

1070

**SYDÄMEN SYKEVAIHTELUN PALAUTUMINEN MAKSIMAALISEN,  
PITKÄKESTOISEN KESTÄVYYSSUORITUKSEN JÄLKEEN JA  
SYKEVAIHTELUMUUTOSTEN YHTEYS HORMONAALISEEN  
PALAUTUMISEEN**

**Janne Vikeväinen**

**Pro gradu -tutkielma  
Liikuntafysiologia  
Syksy 1998  
Liikuntabiologian laitos  
Jyväskylän yliopisto**

## TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa pyrittiin löytämään yhtäläisyyksiä fysiologisen palautumisen seurannassa endokriinisten muuttujien ja sydämen sykevaihtelun välille. Koehenkilöinä käytettiin 18 kestävyyslajin urheilijaa, jotka kaikki suorittivat kestävyystyyppisen, maksimaalisen 10 kilometrin juoksutestin. Sydämensykeä taltioitiin ja hormoniarvoja määriteltiin tasaisin välein ennen ja jälkeen harjoituksen yhteensä 48 tunnin ajan. Sykevaihtelu laskettiin taajuus-, aikakenttä- sekä non-lineaarisella -menetelmällä. Sykenauhoitusten ohessa otettiin 10 ml laskimoverta testosteronin, vapaan testosteronin, creatiinikinaasin, kortisolin ja kasvuhormonin määrittämistä varten. Kaikissa sykeparametreissa suurin muutos oli tapahtunut heti harjoituksen jälkeen. LF/HF -suhde (taajuusmuutoksissa mittauksessa käytettävät lyhenteet: matalataajuuksinen vaihtelu/korkeataajuuksinen vaihtelu) muuttui merkittävästi ( $p < .01$ ) tunti harjoituksen jälkeen ja oli palautunut kahdeksassa tunnissa, jolloin sen arvo ei ollut enää merkittävä. Non-lineaarisesta Poincaré plot -vaihteluanalyysistä parhaiten sympaattis-vagaalista tilaa kuvaava  $sd1$  (arvo kuvaa syke sykkeeltä vaihtelua), joka oli heti suorituksen jälkeen 85.3% ( $p < .001$ ) lähtötason alapuolella palautuen neljän tunnin kohdalla;  $p = ns$  (arvo ei merkitsevä). Endokriinisten parametrien pitoisuudet saavuttivat korkeimman arvonsa heti harjoituksen jälkeen, lukuun ottamatta testosteroni/kortisoli -suhdetta ja creatiinikinaasia (lihasvauriota kuvaava entsyymi), jotka nousivat lineaarisesti kahdeksan tuntia harjoituksen jälkeen ( $p < .001$ ). Testosteroni, vapaa testosteroni ja testosteroni/kortisoli -suhde saivat merkittävimmän arvonsa kahdeksan tunnin kohdalla (kaikilla  $p < .001$ ) ja olivat palautuneet lähtötasolle 18 tuntia harjoituksen jälkeen. Kokonaisuutena harjoituksesta johtuva sykevaihtelun väheneminen palautui nopeammin kuin hormonikonsentraatiot. Harjoituksesta palautumisen seurannassa HF/LF-suhde sekä syke palautuivat hitaimmin kestävyysuorituksen aiheuttamasta rasituksesta.  $sd1$ , joka on hyvä parasympaattisen hermoston toiminnan kuvaaja, palautui neljässä tunnissa. Tässä tutkimuksessa paras rasituksesta palautumisen fysiologinen mittari oli testosteroni/kortisoli -suhde sekä testosteroni ja vapaa testosteroni. Hormonaalista palautumista verrattaessa sykevaihtelumuutoksiin huomattiin, että LF/HF -suhteella, HF-arvolla sekä  $sd1$ :llä oli yksilöllistä yhteyttä hormonaalisten arvojen palautumisen kanssa. Koko aineisto ei kuitenkaan korreloinut keskenään.

**Haluan kiittää yhteistyöstä ja avusta seuraavia henkilöitä ja laitoksia:**

**Timo Takala, LT**

**Mikko Tulppo, LitM**

**Timo Mäkikallio, LL, LitM**

**Merikosken tutkimus- ja kuntoutuslaitos**

**Polar Electro Oy**

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

1. JOHDANTO.....	1
2. KIRJALLISUUS.....	2
2.1 Sykevaihteluun vaikuttavat fysiologiset tekijät.....	2
2.1.1 Sykevaihtelu levon, kuormituksen ja fyysisen kunnan suhteen.....	3
2.1.2 Sykevaihtelun mittaaminen.....	4
2.1.3 Sykevaihtelun analyysimenetelmät.....	4
2.1.3.1 Aikakenttämenetelmä.....	5
2.1.3.2 Taajuusmenetelmä.....	5
2.1.3.3 Non-lineaarinen -menetelmä.....	5
2.2 Kuormituksesta palautuminen.....	6
2.2.1 Hormonit ja aineenvaihdunta.....	8
2.2.2 Autonomisen hermoston palautuminen.....	11
3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	13
4. TUTKIMUSMENETELMÄT.....	14
4.1 Koehenkilöt.....	14
4.2 Mitatut kuormitusmuuttujat.....	14
4.3 Mitatut sydämen lyöntivaihtelumuuttujat .....	14
4.4 Verinäytemuuttujat.....	15
4.5 Tilastollinen käsittely.....	15

5. TULOKSET.....	17
5.1 Juoksunopeus.....	17
5.2 Hormonipitoisuuksien muutokset.....	17
5.3 Sykeparametrien muutokset.....	22
5.3.1 Aikakenttämuuttujat.....	22
5.3.2 Taajuusmuuttujat .....	23
5.3.3 Poincaré plot –muuttujat .....	25
6. POHDINTA.....	29
7. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	32
8. LÄHTEET	
9. LIITTEET	
liite 1. Sykevaihtelu keskisykkeen ympärillä	
liite 2. Parasympaattisen ja sympaattisen hermoston yhteisvaikutus	
liite 3. Sykkeeseen vaikuttavat fysiologiset tekijät	
liite 4. Verenpaineen säätelyn vaikutus sykkeeseen	
liite 5. Hitaat muutokset sykkeessä	
liite 6. Hengityksen vaikutus sykkeeseen	
liite 7. Poincaré plot -menetelmän periaate	
liite 8. Terveen henkilön takogrammi ja sykevaihtelu Poincaré plot -menetelmällä kuvattuna	
liite 9. LF/HF -suhteen ja testosteronin muutosten yksilöllinen vertailu mittausjakson aikana	

## 1. JOHDANTO

Autonominen hermosto on tärkeä elimistön säätelyjärjestelmä sekä fyysisen kuormituksen aikana että fyysisestä kuormituksesta palautumisessa. Sydämen sykkeessä havaitaan vaihtelua, jota kutsutaan sykevaihteluksi. Sykevaihtelulla tarkoitetaan yksittäisten sydämenlyöntien heilahtelua keskiarvosykkeen ympärillä (liite 1). Sykevaihtelu johtuu jatkuvasta sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toiminnan vuorovaikutuksesta. Parasympaattinen hermosto vaikuttaa sydämen sykkeeseen hyvin nopeasti, jopa 1-3 lyönnin aikana. Sympaattisen hermoston vaikutus sykkeeseen on hitaampaa. Se havaitaan esimerkiksi sykkeen jatkuvana nousuna kymmenien sekuntien aikana (Akselrod ym. 1981; Berger ym. 1989). Sydämen sykevaihtelun mittaamisella pyritään non-lineaarisesti arvioimaan autonomisen hermoston tasapainotilaa (Akselrod ym. 1985; Malliani ym. 1991). Parasympaattisen tonuksen kasvu lähinnä laskee syketiheyttä ja lisää lyöntivaihtelua, kun taas sympaattinen ärsyke lisää syketiheyttä ja vähentää lyöntivaihtelua. Täydellisen levon aikana parasympaattinen hermostus on voimakkaimmillaan. Silloin myös syke on alhaisimmillaan. Sympaattinen aktivaatio on vallitseva esimerkiksi voimakkaan fyysisen kuormituksen lopussa tai kovassa psyykkisessä stressissä, jolloin myös syke on korkealla. Sydämeen tuleekin sympaattisia hermopäätteitä runsaammin kuin parasympaattisia. Ihmisen sydämen lyöntitiheys riippuu monista ulkoisista ja sisäisistä muuttujista. Ulkoisia muuttujia ovat mm. ilman lämpötila ja kehon asento. Sisäiset muuttujat ovat kehon fysiologisia muuttujia, jotka riippuvat mm. ihmisen fyysisestä kunnosta. Syketaso vaihtelee tilanteen mukaan monimutkaisen säätelyjärjestelmän ohjailemana. Esimerkiksi liikunnan aikana energiankulutus kasvaa, happea kuluu enemmän ja verenkiertoa on nostettava ravinteiden saamiseksi ja kuona-aineiden poistamiseksi, tämän seurauksena syke nousee. Normaalien päivittäisten toimintojen aikana parasympaattinen ja sympaattinen hermostus ovat jatkuvassa vuorovaikutussuhteessa keskenään (liite 2). Autonomisen hermoston tasapainon mittaamisella fyysisen suorituksen jälkeen uskotaan antavan tietoa kuormituksen ja palautumisen välisistä ongelmista urheilijoilla ja liikuntaa intensiivisesti harrastavilla.

## 2. KIRJALLISUUS

### 2.1 Sykevaihteluun vaikuttavat fysiologiset tekijät

Johtuen jatkuvasta sympaattisen ja parasympaattisen hermotuksen vuorovaikutuksesta sydämeen, sinusrytmissä havaitaan vaihtelua keskimääräisen sykkeen ympärillä (Akselrod ym. 1985). Monimutkaisen fysiologisen säätelyjärjestelmän (liite 3) kautta syke muuttuu jatkuvasti elimistön fysiologisten tarpeiden mukaan (van Ravenswaaij-Arts ym. 1993). Säätelyjärjestelmien toiminta aiheuttaa jaksottaista heilahtelua sydämen sykkeessä (Akselrod ym. 1981). Selvimmin havaittavat jaksottaiset heilahtelut sydämen sykkeessä ovat hengityksen, verenpaineensäätelyn ja lämmönsäätelyn aiheuttamia (van Ravenswaaij-Arts ym. 1993; Malliani ym. 1991).

Sydämen sykkeen kontrollointi muodostuu ainakin kolmen fysiologisen muuttujan yhteisvaikutuksesta. Sydämen sykettä säätelevät Frank-Starlingin -laki, hormonaalinen säätely ja autonomisen hermoston toiminta. Säätelymekanismien toiminnan voimakkuus riippuu fyysisen suorituksen rasittavuudesta. (Maciel ym. 1986; Orizio 1988; Akselrod 1981) Fyysisen kuormituksen alussa sykettä nostetaan vähentämällä parasympaattista tonusta (Yamamoto ym. 1991; Tulppo ym. 1996).

Verenpaineensäätely havaitaan sykkeessä hengitystaajuutta hitaampana vaihteluna (liitteet 4 ja 6). Verenpainetta säätelevät suurissa valtimoissa olevat reseptorit. Verenpaineensäätelymekanismi eli baroheijaste välittyy sympaattisen ja parasympaattisen hermotuksen kautta seisovassa asennossa ja pääasiassa parasympaattisen hermotuksen kautta makuuasennossa. (Akselrod ym. 1985; Douglas ym. 1989). Niin kutsuttu ”10-sekunnin kierros” sydämen sisäisen rytminmuutoksen heilahtelussa johtuu vasomotorisen järjestelmän hitaudesta ja barorefleksin negatiivisesta takaisinkytkentäjärjestelmästä (Madwed ym. 1989). Rytminvaihtelut lisääntyvät sympaattisen toiminnan kiihtyessä (Pagani ym. 1984; Rimoldi ym. 1990; Pomeranz ym. 1985) ja vähenevät sympaattisen tai parasympaattisen hermoston vaikutuksen vähenemisen mukaan (Akselrod ym. 1985; Pomeranz ym. 1985).

Sisäänhengityksen aikana syke kiihtyy ja uloshengityksen aikana se hidastuu. Hengitys aiheuttaa siten voimakkaan sykevaihtelun (Liite 6) (Hayano ym. 1991). Sisäänhengitystä ehkäisevän vagaalisen säätelyn vuoksi sydämensyke vaihtelee samaan tahtiin hengityksen kanssa (Davidson ym. 1976). Parasympaattisen hermoston vaikutus sydämeen voidaan poistaa täysin antamalla suoneen atropiinia, joka estää parasympaattisen hermoston aktiivisuuden ja hengityksen aiheuttaman sykevaihtelun. Tämä osoittaa, että hengityksen aiheuttama sykevaihtelu on parasympaattisen hermoston säätelyä. (Hayano ym. 1991; Tulppo ym. 1996)

Periferinen, vaskulaarinen vastus osoittaa sisäistä värähtelyä taajuusmenetelmällä mitatussa matalassa frekvenssissä (LF) (Rosenbaum ym. 1968; Kitney ym. 1975). Nämä värähtelyt voidaan osoittaa ihoa lämpöärsykkeillä stimuloitaessa (Lindqvist ym. 1989) ja niiden on oletettu saavan alkunsa perifeerisen verenvirtauksen lämmönsäätelystä. Periferisen verenkierron vastuksen vaihtelut myötäilevät verenpaineen ja sydämensykkeen mukaan ja niitä ohjailee sympaattinen hermojärjestelmä. Näin ollen lämmönsäätely voi aiheuttaa hitaita muutoksia sykkeeseen (liite 5).

