistöön. Molemmat sydämen puoliskot jakautuvat edelleen eteiseen ja kammioon. Eteiset pumppaavat verta kammioihin, joista veri jatkaa edelleen joko keuhkoverenkiertoon tai ääreisverenkiertoon. Sydämen toiminta perustuu sinussolmukkeen spontaanille toiminnalle. Oikean eteisen yläosassa sijaitseva sinussolmuke on pieni, erikoistunut lihas, joka kontrolloi sydämen sykettä. Rytmiset impulssit lähtevät sinuksesta ja kulkevat eteis-kammiosolmukkeiden kautta aina Purkinjen soluihin asti ja edelleen ympäri kammioita. Sinussolmukkeen rytmi on muita solmukkeita nopeampi, noin 70 - 80 lyöntiä minuutissa, joten sen määräämä tahti vallitsee. (Guyton & Hall 2011, 101 - 120.)

Sydämen toimintaa levossa ja liikunnan aikana säätelevät sisäiset mekanismit ja autonomisen hermoston toiminta. Sisäisiin mekanismeihin kuuluvat sydämen seinämien solmukkeiden toiminta, autonominen hermosto puolestaan käsittää parasympaattisen ja sympaattisen hermoston toiminnan. Sykevaihtelu (heart rate variability, HRV) liittyy keskeisesti autonomisen hermoston toiminnan tasoon. Sykevaihtelusta käytetään suomen kielessä myös termejä sykevariaatio ja sykevälivaihtelu. Muutokset sykevaihtelussa niin levossa kuin liikunnan aikana ovat seurausta muutoksista autonomisen hermoston toiminnassa. (Trevizani ym. 2012.)

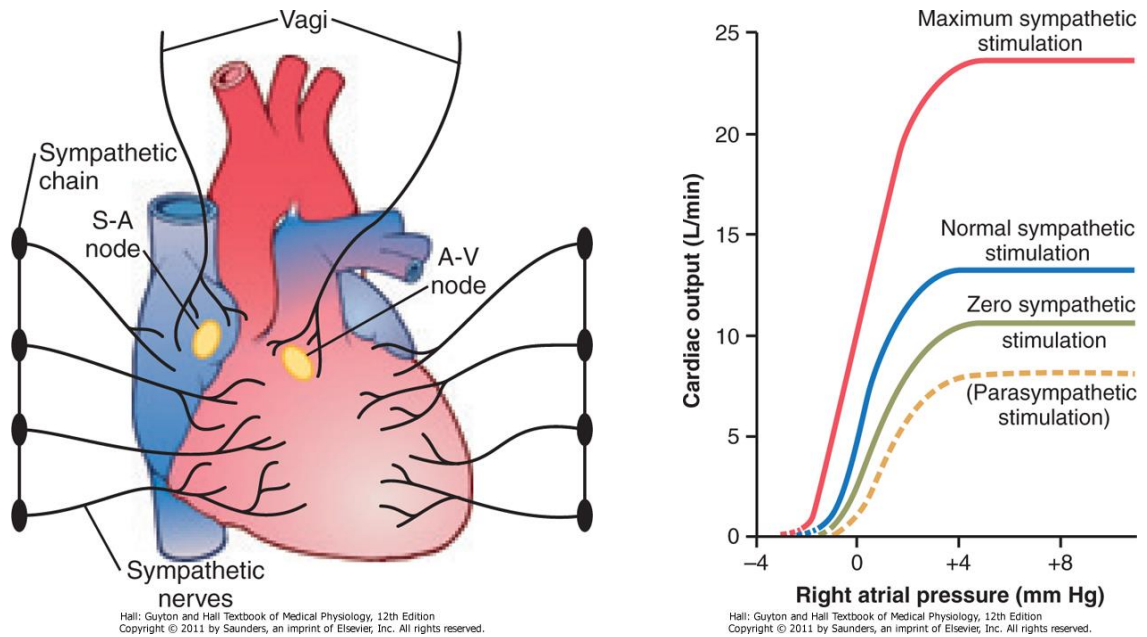
Sympaattiset ja parasympaattiset hermot stimuloivat sydämen toimintaa, kukin omalla tavallaan. Sympaattisia hermoja kulkee etenkin kammioihin, parasympaattisia eli vagaa-

lisiä hermoja taas sinus- ja eteis-kammiosolmukkeisiin (kuva 1). Parasymptaattisen ärsyksen seurauksena asetyylikoliinia vapautuu, mikä lisää solukalvojen läpäisevyyttä kaliumioneille ja siten hyperpolarisoi kalvoa. Tämä saa aikaan sinusrytmin hidastumisen. Symptaattisen hermoston toiminta puolestaan perustuu noradrenaliinin vapautumiselle, mikä stimuloi beeta-adrenergisiä reseptoreita ja siten lisää kalvojen läpäisevyyttä natrium- ja kalsiumioneille. Tämän seurauksena lepopotentiaali muuttuu positiivisempaan suuntaan. (Guyton & Hall 2011, 101 - 120.)

Sydän pumppaa levossa noin 4 - 6 litraa verta elimistöön, kun taas liikunnan aikana pumppausteho kasvaa noin 4 - 7 kertaiseksi. Pumppausta säätelevät Frank - Starling-mekanismi ja autonominen hermosto. Frank - Starling-mekanismi on sydämen sisäinen säätelykeino. Mekanismi perustuu sydänlihaksen venytykseen ja sitä seuraavaan supistukseen. Mitä enemmän sydänlihas venyy, sitä suuremmalla voimalla se supistuu ja pumppaa verta elimistöön. Oikean eteisen venytys lisää sykettä noin 10 - 20% ja ilmiöstä käytetään nimitystä Bainbridge refleksi. (Guyton & Hall 2011, 101 - 120, 229 - 230.)

Autonomisen hermoston säätely perustuu symptaattisen ja parasymptaattisen hermoston toimintaan. Symptaattinen stimulaatio voi lisätä minuuttitilavuutta jopa kolminkertaiseksi ja parasymptaattinen vastaavasti laskea tämän lähelle nollaa (kuva 1). Symptaattisen stimulaation ansiosta sydämen supistusvoima ja -tiheys kasvavat, parasymptaattinen ärsytys puolestaan saa aikaan sykkeen hidastumisen jopa 20 - 40 lyöntiin minuutissa ja laskee supistusvoimaa 20 - 30 %:lla. Kehon lämpötila vaikuttaa siten, että ruumiinlämmön kohotessa syke nousee ja supistusvoima kasvaa hetkellisesti. Tämä johtuu siitä, että lämpö lisää solukalvojen läpäisevyyttä ioneille, mikä siis kiihdyttää sydämen toimintaa. (Guyton & Hall 2011, 101 - 120, 229 - 230, 729 - 741.)

Parasymptaattinen ja symptaattinen hermosto saavat pääasiassa elimistössä aikaan vastakkaisia reaktioita. Parasymptaattinen aktivaatio muun muassa laskee sykettä, aiheuttaa verisuonten laajenemista ja lisää suolen seinämän liikkeitä. Symptaattinen taas lisää sykettä, supistaa verisuonia ja lisää aineenvaihdunnan tasoa elimistössä. (Guyton & Hall 2011, 101 - 120, 229 - 230, 729 - 741.)



KUVA 1. Vasemmassa kuvassa on kuvattu sydämen sympaattinen ja parasympaattinen hermotus. Vagi ovat vagushermit eli parasympaattiset hermot. Oikealla olevassa kuvaajassa näkyy sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuuden vaikutus sydämen minuuttitilavuuteen. (Guyton & Hall 2011, 111.)

Hengityksen tiedetään myös vaikuttavan autonomisen hermoston toimintaan. Respiratorinen arrytmiä ulottaa vaikutuksensa sykevaihteluun asti. Tahdonalainen syvään hengittäminen ja hengitysfrekvenssin laskeminen lisäävät tutkimusten mukaan sykevaihtelua. (Lee ym. 2003; Tharion ym. 2012.) Tharion ym. (2012) tutkivat hengitysharjoittelun vaikutusta sykevaihtelun tasoon terveillä aikuisilla. Koehenkilöt suorittivat kuukauden ajan päivittäin hengitysharjoituksen, jonka aikana hengitettiin syvään frekvenssillä 6 kertaa minuutissa. Tulokset osoittivat, että hengitysharjoittelu kasvatti sykevaihtelua ilman muutoksia sydämen autonomisessa tasapainossa. Hengityksellä voidaankin todeta olevan tärkeä merkitys sykevaihtelun tasossa. (Tharion ym. 2012.)

## 2.1 Sykevaihtelu kuvastaa autonomisen hermoston toimintaa

Sykevaihtelu on yksinkertainen ja noninvasiivinen tapa mitata sydämen autonomisen toiminnan tasoa (Task Force 1996). Menetelmä ei suinkaan ole viimeaikainen keksintö, sillä Stephen Hales (1733, Hynysen 2011 mukaan) käytti sitä hevosia tutkiessaan jo noin kolme vuosisataa sitten. Tämän jälkeen tutkijat ovat olleet kiinnostuneita muun

muassa sykevaihtelun yhteyksistä sydänterveyteen ja kuolleisuusriskin arviointiin. Kiinnostus aiheeseen kumpuaa siitä tosiasiasta, että sykevaihtelun tiedetään heijastavan sydäntä säätelevän autonomisen hermoston toimintaa ja sen taustalla olevia mekanismeja. (Hynynen 2011.) Sydämen sykkeessä on luonnollista vaihtelua johtuen parasympaattisen ja sympaattisen hermoston aktiivisuuden muutoksista (Carter ym. 2003). Sykevaihtelu kuvastaa peräkkäisten sydämen lyöntien välistä vaihtelua sekä välittömien sykähähdysten että RR intervallien osalta. Kyseessä on siis sydämen lyöntien välisen intervallin analysointi, ei lyöntien itsensä tarkastelu. Parasympaattisen hermoston aktiivisuus lisää sykevaihtelua kun taas sympaattinen laskee sitä. Sykevaihtelu on siis suurimmillaan levossa tai kevyen liikunnan aikana ja vaihtelun taso heikkenee kuormituksen kasvaessa. (Task Force 1996.)

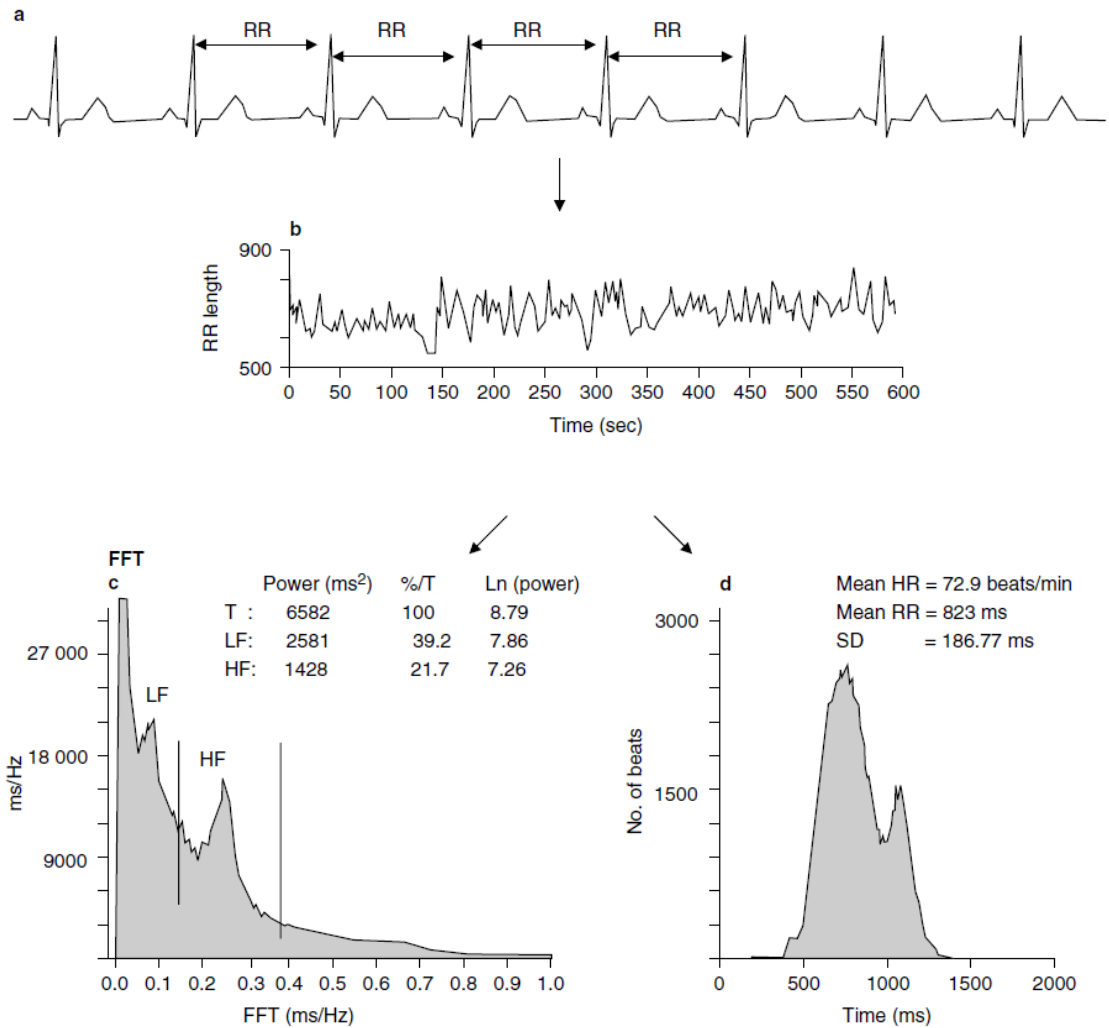
## 2.2 Sykevaihtelun mittausmenetelmät

Sykevaihtelua mitataan yleisimmin aikakenttä- ja taajuuskenttämenetelmien avulla. Sykevaihtelun analysointi alkaa RR intervallien (RRI) laskemisella EKG:stä. Tuloksena on takogrammi, joka voidaan analysoida sekä aikakenttä- että taajuuskenttämenetelmien avulla. Kuvassa 2 on esimerkki sykevaihtelun analysoinnin vaiheista EKG-käyrän keräämisestä aina valmiiseen analyysiin asti. (Aubert ym. 2003.)

Monet kaupalliset laitteet taltioivat sykevaihtelua siten, että sen seuraaminen on helppoa tavallisille kuluttajillekin. Mittausmenetelmiin liittyvät erot tekevät tulosten tulkinnasta kuitenkin paljon monimutkaisemman asian kuin miltä aluksi vaikuttaisi. Lyhyen ajan mittauksissa taajuuskenttämenetelmä on aikakenttämenetelmää parempi vaihtoehto.

Käytännössä 5 minuutin mittausaikaa suositellaan standardisoituna mittausaikana tutkimustilanteissa. Taajuuskenttämenetelmä antaa helpommin tulkittavia tuloksia ja on siksi parempi kuin aikakenttämenetelmä. Aikakenttämenetelmä on ideaali pitkän ajanjakson mittauksissa, jolloin mittauksen tulisi kestää vähintään 18h ja mittausjaksoon tulisi sisältyä koko yö. Ympäristöolosuhteet tulisi muistaa vakioida, oli menetelmä mikä tahansa. (Task Force 1996.) Usein yön aikainen mittaus on paras vaihtoehto sen takia, ettei nukkuessa ole häiriötekijöitä, jotka vaikuttaisivat sykevaihteluun. Lisäksi koska

yöllinen uni on kriittisin vuorokaudenaika palautumisen kannalta, voi yöllinen sykevaihtelumittaus toimia hyvänä keinona seurata yksilön harjoitteluvastetta ja kehitystä. (Nummela ym. 2010; Hynynen 2011.) Seuraavassa käydään lyhyesti läpi sykevaihtelun eri mittausten menetelmät ja niiden erityispiirteet.