### **2.1.1 Sykevaihtelu levon, kuormituksen ja fyysisen kunnon suhteen**

Hyvä fyysinen kunto ja säännöllinen harjoittelu aiheuttavat autonomisen hermoston adaptaation, joka usein havaitaan leposykkeen laskuna. Tutkimuksissa, joissa on verrattu urheilijoita ja samanikäisiä muita koehenkilöitä samassa asennossa (istuen), on urheilijoilla todettu olevan korkeampi sykevaihtelu kuin kontrollihenkilöillä (Davy ym. 1996; De Meersman ym. 1993; Goldsmith ym. 1992). Eräät tutkimukset osoittavat ettei mm. pyöräilijöillä ja liikuntaa harrastamattomilla ollut vastaavaa sykevaihtelun eroa (Lazoglu ym. 1996). Koehenkilöillä, joilla on ollut parempi maksimaalisen hapenotto on suhteessa merkittävästi korkeampi sykevaihtelu fyysisen rasituksen aikana. Säätely häviää vasta merkittävästi korkeammalla harjoituksen intensiteettitasolla kuin huonokuntoisilla. Tämä todistaa sydämen vagaalisen säätelyn merkityksen aerobiseen kuntoon. (Tulppo ym. 1998) Viimeaikaiset tutkimukset vahvistavat aikaisemmat oletukset ikääntymisen vaikutuksesta sykkeen vagaalisen säätelyn vähenemiseen levossa.



Tämä väheneminen näyttää olevan riippumaton fyysisestä kunnosta. Toisaalta ikääntyminen itsessään ei aiheuta merkittäviä eroavaisuuksia vagaalisessa säätelyssä fyysisen kuormituksen aikana, vaan ainoastaan levossa sydämensykkeen vagaalinen säätely on pienempää. (Tulppo ym. 1998)

### **2.1.2 Sykevaihtelun mittaaminen**

Sykevaihtelun mittaaminen on laajalti käytetty menetelmä arvioitaessa autonomisen hermoston vaikutusta sydämeen erilaisissa fysiologisissa olosuhteissa (Byrne ym. 1996; Davy ym. 1996; De Meersman ym. 1993; Goldsmith ym. 1992; Lipsitz ym. 1990; Shannon ym. 1987). Aikaisemmissa tutkimuksissa sykevaihtelu on mitattu standarsoidusti maaten, seisten tai päivittäisiä askareita suoritettaessa. Kardiovaskulaariset toiminnot levossa tai erilaisissa asennoissa toimivat vain pienellä murto-osalla niiden kapasiteetista. Suhteellisen vähän informaatiota on saatavana fysiologisten funktioiden vaikutuksesta sykevaihteluun autonomisen hermoston kautta fyysisen rasituksen tai siitä palautumisen aikana.

### **2.1.3 Sykevaihtelun analyysimenetelmät**

Lineaaristen menetelmien, kuten aikakenttä- ja taajuusmenetelmien, käyttö sykevaihtelun analyysissä ovat perinteisimpiä ja yleisimmin käytettyjä mittausmenetelmiä sydämen autonomista toimintaa analysoitaessa (Ahmed ym. 1994; Akselrod ym. 1981; Akselrod ym. 1985; Arai ym. 1989; Kamath ym. 1991; Pagani ym. 1988; Perini ym. 1990; Yamamoto ym. 1991). Näiden arviointimenetelmien kyky reagoida sydämen nopeisiin muutoksiin on huonompi kuin epälineaarilla metodeilla (Beuer ym. 1993; Casadei ym. 1995). Rasituksessa epälineaaristen mittausmenetelmien käyttö voi olla informatiivisempaa arvioitaessa sydämen sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tasapainotilan vaikutusta sydämen sykevaihteluun. Epälineaariset menetelmät ovat siten suositumpia nykyaikaisissa, normaaleissa fysiologisissa olosuhteissa suoritetuissa mittauksissa. Niistä suosituin ja toistaiseksi luotettavin mittausmenetelmä on ns.

Poincaré plot -menetelmä. Siinä jokainen EKG-käyrän R-R väli merkitään erilliseen diagrammiin ja samalla muodostuu pistejoukko, ns. takogrammi (liite 8). (Tulppo ym. 1996; Huikuri ym. 1996)

### **2.1.3.1 Aikakenttämenetelmä**

Lineaarisen aikakenttämenetelmän analyysissä lasketaan sykkeen keskihajonta halutulta jaksolta keskiarvosykkeen suhteen. Mitä suurempi on sykkeen keskihajonta sitä suurempi on sykevaihtelu. Tällä menetelmällä ei pystytä erittelemään verenpaineen säätelyn tai hengityksen osuutta sykevaihteluun. Toinen paljon käytetty aikakenttämenetelmä on peräkkäisten lyöntien välisten erotusten keskihajonnan laskeminen. Tämä laskentatapa kuvaa hyvin sykkeen nopeaa vaihtelevuutta. (Yamamoto ym. 1991)

### **2.1.3.2 Taajuusmenetelmä**

Taajuusmenetelmässä eli spektrianalyysissä sykesignaali pilkotaan taajuuskomponenteiksi, joista määritellään signaalin teho. Spektrianalyysillä pyritään selvittämään sympaattisen ja parasympaattisen säätelyn vaihtelua. Korkeataajuuksinen komponentti (HF) kuvaa parasympaattisen hermotuksen aktiivisuutta. Matalataajuuksinen frekvenssi (LF) kuvaa sekä parasympaattisen että sympaattisen hermotuksen vaihtelua ja baroheijasteen välityksellä myös verenpaineen säätelyä. LF/HF -suhdetta on käytetty sympaattisen aktivaation mittarina. (Malliani ym. 1991)

### **2.1.3.3 Non-lineaarinen -menetelmä**

Eräs non-lineaarinen -menetelmä perustuu ns. Poincaré plot -analyysiin. Poincaré plot -menetelmällä (liitteet 7 ja 8) voidaan saada sekä visuaalinen (Woo ym. 1994) että laskennallinen tulos sydämensykkeen lyöntivälien vaihtelusta. Tässä menetelmässä

jokaisen sykevälän pituus esitetään seuraavan sykevälän pituuden funktiona (liite 7). Terveellä henkilöllä sykesarjasta muodostuu pyrstötähden muotoinen kuvio. Kohti origoa syke kiihtyy ja origosta pois päin syke hidastuu. Pyrstötähdestä on löydettävissä sykesarjan keskiarvo, ei keskimääräinen syke. Lisäksi muodostunut pyrstötähtikuvio kvantitoidaan numeroiksi. Menetelmässä lasketaan, tietokoneohjelmaa hyväksi käyttäen, pyrstötähden pisteiden etäisyydet keskipisteestä pituussuunnassa ja leveysuunnassa. Pisteiden etäisyyksien keskihajonta pituussuunnassa on  $sd_2$  ja pisteiden etäisyyksien keskihajonta leveysuunnassa on  $sd_1$  (Tulppo ym. 1996; Huikuri ym. 1996). Keskihajonnat muodostavat ellipsin, jonka muotoa kuvaa  $sd_1/sd_2$  suhde. Tämän analyysin hypoteesinä on, että  $sd_1$  heijastelee sykkeestä toiseen tapahtuvaa, nopeaa vagaalista aktivaatiota ja  $sd_2$  hitaampivaikutteista, sympaattista aktivaatiota. Menetelmä on testattu farmakologisessa tutkimuksessa atropiini-infuusion avulla.  $sd_1$ :n on todettu luotettavasti mittaavan vagaalista, nopeaa sykevaihtelua riippumatta nopeista vaihteluvälimuutoksista. (Tulppo ym. 1996)

## **2.2 Kuormituksesta palautuminen**

Elimistö palautuu normaalitilaan nopeasti kevyen kuormituksen jälkeen. Kovan rasituksen jälkeen tarvitaan riittävästi lepoa. Nopeimmin, jo muutamassa tunnissa hetkellisestä rasituksesta, palautuvat lihaksen välittömät energianlähteet: ATP ja KP sekä lihaksen ja veren maitohappopitoisuudet ja stressihormonipitoisuudet. Jos elimistöä rasitetaan jatkuvasti siten, että tapahtuu harjoitusstressin pitkäaikaista kasautumista, siitä voi seurata monia fysiologisia muutoksia elimistöön. Kasautuvaan väsymykseen liittyy lihaksen glykogeenipitoisuuden ja stressihormonitasojen nousu. Nousu vaikuttaa pysyvästi autonomisen hermoston säätelyyn. Siitä seuraa myös hormonaalisia ja fysiologisia muutoksia, jolloin mm. testosteroni/kortisoli-suhde laskee, eivätkä lihakset pysty reagoimaan positiivisesti stressitilanteeseen. Supistuakseen lihas saa energiaa ATP:n pilkkomisesta. Pitkäkestoisen harjoituksen aikana ATP:tä muodostetaan liikuntalihaksiin hapettamalla hiilihydraattia ja rasvaa. Hiilihydraatti on varastoitu korkeaenergisiksi tuotteiksi: glykogeeniksi ja glukoosiksi. Pitkäkestoisen kestävyysuorituksen väsymisvaiheessa (Sahlin ym. 1997) glykogeenivarastot toimivissa

lihaksissa laskivat 37%, mutta palautuivat jo viidessä minuutissa. Muutokset hermoston ja hormonien välisessä toiminnassa riippuvat lihasten ulkopuolisten energialähteiden hapetuksesta. Lihaksen sisäiset energiavarastot ovat lihassupistuksessa käytössä välittömästi, mutta niitä on myös lisätty neuroendokriinisen vaikutuksen kautta. Todiste (Kjaer ym. 1987; Vissing ym. 1989) motorisen hermotuksen välittömästä hormonien tuotantokeskusten aktivoimisesta saatiin tutkimuksessa, jossa korkeamman motorisen yksikön aktiviteetti oli inhiboitu. Siinä huomattiin katekolamiinien ja aivolisäkkeen tuottamien hormonien liiallinen vaste. Tästä voidaan olettaa, että liikehermoston aktiviteetti aiheuttaa välittömästi endokriinisiä muutoksia. (Shephard-Åstrand 1992)

Harjoituksen aikana sympaattisen hermotuksen aktiviteetti nousee ja samalla plasman vastavaikuttajahormonien erityis lisääntyy. Toisaalta plasman insuliinin erityis ja sen pitoisuus laskevat harjoituksen aikana (Galbo 1983; Galbo 1985; Galbo 1986). Energianmuodostus lisääntyy harjoituksen aikana tasapainossa siitä vastaavien energiantuottomekanismien kanssa. Energiapiikin jälkeen takaisinkytkentä alkaa välittömästi rajoittamaan energian muodostusta. (Shephard-Åstrand 1992)

Hermoston ja hormonien vuorovaikutusta energian muodostukseen voidaan tutkia lääketieteessä salpaamalla hormonien reseptoreita. Näyttää siltä, että liikuntaan liittyvän sympaattisen hermoston ja lisämunaisten ytimen aktiviteetin nousu on erikoisen tärkeää lihaksen sisäisten ja ulkoisten energiavarastojen toiminnassa. (Shephard-Åstrand 1992; Galbo 1983; Galbo 1985)

Creatiinikinaasi (CK) on entsyymi, jota tarvitaan energianmuodostuksessa (McArdle ym. 1991). CK:ta voidaan käyttää lihassoluvaurion määrittämiseen fyysisen rasituksen jälkeen. Rasittavan kestävyysuorituksen jälkeen seerumin CK -aktiviteetti voi nousta ja olla koholla pitempään kuin 48 tuntia (Virus ym. 1984, Virus ym. 1987). Väsytysharjoituksen jälkeisissä tutkimuksissa (Nicol ym. 1996) CK-arvot olivat huipussaan seuraavana päivänä. Creatiinikinaasista ja myoglobiinista saadut markkeerit ovat käytetyimmät lihassoluvaurion määrittämisessä, sillä ne eivät ole niin invasiivisia metodeja kuin mm. lihasbiopsiasta tai virtsahaposta saadut määritteet. Creatiinikinaasi ja myoglobiini -mittauksilla ei voida kuitenkaan saada tarkkaa lihasvaurion paikannusta

elimistössä (Hikkida ym. 1983; Milne ym. 1988; Armstrong ym. 1984; Byrnes ym. 1986; Ebbelling & Clarkson 1989; Hartobagyi & Denahan 1989; Noakes ym. 1987).

### **2.2.1 Hormonit ja aineenvaihdunta**

Hormonituotanto ja aineenvaihdunta ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Hormonaaliset ja metaboliset muutokset submaksimaalisen, pitkäkestoisen suorituksen aikana ovat voimakkaasti riippuvaisia harjoituksen intensiteetistä - jopa anaerobisen kynnyksen alapuolella tapahtuvassa rasituksessa (Näveri ym. 1985).

Sisäsyntyisten hormonien arvot veressä kuvaavat kehon fysiologisia reaktioita ja adaptaatiota fyysisen rasituksen aikana, sekä kertovat palautumisasteesta anabolisissa ja katabolisissa reaktioissa. Testosteronilla ja kortisolilla on suuri merkitys sekä proteiinien että hiilihydraattien aineenvaihdunnassa. Testosteronin ja kortisolin suhde kuvaa hyvin kehon fyysistä rasitustilaa ja etenkin anabolia/katabolia -suhdetta. Testosteroni ja kortisoli ovat kilpailevia vaikutusaineita lihassolun aineenvaihdunnassa ja niiden suhde laskee suhteessa intensiteettiin ja palautusjakson pituuteen verrattuna. (Urhausen ym. 1995)

Glukoosin, glykokeenin ja rasvahapposynteesissä tuotettujen vapaiden rasvahappojen tuottoa valvoo insuliini. Näitä prosesseja stimuloivat sympaattisen hermosten aktiviteetti sekä muutamat insuliinin vastavaikuttajahormonit. Esimerkkinä näistä hormoneista voidaan mainita adrenaliini, glukagoni, kortisoli, kasvuhormoni ja kortikotropiini (ATCH). (Shephard-Åstrand 1992)

Levon aikana 97-99% kiertävästä testosteronista on sidottu joko sukupuolihormonia sitovaan veren globuliiniin (SHBG) tai albumiiniin. Vain 1-3% on ns. aineenvaihdunnallisesti aktiivista eli vapaata muotoa. (Hedge ym. 1987; Martin ym. 1985) Seerumin testosteroni käyttäytyy periaatteessa kahdella tavalla fyysisen suorituksen yhteydessä: lyhyen harjoitusjakson jälkeen testosteronin määrä kasvaa suhteessa intensiteettiin, harjoitusmäärään ja harjoitukseen osallistuneeseen lihasmassaan

verrattuna (Lehmann ym. 1981; Lipsett ym. 1978; Florini 1985; Cadoux ym. 1985) Testosteroniarvot nousivat vielä noin kolme tuntia harjoituksen päättymisen jälkeen mitattuna (Guglielmini ym. 1984). Palautusjakson aikana testosteroniarvot laskevat. Laskeneet arvot pysyvät levossa samana monista tunneista päiviin triathlon-kilpailun jälkeen mitattuna. (Urhausen ym. 1987) Laskevia veren testosteronipitoisuuksia verrattaessa kestävyysurheilijoilla harjoittelemattomiin henkilöihin nähden nämä arvot melkein aina liittyvät sen hetkiseen tilanteeseen. Koehenkilöiden taustassa voi kuitenkin olla suuriakin eroja. Nämä tilannekohtaiset eroavaisuudet kuten mm. ruokavalio, ikä, verenottoajat ja jopa geneettisten tekijöiden huomioiminen tai huomiotta jättäminen, voivat vaikuttaa tutkimustulokseen. (Hackney ym. 1989)

Monista tutkimuksista voidaan todeta, että harjoittelu aiheuttaa hetkellisen testosteronipitoisuuden nousun (Kraemer ym. 1988; Kuoppasalmi ym. 1980; Maresch ym. 1988). Testosteronipitoisuuden nousuun vaikuttavat harjoitusmuoto, -intensiteetti ja palautuksien pituudet. Koehenkilöiden juostua 45 minuuttia kovaa (3.3 min/km) ja 90 minuuttia keskikovaa (4.3 min/km) nähtiin, että seerumin testosteroniarvot olivat vastaavasti 7 ja 21% korkeammat (Kuoppasalmi ym. 1980). Palautusjakson aikana plasman testosteroniarvot laskevat rajusti: jo 30 minuutin päästä harjoituksesta ne olivat alkuarvoja matalammat ja 3 tunnin päästä 41% matalammat kuin ennen harjoitusta (Kuoppasalmi ym. 1980).

Oletetaan (Cumming ym. 1983; Cumming ym. 1989), vaikka kiistäviäkin tutkimuksia on tehty (Wheeler ym. 1991), että testosteronia lutenisoivan hormonin reseptoreiden hetkellinen vaikutuksen pysähdys johtuu harjoittelusta seuranneesta kortikotropiinin (ACTH) ja kortisolin tuotannon noususta laskien näin testosteroniarvoja kestävyysuorituksen aikana (Bambino ym. 1981). Testosteronin vähenemisen vaikutuksesta energia-aineenvaihduntaan ei ole tarkkaa tietoa. Testosteronilla voi olla merkittävä rooli lihaksen aineenvaihdunnassa palautuksen aikana. Se ei koske ainoastaan proteiinisynteesiä (Siegenthaler 1987), sillä se näyttäisi myös auttavan lihasta täydentämään glykogeenivarastoja, jotka kuluvat fyysisen suorituksen aikana. (Bergamini ym. 1969; Gillespie ym. 1970)

Kasvuhormonilla on suuri aineenvaihdunnallinen merkitys. Se edistää solujakautumista ja solujen lisääntymistä kaikkialla elimistössä ja kiihottaa RNA-synteesiä sekä aktivoi solujen ribosomeja proteiinisynteesiin. Kasvuhormonin erityis vähentää hiilihydraattien käyttöä energian lähteenä, mutta vastaavasti mobilisoi rasvan käyttöä energianlähteeksi (McArdle ym. 1991). Harjoitustaustasta riippumatta naisilla näyttäisi olevan korkeampi kasvuhormoni pitoisuus levossa, mutta sukupuolien väliset erot tasoittuvat pitkäkestoisessa suorituksessa (Bunt ym. 1986).

Tutkimukset harjoitusten yhteydessä mitatuista kasvuhormonipitoisuuksista osoittavat, että kasvuhormonin tuotanto ei heti harjoituksen alussa lähde käyntiin, vaan siinä on muutaman minuutin viive (Karagiorgos ym. 1979; Lassarre ym. 1974). Kuitenkin sopivasti rasitusta lisättäessä kasvuhormonin tuotto ja erityis nousevat jyrkästi (Galbo ym. 1982) laskien kuitenkin hyvin nopeasti rasituksen jälkeen. VanHelder ym. (1986) totesi tutkimuksissaan seerumin kasvuhormonipitoisuuden olevan suurimmillaan kahdeksan minuuttia suorituksen jälkeen. Plasman kasvuhormonipitoisuuden nousu oli peräti 5.8-kertainen 45 minuutin juoksuharjoituksen jälkeen (Näveri ym. 1985). 70% teholla maksimaalisesta hapenotosta suoritettussa pp-ergo-harjoituksessa seerumin kasvuhormonipitoisuuden nousu oli 166% (Farrell ym. 1986).

Kasvuhormonin tuotannon laukaisevaa tekijää tai sopivaa kuormitusta ideaaliselle kasvuhormonin tuotannolle ei vielä varmuudella tunneta, mutta laktaatin nousu, alaniini, pyruvaatti, verensokeri tai kehon lämpötila se ei joidenkin tutkimusten mukaan ole (Karagiorgos ym. 1979). Hapen niukkuus, verensokerin lasku, insuliinipitoisuuden lasku ja laktaatin nousu on yhdistetty kasvuhormonipitoisuuden nousuun (Grossman ym. 1984; Miller ym. 1984; VanHelder ym. 1986). Kasvuhormonin laukaisija voi olla myös hermostolliset tekijät (McArdle ym. 1991).

Kortisolilla on todettu olevan katabolisia vaikutuksia elimistöön (Hedge ym. 1987; Martin 1985) sekä korkea intensiivisessä harjoituksessa, että raskaassa voimaharjoituksessa (Häkkinen ym. 1985; Maresh ym. 1988; Schwartz & Kinderman 1990). Harjoittelusta johtuva kortisolipitoisuuden nousu on riippuvainen harjoittelun kestosta ja intensiteetistä (Galbo ym. 1983; Dessypris ym. 1976; Farrell ym. 1983; Few

ym. 1974; Weicker ym. 1985). Hyvin merkittävä veren kortisolitason kohoaminen vaatii yleensä yli 20 minuuttia kestävän suorituksen vähintään 60% teholla maksimaalisesta hapenotosta. Tämä johtuu etupäässä suuremmasta vaadittavasta aineenvaihduntatasosta harjoituksen aikana (Cashmore ym. 1977; Davies ym. 1973). Harjoituksen jälkeen tai palautumisen aikana kortisolipitoisuus yleensä laskee nopeasti ja saavuttaa perustasonsa muutaman tunnin kuluessa (Kuoppasalmi ym. 1976; Urhaisen ym. 1987). Harjoittelun tai muiden fyysisten tai psyykkisten rasitusten (mm. ennen suoritusta oleva stressitila) vaikuttamatta elimistöön. Kortisoliarvot voivat heilahdella myös ruokavaliomuutosten mukaan (Sutton ym. 1975) huolimatta ruokavaliomuutoksesta johtuvasta muuttuneesta aineenvaihdunnasta (Tegelman ym. 1986).

Kortisolin nousulla on tärkeä tehtävä energia-aineenvaihdunnassa varsinkin pitkäkestoisen suorituksen aikana, koska kortisoli ehkäisee rasvahappojen uudelleen esteröitymisen katekolamiineistä johtuvassa lipolyysissä (Galbo ym. 1983; Weicker ym. 1985). Myös kortisolin tehtävää glykogeenivarastojen täydentäjänä maksaan lihasten energiavarastojen kustannuksella on esitetty (Siegenthaler 1987).

### **2.2.2 Autonomisen hermoston palautuminen**

Autonominen hermosto ja umpieritysrauhasten erittämät hormonit säätelevät ja kontrolloivat kehon sisä- ja ulkopuolisten olosuhteiden mukaan elimistön toimintoja jokapäiväisessä elämässä. Näiden kahden säätelijän välistä työnjakoa on mahdoton tarkasti eritellä. Autonominen hermosto ja hormonit vuorovaikuttavat liikunnan ja aineenvaihdunnan säätelijänä, nestetasapainon ylläpitäjänä ja elektrolyyttivirtauksien tasapainottajana. Autonominen hermosto ja hormonimuutokset vaihtelevat lämmönsäätelyn ja verenpaineensäätelyn mukaan liikunnan aikana. (Shephard-Åstrand 1992)

Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto ovat toistensa vastavaikuttajia. Rasituksen aikana tasapaino on kuitenkin sympaattisen hermoston puolella. Sympaattiset hermot



levittäytyvät ydinjatkeesta sydämeen ja maksaan sekä sileisiin lihaksiin ja avo- ja umpieritteisiin jyväsoluihin. (Shephard-Åstrand 1992)

Merkittävin hermopäätteen välittäjäaine, jota erittyy sympaattisesta hermopäätteestä, on noradrenaliini. Munuaisten päällä olevat lisämunuaiset ja sen ydin erittävät sympaattisen hermoston soluille erikoistunutta säätelyainetta, adrenaliinia. Sympaattinen hermosto saa vaikutteita myös muilta hormoneilta. Haima on elin, joka välittää insuliinia ja glukagonia. Insuliinin erityis on estetty sympaattisen hermoston aktiivisuudella. Lisäksi sympaattinen kontrolli on alistettu sisäeritteisten elimien, kuten aivolisäkkeen, hormonien säätelyyn. Aivolisäke sijaitsee aivojen alla ja erittää mm. ATHC:tä, joka ärsyttää lisämunuaisten kuoren erittämään kortisolia. Molemmat, sekä sympaattinen aktiviteetti että aivolisäkesyntyinen erityis, saavat vaikutteita vielä korkeammasta säätelystä, aivojen hermokeskuksesta, väliaivojen alaosasta. (Shephard-Åstrand 1992)

### **3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT**

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia miten sydämen vagaalinen säätely ja elimistön hormonitoiminta muuttuvat fyysisen, pitkäkestoisen suorituksen aikana ja miten nopeasti ne palautuvat.

Tutkimusongelmat olivat seuraavat:

1. Miten ihmisen hormonaalinen tila ja sykevaihtelu ovat yhteydessä keskenään fyysisestä, pitkäkestoisesta suorituksesta palautumisen aikana?
2. Mikä sykevaihtelun mittausmenetelmä soveltuu parhaiten fyysisen rasitustilan mittariksi käyttämällä hyväksi hormonaalisen palautumisen seurannasta saatuja tutkimustuloksia?

## **4. TUTKIMUSMENETELMÄT**

### **4.1 KOEHENKILÖT**

Kahdeksantoista (n=18) nuorta miesurheilijaa osallistui tutkimukseen. Kaikki olivat terveitä, vapaaehtoisia ja tulivat kestävyyslajista, jota harjoiteltiin juosten. He eivät olleet käyttäneet mitään lääkitystä viimeiseen neljään viikkoon.

### **4.2 MITATUT KUORMITUSMUUTTUJAT**

Koehenkilöt suorittivat 10 000 metrin testijuoksun 400 metriä pitkällä, kiertävällä, kestäpäällysteisellä urheilukentällä. He olivat kaikki kilpaurheilijoita, motivoituneita ja vapaaehtoisia suorittamaan 10 000 metrin juoksun maksimaalisella nopeudella. Juoksusta otettiin kierrosajat 400 metrin välein ja loppuaika. Sydämenlyönnit mitattiin ja taltioitiin muistiin Polar Electro PE 3000-mittalaitteella.

### **4.3 MITATUT SYDÄMEN LYÖNTIVAIHTELUMUUTOKSET**

Sydäimestä seurattiin RR-intervallien käyttäytymistä kahden vuorokauden ajan. Mittauksia suoritettiin kuusi tuntia ennen testiä (klo 8.00), tuntia ennen testiä (klo 13.00), välittömästi juoksun jälkeen (klo 14.00) sekä sen jälkeen tunnin, kahden, neljän ja kahdeksan tunnin kuluttua suorituksen päättymisestä. Sydämen lyöntien RR-intervallien taltioimista jatkettiin vielä seuraavana päivänä klo 8.00 ja sitä seuraavana päivänä klo 8.00.

Tarkka ja koehenkilöille samanlainen ruokavalio päätettiin toteuttaa sykkeen suuren vaihteluherkkyuden vuoksi. Koehenkilöt eivät saaneet nauttia ravintoa lainkaan ennen aamumittauksia. Ainoastaan vettä voitiin juoda tarpeen mukaan. Juoksutestipäivänä koehenkilöt saivat nauttia ravintoa seuraavina aikoina: 8.30-9.00 kevyt aamupala, 10.30-

11.00 kevyt lounas, 15.30 urheilujuomaa, 18.30-18.45 salaattia ja banaania sekä neljä viipaletta leipää, 22.30-23.00 runsasenergista ruokaa. Vettä koehenkilöillä oli edelleen lupa nauttia pitkin päivää - ei kuitenkaan yli janontunteen.

Koehenkilöt istuivat rauhassa paikoillaan viisi minuuttia ennen mittauksien alkamista ja kokeen aikana he hengittivät normaalia lepo hengityssyvyyttä omaan tahtiin. Leposykettä mitattiin istuma-asennossa 256 peräkkäistä lyönti-intervallia Polar Electro-RR laitteilla ja tulokset tallennettiin Hyperbook 2300 DX2/486 tietokoneelle.

Mittausjakson sykevaihtelua tutkittiin taajuus- aikakenttä- sekä poincaré plot -menetelmällä. Lisäksi laskettiin keskisyke ja sykkeen keskihajonta. Taajuus -analyysissä laskettiin HF-komponentti, LF-komponentti sekä LF/HF -suhde. Poincaré -menetelmällä laskettiin sd1 ja sd2 sekä sd1/sd2 -suhde sekä sykkeen suhteen normalisoisut sd1 ja sd2.