KUVA 2. Sykevaihtelun analysoinnin vaiheet. Peräkkäiset RR intervallit lasketaan EKG-käyrästä (a), jonka seurauksena saadaan takogrammi (b). Tämä puolestaan voidaan analysoida niin aikakenttä- (d) kuin taajuuskenttämenetelmän (c) avulla. Kuvan spektrianalyysi (c) ja histogrammi (d) ovat peräisin 24 tunnin Holter-mittauksista. Histogrammissa olevista huippukohtista ensimmäinen (noin 1100 ms kohdalla) kertoo keskisykkeestä yön aikana ja toinen (noin 750 ms kohdalla) kuvastaa päivän keskimääräistä sykettä. FFT = fast Fourier transform; HF = korkeataajuus; HR = syke; LF = matalataajuus; Ln = luonnollinen logaritmi; T = kokonaisteho. (Aubert ym. 2003.)

*Aikakenttämenetelmä.* Ehkä yksinkertaisin menetelmä sykevaihtelun mittaamiseen on aikakenttämenetelmä, joka määrittää joko sykkeen tietyssä aikana tai ajan peräkkäisten QRS-kompleksien välillä. EKG-mittauksessa erotellaan jokainen QRS ja tämän jälkeen määritellään niin sanotut normal-to-normal (NN) intervallit (eli sinussolmukkeeseen depolarisaatiosta aiheutuvat intervallit peräkkäisten QRS kompleksien välillä) tai välitön syke. Sykesarjoista tai intervallisykleistä, etenkin pitkien keräysten jälkeen, on mahdollista laskea monimutkaisempia tilastollisia aikakenttämuuttujia. Ne voidaan jakaa kahteen ryhmään: suorista NN intervallien tai sykkeen mittauksista johdetut muuttujat, tai NN intervallien välisistä eroista johdetut muuttujat. Muuttujat voidaan määrittää joko koko EKG:n ajalta, tai joltain pienemmältä alueelta mittausdatasta. Jälkimmäinen menetelmä mahdollistaa sykevaihtelun vertailun eri aktiviteettien välillä. Yksinkertaisin mitattavista muuttujista on keskihajonta (SDNN, varianssin neliöjuuri). Muita muuttujia ovat muun muassa RMSSD (kuvaava peräkkäisten sykeväliä keskimääräistä vaihtelua) ja pNN50 (enemmän kuin 50ms poikkeavien peräkkäisten R - R-välien prosentuaalinen osuus). Aikakenttämenetelmässä olisi lisäksi hyvä muistaa, että eripituisia mittausjaksoja ei kannata vertailla keskenään, sillä sykevaihtelun kokonaisvariaation on havaittu kasvavan mittausjakson pidentyessä. (Task Force 1996.)

*Taajuuskenttämenetelmä.* Taajuuskenttämenetelmä eli spektrianalyysi analysoi sykevaihtelua eri taajuuksilla. Arvio tehosppektristä saadaan algoritmien avulla. Tehosppektrin laskeminen voidaan suorittaa joko non-parametristen tai parametristen mittausten avulla, sillä molempien mittausten avulla saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Non-parametrisen menetelmän etuja ovat käytetyn algoritmin yksinkertaisuus (yleisesti käytetty Fast Fourier Transform) ja korkea prosessointinopeus. Parametrisen etuja taas ovat tasaisemmat spektraaliset komponentit, helppo jälkiprosessointi automaattisen laskennan avulla ja jokaisen komponentin keski-frekvenssin helppo havainnointi. Lisäksi menetelmä arvioi tarkasti tehosppektrin jopa pienistä näytteistä. Haittapuolena on kuitenkin tarve varmentaa valitun mallin toimivuus sekä mallin monimutkaisuus. Taajuuskenttämenetelmä jakaa sykevaihtelun korkeataajuiseen (HF = high frequency power; 0.15 - 0.40 Hz), matalataajuiseen (LF = low frequency power; 0.04 - 0.15 Hz) ja erittäin matalataajuiseen (VLF = very low frequency power; < 0.04 Hz) komponenttiin. Lisäksi ilmoitetaan usein kokonaisvaihtelu (TP = total power), joka kuvastaa kaikilla alueilla tapahtuvaa vaihtelua. HF kuvastaa vagealista aktiivisuutta, sen sijaan LF luultavasti heijastaa molempien autonomisen hermoston osien aktiivisuutta. LF/HF suhteen on oletet-

tu kuvaavan sympatovagaalista tasapainotilaa. Kahdesta jälkimmäisestä ei tiedeyhteisössä ole päästy yhteisymmärrykseen. Koholla oleva LF on havaittu seisoma-asennossa, mentaalisen stressin ja kohtuutehoisen liikunnan aikana ja se kertoo siis sympaattisen hermoston lisääntyneestä aktivaatiosta. Lisääntyneen HF:n puolestaan on todettu liittyvän kontrolloituun hengitykseen, kylmäältistukseen ja rotationaaliseen stimulusiin ja se ilmaisee parasympaattista dominanssia. Komponenttien mittaustulokset ilmoitetaan usein tehon absoluuttisina arvoina ( $\text{ms}^2$ ), mutta LF ja HF voidaan ilmaista myös normalisoituina yksikköinä (kunkin komponentin suhteellinen osuus kokonaistehosta vähennettynä VLF). Normalisoituina yksikköinä ilmaistut arvot korostavat molempien hermoston osien tasapainoista ja vuorovaikutteista toimintaa, ja sillä on taipumusta minimoida LF:n ja HF:n vaikutusta kokonaistehoon. Normalisoituina yksikköinä mitatut arvot tulisikin aina ilmaista absoluuttisten arvojen kanssa, mikä kuvastaa paremmin tehon kokonaisvariaatiota komponenttien välillä. Taajuuskenttämenetelmän fysiologisesta tulkinnasta on olemassa enemmän kokemusta ja tietoa kuin aikakenttämenetelmästä. Kuitenkin monet 24h ajanjaksolta kerätyt aika- ja taajuuskenttämuuttujat korreloivat vahvasti toistensa kanssa. (Task Force 1996.)

### **2.3 Sykevaihtelun yhteys ikään, kuntotason ja sukupuoleen**

Tutkimuksissa on havaittu, että sykevaihtelu laskee ikääntyessä. Liikunnan harrastaminen ehkäisee kuitenkin vanhemmilla henkilöillä sykevaihtelun tason laskua ja siten vaikuttaa positiivisesti sydämen terveyteen. (Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003; Trevizani ym. 2012.) McNarryn ja Lewisin (2012) sekä Uusitalon ym. (2002) tutkimusten mukaan vanhenemisen aiheuttama sykevaihtelun lasku johtuu pääasiassa itse vanhenemisestä ja vasta tämän jälkeen vanhemmiten heikkenevästä fyysisestä kunnosta. Ikä itsessään on siis voimakkaampi tekijä sykevaihtelun laskussa, vaikkakin liikuntaa harrastamalla on mahdollista viivästyttää iän mukanaan tuomia vaikutuksia sydämen toiminnan säätelyyn. (Uusitalo ym. 2002; McNarry & Lewis 2012.) Sykevaihtelun on havaittu olevan suurempi nuorilla henkilöillä verrattuna vanhempiin. Tosin joissakin tutkimuksissa on saatu päinvastaisia tuloksia, joten aihe kaipaa lisää selvitystä. (Sandercock ym. 2005; Lee & Mendoza 2012.)

Sykevaihtelun ja aerobisen kunnan välisiä yhteyksiä on etsitty paljon. Tutkimuksissa ei ole kuitenkaan löydetty merkkejä siitä, että paremman kuntotason omaavilla henkilöillä olisi automaattisesti myös suurempi sykevaihtelun taso. (Uusitalo ym. 2002; Bosquet ym. 2007; Hynynen ym. 2010.) Tähän lienee syynä se, että tutkittavan ryhmän harjoitustaustan ja kuntotason yhteneväisyydet vaikuttavat paljon tuloksiin. Samantasoisilla tutkittavilla yhteyttä on vaikeampi havaita verrattuna tilanteeseen, jossa tutkittavana on joukko huonokuntoisia ja hyväkuntoisia henkilöitä. Uusitalo ym. (2002) tutkivat keskiikäisten miesten sykevaihtelua yhden vuoden harjoittelun aikana. Harjoitelleiden koehenkilöiden sykevaihtelun taso nousi verrattuna kontrolliryhmään, mutta sykevaihtelu ei kuitenkaan ollut yhteydessä fyysisen suorituskyvyn kanssa. Sykevaihtelun tasoon vaikuttavat myös perimä ja elintavat. (Uusitalo ym. 2002.)

Miesten ja naisten välisiä eroja autonomisen hermoston toiminnan kannalta on tutkittu paljon, mutta osa tuloksista on kuitenkin varsin ristiriitaista. Yleinen johtopäätös on ollut se, että varsinkin alle 40 - 50 vuotiaiden ikäryhmässä miehillä kaikki sykevaihtelumuuttujat HF:ää lukuunottamatta ovat korkeampia kuin naisilla. Naisilla saattaa siis olla joidenkin tutkijoiden mukaan suurempi parasympaattisen ja matalampi sympaattisen hermoston aktiivisuus miehiin verrattuna. Naisten mahdollisesti matalammalla sympaattisen tonuksen tasolla voisi olla merkittävä sydänsairauksilta suojaava vaikutus. (Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003.)

## **2.4 Sykevaihtelu ja psyykinen stressi**

Autonomisen hermoston toimintaan vaikuttaa myös henkinen stressi. Akuutissa tilanteessa esimerkiksi jännitys voi nostaa sykettä jopa lähelle maksimitasoa. Tämä on havaittu tutkimalla laskuvarjohyppääjiä ja heidän syketasoaan hypyn aikana. Riippumatta siitä, oliko kyseessä ensikertalainen vai kokenut hyppääjä, nousi syke huomattavasti hypyn aikana ilman fyysistä ponnistelua. Lisäksi kroonisen psyykkisen stressin havaittiin laskevan sykevaihtelua ortostaattisen testin aikana mutta ei yöllä mitattuna. (Hynynen 2011.) Myös Hynynen ym. (2011) havaitsivat psyykkisen stressin laskevan sykevaihtelua ortostaattisen testin aikana. Iästä ja sukupuolesta riippumatta korkeampi stressitaso oli yhteydessä heikentyneeseen sykevaihtelun määrään terveillä työssä käyvillä



aikuisilla. Sen sijaan yöllisissä mittauksissa ei havaittu eroja sykemuuttujissa eri ryhmien välillä. Tutkijat suosittelivatkin sykevaihtelun hyödyntämistä stressin havaitsemisessa esimerkiksi mahdollisen loppuun palamisen ehkäisemiseksi. (Hynynen ym. 2011.)

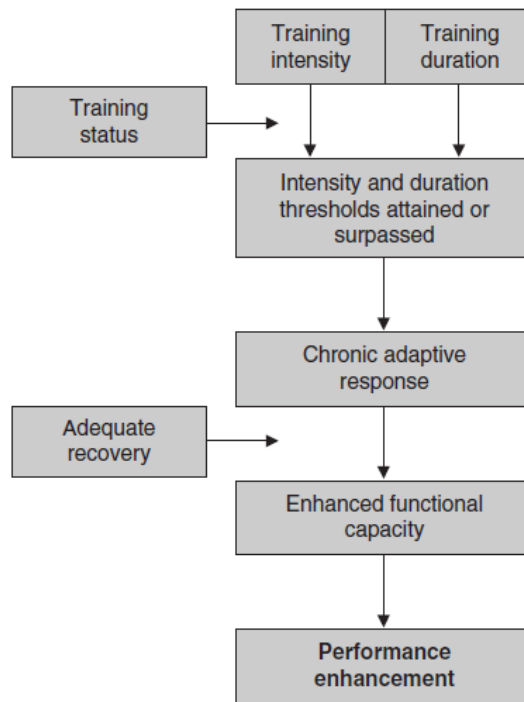
Monissa tutkimuksissa on havaittu sykevaihtelun laskevan akuutin psyykkisen stressin seurauksena. Tämän kaltainen stressi voi olla esimerkiksi työstä peräisin olevaa henkistä kuormittuneisuutta. Clays ym. (2011) selvittivät työperäisen stressin vaikutuksia miestyöntekijöiden sykevaihteluun. Tutkimuksessa oli mukana useita satoja 40 - 55 vuotiaita tehdastyöläisiä. Tulokset osoittivat, että fyysisten ja psyykkisten työperäisten stressitekijöiden kasaantuminen vähensi parasympaattisen hermoston aktiivisuutta, mikä puolestaan näkyi sykevaihtelun laskuna. Korkea työstressi aiheutti syketason nousua ja lisäsi HF/LF suhdetta sekä laski parasympaattisen hermoston aktiivisuudesta kertovaa pNN50-arvoa. (Clays ym. 2011.) Myös Tharion ym. (2009) havaitsivat psyykkisen stressin laskevan sykevaihtelun tasoa. Yliopisto-opiskelijoiden sykevaihtelua seurattiin kahdessa erilaisessa tilanteessa. Ensimmäinen mittaus suoritettiin yliopiston tenttijakson aikana, jonka oletettiin olevan opiskelijoille stressiä aiheuttava tilanne. Jälkimmäinen mittaus tapahtui kuukautta myöhemmin opiskelijoiden ollessa kesälomalla, jolloin opiskelijoilla ei oletettu olevan suurta henkistä stressiä. Keskimääräinen RR intervalli oli tenttijakson aikana huomattavasti alentunut ja verenpaine koholla verrattuna lomalla mitattuihin arvoihin. Suurin osa sykevaihtelua kuvaavista muuttujista osoitti parasympaattisen hermoston aktiivisuuden vähentyneen tenttijakson aikana, minkä lisäksi leposyke oli ensimmäisen mittauksen aikana koholla. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että opiskelijoiden autonomisen hermoston tasapaino siirtyi sympaattisen hermoston puolelle tenttijakson aikana, mikä on linjassa aikaisemman tutkimustiedon kanssa. (Tharion ym. 2009.)

### 3 KESTÄVYYSHARJOITTELU

Kestävyysuorituksista puhuttaessa tarkoitetaan usein viidestä minuutista neljään tuntiin kestäviä suorituksia. Siten esimerkiksi juoksussa matkat 1 500 metrin ja maratonin välillä voidaan käsittää kuuluvaksi kestävyyslajeihin. Itse kestävyydellä tarkoitetaan kykyä ylläpitää tiettyä vauhtia tai tehoa mahdollisimman pitkään. Kestävyysuorituskyky on siten ratkaisevasti riippuvainen elimistön kyvystä tuottaa energiaa aerobisesti eli hapen avulla. Se, kuinka tehokkaasti elimistö onnistuu kuljettamaan happea kudoksille ja kuinka hyvin solut pystyvät käyttämään happea hyväkseen luovat rajat yksilön kestävyysuorituskyvyille. (Jones & Carter 2000; Jones 2006.)