#### **4.4 VERINÄYTEMUUTTUJAT**

Koehenkilöiltä otettiin verinäytteet kaikkien RR-mittausten yhteydessä. Käsivarresta otettiin 10 ml laskimoverta analyysia varten. Verinäytteistä määriteltiin vapaan testosteronin, koko testosteronin, creatiinikinaasin, kortisolin ja kasvuhormonin pitoisuudet. Verinäytteet analysoitiin Oulun Yliopistollisen Sairaalan laboratoriossa.

#### **4.5 TILASTOLLINEN KÄSITTELY**

Tilastollista merkitsevyyttä mitattiin Kolmogorow-Smirnoff -testillä ja toistettujen mittausten varianssianalyysillä (Analysis of variance for repeated measurements test) sekä tarvittaessa käytettiin nonparametrisiä testejä: Friedmanin-testi ja sen jälkeen Wilkonzonin-testi (=t-testi).

Kolmogorow-Smirnoff -testillä ( $z < 1.0$ ) katsottiin, onko muuttuja normaalisti jakautunut eli arvo ( $z$ ) on pienempi kuin yksi. Toistettujen mittausten varianssianalyysillä katsottiin,

onko eroa mitatulla muuttujalla eri mittauspisteiden välillä. Jos  $z > 1.0$ , käytetään nonparametristä testiä. Anova-testillä etsitään arvot, jotka ovat pienempiä kuin  $p < .05$ . Sen jälkeen t-testillä etsitään kohta, missä mittauspisteiden välissä poikkeama sijaitsee.

## 5. TULOKSET

### 5.1 JUOKSUNOPEUS

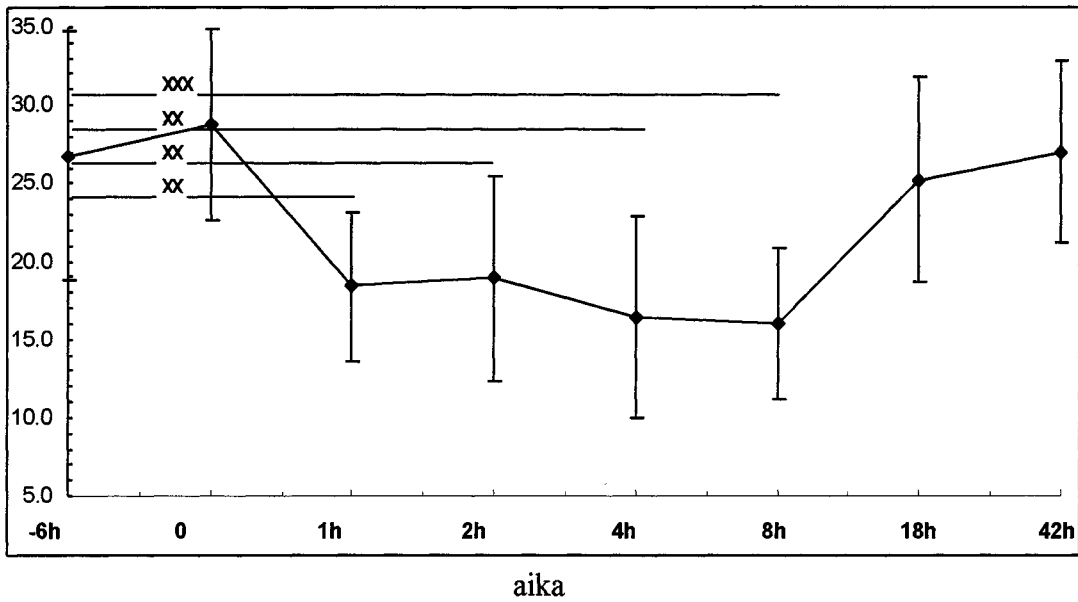
10 kilometrin juoksutestissä koko koehenkilöjoukon keskimääräinen juoksuvauhti oli 86.6 sekuntia/ kierros. Kokonaisajan keskiarvo oli 36.04 minuuttia.

### 5.2 HORMONIPITOISUUKSIEN MUUTOKSET

Hormonipitoisuuksissa lähtöarvoksi otettiin ensimmäisellä mittauskerralla saadut tulokset ja muiden mittauskertojen arvoja verrattiin lähtöarvoihin. Useiden hormonien arvot vaihtelevat vuorokausirytmien ja mm. ruokailun mukaan ja hormonikonsentraatioita on siten arvioitava varauksellisesti (Nicklas ym. 1995). Tässä tutkimuksessa hormonipitoisuudet on kuitenkin otettu tutkimustuloksiin mukaan sellaisenaan.

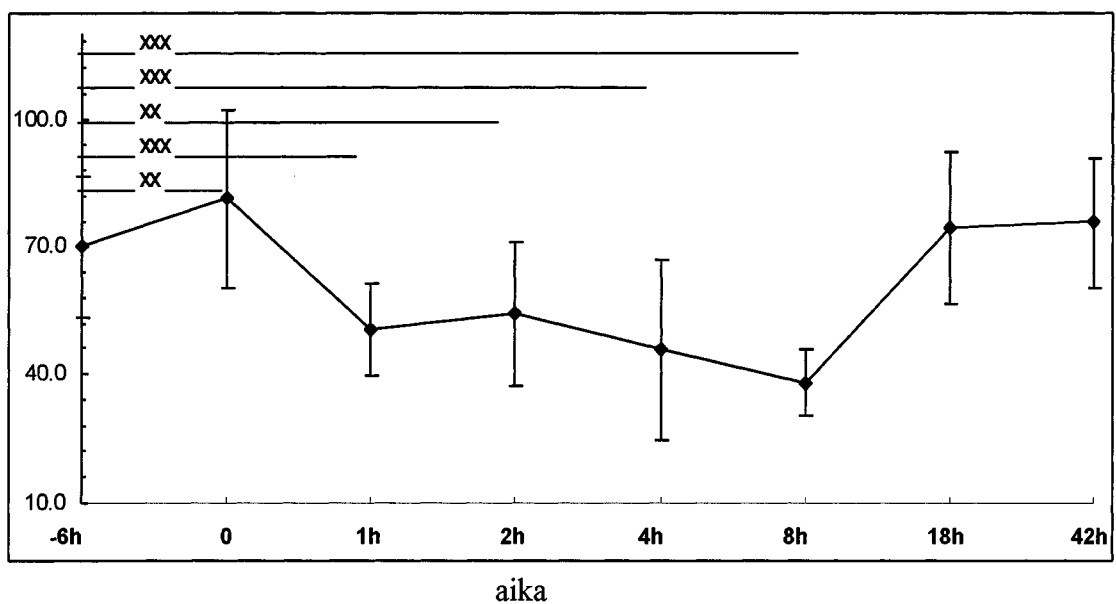
Kokonaistestosteronipitoisuudessa havaittiin nousua välittömästi suorituksen jälkeen mitattuna, mutta tulokset eivät olleet merkittäviä. Suorituksen jälkeen kokonaistestosteronin konsentraatio laski 40.1 % lähtötason alapuolelle ( $26.7 \pm 8.0$  vs.  $16.0 \pm 4.8 \text{ nmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $p < .001$ ). Tämä pienin pitoisuus saavutettiin kahdeksan tuntia rasituksen jälkeen, minkä jälkeen testosteroni pitoisuus kääntyi jyrkkään nousuun. Kahdeksan ja kahdeksantoista tunnin välillä havaittiin voimakas pitoisuuden nousu ( $16.0 \pm 4.8$  vs.  $25.2 \pm 6.6 \text{ nmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ), jolloin konsentraatio oli saavuttanut lähes lähtötason. Jonkin verran testosteroni pitoisuus nousi edelleen toisen palautusvuorokauden aikana. (kuva 1).

KUVA 1. Testosteronipitoisuuden muutokset testijakson aikana ( $\text{nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )



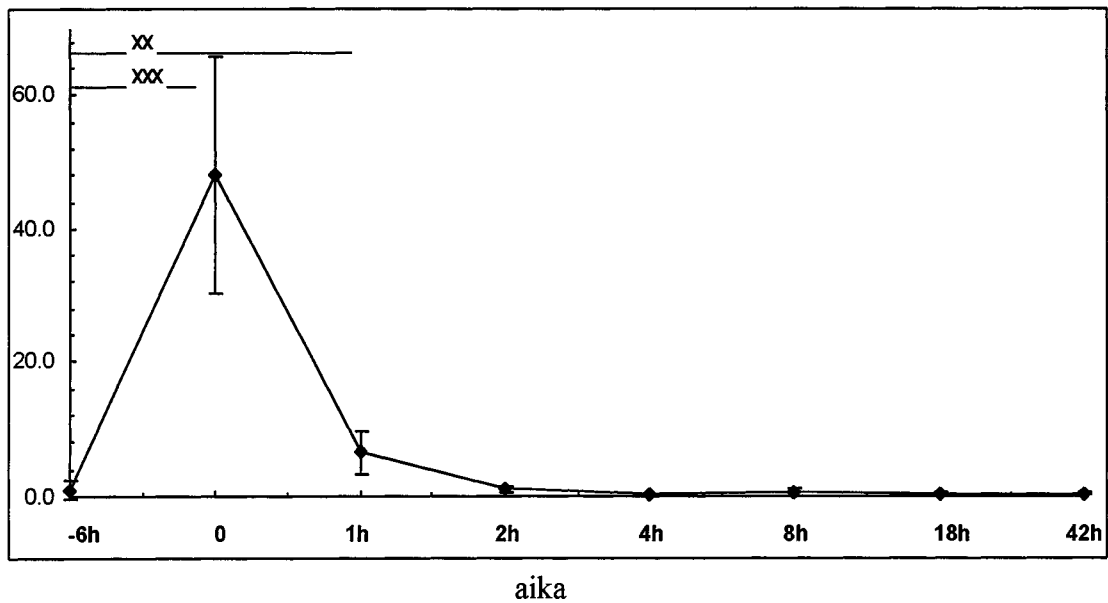
Vapaan testosteronin konsentraatio käyttäytyi lähes identtisesti seerumin testosteronin kanssa laskien 46.0 % ( $p < .001$ ) lähtötason alapuolelle kahdeksan tuntia rasituksen jälkeen ( $70.0 \pm 16.8$  vs.  $38.0 \pm 7.6$   $\text{pmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Jo yhden tunnin kuluttua harjoituksesta se oli pudonnut erittäin merkittävästi ( $p < .001$ ). Vapaa testosteroni kohosi kahdeksan ja siitä seuraavien kymmenen tunnin aikana yli lähtöarvon ( $74.4 \pm 17.7$   $\text{pmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). (kuva 2).

KUVA 2. Vapaan testosteronin muutokset testijakson aikana ( $\text{pmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )



Kasvuhormonipitoisuus (GH) kasvoi erittäin jyrkästi harjoituksen aikana ( $1.0 \pm 1.4$  vs.  $48.0 \pm 17.8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ,  $p < .001$ ) siten, että suurin arvo mitattiin heti rasituksen jälkeen. GH laski heti rasituksen jälkeen siten, että jo kahden tunnin kuluttua rasituksen päättymisestä pitoisuus oli lähtötasolla ( $1.1 \pm 5 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Tämän jälkeen pitoisuus painui reilusti alle  $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  ja pysyi alhaalla koko mittausjakson ajan (kuva 3).

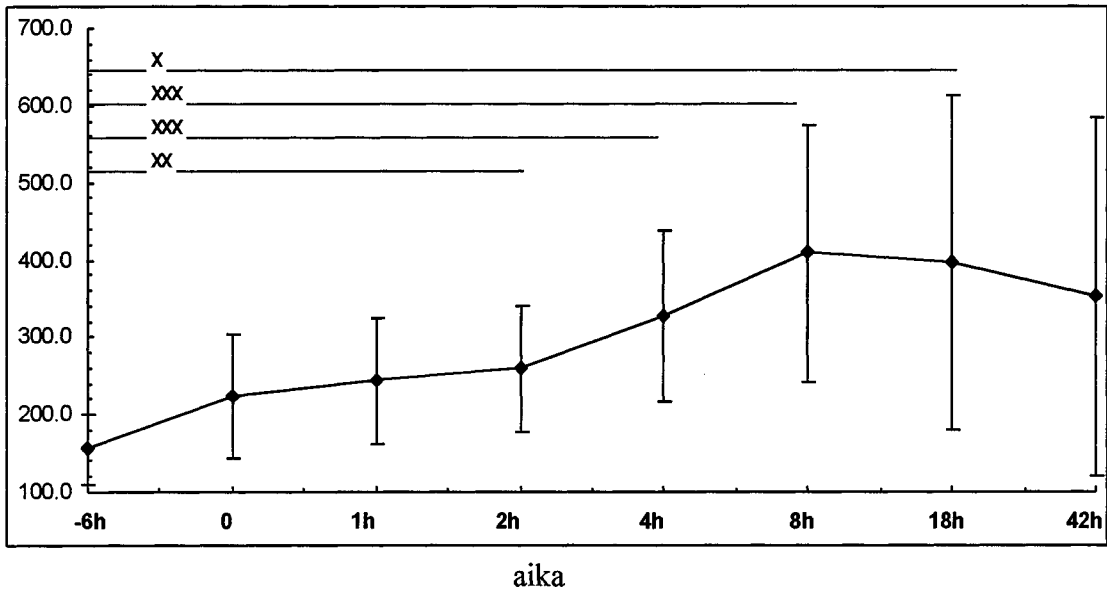
KUVA 3. Kasvuhormonipitoisuuksien muutokset testijakson aikana ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )



Veren seerumin creatiinikinaasipitoisuus nousi lähtökonsentraatiostaan ( $155.9 \pm 45.0$  vs.  $408.6 \pm 166.4 \mu\cdot\text{l}^{-1}$ ,  $p < .001$ ) saavuttaen tämän maksimiarvonsa kahdeksan tuntia rasituksen jälkeen. Tämän jälkeen pitoisuus alkoi loivasti laskea (kuva 4).