Kestävyysharjoittelu saa elimistössä aikaan monia sopeutumismekanismeja, joiden ansiosta elimistö mukautuu raskautasoon ja suorituskyky nousee aiempaa korkeammalle tasolle (Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Jones 2006). Kuormittavan harjoituksen seurauksena elimistön tasapainotila heikkenee hetkellisesti aiempaa matalammalle tasolle. Palautumisvaiheessa suorituskyky nousee kuitenkin aiempaa korkeammalle tasolle, mistä käytetään nimitystä superkompensaatio. Harjoittelun progressiivisuus eli asteittainen määrän, tehon tai molempien lisääminen on monien tutkimusten mukaan välttämätöntä, jotta kehitys jatkuisi nousujohteisena (kuva 3). Liika harjoittelu saattaa johtaa yllirasitustilaan, kun taas liian vähäinen harjoittelu voi viedä suorituskykyä jopa alaspäin. Elimistö sopeutuu muutamassa viikossa tiettyyn raskautasoon, jonka jälkeen kehitys pysähtyy, jos harjoittelussa ei tapahdu muutoksia. Harjoittelun tulisi olla monipuolista ja vaihtelevaa, jotta elimistö kohtaisi jatkuvasti uusia ärsykeitä ja siten kehittyisi parhaalla mahdollisella tavalla. (Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Bompa & Haff 2009, 8; Hoyt 2009; McNicol ym. 2009; Scharhag-Rosenberger ym. 2009; Vesterinen ym. 2013.) Kestävyysharjoittelussa on lisäksi tärkeää muistaa spesifisyys, eli on tärkeää harjoittaa niitä lihaksia, joita varsinaisessa lajisuorituksessakin käytetään. Varsinkin lihastason adaptaatiomekanismit tapahtuvat vain kuormitetuissa lihaksissa, joten harjoittelussa on aina syytä pyrkiä lajinomaisuuteen. Myös harjoituksen kestolla ja teholla on oma vaikutuksensa harjoitteluvasteen synnyssä, joten tältäkin osin harjoittelu kannattaa suunnitella huolella. (Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Hoyt 2009.) Harjoittelun aikaansaamat muutokset tapahtuvat niin hengitys- ja verenkiertoelimistön kuin

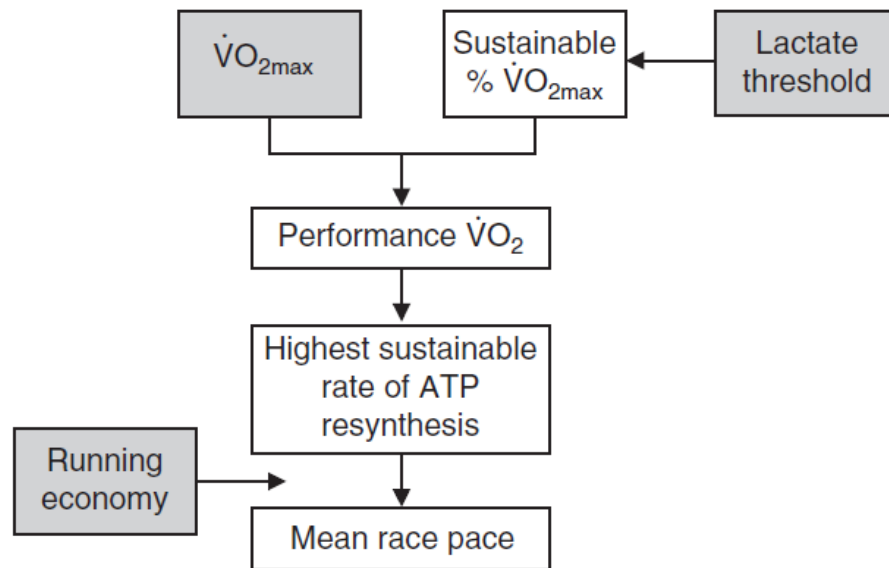
myös hermo-lihasjärjestelmän tasolla (Jones & Carter 2000; Hawley 2002). Seuraavassa käydään lyhyesti läpi kestävyysharjoittelun vaikutuksia elimistön eri osiin.



KUVA 3. Riittävä teho ja määrä kestävyysharjoittelussa johtaa elimistön tasapainotilan järkkymiseen ja sitä seuraavaan suorituskyvyn nousuun. Adaptaatiokynnys on yksilöllinen jokaisen kohdalla ja se riippuu myös urheilijan harjoitustaustasta. (Migdley ym. 2006.)

### 3.1 Kestävyysharjoittelun vaikutus hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaan

Maksimaalisen hapenottokyvyn ( $VO_{2max}$ ) voidaan sanoa asettavan rajat kestävyys suorituskyvylle.  $vVO_{2max}$  tarkoittaa maksimaalista nopeutta, jolla henkilö pystyy liikkuman aerobisen energiantuoton turvin. Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat muun muassa minuuttitilavuus, iskutilavuus, valtimon ja laskimon välinen happipitoisuuksien ero ( $a-vO_2$  ero), lihasten verenvirtauksen suuruus ja kehon hemoglobiinimassa. (Joyner & Coyle 2008; Vollaard ym. 2009.) Itse kestävyys suorituskyky on riippuvainen maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi myös muun muassa suorituksen taloudellisuudesta, laktaattikynnyksestä sekä siitä, kuinka suurella prosentuaalisella osalla maksimaalista hapenottokykyä urheilija pystyy liikkumaan ( $\%VO_{2max}$ ) (kuva 4) (Migdley ym. 2006).



KUVA 4. Kestävyysjuoksusuoritukseen vaikuttavat maksimaalinen hapenottokyky ( $\dot{V}O_{2max}$ ), laktaattikynnys ja taloudellisuus. Suorituksen aikainen hapenkulutus kertoo korkeimman hapenkulutuksen arvon, jolla urheilija kykenee liikkumaan kilpailun ajan. (Migdley ym. 2006.)

Kestävyysharjoittelun seurauksena sydämen minuuttitilavuus kasvaa, mikä vaikuttaa maksimaalisen hapenottokyvyn tasoon. Minuuttitilavuuden kasvu puolestaan on seurausta suurentuneesta iskutilavuudesta. Lisäksi harjoittelu parantaa valtimon ja laskimon välistä happieroa, mikä siis on osoitus kudosten tehostuneesta kapasiteetista käyttää happea hyväkseen. Yhä suurempi osa veressä olevasta hapesta saadaan tällöin työskentelevien lihasten käyttöön, jolloin pienempikin verimäärä riittää turvaamaan lihasten hapentarpeen tietyllä kuormitustasolla liikuttaessa. Submaksimaalisen harjoituksen aikainen syke laskee harjoittelun seurauksena, johtuen lähinnä sydämen voimistuneesta pumppaustehosta ja vasemman kammion hypertrofiasta. Samoin ventilaatio submaksimaalisessa kuormituksessa laskee. Myös hemoglobiinin kokonaismassa kasvaa harjoitelleilla henkilöillä, mikä puolestaan lisää veren hapenkuljetuskykyä. (Jones & Carter 2000; Wilmore ym. 2000; Joyner & Coyle 2008.)

### **3.2 Kestävyysharjoittelun vaikutus hermo-lihasjärjestelmän toimintaan**

Taloudellisuus kertoo, kuinka paljon henkilö käyttää happea tiettyä kuormaa kohden. Hyvän taloudellisuuden on todettu olevan merkittävä tekijä kestävyysuorituskyvyn kannalta, ja se saattaa kertoa jopa maksimaalista hapenkulutusta paremmin yksilön suorituskyvyn tasosta. Taloudellisuus paranee usein runsaan lajiharjoittelun myötä ja nimenomaan sillä vauhdilla tai teholla, jolla urheilija harjoittelee. Taloudellisuutta on mahdollista parantaa vaikuttamalla hermo-lihasjärjestelmän ominaisuuksiin kuten lihas-solujakaumaan ja solujen voimantuottokykyyn. (Jones & Carter 2000.)

Kestävysharjoittelun seurauksena lihasten oksidatiivinen kapasiteetti paranee ja motoristen yksiköiden rekrytointi tehostuu. Tällä on positiivisia vaikutuksia myös suorituksen taloudellisuuteen. (Taylor & Bachman 1999; Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Migdley ym. 2006.) Lisäksi kestävysharjoittelu saa aikaan tyypin I hitaiden lihassolujen hypertrofiaa ja lisäksi saattaa olla, että osa tyypin IIB nopeista glykolyttisistä soluista muuttuu tyypin IIA nopeiksi oksidatiivisiksi soluiksi (Taylor & Bachman 1999; Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Migdley ym. 2006; Seele ym. 2011). Tällä saattaa olla suorituskykyä parantava vaikutus etenkin suorituksen loppuvaiheessa, kun tyypin I solut ovat jo väsyneitä. Lihasten verisuonitus (kapillarisaatio) lisääntyy harjoittelun seurauksena, mikä puolestaan lisää veren virtausta ja siten hapen kulkeutumista lihaksille. Kapillarisaation tehostuminen kasvattaa myös pinta-alaa, joka on tarjolla kaasujen vaihtoon. Lisäksi hiussuonituksen lisääntyminen mahdollistaa rasvahappojen tehokkaan hyödyntämisen energiantuotossa, mikä säästää lihasglykogeenia ja siten viivästyttää väsymyksen tuloa. Kestävysharjoittelun on myös havaittu lisäävän lihassolujen natrium-kalium-pumppujen määrää ja mahdollisesti myös myoglobiinipitoisuutta. (Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Migdley ym. 2006.) Myös lihassolujen energiavoimaloiden, mitokondrioiden, lukumäärä ja koko kasvavat harjoittelun seurauksena, mikä lisää lihasten oksidatiivista kapasiteettia ja siten tehostaa energiantuottoa. Tähän vaikuttavat osaltaan myös oksidatiivisten entsyymien lisääntyminen soluissa. (Taylor & Bachman 1999; Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Migdley ym. 2006; Hawley & Spargo 2007; Hoyt 2009; Seele ym. 2011.)

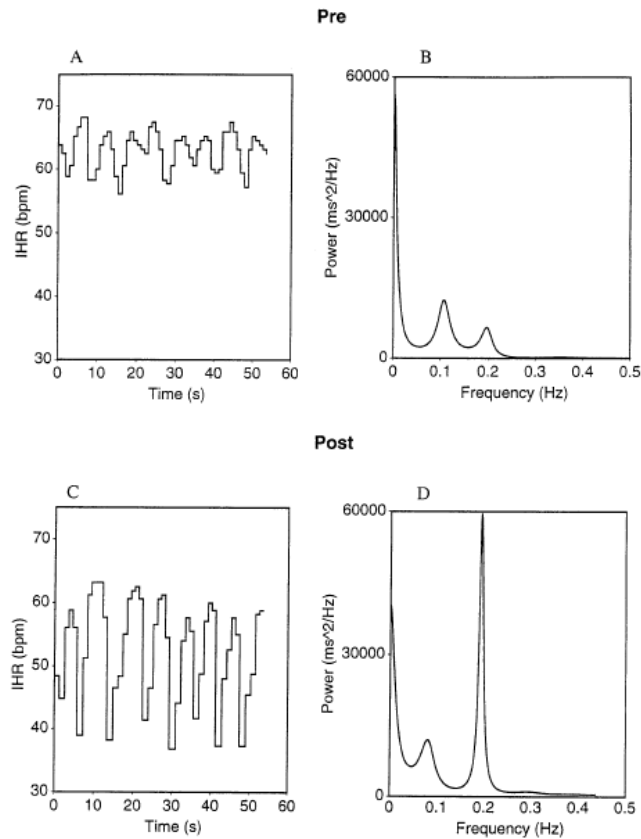
## **4 SYKEVAIHTELUN JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN YHTEYDET**

Autonomisen hermoston toiminnan ja kestävyysharjoittelun yhteys on kiinnostanut tutkijoita viime vuosina. Sykevaihtelusta on muun muassa etsitty keinoja havaita orastava ylikuormitustila ja lisäksi sitä on kokeiltu palautumisen ja kehittymisen seurannassa. Sykevaihtelun yhteyksiä niin fyysisen kuin psyykkisenkin stressin kanssa on pohdittu paljon ja tästäkin on melko runsaasti tuoretta tutkimustietoa saatavilla. Seuraavassa käydään läpi sykevaihtelun ja kestävyysharjoittelun välisiä yhteyksiä tutkimuksissa nousseista näkökulmista käsin.

### **4.1 Sykevaihtelun muutokset kestävyysharjoittelun seurauksena**

Kestävyysharjoittelu saa aikaan elimistön tasapainotilan järkkymisen aina autonomista hermostoa myöten. Tutkimusten mukaan pitkäaikainen kestävyysharjoittelu lisää parasympaattista aktiivisuutta ja laskee sympaattista aktiivisuutta levossa. Tämän seurauksena leposyke ja submaksimaalisen kuormituksen aikainen syke laskevat. (Al-Ani ym. 1996; Hedelin ym. 2001; Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003; Lee ym. 2003; Martinmäki ym. 2008; Boullosa ym. 2009; Hynynen ym. 2010; Nummela ym. 2010.) Tosin kaikissa tutkimuksissa ei ole voitu osoittaa sykevaihtelun kasvamista lepotilanteessa (Martinmäki ym. 2008).

Sykevaihtelun on todettu nousevan harjoittelun seurauksena ja lisäksi on havaittu, että syke palautuu harjoitelleilla henkilöillä nopeammin harjoituksen jälkeen (Carter ym. 2003). Kestävyysharjoittelu vaikutti myönteisesti sykevaihtelun tasoon Al-Anin ym. (1996) tutkimuksessa, jossa koehenkilöt suorittivat kuuden viikon harjoittelujakson pyörällä. Kahta lukuunottamatta kaikkien koehenkilöiden leposyke laski ja sykevaihtelun taso nousi harjoittelun seurauksena. Esimerkiksi erään koehenkilön (kuva 5) leposyke oli ennen harjoitusjaksoa 62 lyöntiä minuutissa ja keskimääräinen sykevaihtelu tehospektrianalyysin mukaan 169ms. Harjoitusjakson jälkeen leposyke oli laskenut 50 lyöntiin minuutissa ja sykevaihtelu vastaavasti lisääntynyt 247ms:iin. (Al-Ani ym. 1996.)



KUVA 5. Levon aikainen syke (*IHR*, lyönteinä minuutissa) ja sykevaihtelun taso (*Hz*) tehospetrianalyysin muodossa RR-intervalleista mitattuna yhdellä koehenkilöllä ennen (*Pre*, A, B) ja jälkeen (*Post*, C, D) kuuden viikon kestävyysharjoittelujakson jälkeen. Leposyke on laskenut selvästi harjoittelun seurauksena ja vastaavasti sykevaihtelun taso on kasvanut. Koehenkilön tulokset olivat samankaltaisia yhdeksän muun koehenkilön kanssa. (Al-Ani ym. 1996.)

Parasympaattinen aktiivisuus laskee kevyenkin liikunnan aikana ja on vaimentuneena noin tunnin ajan 30 minuutin kovatehosen suorituksen jälkeen (Carter ym. 2003). Akuutin harjoituksen seurauksena sykevaihtelu laskee sitä enemmän, mitä kovempitehoinen harjoitus on ollut kyseessä (Carter ym. 2003; Mourot ym. 2004; Tulppo ym. 2011). Kovatehoinen harjoitus hidastaa parasympaattisen hermoston palautumista verrattuna kohtuu- ja kevyttehoiseen harjoitukseen (Mourot ym. 2004). Kohtuutehosen harjoituksenkin jälkeen on kuitenkin havaittu, että harjoitusta seuraavan yön syketaso on normaalia korkeammalla ja sykevaihtelu heikompaa. Harjoituksen teho ja kesto vaikuttavat sykevaihteluun siten, että pitkäkestoinen (yli 90min) harjoitus laskee yöllistä sykevaihtelua eniten. (Myllymäki ym. 2012.) Mourot'n ym. (2004) mukaan harjoituksen kokonaisrasitus määrää kuitenkin sen, kuinka suuri vaikutus sillä on sykevaihtelun tasoon. Hynynen ym. (2010) ovat puolestaan sitä mieltä, että sykevaihtelun ja harjoituk-

sen välillä on havaittavissa annos-vaste-suhde siten, että mitä kovempi raskaus on ollut, sitä enemmän sykevaihtelu laskee harjoituksen jälkeen. Saman seikan ovat havainneet myös muut tutkijat (Manzi ym. 2009).

Urheilijoilla on havaittu tavallista väestöä korkeampia HF ja matalampia LF arvoja, lisäksi LF/HF suhde palautuu urheilijoilla nopeammin. (Carter ym. 2003.) Huippu-urheilijoita tutkittaessa on huomattu, että harjoitusmäärän lisääntyminen saa aikaan parasympaattisen hermoston toiminnan heikkenemistä ja sympaattisen hermoston aktivaation kasvamista. Kova harjoittelu huippuluokan urheilijoilla vaikuttaa sydämen autonomisen toiminnan tasoon ja kammioiden repolarisaatioon. Tämä puolestaan heijastaa vaikutuksensa sykkeeseen niin levossa kuin liikunnan aikanakin. (Iellamo ym. 2004.) Kovatehoisen intervalliharjoittelun on havaittu olevan tehokas keino nostaa sykevaihtelun tasoa (Lee ym. 2003; Vesterinen ym. 2013). Erään tutkimuksen mukaan kahden viikon aikainen intensiivinen harjoittelu (4 krt/vko) lisäsi sykevaihtelun tasoa sekä lisäksi paransi maksimaalista hapenottokykyä huomattavasti (Lee ym. 2003).