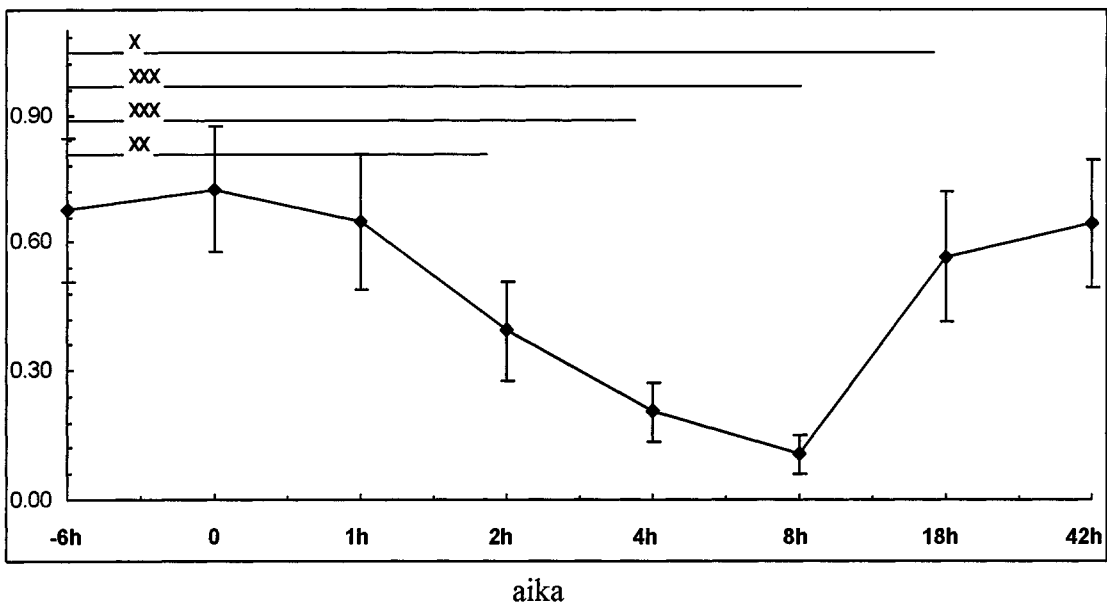


KUVA 4. Creatiinikinaasin muutokset testijakson aikana ( $\mu\text{*l}^{-1}$ )



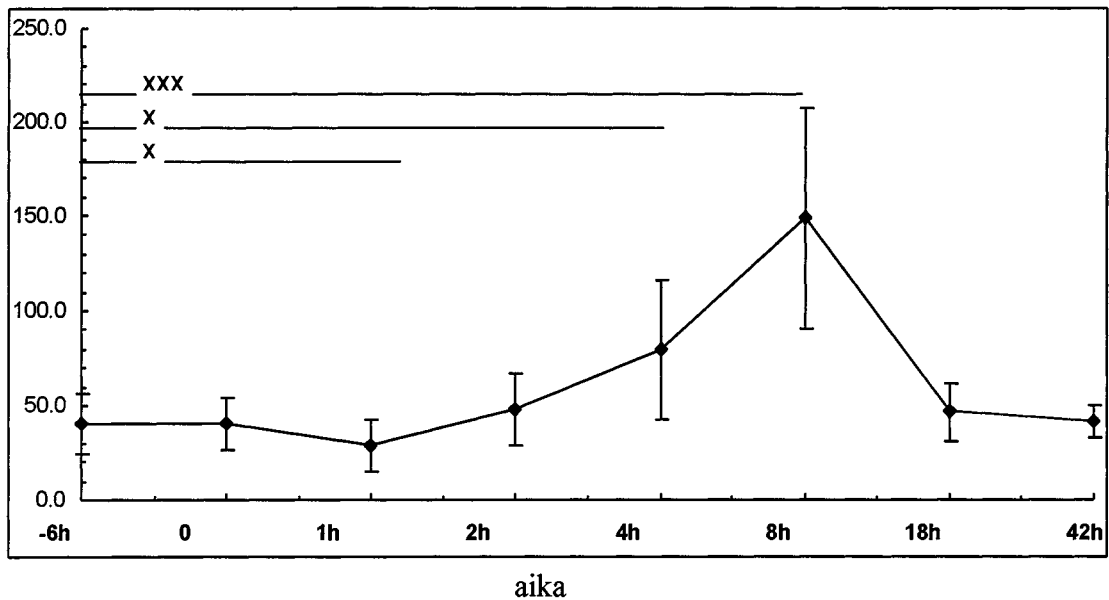
Kortisolipitoisuus käyttäytyi samansuuntaisesti testosteronikonsentraation kanssa laskien kuitenkin dramaattisemmin (83.8 %) lähtötason alapuolelle ( $0.68 \pm 2$  vs.  $0.11 \pm 0$   $\mu\text{mol}\text{*l}^{-1}$ ,  $p < .001$ ). Kortisolikonsentraatio palautui voimakkaasti kahdeksan ja 18 tunnin välisenä aikana ( $p < .05$ ) yltäen kuitenkin lähtötasolleen vasta 42 tuntia rasituksen jälkeen (kuva 5).

KUVA 5. Kortisolipitoisuuksien muutokset testijakson aikana ( $\mu\text{mol}\text{*l}^{-1}$ )



Testosteronin ja kortisolin suhde on hyvä fyysisen palautumisen mittari. Ne ovat kilpailevia aineita ja reagoivat kehon fysiologisiin muutoksiin samansuuntaisesti (Urhausen, 1995). Tässä tutkimuksessa testosteronipitoisuuden määrä nousi merkittävästi suhteessa kortisolipitoisuuteen (91.3 %) kahdeksan tuntia suorituksen jälkeen ( $0.040 \pm 0.0148 \pm 1 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ,  $p < .001$ ) (kuva 6), jolloin kehon tila on muuttunut katabolisesta voimakkaasti anaboliseen. Tällöin testosteronin erittyminen on voimakkaampaa suhteessa kortisolin eritykseen (Urhausen ym. 1995; Hedge ym. 1987; Martin ym. 1985; Häkkinen ym. 1985; Maresh ym. 1988; Schwartz & Kinderman 1990).

KUVA 6. Testosteroni/kortisoli –suhteen muutokset testijakson aikana



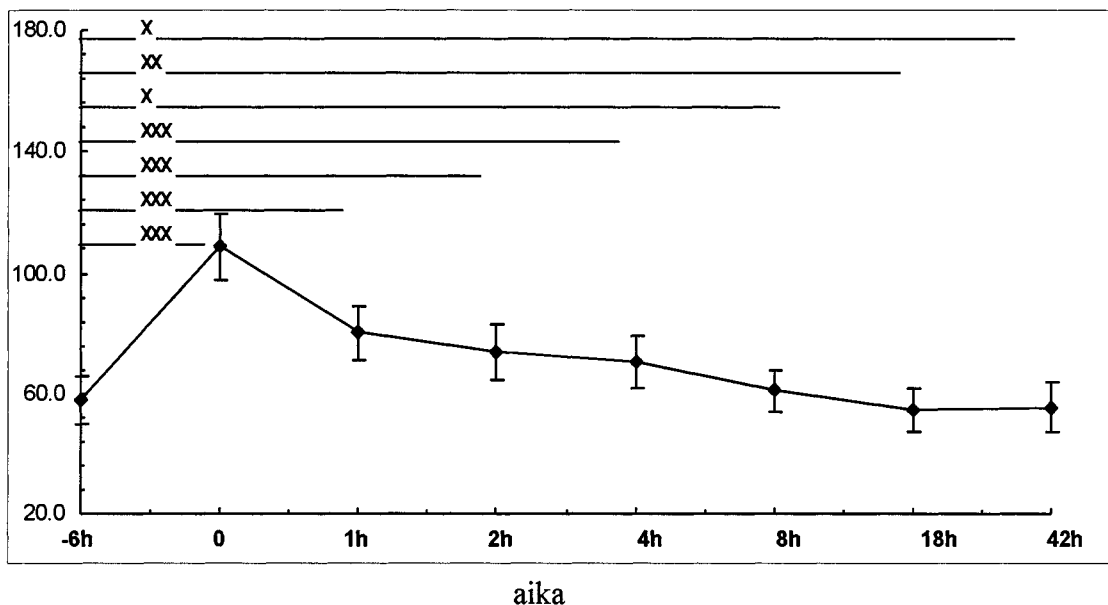
### 5.3 SYKEPARAMETRIEN MUUTOKSET

Sykeparametrimuutoksista tarkasteluun otettiin aikakenttämuuttujista keskisyke ja sykkeen keskihajonta, taajuusmuuttujista absoluuttinen HF-, LF-arvo ja LF/HF-suhde, sekä sykkeeseen normalisoidut HF ja LF. Poincaré plot -muuttujista laskettiin sd1, sd2 ja sd1/sd2 -suhde sekä sykkeeseen normalisoidut sd1n ja sd2n.

#### 5.3.1 AIKAKENTTÄMUUTTUJAT

Keskisyke nousi tutkimuksessa lepotasolta 46.8 % ( $p < .001$ ) rasituksen jälkeen mitattuna, ja se laski lähtötason tuntumaan kahdeksan tuntia rasituksen jälkeen ( $57.8 \pm 7.8$  vs.  $60.8 \pm 6.7$  lyöntiä/min,  $p < .05$ ). Syketaso oli lähtötason alapuolella 18 ja 42 tunnin kohdalla (kuva 7).

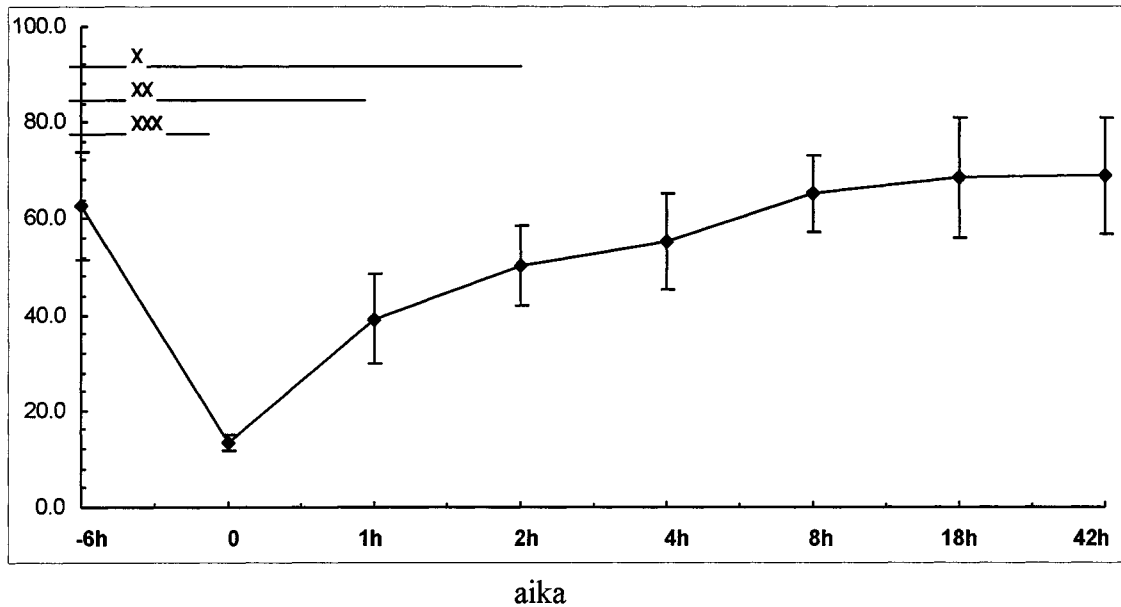
KUVA 7. Keskisykkeen muutokset (lyöntiä/min) testijakson aikana



Sykkeiden keskihajonta pieneni lepotasolta 78.9 % rasituksen jälkeiseen mittaukseen verrattuna ( $62.7 \pm 22.6$  vs.  $13.2 \pm 3.4$  ms,  $p < .001$ ). Rasituksen jälkeen hajonta kasvoi nopeasti mitattuna saavuttaen arvon heti ensimmäisen palautumistunnin jälkeen 39.2

$\pm 18.9$  ms. Hajonnan kasvu jatkui selkeänä saavuttaen lähtötason ( $p=ns$ ) neljä tuntia rasituksen jälkeen (kuva 8).