## **4.2 Voiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa harjoitteluvastetta?**

Koska sykevaihtelun on todettu kuvastavan hyvin autonomisen hermoston toiminnan tasoa, on sen käyttöä urheilussa tutkittu viime aikoina runsaasti. Tutkijoita on kiinnostanut suuresti muun muassa se, voisiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa harjoitteluvastetta. Tällä tavoin olisi ehkä mahdollista arvioida jo lähtötilanteessa, kuinka yksilön elimistö reagoi tulossa olevaan harjoitteluun ja ehkä painottaa harjoittelua yksilöllisesti mahdollisimman hyvän harjoitteluvasteen aikaansaamiseksi.

Vesterinen ym. (2013) tutkivat sykevaihtelun käyttöä harjoitteluvasteen ennustamisessa. Koehenkilöinä oli 28 tervettä, tupakoimatonta, normaalipainoista miesjuoksijaa. Koehenkilöt osallistuivat samalla maratonkouluprojektiin, joka valmisti juoksijoita projektin loppupuolella juostavaan maratoniin. Harjoitusohjelma kesti 28 viikkoa, joista ensimmäinen 14 viikon jakso oli perusharjoittelua ja toinen 14 viikkoa tehokkaampaa harjoittelua (määrä ja teho kasvoivat). Harjoitusmäärät olivat ensimmäisen jakson aikana 3 - 6 kertaa viikossa pääasiassa alle aerobisen kynnyksen, toisella jaksolla teho ja määrä nou-



sivat asteittain. Ensimmäisellä jaksolla harjoittelun rytmityksenä oli kolme kovaa viikkoa, jonka jälkeen ohjelmassa oli yksi rasitukseltaan kevyempi viikko, toisella jaksolla joka kolmas viikko oli kevyempi. Yölliset sykevaihtelumittaukset tehtiin kolmena peräkkäisenä yönä ennen ja jälkeen molempien harjoitusjaksojen. Yöllinen RRI mitattiin kevyen harjoituspäivän jälkeen TRIMP:n (training impulse=kertoo harjoituksen kuormituksesta) mukaan. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että sykevaihtelu lähtötilanteessa oli yhteydessä kestävyysharjoitteluvasteeseen kovatehoisen mutta ei kevytetehoisen harjoitusjakson aikana. Tästä voi päätellä, että kohtuu- ja kovatehoinen harjoittelu on tarpeen jotta saataisiin aikaan muutoksia sydämen vagaalisessa aktiivisuudessa kuntojuoksijoilla. Tutkimuksen mukaan kestävyyskunnan taso lähtötilanteessa ei kerro tulevasta harjoitteluvasteesta, mikä eroaa joistakin tutkimustuloksista. Ero saattaa johtua mittausmenetelmien välisistä eroista. Tulosten mukaan korkea sykevaihtelu alkutilanteessa kertoo siis positiivisesta harjoitteluvasteesta tulevan harjoittelun aikana, kun harjoittelu on sekä määrällisesti että tehollisesti kuormittavaa. Matala sykevaihtelu taas saattaa kertoa siitä, että kyseiselle henkilölle kuormittava kestävyysharjoittelu ei aiheuta toivottua kehitystä. (Vesterinen ym. 2013.)

Myös Hedelin ym. (2001) havaitsivat, että sykevaihtelu kertoo tulevan harjoitteluvasteen suuruudesta. Korkea HF ja kokonaissykevaihtelun taso vaikuttaisivatkin olevan merkkejä siitä, että elimistö on vastaanottavainen kestävyysharjoittelulle. Lisäksi Boucher ja Stein (1995) löysivät yhteyden sykevaihtelun ja kestävyysharjoitteluvasteen välillä harjoittelemattomilla keski-ikäisillä mieshenkilöillä. Koehenkilöt jaettiin lähtötason sykevaihtelun perusteella kolmeen ryhmään: korkean, keskitason ja matalan tason sykevaihtelu. Ne koehenkilöt, joilla oli ennen harjoitusjaksoa korkea sykevaihtelun taso, onnistuivat parantamaan hapenottokykyään ( $VO_{2peak}$ ) selvästi muita ryhmiä paremmin (taulukko 1). Hautala ym. (2003) havaitsivat niin ikään sykevaihtelun lähtötason ennustavan tulevaa harjoitteluvastetta. Varsinkin yönaikainen sykevaihtelu korreloi vahvasti harjoitteluvasteen kanssa harjoittelemattomilla miehillä. Tutkijat eivät kuitenkaan vielä ole löytäneet vastausta siihen, mikä selittäisi sykevaihtelun ja tulevan harjoitteluvasteen välistä suhdetta. Saattaa olla, että henkilöillä, joilla on hyvä vagaalisen toiminnan taso, on myös parempi kyky mukautua erilaisiin ulkoisiin ärsykkeisiin, liikunta mukaan lukien. Tämä mukautumiskyky puolestaan voi parantaa harjoittelun aikaansaamia muutoksia hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminnassa ja siten edelleen parantaa fyysistä suo-

rituskykyä. Tutkimusta aiheesta tarvitaan kuitenkin lisää, jotta taustalla olevat mekanismit selviäisivät.

TAULUKKO 1. Syke (HR) sekä absoluuttinen ja suhteellinen  $VO_{2peak}$  kolmella lähtötason sykevaihtelun (HRV) mukaan muodostetulla ryhmällä (korkea, keski, matala) ennen ja jälkeen kahdeksan viikon harjoitusjakson. Korkean sykevaihtelun ryhmällä parantui huomattavasti muita ryhmiä enemmän. (Mukailtu Boutcher & Stein 1995.)

HRV	Ennen harjoitusjaksoa						Harjoitusjakson jälkeen					
	HR		$VO_{2peak}$		$VO_{2peak}$		HR		$VO_{2peak}$		$VO_{2peak}$	
	(lyön- tiä/min)		(l/min)		(ml(kg/min)		(lyön- tiä/min)		(l/min)		(ml(kg/min)	
	Ka.	SEM	Ka.	SEM	Ka.	SEM	Ka.	SEM	Ka.	SEM	Ka.	SEM
Korkea (n = 5)	69.7	2.5	2.9	0.18	32.6	2.6	64.7	2.8	3.5*	0.3	41.0*	3.9
Keski (n = 9)	70.0	2.0	3.1	0.2	36.1	2.2	65.6	1.7	3.37	0.3	40.0	2.6
Matala (n = 5)	74.1	2.8	2.8	0.2	34.1	1.9	73.1	1.2	2.97	0.2	34.4	1.3

\*  $P < 0.05$  Huomattavasti suurempi kuin ennen harjoitusjaksoa

Ka. = keskiarvo; SEM = keskivirhe

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sykevaihtelun ja kestävyysharjoittelun välisiä yhteyksiä. Tutkimuksessa keskityttiin etenkin siihen, voiko sykevaihtelun avulla ennustaa tulevaa kestävyysharjoitteluvastetta sekä siihen, onko sykevaihtelussa eroa yönaikaisen ja ortostaattisen keräyksen välillä.

### Tutkimusongelmat ja hypoteesit

**Ongelma 1:** Ennustaako levon aikainen sykevaihtelu lähtötilanteessa tulevaa yksilöllistä harjoitteluvastetta matalatehoiseen kestävyysharjoitteluun?

**Hypoteesi 1:** Yön aikaista sykevaihtelua voidaan käyttää ennustamaan yksilöllistä harjoitteluvastetta harjoitusjakson alussa.

**Perustelu 1:** Tutkimusten mukaan korkea sykevaihtelun taso alkutilanteessa kertoo positiivisesta harjoitteluvasteesta tulevan harjoittelun aikana, kun harjoittelu on kuormittavaa. Matala sykevaihtelu taas saattaa kertoa siitä, että kyseinen henkilö ei kehity kuormittavalla kestävyysharjoittelulla kovin helposti. (Hedelin ym. 2001; Vesterinen ym. 2013.)

**Ongelma 2:** Onko sykevaihtelussa havaittavissa eroja kuntotason, sukupuolen tai iän perusteella?

**Hypoteesi 2:** Iäkkäämmillä on alhaisempi sykevaihtelu verrattuna nuorempiin. Sukupuolten välillä ei ole suuria eroja. Kuntotaso ei ole yhteydessä sykevaihtelun määrään.

**Perustelu 2:** Sykevaihtelun on havaittu laskevan iän myötä, sen sijaan sukupuolen ja kuntotason vaikutuksista ei ole yksimielistä tutkimusnäyttöä (mm. Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003; Trevizani ym. 2012.).

**Ongelma 3:** Onko yönaikaisen ja ortostaattisen syke- ja sykevaihtelun välillä yhteyttä?

**Hypoteesi 3:** Yönaikainen ja ortostaattinen sykevaihtelu kuvastavat yhtä hyvin autonomisen hermoston toimintaa levänneessä tilassa.

**Perustelu 3:** Hynysen ym. (2011) mukaan palautuneessa tilassa mitatut yönaikainen ja ortostaattisen testin aikainen syke ja sykevaihtelu ovat yhteydessä toisiinsa.

## 6 MENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana laajempaa tutkimusprojektia, joka toteutettiin 16 viikon kestoisena kestävyyskuntokouluna Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU) toimesta. Oma osuuteni tutkimuksessa oli ensimmäisten kahdeksan viikon perusharjoittelujakson aikaisen sykevaihdelun analysointi ja kestävyyskunnan kehittymisen seuranta. Tämän jälkeen tutkimusprojekti jatkui vielä toiset kahdeksan viikkoa harjoitusmäärän tai -tehon lisäyksellä. Toisen kahdeksan viikon aikaiset tulokset sykevaihdelun osalta raportoidaan Moona Myllyahon kandidaatintutkielmassa ja laajemmin aiheetta käsitellään koko tutkimusjakson ajalta Juho Partasen pro gradu-työssä. Tutkimustulosten pohjalta on tarkoitus muokata tutkimusasetelma kevään 2014 aikana toteutettavaan uuteen kestävyysharjoittelututkimukseen ja selvittää, kuinka sykevaihtelua voisi hyödyntää harjoittelussa. Koko tutkimusprojektin ensimmäisen ja toisen vaiheen tulokset kaikki testiin liittyvät muuttujat huomioiden tullaan raportoimaan Ville Vesterisen väitöskirjassa alustavan aikataulun mukaan vuonna 2015.

### 6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen valittiin hakemusten perusteella yhteensä 40 tutkittavaa, saman verran sekä miehiä ( $n = 20$ ) että naisia ( $n = 20$ ). Valintakriteereinä olivat miehillä 18 - 45 vuoden ikä, naisilla 18 - 55 vuoden ikä sekä kaikilla painoindeksi (BMI) alle 30. Lisäksi tutkittavien tuli olla tupakoimattomia, perusterveitä eikä heillä saanut olla käytössä säännöllistä lääkitystä. Sydänsairaita ei valittu mukaan johtuen sairauden vaikutuksista sykevaihteluun. Tutkittavat henkilöt (ikä  $35.0 \pm 7.9$  vuotta, pituus  $171.0 \pm 8.5$  cm, paino  $69.1 \pm 11.4$  kg) olivat eritasoisia kuntoilijoita tai kilpaurheilijoita ( $VO_{2max}$   $50 \pm 6$  ml/kg/min), joten kaikilta löytyi useamman vuoden ( $14.6 \pm 8.1$  v) taustaa kestävyysharjoittelusta. Taulukossa 2 seuraavalla sivulla on esitetty tutkittavien tiedot lähtötilanteessa eli ennen kahdeksan viikon harjoitusjakson alkua. Tutkittavat suostuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heille tiedotettiin tutkimuksen mahdollisista hyödyistä ja haitoista.

TAULUKKO 2. Tutkittavien ikä, maksimisyke, antropometria ja harjoitustausta lähtötilanteessa (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

	Naiset (n = 20)	Miehet (n = 20)	Kaikki (n = 40)
Ikä (v)	35.1 $\pm$ 9.7	35.0 $\pm$ 6.0	35.0 $\pm$ 7.9
Pituus (cm)	165.5 $\pm$ 6.5	176.5 $\pm$ 6.5	171.0 $\pm$ 8.5
Paino (kg)	60.4 $\pm$ 7.2	77.9 $\pm$ 7.5	69.1 $\pm$ 11.4
Painoindeksi (kg/m <sup>2</sup> )	22.0 $\pm$ 1.9	25.0 $\pm$ 1.7	23.5 $\pm$ 2.3
Rasva %	23.7 $\pm$ 4.4	15.2 $\pm$ 4.2	19.5 $\pm$ 6.0
HR <sub>max</sub> (bpm)	185 $\pm$ 11	190 $\pm$ 10	188 $\pm$ 11
Harjoitustausta (v)	14.0 $\pm$ 8.4	15.3 $\pm$ 7.8	14.6 $\pm$ 8.1

Tutkittavista kolme ei pystynyt osallistumaan lopputesteihin loukkaantumisten tai sairastumisten takia. Lisäksi kolmella testeihin osallistuneella oli takanaan joko pitkä sairastelujakso tai muuta poikkeavaa, joka heikensi kyseisten henkilöiden suorituskykyä ja osalla esti testin suorittamisen loppuun asti. Tämän takia analyyseista on jätetty pois kolmen poissaolleen tutkittavan lisäksi myös kolme tutkittavaa, joilla testit eivät olleet edustavia kuvauksia sen hetkisestä kuntotasosta.

## 6.2 Tutkimusasetelma

Tutkittavat harjoittelivat kahdeksan viikon ajan kestävyysharjoittelua siten, että harjoitusmäärä nousi hieman (enintään 20%) jakson aikana. Kunkin henkilön harjoitusmäärä ja vastaavasti määrän nousu olivat suhteessa aiempaan harjoitustaustaan ja siten jokaisella henkilöllä oli yksilöllinen harjoitusohjelma. Harjoittelu suoritettiin pääosin alle aerobisen kynnyksen tai korkeintaan aerobisen ja anaerobisen kynnyksen puoliväliin asti olevalla rasiustasolla.

TAULUKKO 3. Kestävyyskuntokoulun harjoitusohjelma. Tässä tutkimuksessa keskityttiin pelkästään perusharjoittelujaksoon (viikot 1 - 8), jonka jälkeen tutkimusprojekti jatkui vielä toiset kahdeksan viikkoa määrän tai tehon lisäyksellä. P = perusviikko; K = kova viikko; L = kevyt viikko (välitestit/lopputestit).

Vko	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Jakso		Perusharjoittelujakso										Määrä- / tehoharjoittelujakso								
Rytmitys		P	P	K	L	P	P	K	L	L	K	K	K	L	K	K	K	L	L	
Mittaukset	alku					5				väli				13					loppu	

Jaksolla käytettiin rytmitystä 3:1, jossa kahta perusviikkoa seurasi yksi kuormittavampi viikko ennen palauttavaa viikkoa. Lähtötasosta riippuen harjoitusviikko sisälsi yhden pitkän peruskestävyysharjoituksen, 1 - 2 harjoitusta kynnyksen välisen alueen alarajalla ja 1 - 3 peruskestävyysharjoitusta alle aerobisen kynnyksen sekä yhden lihaskuntoharjoituksen kevyiden harjoitusten yhteydessä. Harjoittelu oli luonteeltaan peruskestävyysharjoittelua ja pääasiallisena harjoitusmuotona oli juoksu, kuitenkin suosituksena oli kerran viikossa muun lajin (hiihto, kävely, sauvakävely, pyöräily) hyödyntäminen jalkojen säästämiseksi. Tutkittavilla oli viikossa 1 - 3 lepopäivää kunkin aiemman harjoitustaustan perusteella ja tavoitteena oli, että tutkittavat harjoittelisivat 3 - 6 kertaa viikossa jakson aikana. Taulukossa 3 on esitetty koko kestävyyskuntokoulun aikainen harjoitusohjelman runko, josta siis tässä työssä keskityttiin ensimmäisen kahdeksan viikon harjoitusjaksoon.

### 6.3 Aineiston keräys ja analysointi

*Mittaukset ennen tutkimusprojektin alkua.* Tutkimus alkoi vuoden 2013 tammikuussa ja kesti saman vuoden maaliskuuhun tienoille. Kaikki tutkimusprojektiin liittyvät mittaukset ja fyysisen suorituskyvyn testit suoritettiin Jyväskylässä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen laboratoriossa. Ennen harjoitusjakson alkua tutkittaville tehtiin terveystarkastus, joka piti sisällään pituuden, painon, kehon koostumuksen, EKG:n ja verenpaineen mittauksen. Lisäksi tutkittavat täyttivät taustakyselylomakkeen jossa kartoitettiin liikuntataustaa ja terveydentilaa.

*Alku-, väli- ja loppumittaukset.* Alku- ja loppumittaukset pitivät sisällään maksimaalisen hapenottokyvyn testin juoksumatolla. Maton kallistuskulmaksi asetettiin 0,5°. Maksimaalisen juoksumatosta yhteydessä mitattiin kehon pituus, paino ja rasvaprosentti. Testissä mitattiin seuraavat muuttujat: hapenkulutus ( $VO_2$ ), syke (HR) ja laktaatti (La). Lisäksi tarkasteltiin huippuvauhtia ( $V_{Peak}$ ) sekä hapenkulutusta ja sykettä eri kuormilla. Testi suoritettiin porrasmallisena siten, että jokainen kuormitusporras oli kestoaltaan kolme minuuttia. Juoksumatto pysäytettiin n.15 sekunnin ajaksi jokaisen kuorman jälkeen laktaatinäytteenottoa varten ja käynnistettiin tämän jälkeen välittömästi uudelleen. Ennen testiä tutkittavat saivat verryttää 5 min ajan aloituskuormaa vastaavalla vauhdilla. Kah-

deksan viikon harjoitusjakson päätyttyä suoritettiin loppumittaukset, jotka pitivät sisälleen suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin samalla kaavalla kuin alkumittauksisakin.

*Viikoittainen harjoittelun seuranta.* Harjoittelun seurannassa oli apuna viikoittainen submaksimaalinen juoksuharjoitus, joka suoritettiin ulkona juosten. Viikoittaisen submaksimaalisen harjoituksen aikana seurattiin seuraavia muuttujia: syke, nopeus ja RPE sekä 90 sekunnin aikana harjoituksen jälkeen HRR ja HRV. Lisäksi viikon jokaisesta harjoituksesta merkittiin valmiiseen harjoituspäiväkirjapohjaan harjoituksen kesto, keskiyke, matka ja RPE.

*Sykkeen ja sykevaihdelun keräys ja analysointi.* Tutkittaville jaettiin jokaiselle tutkimuksen ajaksi henkilökohtaiseen käyttöön Garmin Forerunner 610-sykemittari, jonka käyttöön heidät opastettiin ennen harjoitusjakson alkua. Tallennusväliksi asetettiin RR-tallennus. Garminin sykemittarin avulla harjoituksista oli helposti tallennettavissa myös juostu matka tarkan gps-sensorin avulla. Tutkittavat mittasivat yösykettä ja ortostaattista sykettä vähintään kahtena päivänä ennen ja jälkeen submaksimaalisen harjoituksen, eli neljänä päivänä viikossa koko kahdeksan viikon tutkimusjakson ajan. Testiviikkoina mittaukset suoritettiin kaksi päivää ennen molempia testejä. Tutkittavia ohjeistettiin kostuttamaan sykevyö huolella ja pitämään sykemittaria yömittausten aikana esimerkiksi sängyn viereisellä yöpöydällä, jotta signaali olisi riittävä. Tarpeen tullen oli mahdollista myös käyttää geeliä sykkeen keräyksen helpottamiseksi. Yömittaus aloitettiin käynnistämällä sykekeräys nukkumaan mennessä ja keräys pysäytettiin aamulla heräessä. Ortostaattinen koe suoritettiin aamulla välittömästi heräämisen jälkeen. Tutkittavat saivat käydä vessassa tarvittaessa, mutta muita aamutoimia ei saanut suorittaa ennen mittausta. Ortostaattinen syke mitattiin ensin 5 minuutin ajan makuuasennossa, jonka jälkeen noustiin seisomaan ja mitattiin seisomasykettä paikalla seisten vielä 3 minuutin ajan. Ortostaattisesta sykkeestä tarkasteltiin makuusyketä, seisomasykettä sekä sykkeen huippuarvoa välittömästi seisomaannousun jälkeen. Tutkittavat lasasivat syketiedostot omalle kotikoneelleen Garmin ANT agentin kautta ja lähettivät tiedostot valmentajille joko Firstbeat Athletin tai sähköpostin avulla. Sykedata analysoitiin edelleen Firstbeatin SPORTS-ohjelmaa (versio 4.0.0.5(3.2.25.7) Firstbeat Technologies Ltd., Jyväskylä, Finland) käyttäen. Yönaikaisesta sykekeräyksestä poistettiin ensimmäinen 30min jakso ja tätä seuraava neljän tunnin jakso valittiin analyysiin. Epäonnistuneet mittaukset (häi-

riötä yli 20%) jätettiin analysoimatta. Ohjelmiston ”data export”-toiminnon avulla analyysin tulokset siirrettiin excel-taulukkoon, jossa määritettiin halutut muuttujat. Sykedatasta analysoitiin leposyke sekä sykevaihtelumuuuttujista taajuuskenttämenetelmää käyttäen seuraavat muuttujat: matalataajuusteho (LF; 0.04 - 0.15 Hz), korkeataajuusteho (HF; 0.15 - 0.40 Hz) ja kokonaisteho (TP = LF + HF; 0.04 - 0.40 Hz). Laboratoriomittauksissa käytettiin Suunto t6-rannetietokonetta (Suunto Oy, Vantaa, Suomi) sykkeen ja muiden muuttujien analysointiin tähän paremmin soveltuvan ohjelmiston takia.

Tutkittaville järjestettiin mahdollisuus osallistua eri teemoilla suunniteltuihin ohjattuihin yhteisharjoituksiin kerran viikossa sekä luentoja liittyen muun muassa kestävyysharjoitteluun, harjoittelun tukitoimiin, ravitsemukseen ja palautumiseen. Tutkittavilla oli tutkimuksen ajan kestävyyskuntokoulun kautta käytössään henkilökohtainen valmentaja, jonka kanssa heidän oli mahdollista keskustella harjoitteluun liittyvistä asioista ja mahdollisista ongelmista.

## 6.4 Tilastolliset analyysit

Tulokset on ilmaistu keskiarvoina (KA)  $\pm$  keskihajonta (SD). Aineiston tilastolliseen analysointiin käytettiin SPSS for Windows- ja Microsoft Excel-ohjelmaa. Sykevaihtelumuuuttujat muunnettiin luonnolliseen logaritmuotoon tilastollista analysointia varten, jotta aineisto saatiin normaalijakautuneeksi. Normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilkinsin testillä. Peräkkäisten yö- ja ortokeräysten välinen yhteys laskettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa käyttäen ja korrelaatiot katsottiin muuttujapareittain. Sukupuolten välinen ero sykemuuttujissa testattiin parittoman t-testin avulla ja kuntomuutosten merkitsevyys parillisten t-testien avulla. Lähtötilanteen sykemuuttujien välinen yhteys ikään, lähtötilanteen kuntotason, kuntomuutokseen ja harjoitustaustaan testattiin Pearsonin korrelaatiokertointa käyttäen. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin  $p < 0.05$ .



## 7 TULOKSET

Tutkittavat harjoittelivat kahdeksan viikon ajan peruskestävyysharjoittelua keskimäärin  $5.9 \pm 2.6$  kertaa viikossa. Sairastelut ja loukkaantumiset verottivat joidenkin henkilöiden harjoittelua, mutta pääosin harjoitusjakso toteutui suunnitellun mukaisesti. Juoksua kertyi keskimäärin  $33.0 \pm 21.5$  kilometriä viikkoa kohden.

### Kuntotaso ennen harjoitusjakson alkua

Tutkittavat olivat harjoitelleita kestävyyskuntoilijoita ja harjoitustausta näkyi myös tuloksissa. Lähtötilanteen kuntotasossa oli havaittavissa tilastollisesti merkitsevä ero miesten hyväksi kaikissa kuntomuuttujissa (taulukko 4). Lisäksi naisilla ikä korreloi merkitsevästi ( $R = -0.625$ ,  $p < 0.01$ ) maksimisykkeen kanssa ja miehillä löytyi yhteys iän ja maksimaalisen hapenoton (l/min) väliltä ( $R = -0.524$ ,  $p < 0.05$ ). Molemmissa tapauksissa nuoremmilla oli siis suurempi maksimisyke (naiset) tai suurempi maksimaalinen hapenotto (miehet) kuin vanhemmilla. Harjoitustausta kilometreinä viikkoa kohden ilmaistuna oli yhteydessä kuntotasoon lähtötilanteessa. Naisilla löytyi positiivinen yhteys harjoitustaustan ja seuraavien muuttujien väliltä:  $VO_{2max}$  (ml/kg/min) ( $R = 0.552$ ,  $p < 0.05$ ),  $V_{max}$  ( $R = 0.593$ ,  $p < 0.01$ ),  $V_{AnK}$  ( $R = 0.465$ ,  $p < 0.05$ ) ja  $V_{AerK}$  ( $R = 0.464$ ,  $p < 0.05$ ). Miehillä harjoitustausta korreloi kynnysvauhtien kanssa:  $V_{AnK}$  ( $R = 0.562$ ,  $p < 0.05$ ) ja  $V_{AerK}$  ( $R = 0.607$ ,  $p < 0.01$ ).

TAULUKKO 4. Maksimaalisen hapenottokyvyn ensimmäisen testin tulokset (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).  $n = 40$

	Naiset (n = 20)	Miehet (n = 20)	Kaikki (n = 40)
$VO_{2max}$ (l/min)	$2.8 \pm 0.3$	$4.1 \pm 0.4^{***}$	$3.5 \pm 0.7$
$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	$47.4 \pm 5.5$	$52.8 \pm 4.7^{**}$	$50.1 \pm 5.8$
$V_{max}$ (km/h)	$14.1 \pm 1.0$	$15.8 \pm 1.0^{***}$	$15.0 \pm 1.3$
$V_{AnK}$ (km/h)	$11.7 \pm 1.1$	$12.9 \pm 1.0^{**}$	$12.3 \pm 1.2$
$V_{AerK}$ (km/h)	$9.5 \pm 1.1$	$10.2 \pm 1.0^*$	$9.8 \pm 1.1$

Tilastollisesti merkitsevä ero verrattuna naisiin: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

### Sykevaihtelu ennen harjoitusjakson alkua: iän ja sukupuolen vaikutus

Lähtötilanteen syke- ja sykevaihtelumuuttujissa (taulukko 5) oli havaittavissa jonkin verran eroa sukupuolten välillä etenkin ortostaattisten keräysten kohdalla, minkä takia tilastollisissa analyyseissä tarkasteltiin otosta sekä yhtenä ryhmänä että erikseen naisten

ja miesten osalta. Naisilla syke oli kaikissa mittauksissa korkeampi kuin miehillä, kun taas miesten sykevaihdeluarvot olivat suurempia kuin naisilla. Tarkasteltaessa iän yhteyttä sykevaihdeluun havaittiin, että naisilla ikä korreloi merkitsevästi seuraavien sykevaihdelumuuttujien kanssa: HF ( $R = -0.671$ ,  $p < 0.01$ ), TP ( $R = -0.541$ ,  $p < 0.05$ ), LF<sub>supine</sub> ( $R = -0.543$ ,  $p < 0.05$ ), HF<sub>supine</sub> ( $R = -0.545$ ,  $p < 0.05$ ), TP<sub>supine</sub> ( $R = -0.555$ ,  $p < 0.05$ ), HF<sub>stand</sub> ( $R = -0.539$ ,  $p < 0.05$ ) ja HR<sub>stand</sub> ( $R = -0.557$ ,  $p < 0.05$ ). Miehillä vastaavaa yhteyttä ei ollut havaittavissa.

TAULUKKO 5. Yön ja ortostaattisen keräyksen syke ja sykevaihdelumuuttujat tutkimusjakson alussa (kahden keräyksen keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

	Naiset	Miehet	Kaikki
Yökeräys	(n = 19)	(n = 17)	(n = 36)
HR (Int/min)	52.5 $\pm$ 7.2	51.3 $\pm$ 5.6	51.9 $\pm$ 6.4
LF (ln ms <sup>2</sup> )	7.9 $\pm$ 0.7	8.3 $\pm$ 0.4*	8.1 $\pm$ 0.6
HF (ln ms <sup>2</sup> )	7.9 $\pm$ 0.9	8.0 $\pm$ 0.6	7.9 $\pm$ 0.8
TP (LF + HF)	8.6 $\pm$ 0.7	8.9 $\pm$ 0.4	8.8 $\pm$ 0.6
Ortostaattinen makuukeräys	(n = 18)	(n = 16)	(n = 34)
HR <sub>supine</sub> (Int/min)	57.4 $\pm$ 7.1	50.1 $\pm$ 5.2**	53.9 $\pm$ 7.2
LF (ln ms <sup>2</sup> )	7.7 $\pm$ 0.8	8.5 $\pm$ 0.7**	8.1 $\pm$ 0.8
HF (ln ms <sup>2</sup> )	7.6 $\pm$ 1.1	8.2 $\pm$ 0.8	7.9 $\pm$ 1.0
TP (LF + HF)	8.4 $\pm$ 0.9	9.1 $\pm$ 0.7*	8.7 $\pm$ 0.9
Ortostaattinen seisontakeräys	(n = 18)	(n = 16)	(n = 34)
HR <sub>stand</sub> (Int/min)	80.6 $\pm$ 11.1	72.8 $\pm$ 9.7**	76.8 $\pm$ 11.0
LF (ln ms <sup>2</sup> )	7.5 $\pm$ 0.7	8.3 $\pm$ 0.8*	7.9 $\pm$ 0.8
HF (ln ms <sup>2</sup> )	5.4 $\pm$ 0.7	6.4 $\pm$ 0.9**	5.9 $\pm$ 1.0
TP (LF + HF)	7.7 $\pm$ 0.6	8.5 $\pm$ 0.8**	8.1 $\pm$ 0.8

Tilastollisesti merkitsevä ero verrattuna naisiin: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

### Sykevaihdelun yhteys kuntotason ennen harjoitusjakson alkua

Sykevaihdelun yhteydessä kuntotason lähtötilanteessa havaittiin jonkin verran yhteyksiä kun tutkittavia tarkasteltiin yhtenä joukkona, sen sijaan sukupuolittain tarkasteltuna yhteyksiä havaittiin huomattavasti vähemmän. Sykevaihdelu ortostaattisten keräysten aikana korreloi lähtökunnon kanssa, sen sijaan yönaikainen sykevaihdelu ei ollut yhteydessä lähtökuntoon. Maksimaalisen hapenottokyvyn absoluuttisen arvon kanssa korreloivat ortostaattisen makuukeräyksen syke ( $R = -0.483$ ,  $p < 0.01$ ), LF ( $R = 0.472$ ,  $p < 0.01$ ), HF ( $R = 0.388$ ,  $p < 0.05$ ) ja ortostaattisen seisontakeräyksen LF ( $R = 0.411$ ,  $p < 0.05$ ), HF ( $R = 0.460$ ,  $p < 0.05$ ) ja TP ( $R = 0.439$ ,  $p < 0.05$ ). Painokiloon suhteutetun maksimihapenoton kanssa korreloivat yösyke ( $R = -0.349$ ,  $p < 0.05$ ) sekä ortostaattinen

makuusyke ( $R = -0.442$ ,  $p < 0.05$ ). Maksimivauhdin kanssa havaittiin korrelaatioita ortostaattisen makuusykkeen ( $R = -0.483$ ,  $p < 0.01$ ) sekä seisontakeräyksen LF ( $R = 0.412$ ,  $p < 0.05$ ), HF ( $R = 0.389$ ,  $p < 0.05$ ) ja TP ( $R = 0.434$ ,  $p < 0.05$ ) arvoissa. Ortostaattinen makuusyke oli yhteydessä anaerobisen ( $R = -0.368$ ,  $p < 0.05$ ) ja aerobisen ( $R = -0.398$ ,  $p < 0.05$ ) kynnysvauhdin kanssa. Edellä mainituissa tapauksissa kuntotason ja sykkeiden välillä oli havaittavissa käänteinen yhteys, eli mitä parempi kunto sitä matalampi syke. Sen sijaan sykevaihdelun ja kunnan osalta parempi kunto merkitsi myös suurempaa sykevaihtelua. Miehillä havaittiin positiivinen yhteys kehon painoon suhteutetun hapenoton ja ortostaattisen sykkeen ( $R = 0.562$ ,  $p < 0.05$ ) sekä maksimivauhdin ja ortostaattisen sykkeen välillä ( $R = 0.556$ ,  $p < 0.05$ ). Naisilla ei merkitseviä yhteyksiä havaittu. Sykevaihdelun ja harjoitustaustan välillä ei havaittu yhteyksiä, kun harjoitustausta oli ilmaistu aiempina harjoitusvuosina, harjoituskertoina viikossa ja viikottaisina juoksukilometreinä.