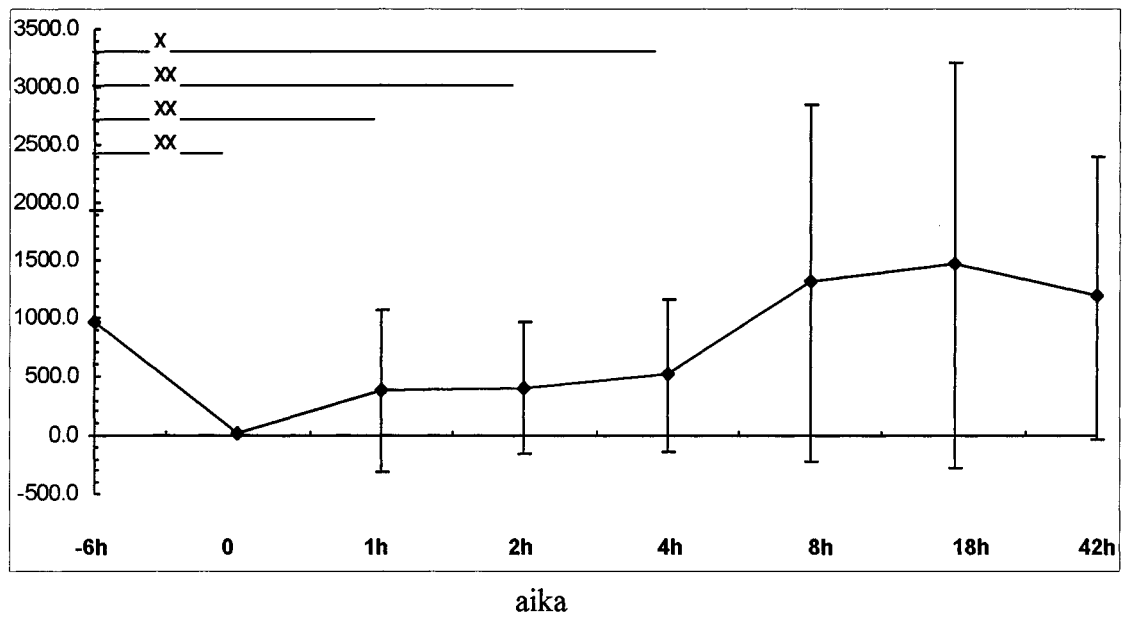
KUVA 8. Sykkeen keskihajonta testijakson aikana (ms)



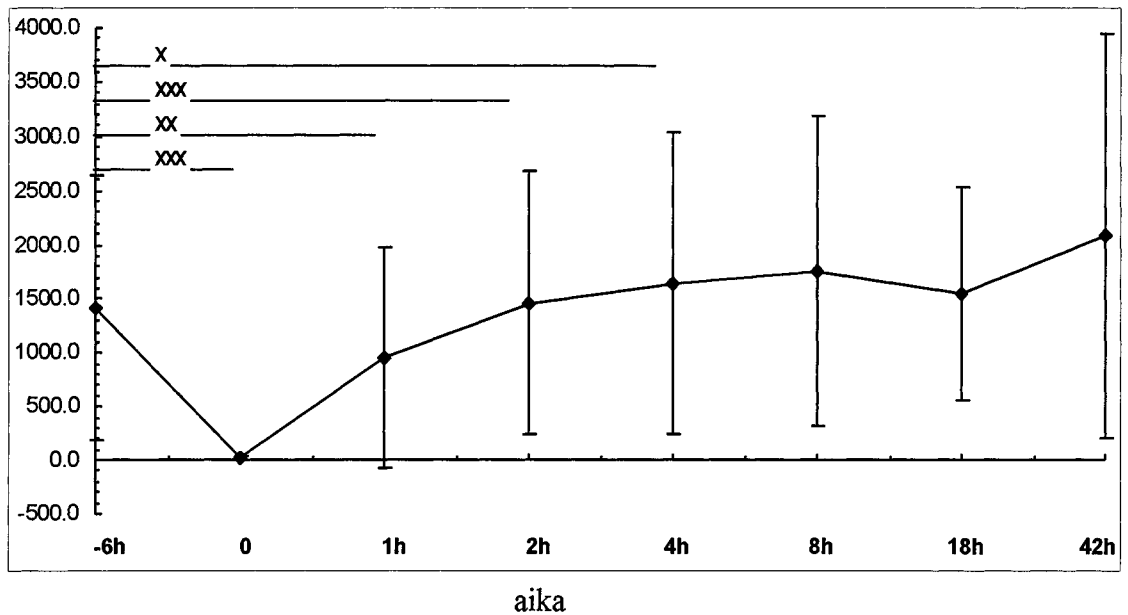
### 5.3.2 TAAJUUSMUUTTUJAT

Taajuusmuuttujista spektri-analyysillä saatu HF-arvo (high frequency) laski heti suorituksen jälkeen mitattuna 98.8 % ( $970.3 \pm 963.2$  vs.  $12.1 \pm 17.4$  ms<sup>2</sup>,  $p < .01$ ). HF-komponentti palautui yli lähtötason kahdeksan tuntia suorituksen jälkeen (kuva 9). ”Low frequency” eli matalataajuuksinen LF-komponentti laski 98.6 % lähtöarvosta verrattuna heti suorituksen jälkeen mitattuun arvoon ( $p < .01$ ). Tunti suorituksen jälkeen muuttujan arvo ei ollut enää merkittävä lähtöarvoon verrattuna ( $p=ns$ ). (kuva 10).

KUVA 9. HF-absoluuttinen ( $\text{ms}^2$ ) eli korkeataajuuksisen sykevaihdelun muutokset testijakson aikana



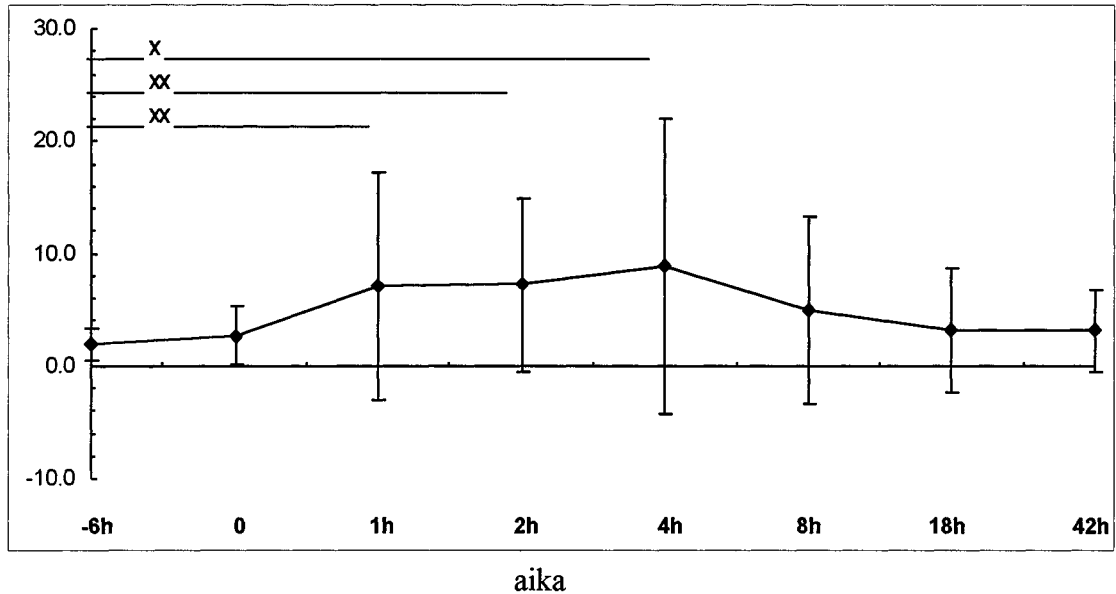
KUVA 10. LF-absoluuttinen ( $\text{ms}^2$ ) eli matalataajuuksisen sykevaihdelun muutokset testijakson aikana



Edellisten muuttujien suhde: LF/HF -komponentti on sympatikuksen toiminnan jonkinasteinen kuvaaja (Pagani ym. 1986; Lombardi ym. 1987). LF/HF -suhde muuttuu merkittäväksi ( $p < .01$ ) tunti suorituksen jälkeen, jolloin sen suhde kasvaa selvästi (1.8

+/-1.4 → 7.1 +/-10.1) lähtöarvoon verrattuna. Taajuuksien suhteen nousu ei ollut enää tilastollisesti merkittävä kahdeksan tuntia suorituksen jälkeen mitatussa arvossa (kuva 11).

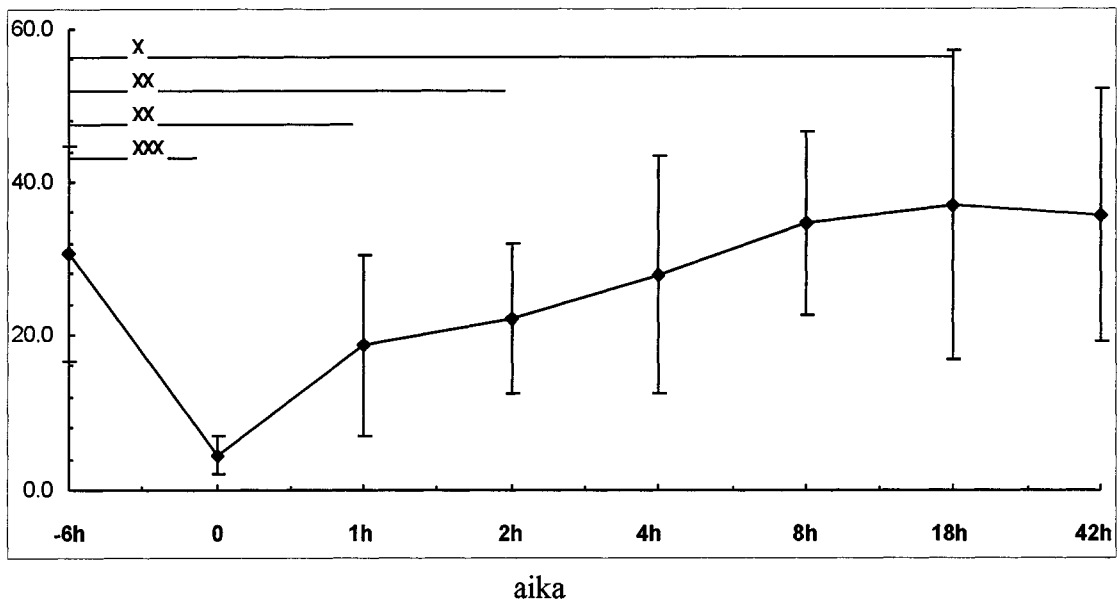
KUVA 11. LF/HF- suhteen muutokset testijakson aikana



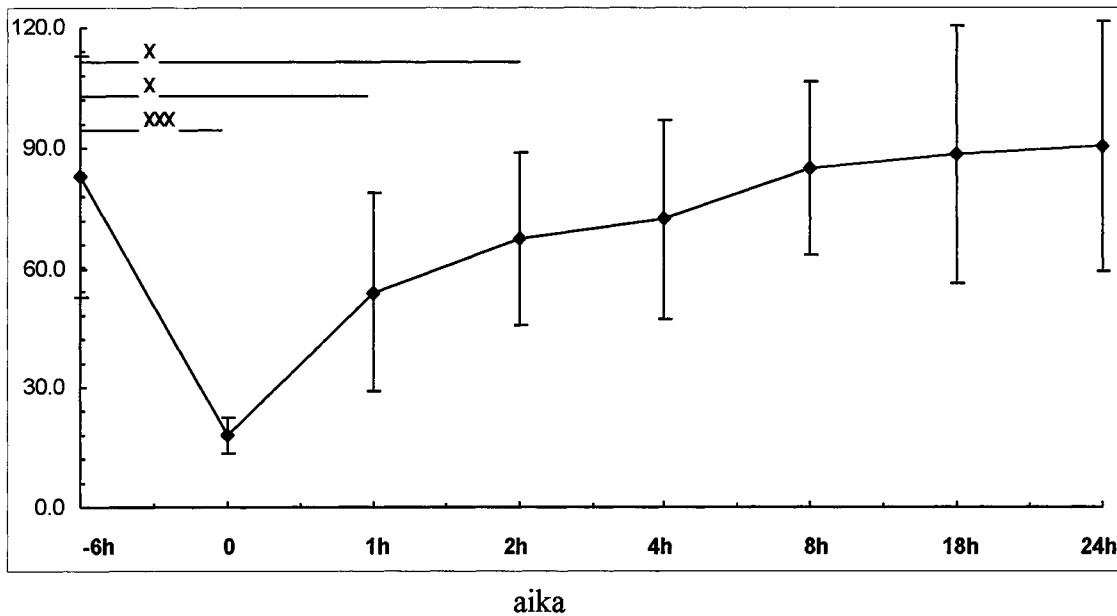
### 5.3.3 POINCARÉ PLOT -MUUTTUUJAT

Poincaré plot -muuttujat olivat kaikki normaalisti jakautuneita ( $z > 1$ ), joille suoritettiin parillinen t-testi. Sd1 putosi erittäin merkittävästi 85.3 % ( $p < .001$ ) heti suorituksen jälkeen. Sd1 palautui tasaisesti, saavuttaen lähtötason neljässä tunnissa, jonka jälkeen arvo nousi vielä selvästi yli lähtöarvon ja saavutti huippuarvonsa 18 tuntia testin jälkeen ollen silloin 16.8 % lähtötasoa ylempänä ( $p < .05$ ) (kuva 12). Sd2 käyttäytyi samansuuntaisesti sd1 kanssa laskien 78.3 % ( $p < .001$ ) heti suorituksen jälkeen, mutta palautui niin ikään neljän tunnin kohdalla lähtöarvoonsa. Sd2 kasvoi lievästi koko mitattavan jakson aikana, mutta ei merkitsevästi;  $p = ns$  (kuva 13).

KUVA 12. sd1 (ms) eli Poincaré plot -pistejoukon poikittaisen leveyden muutokset testijakson aikana

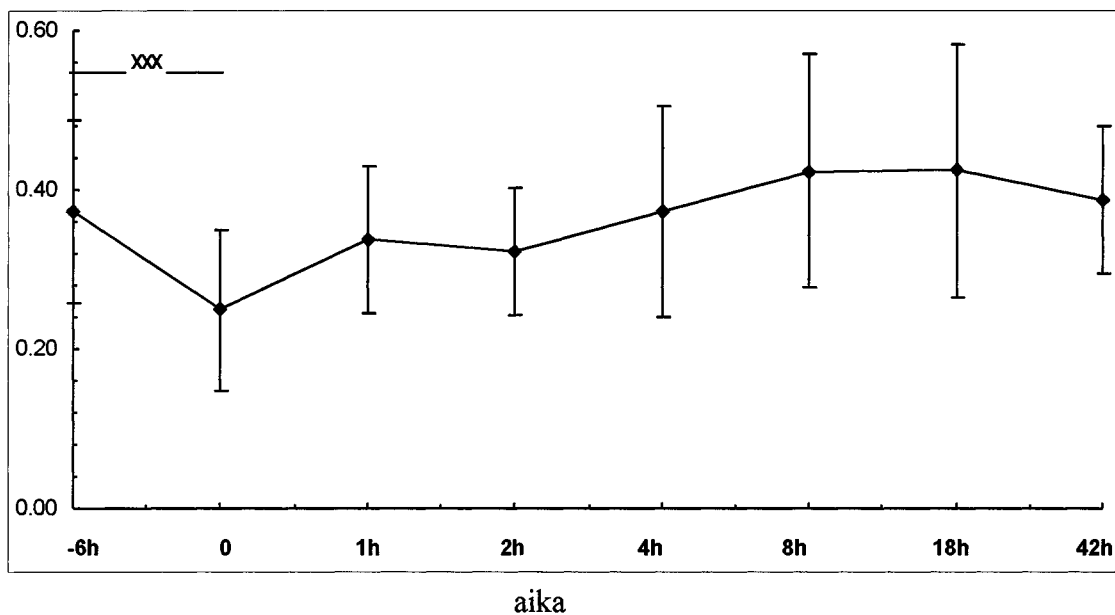


KUVA 13. sd2 (ms) eli Poincaré plot -pistejoukon pituuden muutokset testijakson aikana



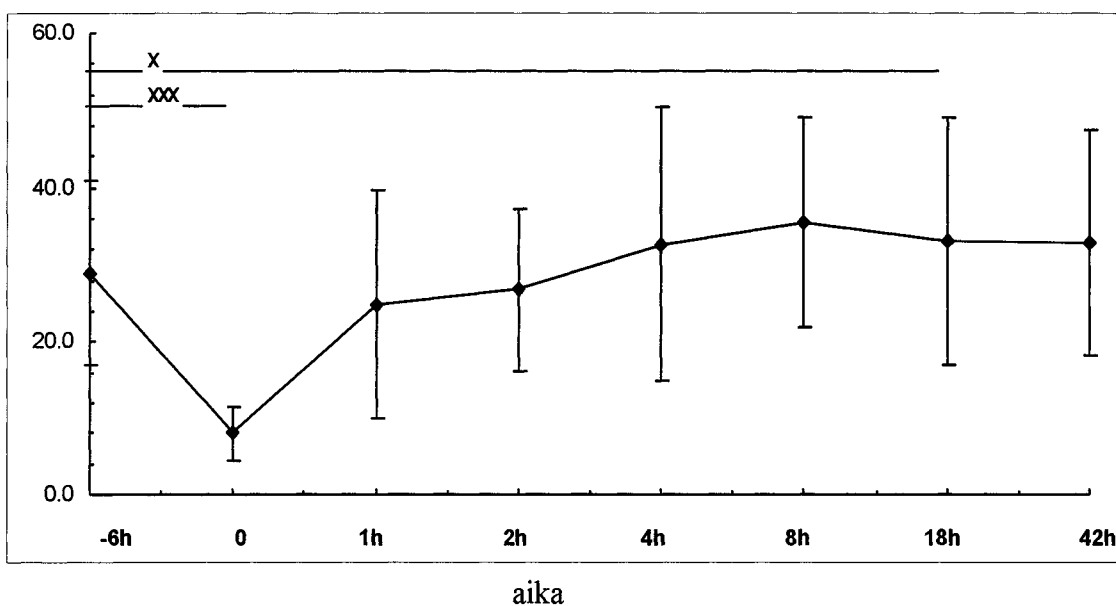
Sd1/sd2 -suhde laski myös merkittävästi 32.4 % ( $p < .001$ ) heti suorituksen jälkeen mitattuna, mutta oli palautunut lähtöarvon lähelle jo tunnissa (kuva 14).

KUVA 14. sd1/sd2 -suhteen muutokset testijakson aikana



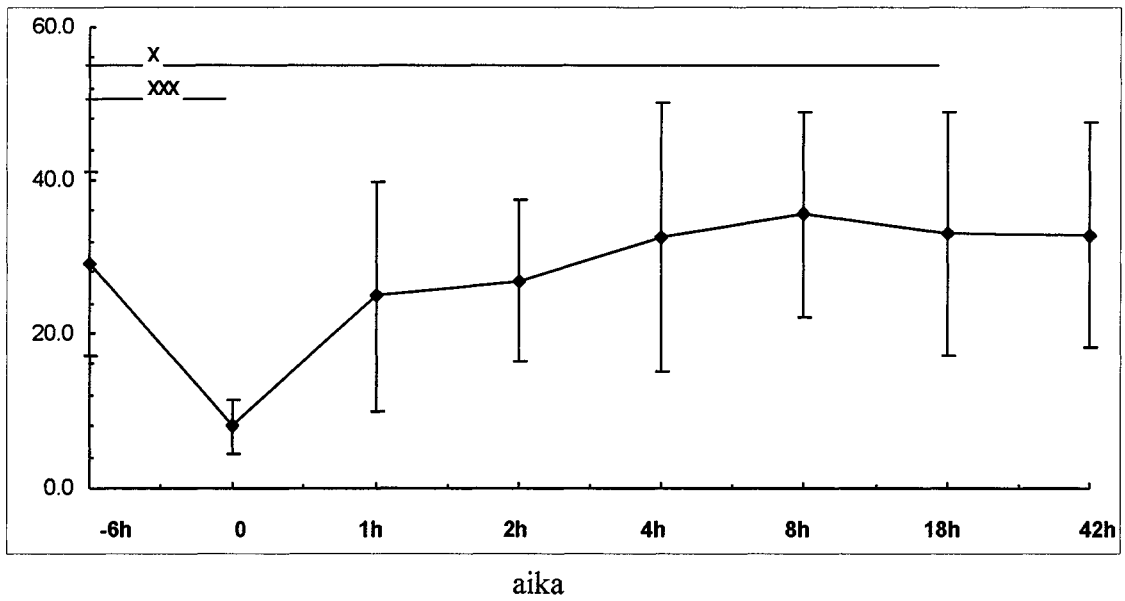
Sykkeeseen normalisoidut sd1n ja sd2n mukailivat lähes täysin aikaisemmin kuvattuja sd1 ja sd2 -arvoja. Molemmat putosivat merkittävästi ( $p < .001$ ) heti suorituksen jälkeen mitattuna (72.5 ja 59.4 %). Tunti suorituksen jälkeen muuttujien arvo ei ollut enää merkittävä lähtöarvoon verrattuna (kuvat 15 ja 16).

KUVA 15. sykkeen suhteen normalisoitu sd1, jossa lyöntitiheyden muutoksen vaikutus hajontakuviioon on eliminoitu





KUVA 16. sykkeen suhteen normalisoitu  $sd_2$ , jossa lyöntitiheyden muutoksen vaikutus hajontakuviioon on eliminoitu



## 6. POHDINTA

Hormonikonsentraatioita on tutkittu paljon fyysisen rasitustilan seurannassa. Sykevaihtelun käyttöä fyysisen ja fysiologisen palautumisen seurannassa on tutkittu paljon vähemmän. Kun ihminen on fyysisen harjoituksen jälkeen saavuttanut fysiologisesti palautuneen tilan, sen fysiologiset kehon muuttujat ja muutoksia mittaavat parametrit ovat palautuneet lähelle pitkäaikaisissa mittauksissa saavutettuja, ns. lähtöarvoja.

Suoritetuista mittauksista havaitaan, että sekä syketiheydestä että keskihajonnasta voidaan seurata rasituksen jälkeistä palautumista. Keskisykkeen ja -hajonnan muutoksien palautumista seurattaessa rasituksen jälkeisessä tilassa voidaan havaita niiden normalisoituvan neljän ja kahdeksan tunnin paikkeilla harjoituksen jälkeen. Molemmat muuttujat käyttäytyivät hyvin lineaarisesti harjoituksen jälkeisessä seurannassa, joka lisää niiden arvoa palautumisen seurannassa.

LF ja HF -suhde näyttää kuvaavan hyvin sympaattis-vagaalista tasapainotilaa, joka aikaisempien tutkimusten (Pagani 86, Lombardi 87) perusteella laskee merkittävästi lisääntyvän parasympaattisen säätelyn aikana. Tässä tutkimuksessa LF/HF oli ylhäällä suorituksen jälkeisissä mittauksissa tunnin ja neljän tunnin välillä ja oli palautunut vasta kahdeksan tunnin kohdalla harjoituksesta. LF ja HF -suhde näyttäisi olevan merkittävin spektrianalyysillä saatu harjoituksen jälkeisen tilan seurantaan käytettävä kuvaaja. Kuitenkin LF/HF -suhteen keskihajonnat ovat suuria, joka merkittävästi heikentää spektrimuuttujien käyttöarvoa.

LF-komponentti, jonka on väitetty aikaisemmissa tutkimuksissa (Perini ym. 1990) reagoivan fyysiseen stressiin, laskee rasituksessa voimakkaasti, mutta palautui jo yhden ja kahden tunnin kuluessa harjoituksesta pysyen ylhäällä koko mitattavan jakson ajan. LF-komponentin voidaankin olettaa kuvaavan enemmän verenkierron palautumista ja sen mukana kehon lämpötilan normalisoitumista kuin fyysisestä rasituksesta palautumista (Hyndman ym. 1971; Akselrod ym. 1981; Lindqvist ym. 1989)

HF-komponentti, jonka tiedetään olevan (Akselrod ym. 1981; Pomeranz ym. 1985) parasymptaattisen aktiviteetin kuvaaja, laski rajusti ( $p < .01$ ) harjoituksen aikana ja palautui vasta kahdeksan tuntia rasituksen jälkeen. Myös Sd1 kuvaa parasymptaattisen hermoston aktivaatiota sydämessä. HF-komponentin voidaan olettaa kuvaavan fyysisestä rasituksesta palautumista. Sitä tutkimalla voidaan havaita, että parasymptaattinen aktivaatio käyttäytyi lineaarisesti testijakson aikana ja palautui neljän tunnin kuluessa rasituksesta. Sd1 mukaili todennäköistä fysiologista rasiutilaa non-lineaarisista sykeparametreistä parhaiten.

Sd 2 käyttäytyi rasituksen jälkeisessä palautumisessa lineaarisesti, mutta palautui nopeammin kuin sd1 (4h). Sd1/sd2 -suhde, sykkeen suhteen normalisoidut sd1n ja sd2n putosivat erittäin merkittävästi heti rasituksen jälkeen (0h) mitattuna ja palautuivat jo yhdessä tunnissa.

Biologisia ja fysiologisia muuttujia tarkasteltaessa merkitsevyiksi on usein vaikea löytää suuren yksilöllisen vaihtelun vuoksi. Pienellä otoksella ( $n < 30$ ) aineistoa onkin järkevää analysoida myös yksilöllisesti. Yksilöllisen vertailun avulla voidaan löytää uusia aspekteja käsiteltävästä aineistosta, jotka eivät keskiarvoina erotu selvästi. Yksilöllisen käsittelyn jälkeen aineistosta voidaan laskea myös yhteisiä korrelaatioita tilastollisin menetelmin. Tässä tutkimuksessa tehtiin yksilöllinen vertailu LF/HF -suhteesta ja testosteronista (liite 9.), jotka kirjallisuuden perusteella kuvaavat elimistön rasittuneisuutta. (Altman 1991)

Harjoittelutilan seuranta ja harjoituksesta palautumista on tutkittu eniten hormoniarvojen muutoksien suhteen. Aikaisempiin tutkimuksiin (Shephard-Åstrand 1992; Urhaisen ym. 1995) tämän tutkimuksen tuloksia verrattaessa, voimme havaita, että hormonikonsentraatioista parhaiten fysiologista tilaa kuvasi testosteroni ja testosteroni/kortisoli -suhde. Palautuminen oli sykevaihtelumuuttujissa nopeampaa kuin hormonikonsentraatioiden mittauksissa.

Fysiologisissa mittauksissa lihassoluvaurio havaittiin korkeina creatiinikinaasiarvoina. CK oli koholla vielä seuraavana aamunakin. CK:sta voidaan nähdä, ettei elimistö ole

vielä pystynyt poistamaan kaikkia harjoituksesta kertyneitä aineenvaihduntatuotteita mittausjakson aikana.

Valmennuksellisesti voidaan korostaa kumulatiivista rasituksen ja palautusjaksojen yhdistämistä, jolloin seuraavan, ns. kehittävän ärsykkeen, on tapahduttava ennen edellisestä palautumista. Harjoituksellisesti olisikin mielenkiintoista yhdistää kumulatiivisesti harjoitteita ja seurata palautumista useamman kehittävän harjoitteen jälkeen.

Mielestäni tämän tutkimuksen protokolla oli valmennuksellisesti onnistunut. Harjoitus oli tarpeeksi kova aikaansaamaan merkittäviä fysiologisia muutoksia sykkeen muuttujissa sekä hormoneissa. Syketiheydellä ja sen hajonnalla voidaan seurata kohtalaisen hyvin rasituksesta palautumista. Käytännön kannalta sykevaihtelussa tapahtuva suuri hajonta kuvaa rentoutunutta/palautunutta olotilaa ja pieni hajonta kuvaa rasittunutta/stressaantunutta elimistöä. Sykevaihtelua ja hormonikonsentraatiota olisi päästävä testaamaan myös harjoituksen aikana sekä edellisenä päivänä.

Harjoittelusta johtuvan rasituksen seurannassa sykevaihtelua on käytetty hyvin vähän, joten kovin laajaa tieteellistä tukea ei tälle tutkimukselle vielä ole olemassa. Muutoksia on aina seurattava kuitenkin yksilöllisesti ja yhteisiä, absoluuttisia raja-arvoja on mahdotonta yksiselitteisesti määrittää.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Pitkäkestoisen, rasittavan kestävyysuorituksen palautumisen seurannassa huomataan, että sykevaihtelu pienenee todella merkittävästi heti rasituksen jälkeen mitattuna. Rasituksen jälkeen leposyke saavutettiin kahdeksan tuntia harjoituksen jälkeen ja sykkeen keskihajonta normalisoitui neljän tunnin päästä. Poincaré plot -menetelmän muuttujat palautuivat kuitenkin lähes heti rasituksen jälkeen lähtöarvoihinsa. Sd1 palautui lähtöarvoonsa kuitenkin vasta neljä tuntia suorituksen jälkeen. LF/HF -suhde sekä HF palautuivat myös hieman hitaammin: olivat palautuneet lähelle lähtöarvoaan kahdeksan tuntia harjoituksen jälkeen mitattuna. Hormonaalisista muuttujista testosteroni, vapaa testosteroni ja kortisoli reagoivat suoritettuun testijuoksuun voimakkaasti ja palautuivat hitaasti; palautuminen normaalitasolle tai sen tuntumaan kesti 18 tuntia. Testosteroni/kortisoli -suhde ei ollut muuttunut heti juoksun jälkeen mitattuna, mutta oli merkittävästi kohonnut kahdeksan tunnin kohdalla. Kasvuhormoni oli korkealla heti suorituksen jälkeen mitattuna, mutta palautui nopeasti lähelle lähtöarvoa. Mitattu entsyymi, creatiinikinaasi, oli korkealla vielä mittausjakson päätyttyä 42 tunnin päässä testistä.