### Peräkkäisten yö- ja ortostaattisten keräysten välinen yhteys

Tarkasteltavaksi otettiin myös peräkkäisten yö- ja ortokeräysten välinen korrelaatio niiden tutkittavien osalta, joilta löytyi onnistuneet keräykset vähintään kahdelta yöltä ja kyseisen yön jälkeiseltä aamulta. Koko ryhmän osalta havaittiin voimakas korrelaatio yökeräyksen kaikkien muuttujien ja niitä vastaavien ortostaattisen makuukeräyksen välillä: HR ( $R = 0.800$ ,  $p < 0.01$ ), LF ( $R = 0.729$ ,  $p < 0.01$ ), HF ( $R = 0.905$ ,  $p < 0.01$ ) ja TP ( $R = 0.849$ ,  $p < 0.01$ ). Sen sijaan ortostaattisten keräysten (makuu ja seisoma) kohdalla ainoastaan sykkeet korreloivat keskenään ( $R = 0.481$ ,  $p < 0.05$ ). Yökeräysten ja seisomaorton väliltä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä.

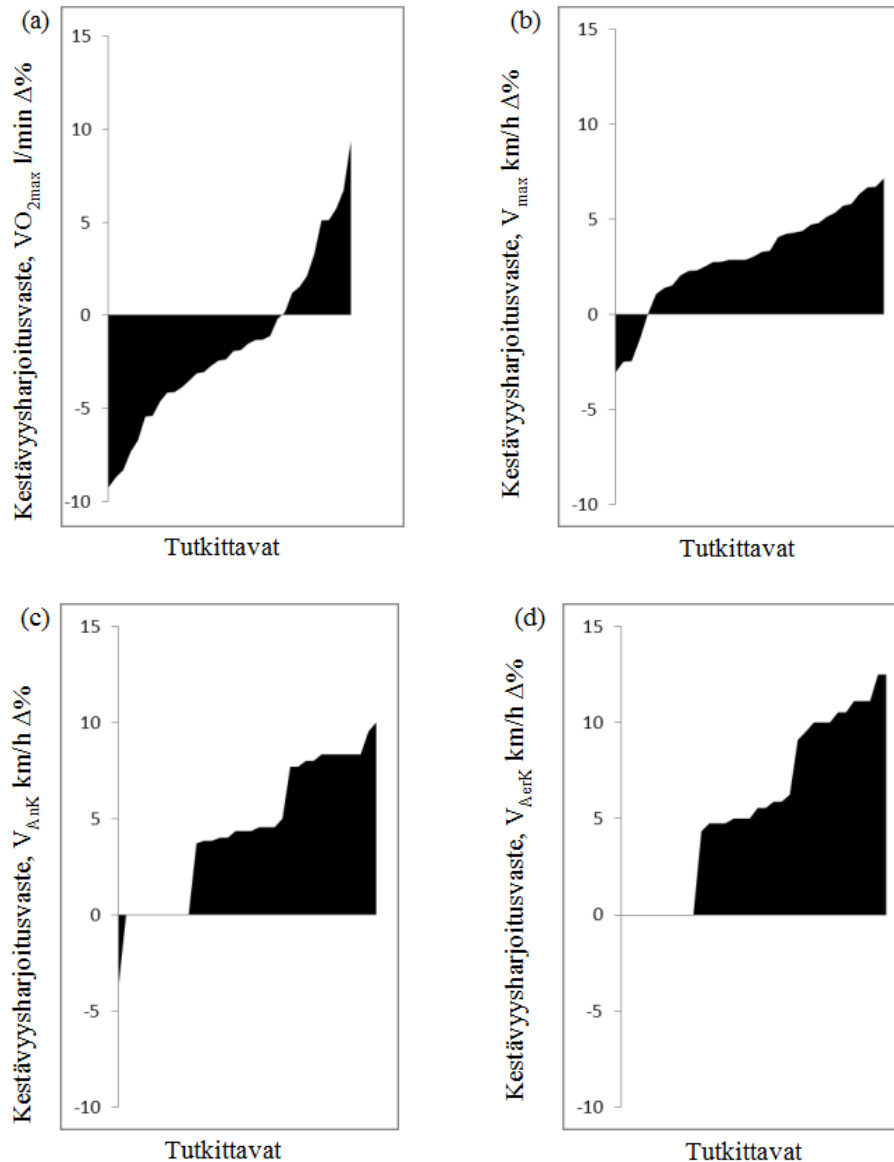
TAULUKKO 6. Maksimaalisen hapenottokykytestin tulokset 8 viikon harjoitusjakson jälkeen ja muutosprosentit (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

	Naiset (n = 19)	Muutos (%)	Miehet (n = 15)	Muutos (%)	Kaikki (n = 34)	Muutos (%)
VO <sub>2max</sub> (l/min)	2.8 $\pm$ 0.3	-0.7 $\pm$ 5.1	4.0 $\pm$ 0.3	-2.6 $\pm$ 3.5**	3.3 $\pm$ 0.7	-1.6 $\pm$ 4.5*
VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)	47.2 $\pm$ 6.0	-0.1 $\pm$ 5.3	52.3 $\pm$ 3.6	-0.2 $\pm$ 4.9	49.4 $\pm$ 5.6	-0.2 $\pm$ 5.1
V <sub>max</sub> (km/h)	14.6 $\pm$ 1.1	3.2 $\pm$ 2.5***	16.1 $\pm$ 0.8	2.8 $\pm$ 2.9*	15.2 $\pm$ 1.2	3.0 $\pm$ 2.6***
V <sub>AnK</sub> (km/h)	12.2 $\pm$ 1.1	4.6 $\pm$ 3.9***	13.3 $\pm$ 0.8	4.0 $\pm$ 3.4***	12.7 $\pm$ 1.1	4.3 $\pm$ 3.7***
V <sub>AerK</sub> (km/h)	9.9 $\pm$ 1.1	5.7 $\pm$ 4.7***	10.7 $\pm$ 0.8	5.4 $\pm$ 4.2***	10.3 $\pm$ 1.0	5.6 $\pm$ 4.4***

t-testi (toistetut mittaukset): \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

### Antropometria ja kestävyyskunto harjoitusjakson jälkeen

Kehon paino laski hieman harjoitusjakson aikana (pre  $69.1 \pm 11.4$  kg, post  $67.2 \pm 10.8$  kg,  $p = 0.001$ ), samoin rasvaprocentti laski (pre  $19.5 \pm 6.0$  %, post  $18.9 \pm 6.2$  %,  $p = 0.000$ ). Tutkittavien kestävyyskunnan muutos harjoitusjakson aikana oli tilastollisesti merkitsevää kaikkien muiden paitsi kehon painoon suhteutetun maksimihapenkulutuksen osalta (taulukko 6 edellisellä sivulla, kuva 6 alla).



KUVA 6. Kestävyysharjoitteluvasteen hajonta tutkittavien välillä maksimaalisen hapenottokyvyn (a), maksimivauhdin (b), anaerobisen kynnysvauhdin (c) ja aerobisen kynnysvauhdin (d) muutosprosenttien osalta.

Kuntomuutosten osalta sukupuolten välillä ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkitsevää eroa. Miehillä ikä oli käänteisesti yhteydessä anaerobisen ( $R = -0.593$ ,  $p < 0.05$ ) ja aerobisen ( $R = -0.619$ ,  $p < 0.05$ ) kynnysvauhdin muutokseen. Naisilla ikä ei korreloinut kuntomuutosten kanssa. Kuvassa 6 edellisellä sivulla on havainnollistettu kuntomuutosten hajontaa tutkittavien välillä. Kuten kuvasta näkyy, ei keskimääräinen kuntomuutos kerro juurikaan yksilöllisistä eroista.

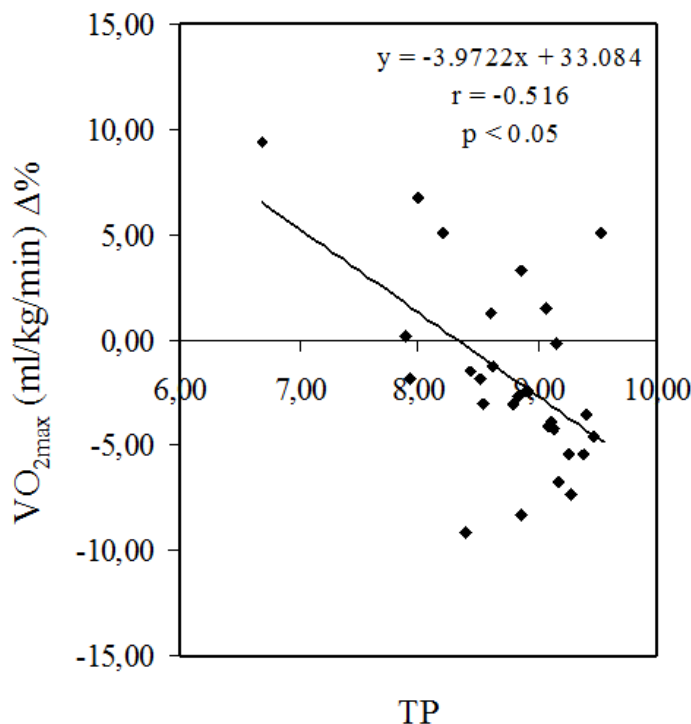
### Kestävyyskunnan muutoksen yhteys lähtötilanteen sykevaihteluun

Etenkin yöllisen sykevaihtelun ja kuntomuutoksen välillä havaittiin yhteyksiä monien muuttujien kohdalla tarkasteltaessa koko ryhmää yhtenä joukkona (taulukko 7, kuva 7). Sen sijaan ortostaattisten sykemuuttujien ja kuntomuutoksen välillä yhteyksiä ei juuri löytynyt lukuunottamatta makuukeräyksen korkeataajuusarvoa.

TAULUKKO 7. Kestävyyskunnan muutoksen (%) ja lähtötilanteen yö- ja ortostaattisen keräyksen väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet ( $r$ ) sykkeiden ja sykevaihtelun osalta sekä tilastolliset merkitsevyydet koko ryhmällä.

	$VO_{2max}$ (l/min) $\Delta\%$	$VO_{2max}$ (ml/kg/min) $\Delta\%$	$V_{max}$ (km/h) $\Delta\%$	$V_{AnK}$ (km/h) $\Delta\%$	$V_{AerK}$ (km/h) $\Delta\%$
<b>Yökeräys</b>					
HR (Int/min)	0.370*	0.297	-0.153	-0.200	0.007
LF (ln $ms^2$ )	-0.577**	-0.514**	-0.373*	-0.271	-0.084
HF (ln $ms^2$ )	-0.396*	-0.387*	-0.146	-0.147	-0.025
TP (LF + HF)	-0.516*	-0.476*	-0.369	-0.323	-0.180
<b>Ortostaattinen makuukeräys</b>					
HR <sub>supine</sub> (Int/min)	0.164	0.077	-0.064	0.199	0.167
LF (ln $ms^2$ )	-0.280	-0.210	-0.219	-0.069	0.006
HF (ln $ms^2$ )	-0.385*	-0.353	-0.198	-0.142	-0.183
TP (LF + HF)	-0.336	-0.286	-0.201	-0.092	-0.100
<b>Ortostaattinen seisontakeräys</b>					
HR <sub>stand</sub> (Int/min)	0.144	0.038	0.131	-0.122	-0.035
LF (ln $ms^2$ )	0.015	0.035	-0.051	0.052	0.131
HF (ln $ms^2$ )	-0.187	-0.115	-0.174	-0.127	0.058
TP (LF + HF)	-0.014	0.012	-0.084	0.006	0.109

Tilastollisesti merkitsevä ero: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$



KUVA 7. Kestävyysharjoitteluvasteen ( $VO_{2max}$  (l/min)  $\Delta\%$ ) ja lähtötilanteen sykevaihdelun (TP, kokonaisteho) välinen korrelaatio.

Naisilla kuntomuutos absoluuttisen maksimihapenoton osalta tarkasteltuna korreloi positiivisesti yöllisen sykkeen ( $R = 0.558$ ,  $p < 0.05$ ) ja negatiivisesti yön LF ( $R = -0.726$ ,  $p < 0.01$ ), HF ( $R = -0.691$ ,  $p < 0.01$ ) ja TP ( $R = -0.768$ ,  $p < 0.01$ ) sekä ortostaattisen makuukeräyksen HF ( $R = -0.514$ ,  $p < 0.05$ ) arvojen kanssa. Kehon painokiloon suhteutetun maksimaalisen hapenottokyvyn muutos korreloi puolestaan negatiivisesti yöllisten LF:n ( $R = -0.733$ ,  $p < 0.01$ ), HF:n ( $R = -0.644$ ,  $p < 0.01$ ) ja TP:n ( $R = -0.752$ ,  $p < 0.01$ ) sekä ortostaattisen makuukeräyksen HF:n ( $R = -0.499$ ,  $p < 0.05$ ) kanssa. Edellä mainitut korrelaatiot ovat tulkittavissa siten, että mitä enemmän maksimaalinen hapenottokyky ja juoksuvauhdit kasvoivat, sitä vähemmän kyseisellä henkilöllä oli sykevaihtelua ja sitä korkeampi henkilön syke oli. Korkean sykevaihdelun omaavilla henkilöillä kestävyyskunnossa tapahtui siis vähiten muutosta niin hapenottokyvyn kuin juoksuvauhtienkin osalta lähtötilanteeseen verrattuna. Anaerobisen kynnyksen vauhdin muutos oli kääntäen yhteydessä ortostaattisen makuusykkeen ( $R = -0.595$ ,  $p < 0.05$ ) kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että vauhti kasvoi sitä enemmän, mitä matalampi henkilön syke oli. Ortostaattisen seisomakeräyksen syke- tai sykevaihdelumuuttujien ei havaittu olevan merkitsevästi yhteydessä kuntomuutosten kanssa.

Miehillä absoluuttisen maksimihapenottokyvyn muutos korreloi positiivisesti yön HF:n ( $R = 0.610$ ,  $p < 0.05$ ) kanssa. Miehillä, joilla oli paljon korkeataajuuksista sykevaihtelua, näyttäisi myös maksimaalisen hapenottokyky kehittyneen eniten. Lisäksi maksimivauhdin muutos oli kääntäen yhteydessä yön LF:n ( $R = -0.651$ ,  $p < 0.05$ ) ja TP:n ( $R = -0.664$ ,  $p < 0.05$ ) sekä ortostaattisen makuukeräyksen HF:n ( $R = -0.601$ ,  $p < 0.05$ ) ja TP:n ( $R = -0.562$ ,  $p < 0.05$ ) kanssa. Suuri yöllinen matalataajuus- ja ortostaattisen makuuasennon korkeataajuusvaihtelu sekä molempien keräysten kokonaisvaihtelu merkitsivät siis vähäistä kasvua maksimivauhdissa. Samoin kuin naisilla, myöskään miehillä ei havaittu yhteyttä ortostaattisen seisomakeräyksen syke- tai sykevaihtelumuuttujien ja kuntomuutoksien välillä.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sydämen autonomisen säätelyn yhteyttä kestävyysharjoittelun aikaansaamaan harjoitteluvasteeseen kokeneilla kestävyyskuntoilijoilla. Tutkimusjakso oli luonteeltaan peruskestävyysharjoittelua samalla tasolla kuin ennen jakson alkuakin. Kahdeksan viikon jakso toimi valmistavana jaksoneen, jonka jälkeen harjoittelu muuttui teho- tai määräpainotteisemmaksi. Tämä tutkimus rajautui ensimmäisen kahdeksan viikon ajalle.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Yöllinen syke ja sykevaihtelu (HR, LF, HF, TP) sekä ortostaattisen makuukeräyksen HF lähtötilanteessa olivat yhteydessä kestävyysharjoitteluvasteeseen siten, että kuntomuutos oli suurin niillä, joilla syke oli korkeampi ja sykevaihtelu vähäisintä. Naisilla yhteys oli selkeämpi kuin miehillä.
2. Sykevaihtelu lähtötilanteessa oli yhteydessä kuntotasoon (yösyke ja ortostaattiset HR, LF, HF, TP), ikään (naisilla yön HF, TP ja ortostaattisen makuukeräyksen LF, HF, TP sekä seisontakeräyksen HR ja HF) ja sukupuoleen (yön LF, ortostaattisen makuun HR, LF ja TP sekä ortostaattisen seisontakeräyksen HR, LF, HF ja TP miehillä korkeammat). Yhteys oli positiivinen kuntotason ja sykevaihtelun osalta sekä negatiivinen sykkeiden ja lähtökunnon sekä iän ja sykevaihtelun osalta.
3. Peräkkäisten yö- ja ortostaattisen makuukeräyksen välillä havaittiin voimakas positiivinen yhteys.

Harjoittelu ei olennaisesti muuttunut tutkittavilla jakson aikana verrattuna aiempaan harjoitteluun. Joillakin henkilöillä harjoittelu saattoi muuttua aiempaan verrattuna järkevämmäksi paremman jaksotuksen ja variaation vuoksi, mutta harjoitusmäärän oli tarkoitus pysyä lähestulkoon samana koko jakson ajan. Keskimäärin tutkittavat harjoittelivat 5.9 krt/vko ja juoksua ohjelmassa oli 33 km/vko.



## **Iän ja sukupuolen vaikutus sykevaihtelun tasoon**

Tarkasteltaessa sykevaihtelua ennen harjoitusjakson alkua havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja sukupuolten välillä joidenkin muuttujien kohdalla. Tämän takia jatkossa analyysissä tarkasteltiin muuttujien välisiä yhteyksiä sekä koko ryhmän että erikseen naisten ja miesten osalta. Lähtötilanteessa naisten sykevaihtelu oli jonkin verran matalampaa miehiin verrattuna, kun taas syke oli naisilla korkeampi kaikissa mittauksissa. Sukupuolten välillä oli eroa yöllisessä LF-arvossa, joka siis kuvastaa matalataajuuksista vaihtelua eli parasympaattisen ja sympaattisen hermoston yhteistoimintaa. Ortostaattisessa mittauksessa makuuasennossa eroja löytyi sykkeen, LF:n ja TP:n osalta ja seison-takeräyksen aikana merkitsevää eroa oli sykkeen, LF:n, HF:n ja TP:n kohdalla. Voidaan siis todeta näiden tulosten pohjalta, että sukupuolierot olivat merkittävät etenkin ortostaattisen mittauksen aikana, kun taas yöllä eroa ei ollut kuin vain matalataajuuksisen vaihtelun kohdalla. Aiemmin muun muassa Aubert ym. (2003) ja Carter ym. (2003) ovat raportoineet miehillä olevan suurempi sykevaihtelu kaikkien paitsi korkeataajuuksikomponentin osalta, kun taas naisilla matalataajuuksivaihtelu olisi miehiä vähäisempää. Tämän tutkimuksen tulokset eivät ole täysin linjassa aiemman tiedon kanssa, sillä nyt kaikki sykevaihtelumuuttujat olivat naisilla pienempiä kuin miehillä. Tosin tilastollisesti merkitsevää eroa yösykevaihtelun kohdalla oli ainoastaan matalataajuuksisessa sykevaihtelussa, mikä tukee Aubertin ym. (2003) näkemystä asiasta.

Naisilla ikä korreloi merkitsevästi yöllisten HF ja TP arvojen kanssa sekä ortostaattisen makuukeräyksen LF:n, HF:n ja TP:n ja seison-takeräyksen HF:n ja sykkeen kanssa. Nuoremmilla vaikuttaisi tämän tutkimuksen mukaan olevan enemmän sykevaihtelua ja suurempi parasympaattisen hermoston aktiivisuus vanhempiin verrattuna. Tulos on linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa, sillä tutkimuksissa on havaittu sykevaihtelun laskevan ikääntymisen myötä (Aubert ym. 2003; Carte ym. 2003; Trevizani ym. 2012). Miehillä ei vastaavaa yhteyttä ollut havaittavissa. Tämä johtuu siitä, että naisten ikäraja tutkimuksessa oli 55 vuotta kun se miehillä oli 45 vuotta. Naisten suurempi ikähajonta sai siis aikaan erot tuloksissa.

## **Lähtökunnan yhteys sykevaihtelun tasoon, ikään ja sukupuoleen**

Ortostaattisen keräyksen aikainen sykevaihtelu lähtötilanteessa oli yhteydessä kuntotason ennen harjoitusjakson alkua kun tutkittavia tarkasteltiin yhtenä joukkona, sen sijaan sukupuolittain tarkasteltuna yhteyksiä löytyi huomattavasti vähemmän. Yönaikaiset sykevaihtelumuuttujat eivät olleet yhteydessä kuntotason ennen harjoitusjakson alkua, mikä on yhdenmukainen tulos aiemman tutkimustiedon kanssa. Kun tarkastellaan aiempaa tutkimusta aiheesta, havaitaan että yönaikainen sykevaihtelu ei ainakaan kaikissa tapauksissa ole korreloinut kestävyyskunnan kanssa (Uusitalo ym. 2002; Bosquet ym. 2007; Hynynen ym. 2010), mikä saattaa selittyä tutkittavan joukon homogeenisyydellä harjoitustaustan ja kuntotason suhteen.

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan yösyke ja ortostaattinen makuusyke korreloivat kääntäen painokiloon suhteutetun maksimaalisen hapenkulutuksen kanssa. Mitä suurempi syke oli, sitä pienempi oli maksimaalinen hapenkulutus. Tämä on loogista, sillä tutkimusten mukaan leposyke laskee kestävyysharjoittelun seurauksena ja hyväkuntoisilla havaitaan matalampia sykelukemia verrattuna heikompiin henkilöihin. Tämä kestävyysharjoittelun aikaansaama parasympaattisen aktiivisuuden lisääntyminen ja sympaattisen aktiivisuuden vaimeneminen on todettu monissa tutkimuksissa. (Jones & Carter 2000; Wilmore ym. 2000; Joner & Coyle 2008.) Ortostaattinen makuusyke ja molempien ortostaattisten keräysten aikainen LF, HF ja TP olivat yhteydessä absoluuttiseen  $VO_{2max}$ -arvoon. Korrelaatio sykkeiden ja  $VO_{2max}$ :n välillä oli negatiivinen, eli korkeat sykkeet kertoivat matalammista hapenkulutuksen maksimiarvoista. Sen sijaan ortostaattisten sykevaihtelumuuttujien ja kuntotason välinen yhteys oli positiivinen: mitä enemmän vaihtelua, sitä parempi kunto henkilöllä oli. Tutkimusten mukaan hyväkuntoisilla henkilöillä on suurempi parasympaattinen aktiivisuus levossa ja siten enemmän sykevaihtelua verrattuna harjoittelemattomiin henkilöihin, joten tämäkin tulos on linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa. Esimerkiksi Carter ym. (2003) havaitsivat urheilijoilla muuta väestöä korkeampia HF ja matalampia LF arvoja, mikä on merkki suuremmasta parasympaattisesta aktiivisuudesta.

Ortostaattinen makuusyke korreloi negatiivisesti ja seisontakeräyksen LF, HF ja TP positiivisesti maksimivauhdin kanssa. Suurempi vauhti kuvastaa parempaa kuntoa, joka on myös yhteydessä matalampaan leposykkeeseen ja suurempaan sykevaihteluun. Orto-

staatinen makuusyke oli kääntäen yhteydessä kynnysvauhtien kanssa, eli suurempi vauhti merkitsi matalampaa sykettä levossa. Tämäkin on linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa, jonka mukaan säännöllinen kestävyysharjoittelu laskee leposykettä (Al-Ani ym. 1996; Hedelin ym. 2001; Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003; Lee ym. 2003; Martinmäki ym. 2008; Boullosa ym. 2009; Hynynen ym. 2010). Al-Anin ym. (1996) tutkimuksessa kuuden viikon kestävyysharjoittelujakso pyörällä laskee tutkittavien leposykettä ja lisäsi sykevaihtelun tasoa. Miehillä havaittiin yhteys kehon painoon suhteutetun  $VO_{2max}$ :n ja ortostaattisen sykkeen sekä maksimivauhdin ja ortostaattisen sykkeen kanssa. Yhteys oli molemmissa tapauksissa positiivinen, mikä on edelleen loogista ottaen huomioon että ortostaattinen syke, joka siis kuvastaa makuu- ja seisontasykkeiden välistä erotusta, on merkki hyvästä kestävyyskunnosta. Naisilla ei merkitseviä yhteyksiä havaittu.

Lähtökunnan ja juoksukilometreinä viikossa ilmoitetun harjoitustaustan välillä havaittiin myös jonkin verran korrelaatioita. Naisilla enemmän juoksukilometrejä merkitsi parempaa kestävyyskuntoa niin maksimihapenoton kuin vauhtienkin osalta. Miehillä juoksukilometrit puolestaan olivat yhteydessä kynnysvauhteihin. Sen sijaan harjoitustaustan ja sykevaihtelumuuttujien väliltä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

### **Peräkkäisten yö- ja ortostaattisten keräysten välinen yhteys**

Tutkimukseen otettiin mukaan myös peräkkäisten yö- ja ortostaattisten keräysten vertailu ajatuksena, voisiko näiden väliltä löytyä yhteyttä. Ideana oli siis selvittää, kuvastavatko yö- ja ortostaattinen keräys samalla tavoin autonomisen hermoston toimintaa. Mukaan analyysiin valittiin ne tutkittavat, joilta löytyi kaksi onnistunutta peräkkäistä yö- ja ortostaattista keräystä. Koko ryhmän osalta sekä naiset ja miehet erikseen tarkasteltuina havaittiin voimakas yhteys yöllisten syke- ja sykevaihtelumuuttujien sekä ortostaattisen makuukeräyksen vastaavien muuttujien välillä.

Tulos on mielenkiintoinen siinä mielessä, että sen mukaan yökeräys ja ortostaattinen makuukeräys kuvastavat yhtä luotettavasti autonomisen hermoston tilaa. Vajaan kymmenen minuutin sykekeräys voisi siis kertoa yhtä hyvin elimistön palautuneisuudesta kuin koko yön kestävä keräyskin. Tätä tietoa voisi olla mahdollista käyttää hyväksi kuntoilijoiden ja urheilijoiden autonomisen hermoston tilan seurannassa, sillä aamulla suo-

ritettava lyhyt keräys on huomattavasti helpompi tehdä kuin koko yön kestävä mittaus. Aiemmin Hynynen ym. (2011) tutkivat stressin vaikutusta sykevaihteluun yön ja ortostaattisen testin aikana, ja havaitsivat voimakkaan yhteyden korkean stressin ja ortostaattisen testin aikaisen sykevaihtelun välillä. Suurempi stressi laski ortostaattista sykevaihtelua, muttei vaikuttanut yönaikaiseen sykevaihtelun tasoon. Mitä enemmän henkilöllä oli stressiä, sitä enemmän sykevaihtelu laski yöllisistä arvoista aamulla herätessä. Tässä tutkimuksessa sen sijaan sykevaihtelumuuttujat korreloivat vahvasti keskenään yön ja ortostaattisen makuukeräyksen välillä, kun taas ortostaattisen seisomakeräyksen ei havaittu olevan yhteydessä muiden keräysten tuloksiin. Yksi mahdollinen selitys tälle tulokselle voisi olla se, että sykekeräykset suoritettiin kevyen päivän jälkeen, mahdollisimman palautuneessa tilassa. Tämä eroaa Hynynen ym. (2011) tutkimusprotokollasta siten, ettei kuormitusta ole ollut tutkittavien kohdalla. Kenties tulokset olisivat voineet olla erilaisia, jos mukaan analyysiin olisi otettu kovan harjoituksen jälkeisen yön ja aamun keräykset.

### **Kestävyyskunnan muutos ja yhteys lähtötilanteen sykevaihteluun**

Kestävyyskunto muuttui tutkimusjakson aikana oletetulla tavalla. On kuitenkin hyvä huomioida, että keskimääräiset muutokset kuvastavat varsin heikosti yksittäisten henkilöiden kohdalla tapahtuneita muutoksia. Osalla tutkittavista kuntomuutokset olivat selkeitä, osalla vähäisempiä. Lisäksi muutosten suunnassa oli eroa yksilöiden välillä. Tässä tarkastellaan kuitenkin tutkittavia ja saatuja tuloksia yhtenä joukkona. Maksimihapenkulutuksen arvoissa oli havaittavissa vähäistä laskua, mikä oli odotettavissa ottaen huomioon maltillinen peruskestävyys harjoittelu, jonka tavoitteena oli kuvastaa aiempaa harjoittelua ilman suuria määrän tai tehon muutoksia. Valtaosa harjoittelusta suoritettiin matalalla intensiteetillä ja ilman suurta nousujohteisuutta. Aiemman tiedon perusteella tiedetään että varsinkin jo harjoitelleilla kestävyysominaisuudet vaativat kehittyäkseen nousujohteista ja vaihtelevaa harjoittelua höystettynä kovatehoisilla intervalli- tai yhtäjaksoisilla pätkillä (Jones & Carter 2000; Hawley 2002; Hoyt 2009; McNichol ym. 2009; Scharhag-Rosenberger ym. 2009). Juoksuvauhdit kasvoivat kuitenkin jakson aikana ja varsinkin kynnysvauhdeissa oli havaittavissa huomattaviakin parannuksia. Kynnysvauhtien kasvu ei tullut yllätyksenä, sillä vaikka harjoittelu ei määrällisesti juurikaan poikennut aiemmasta, oli luultavasti harjoittelun ohjelmointi ja laatu kestävyyskuntokoulun myötä parempaa kuin aiemmin, mikä johti parannuksiin vauhdeissa. Moni kun-

toilija juoksee kevyet lenkit liian kovalla vauhdilla ja siksi ikään kuin junnaa paikallaan, joten kuntokoulun aikana, kun tutkittavat ovat saaneet tarkat ohjeet sykerajoista ja niiden mukaan harjoittelusta, on tulostakin tullut.

Sukupuolten välillä oli eroja sen suhteen, kuinka hyvin syke ja sykevaihtelu olivat yhteydessä kuntomuutosten kanssa. Koko ryhmää tarkasteltaessa varsinkin yökeräyksen muuttujien ja kuntomuutoksen välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Yhteys oli sykkeen osalta positiivinen ja sykevaihtelun osalta negatiivinen, joten maksimaalinen hapenottokyky nousi eniten niillä, joilla oli korkeampi yösyke ja vähemmän sykevaihtelua. Maksimivauhdin suurempi kehitys oli yhteydessä vähäisempään yölliseen matalataajuusvaihteluun. Alhaisempi parasympaattisen hermoston aktiivisuus oli siis yhteydessä suurempaan maksimaalisen hapenottokyvyn ja maksimivauhdin kasvuun harjoittelun seurauksena. Tästä voisi päätellä, että koska huonompikuntoisilla parasympaattinen aktiivisuus on tutkimusten mukaan usein vähäisempää kuin parempikuntoisilla (Aubert ym. 2003; Carter ym. 2003), on peruskestävyys harjoittelu ollut heille riittävän suuri ärsyke kehittämään kestävyyskuntoa. Parempitasoiset kuntoilijat taas olisivat luultavasti tarvinneet suurempaa harjoitusärsykettä tehon tai määrän lisäämisen myötä. Tulokset tukevat aiempaa tutkimusnäyttöä siltä osin, että yöllinen sykevaihtelu on yhteydessä harjoitteluvasteen kanssa. Tässä tutkimuksessa havaittu korrelaatio on kuitenkin eri suuntainen kuin aiemmissa tutkimuksissa on ollut. Vesterinen ym. (2013) havaitsivat yöllisen sykevaihtelun korreloivan positiivisesti harjoitteluvasteen kanssa kovatehoisen harjoitusjakson aikana, sen sijaan kevyen jakson aikana ei yhteyttä ollut havaittavissa. Myös Hedelin ym. (2001) ja Hautala ym. (2003) ovat havainneet korkean sykevaihtelun lähtötilanteessa ennustavan positiivista kestävyys harjoitteluvastetta verrattuna matalampaan sykevaihtelun tasoon.

Tämän tutkimuksen aiemmista poikkeava tulos selittyy sillä, että vaikka harjoittelu kahdeksan viikon jakson aikana oli tarkoituksellisesti maltillista ja peruskestävyyspainotteista, riitti tämäkin nostamaan kuntotaso heikompi kuntoisilla. Sen sijaan lähtötilanteessa parempikuntoiset olisivat luultavasti tarvinneet kehittävämpää harjoittelua määrän tai tehon asteittaisen lisäämisen kautta, kuten Vesterinen ym. (2013) myös totesivat. Maksimivauhdin muutos oli yhteydessä yölliseen LF-arvoon käänteisesti, mikä tarkoittaa sitä, että suuri matalataajuuksinen sykevaihtelu merkitsi vähäisempää muutosta maksimivauhdissa. Tämäkin seikka selittyy samalla teorialla kuin edellä mainittu

maksimihapenottokyvyn ja sykevaihtelun välinen käänteinen yhteys. Kynnysvauhdit eivät olleet yhteydessä sykemuuttujiin, eikä myöskään ortostaattisen seisomakeräyksen havaittu olevan yhteydessä kuntomuutoksiin.

Naisilla sykevaihtelu korreloi voimakkaasti kuntomuutoksen kanssa. Yhteyttä oli havaittavissa kaikkien yöllisten syke- ja sykevaihtelumuuttujien sekä ortostaattisen makuukeräyksen korkeataajuusarvon ja maksimaalisen hapenottokyvyn muutoksen kanssa. Mitä enemmän sykevaihtelua henkilöllä oli, ja toisaalta mitä matalampi syke oli, sitä vähemmän kunto muuttui. Lisäksi anaerobisen kynnyksen vauhdin muutos oli kääntäen yhteydessä ortostaattiseen makuusykkeeseen. Suurempi parasympaattinen aktiivisuus oli yhteydessä vähäiseen kunnon muutokseen. Miehillä ikä oli negatiivisesti yhteydessä kynnysvauhtien muutokseen, eli siis nuoremmilla kynnysvauhdit muuttuivat tutkimusjakson aikana vanhempia enemmän. Lisäksi yön aikainen HF oli positiivisesti yhteydessä maksimihapenoton muutokseen ja negatiivisesti maksimivauhdin muutokseen. Ortoastaattisen makuukeräyksen HF ja TP olivat negatiivisesti yhteydessä maksimivauhdin muutoksiin. Miehillä maksimihapenoton muutoksen ja yön korkeataajuuksisen sykevaihtelun välinen positiivinen yhteys poikkeaa hieman aiemmasta tässä tutkimuksessa esitetystä tutkimustiedosta. Tässä saadun tuloksen mukaan miehillä näyttäisi suurempi yönaikainen korkeataajuusvaihtelu merkitsevän suurempaa muutosta maksimihapenotokyvyssä mutta pienempää muutosta maksimivauhdissa. Suuri parasympaattinen aktiivisuus oli toisin sanoen miehillä yhteydessä suurempaan maksimihapenoton kehittymiseen ja pienempään maksimivauhdin kasvuun. Syynä tähän lienee maksimivauhdin kohdalla jo edellä esitetty teoria, jonka mukaan parempikuntoisilla on suurempi parasympaattinen aktiivisuus ja he tarvitsevat kenties suurempaa harjoitusärsykettä kehittyäkseen edelleen. Sen sijaan maksimihapenoton kehittymisen ja sykevaihtelun välinen positiivinen korrelaatio on linjassa muun muassa Vesterisen ym. (2013) ja Hedelinin ym. (2001) tutkimusten kanssa. Tulosten mukaan suurempi parasympaattinen aktiivisuus olisi merkinä siitä, että kestävyyskunto kehittyisi keskimääräistä paremmin. Ortoastaattinen seisontakeräys ei tässä tutkimuksessa ollut yhteydessä kunnon muutoksiin kummallakaan sukupuolella.

Kuten edellä jo todettiin, suuri sykevaihtelu merkitsee tämän tutkimuksen tulosten mukaan pienempää muutosta kestävyyskunnossa. Tämä seikka tuntuu loogiselta, kun otetaan huomioon tutkimusprotokollan luonne ja harjoittelun peruskestävyyspainotteisuus.

Paremmen lähtötason omanneet henkilöt eivät yksinkertaisesti ole kehittyneet yhtä paljon kuin heikomman kunnon omanneet tutkittavat, sillä kovempikuntoisilla kunnon kehittyminen olisi vaatinut suurempaa muutosta harjoittelun tehossa tai määrässä. Lähtötasoltaan heikompikuntoisille harjoittelu on luultavasti ollut jaksotuksensa ja laatunsa puolesta aiempaa järkevämpää, mikä selittänee heidän kuntomuutoksensa.

### **Sykekeräyksissä ja kuntomuutosten tulkinnassa esiintyneitä virhelähteitä**

Sykekeräysten osalta muutamalla tutkittavalla oli ongelmia saada keräys onnistumaan. Neljältä henkilöltä yökeräysten ja kuudelta henkilöltä ortostaattisen keräyksen data oli sen verran häiriöistä, että kyseiset henkilöt jouduttiin jättämään analyysin ulkopuolelle. Näin ollen yökeräykset analysoitiin 36 ja ortostaattiset 34 tutkittavalta. Lisäksi onnistuneita peräkkäisiä yö- ja ortostaattisia keräyksiä löytyi ainostaan 19 henkilöltä. Muilta osin sykekeräykset onnistuivat hyvin ja niistä saatu data oli käyttökelpoista.

Kaksi tutkittavaa loukkaantui tutkimusjakson aikana, eikä tämän takia kyennyt osallistumaan lopputesteihin. Lisäksi yksi tutkittava joutui keskeyttämään tutkimuksen muista syistä johtuen. Tämän seurauksena kolmelta tutkittavalta jäi jälkimmäinen mattotesti tekemättä eikä heidän tuloksiaan siis saatu mukaan kuntomuutosten analyysiin. Lisäksi kolmella lopputesteihin osallistuneella henkilöllä oli takanaan katkonainen harjoitusjakso tai testi keskeytyi terveysongelmien takia normaalia aiemmin eikä edustanut sen hetkistä kuntotasoja. Lopulta kuntomuutosten analyysiin otettiin siis mukaan 34 henkilöä.

### **Johtopäätökset**

Tämä tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat tutkimusongelmiin liittyvät johtopäätökset:

1. Yölliset syke- ja sykevaihtelumuuttujat (HR, LF, HF, TP) sekä ortostaattisen makuukeräyksen korkeataajuusvaihtelu olivat negatiivisesti yhteydessä kuntomuutokseen. Saatu tulos johtunee harjoittelun painottumisesta matalalle peruskestävyystasolle. Kovempikuntoiset henkilöt olisivat ehkä tarvinneet suurempaa ärsykettä kunnon kehittymiseksi.

2. Sukupuolten välillä oli eroa lähinnä ortostaattisten mittausten aikaisissa syke-  
muuttujissa: miehillä sykevaihtelu oli suurempaa kuin naisilla, kun taas naisten  
syke oli korkeampi. Naisilla ikä korreloi negatiivisesti sykevaihtelun kanssa.  
Miehillä yhteyttä ei havaittu johtuen matalammasta ikärajusta.
3. Peräkkäisten yö- ja ortostaattisen makuukeräyksen sykevaihtelumuuttujien (HR,  
LF, HF, TP) välillä havaittiin voimakas yhteys, joten lyhytkestoisen sykevaihte-  
luseräyksen perusteella voi olla mahdollista seurata autonomisen hermoston ti-  
laa yhtä luotettavasti kuin pidempikestoisella mittauksellakin.



## LÄHTEET

- Al-Ani, M., Munir, SM., White, M., Townend, J. & Coote, JH. 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.
- Aubert, AE., Seps, B. & Beckers, F. 2003. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Medicine* 33, 889-919.
- Bompa, TO. & Haff, GG. 2009. *Periodization: theory and methodology of training.* Human Kinetics, Illinois.
- Bosquet, L., Gamelin, FX. & Berthoin, S. 2007. Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European Journal of Applied Physiology* 100, 363-369.79.
- Boullosa, DA., Tuimil, JL., Leicht, AS. & Crespo-Salgado, JJ. 2009. Parasympathetic Modulation and Running Performance in Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23, 626-631.
- Boutcher, SH. & Stein, P. 1995. Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology* 70, 75-80.
- Carter, JB., Banister, EW. & Blaber, AP. 2003. Effect of Endurance Exercise on Autonomic Control of Heart Rate. *Sports Medicine* 33, 33-46.
- Clays, E., Bacquer, DD., Crasset, V., Kittel, F., de Smet, P., Kornitzer, M., Karasek, R. & De Backer, G. 2011. The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 84, 185-191.
- Guyton, AC. & Hall, JE. 2011. *Textbook of medical physiology.* W.B. Saunders Company. Philadelphia, USA.
- Hautala, AJ., Mäkikallio, TH., Kiviniemi, A., Laukkanen, RT., Nissilä, S., Huikuri, HV. & Tulppo, MP. 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.
- Hawley, JA. 2002. Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance

- training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 29, 218-222.
- Hawley, JA. & Spargo, FJ. 2007. Metabolic Adaptations to Marathon Training and Racing. *Sports Medicine* 37, 328-331.
- Hedelin, R., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. 2001. Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, 1394-1398.
- Hoyt, T. 2009. Skeletal Muscle Benefits of Endurance Training: Mitochondrial Adaptations. *American Medical Athletic Association* 14-16.
- 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.
- Hynynen, E. 2011. Heart rate variability in chronic and acute stress with special reference to nocturnal sleep and acute challenges after awakening. *Studies in Sport, Physical Education and Health* 163. Jyväskylän yliopisto. Väitöskirjatyo.
- Hynynen, E., Konttinen, N., Kinnunen, U., Kyröläinen, H. & Rusko, H. 2011. The incidence of stress symptoms and heart rate variability during sleep and orthostatic test. *European Journal of Applied Physiology* 111, 733-741.
- Iellamo, F., Pigozzi, F., Spataro, A., Lucini, D. & Pagani, M. 2004. T-Wave and Heart Rate Variability Changes to Assess Training in World-Class Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36, 1342-1346.
- Jones, AM. 2006. The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon. *International Journal of Sports Science and Coaching* 1, 101-116.
- Jones, AM. & Carter, H. 2000. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine* 29, 373-386.
- Joyner, MJ. & Coyle, EF. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology* 586, 35-44.
- Lee, CM., Wood, RH. & Welsch, MA. 2003. Influence of Short-Term Endurance Exercise Training on Heart Rate Variability. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35, 961-969.
- Lee, CM. & Mendoza, A. 2012. Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112, 2757-2766.
- Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., Volterrani, M. & Iellamo, F. 2009. Dose-response relationship of autonomic

- nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology* 296, doi:10.1152/ajpheart.00054.2009
- Martinmäki, K., Häkkinen, K., Mikkola, J. & Rusko, H. 2008. Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *European Journal of Applied Physiology* 104, 541-548.
- McNarry, MA. & Lewis, MJ. 2012. Interaction between age and aerobic fitness in determining heart rate dynamics. *Physiological Measurement* 33, 901-914.
- McNicol, AJ., O'Brien, BJ., Paton, CD. & Knez, WL. 2009. The effects of increased absolute training intensity on adaptations to endurance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* 12, 485-489.
- Migdley, AW., McNaughton, LR. & Wilkinson, M. 2006. Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners? *Sports Medicine* 36, 117-132.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, JD. & Regnard, J. 2004. Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology* 92, 508-517.
- Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, ML. & Kyröläinen, H. 2012. Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *European Journal of Applied Physiology* 112, 801-809.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P. & Rusko, H. 2010. Endurance Performance and Nocturnal HRV Indices. *International Journal of Sports Medicine* 31, 154-159.
- Sandercock, GRH., Bromley, PD. & Brodie, DA. 2005. Effects of Exercise on Heart Rate Variability: Inferences from Meta-Analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37, 433-439.
- Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S. & Kindermann, W. 2009. Time Course of Changes in Endurance Capacity: A 1-yr Training Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41, 1130-1137.
- Seele, T., Kaasik, P. & Alev, K. 2011. Muscle Protein Turnover in Endurance Training: a Review. *International Journal of Sports Medicine* 32, 905-911.
- Task Force. 1996. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology

- and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93, 1043–1065.
- Taylor, AW. & Bachman, L. 1999. The Effects of Endurance Training on Muscle Fiber Types and Enzyme Activities. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24, 41-53.
- Tharion, E. Parthasarathy, S. & Neelakantan, N. 2009. Short-term heart rate variability measures in students during examinations. *The National Medical Journal of India* 22, 63-66.
- Tharion, E., Samuel, P., Rajalakshmi, R., Gnanasenthil, G. & Subramanian, RK. 2012. Influence of deep breathing exercise on spontaneous respiratory rate and heart rate variability: A randomized controlled trail in healthy subjects. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology* 56, 80-87.
- Trevizani, GA., Benchimol-Barbosa, PR. & Nadal, J. 2012. Effects of Age and Aerobic Fitness on Heart Rate Recovery in Adult Men. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia* 99, 802-809.
- Tulppo, MP., Kiviniemi, AM., Hautala, AJ., Kallio, M., Seppänen, T., Tiinanen, S., Mäkikallio, TH. & Huikuri, HV. 2011. Sympatho-vagal interaction in the recovery phase of exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 31, 272-281.
- Uusitalo, ALT., Laitinen, T., Väisänen, SB., Länsimies, E. & Rauramaa, R. 2002. Effects of endurance training on heart rate and blood pressure variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 22, 173-179.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L. & Nummela, A. 2013. Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23, 171-180.
- Vollaard, NB., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, PL., Timmons, JA. & Sundberg, CJ. 2009. Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 106, 1479-1486.
- Wilmore, JH., Stanforth, PR., Gagnon, J., Rice, T., Mandel, S., Leon, AS., Rao, DC., Skinner, JS. & Bouchard, C. 2000. Cardiac output and stroke volume changes with endurance training: The HERITAGE Family Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, 99-106.