1. Sykevaihtelun avulla sekä hormonaalisia muutoksia seuraamalla voidaan seurata elimistön rasittuneisuutta ja saada tietoa palautumistilan muutoksista. Kun testosteroni/kortisoli -suhdetta ja testosteronipitoisuuksia verrattiin LF/HF -suhteeseen, HF:iin tai sd1:een, laskettu korrelaatio ei ollut merkitsevä. Mutta verrattaessa esimerkiksi sykevaihtelun (LF/HF) ja testosteronin käyttäytymistä yksilöllisesti rinnakkain, huomattiin niiden palautumisessa selvä yhdenmukaisuus.
2. Tässä tutkimuksessa LF/HF -suhteen, HF:n sekä sd1:n käyttäytymisestä ei löydetty selvää tilastollista yhteyttä hormonaalisten arvojen käyttäytymiseen mitatun palautusjakson aikana. Yksilöllistä palautumista voidaan kuitenkin seurata lähinnä edellä mainituilla sykevaihtelun mittausmenetelmillä, mutta arviointia varten on ensin tiedettävä palautumisen yksilöllinen vaihtelu.

## 8. LÄHTEET

Ahmed, M. W., A.H. Kadish, M.A. Parker, J.J. Goldberger. Effect of physiologic and pharmacologic adrenergic stimulation on heart rate variability. *Journal of American Coll Cardiology*. 24, 1082-90, 1994.

Akselrod, S., Gordon D., Madwed J. B., Snidman N. C., Shannon C.D., Cohen R.J. Hemodynamic regulation: investigation by spectra analysis. *American Journal of Physiology*. 249: H867-H875, 1985.

Akselrod, S., D. Gordon, F. A. Ubel, D.C. Shannon, A.C. Barker and R.J. Cohen. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 213: 220-223, 1981.

Altman, D. G. *Practical statistics for medical research*. London Chapman and Hall, London, s. 426-435, 1991.

Arai, Y., J. P. Saul, P. Albrecht, W. Hartley, L. S. Lilly, R. J. Cohen and W. S. Colucci. Modulation of cardiac autonomic activity during an immediately after exercise. *American Journal of Physiology*. 256: H132-H141, 1989.

Bergamini, E., C. Bombara, C. Pelligrino. The effect of testosterone on glycogen metabolism in rat levator ani muscle. *Biochim Biophys Acta*. 177: 220-234, 1969.

Berger, R. D., J. P. Saul and R. J. Cohen. Transfer function analysis of autonomic regulation. I. Canine atrial rate response. *American Journal of Physiology*. 256: H142-H152, 1989.

Beuer, H-W. M., A. Skyschally, R. Schulz, C. Martin, M. Wehr, G. Heusch. Heart rate variability and circulating catecholamine concentrations during steady state exercise in healthy volunteers. *British Heart Journal*. 70: 144-149, 1993.

Bunt, J. C., R. A. Boileau, J. M. Bahr, R. A. Nelson. Sex and training differences in human growth hormone levels during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*. 61: 1796-1801, 1986.

Byrne, E. A., J. L. Fleg, P. V. Vaitkevicius, J. Wright, and S. W. Porges. Role of aerobic capacity and body mass index in the age-associated decline in heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*. 81 (2): 743-750, 1996.

Cadoux-Hudson, T. A., Few J. D., Imms F. J. The effects of exercise on the production and clearance of testosterone in well trained young men. *European Journal of Applied Physiology*. 54: 321-325, 1985.

Casadei, B., S. Cochrane, J. Johnston, J. Conway and P. Sleight. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*. 153: 125-131, 1995.

Cashmore, G. C., C. T. M. Davies, J. D. Few. Relationship between increase in plasma cortisol concentration and rate of cortisol secretion during exercise in man. *Journal of Endocrinology*. 72: 109-110, 1977.

Cumming, D. C., G. D., Wheeler, E. M. McColl. The effects of exercise on reproductive function in men. *Sports Medicine*. 7: 1-17, 1989.

Cumming, D. C., Quigley M. E., Yen S. S. C. Acute suppression of circulating testosterone levels by cortisol in men. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*. 57:671-673, 1983.

Davidson, N. S., S. Goldner, D. I. McCloskey. Respiratory modulation of Baroreceptor and chemoreceptor reflexes affecting heart rate and cardiac vagal efferent nerve activity. *Journal of Physiology (London)*. 259, 1976.

Davies, C. T. M., F. D. Few. Effect of exercise on adrenocortical function. *Journal of Applied Physiology*. 35: 887-891, 1973.

Davy, K. P., N. L. Miniclier, J. A. Taylor, E. T, Stevenson, and D. R. Seals. Elevated heart rate variability in physically active postmenopausal women: a cardioprotective effect? *American Journal of Physiology*. 271 (Heart Circulation of Physiology. 40): H455-H460, 1996.

De Meersman, R. E. Heart rate variability and aerobic fitness. *American Heart Journal*. 125: 726-731, 1993.

Dela, F, Mikines K. J., Tonier B., Galbo H. Diminished arginine-stimulated insulin secretion in trained men. *Journal of Applied Physiology*. 69: 261-267, 1990.

Dela, F., Mikines K. J., von Linstow M., Galbo H. Effect of training on response to a glucose load adjusted for daily carbohydrate intake. *American Journal of Physiology*. 260: E14-E20, 1991.

Dessypris, A., K. Kuoppasalmi, H. Adlercreutz. Plasma cortisol, testosterone, androstendione and luteinizing hormone in a non-competitive marathon run. *Journal of Ster Biochemistry*. 7: 33-37, 1976.

Douglas, R.S., Chase P. B., Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *Journal of Applied Physiology*. 66, 4: 1886-1895, 1989.

Farrell, P. A., A. B. Gustafson, T. L. Farthwaite, R. K. Kalkhoff, A. W. Cowley Jr, W. P. Morgan. Influence of endogenous opioids on the response of selected hormones to exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*. 61(3): 1051-1057 1986



- Farrell, P. A., T. L. Farthwaite, A. B. Gustafson. Plasma adrenocorticotropin and cortisol responses to submaximal and exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*. 55: 1441-1444, 1983.
- Few, J. D. Effect of exercise on the secretion and metabolism of cortisol in man. *Journal of Endocrinology*. 62: 341-353, 1974.
- Florini, J. R. Hormonal control of muscle cell growth. *Journal of Animal Science*. 61:21-37, 1985.
- Galbo, H. Autonomic neuroendocrine responses to exercise. *Scandinavian Journal of Sports Science*. 8: 3-17, 1986.
- Galbo, H. Endocrinology and metabolism in exercise. *Current Problems of Clinical Biochemistry*. 11:26-44, 1982.
- Galbo, H. Hormonal and metabolic adaptation to exercise. Stuttgart, Thieme, New York, 1983.
- Galbo, H. The hormonal response to exercise. *Proc Nutrition Soc*. 44: 257-266, 1985.
- Gillespie, C. A., V. R. Edgerton. The role of testosterone in exercise induced glycogen supercompensation. *Hormonal Metabolism Research*. 2: 364-366, 1970.
- Goldsmith, R. I., J. T. Bigger, R. C. Steinman, and J. L. Fleiss. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *Journal of American Coll Cardiology*. 20: 552-558, 1992.
- Grossman, A., P. Bouloux, P. Price, P. Drury, K. Lam, et al. The role of opioid peptides in the hormonal responses to acute exercise in man. *Clinical Science*. 67: 483-491, 1984.

Guglielmini, C., A. R. Paolini, F. Conconi. Variations of serum testosterone concentrations after physical exercises of different duration. *International Journal of Sports Medicine*. 5: 246-249, 1984.

Hackney, A. C. Endurance training and testosterone levels. *Sports Medicine*. 8: 117-127, 1989.

Hayano, J., Y. Sakakibara, A. Yamada, M. Yamada, S. Mukai, T. Fujinami, K. Yokoyama, Y. Watanabe, K. Takata. Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *American Journal of Cardiology*. 67: 199-204, 1991.

Hedge, G. A., H. D. Colby, R. L. Goodman. *Clinical endocrine physiology*. W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1987.

Huikuri, H. V., T. Seppänen, M. J. Koistinen, K. E. J. Airaksinen, M. J. Ikäheimo, A. Castellanos, R. J. Myerburg. Abnormalities in beat-to-beat dynamics of heart rate before the spontaneous onset of life-threatening ventricular tachyarrhythmias in patients with prior myocardial infarction. *Circulation* 93: 1836-1844, 1996.

Hyndman, B. W., R. I. Kitney & B. McA. Sayers. Spontaneous rhythms in physiological control systems. *Nature*. 233: 339-341, 1971.

Kamath, M. V., E. L. Fallen and R. Mckelvie. Effects of steady state exercise on the power spectrum of heart rate variability. *Medical Science of Sports Exercise*. 23: 428-434, 1991.

Karagiorgos A., J. F. Garcia, G.A. Brooks. Growth hormone response to continuous and intermittent exercise. *Medical Science of Sports*. 11(3):302-307, 1979.

Kitney, R. I. An analysis of the nonlinear behaviour of the human thermal vasomotor control system. *Journal of Theoretical Biology*. 52: 231-248, 1975.

- Kjaer, M., Secher J. H., Bach F. & Galbo H. Role of motor center activity for hormonal changes and substrate mobilization in humans. *American Journal of Physiology*. 253: R687-R695, 1987.
- Kraemer, W. J. Endocrine responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20: S152-S157, 1988.
- Kuoppasalmi, K., H. Näveri, M. Härkönen, H. Aldercreutz. Plasma cortisol, androstenedione, testosterone and lutenizing hormone in running exercise of different intensities. *Scandinavian Journal of Clinical Laboratory Investigation*. 40: 403-409, 1980.
- Lassarre, C., F. Girard, J. Durand, J. Raynaud. Kinetics of human growth hormone during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 37(6):826-830, 1974.
- Lazoglu, A. H., B. Glace, G. W. Gleim, and N. L. Coplan. Exercise and heart rate variability. *Am. Heart J*. 131: 825-827, 1996.
- Lehmann, M., J. Keul, G. Huber Lehmann, Da Prada M. Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graduated exercise. *Int J Sports Med*. 2(3):143-147, 1981.
- Levy, M. C., R. Perini, A. Comande, M. Castellano, M. Beschi and A. Veicsteinas. Plasma catecholamines and heart rate at the beginning of muscular exercise in man. *European Journal of Applied Physiology*. 57: 644-651, 1988.
- Lindqvist A., P. Parviainen, P. Kolari, J. Tuominen, I. Välimäki, K. Antila. A non-invasive method for testing neural circulatory control in man. *Cardiovascular Research*. 23: 262-272, 1989.
- Lipsett, M. B. Steroid hormones, In: Yen S. C., R. B. Jaffe, editors. *Reproductive endocrinology: physiology, pathophysiology and clinical management*. Saunders W. B., Toronto, s. 80-92, 1978.

Lipsitz, L. A. , J. Mietus, G. B. Moody, and A. L. Goldberger. Spectral characteristics of heart rate variability before and during postural tilt: relations to aging and risk of syncope. *Circulation* 81: 1803-1810, 1990.

Lombardi, F., G. Sandrone., S. Pernpruner, M Garibaldi, S. Cerutti, G Baselli, M. Pagani & A. Malliani. Heart rate variability as an index of sympathovagal interaction after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*. 60: 1239-1245, 1987.

Madved, J. B., P. Albrecht, R. G. Mark, R. J. Cohen. Low-frequency oscillations in arterial pressure and heart rate: a simple computer model. *American Journal of Physiology*. 256: H1573-1579, 1989.

Malliani, A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 84; 2, 482-492, 1991.

Maresh, C. M., M. R. Cook, H. D. Cohen, C. Graham, W. S. Gunn. Exercise testing in the evaluation of human responses to powerline frequency fields. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 59: 1139-1145, 1988.

Martin, C. R. *Endocrine Physiology*. Oxford University Press, New York, 1985.

McArdle, W. D., F. I. Katch, V. L. Katch. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*, third edition. Lea&Febiger, Philadelphia/London. s. 105, 211-213, 386-392, 1991.

Miller, J., G. Tannenbaum, E. Colle, H. Guyda. Daytime pulsatile growth hormone secretion during childhood and adolescence. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 55: 989-994, 1984.

Nicklas, B. J., A. J. Ryan, M. M. Treuth, S. M. Harman, M. R. Blackman, B. F. Hurley, M. A. Rogers. Testosterone, Growth Hormone and IGF-I Responses to Acute and Chronic Resistive Exercise in Men Aged 55-70 Years. *International Journal of Sports Medicine*. 16(7): 445-450, 1995.

Näveri, H., K. Kuoppasalmi, M. Härkönen. Metabolic and hormonal changes in moderate and intense long-term running exercises. *International Journal of Sports Medicine*. 6: 276-281, 1985.

Pagani, M., F. Lombardi, S. Guzzetti, G. Sandrone, O. Rimoldi, G. Malfatto, et al. Power spectral density of heart rate variability as an index of sympatho-vagal interaction in normal and hypertensive subjects. *Journal of Hypertension*. 2: S383-385, 1984.

Pagani, M., F. Lombardi, S. Guzzetti. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research*. 59: 178-193, 1986.

Pagani, M., V. Somers, R. Furlan, S. Dell'Orto, J. Conway, G. Baselli S. Cerutti, P. Sleight and A. Malliani. Changes in autonomic regulation induced by physical training in mild hypertension. *Hypertension* 12: 600-610, 1988.

Perini, R., C. Orizio, G. Baselli, S. Cerutti and A. Veicsteinas. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*. 61: 143-148, 1990.

Pincus, S. M. and A. L. Goldberger. Physiological time-series analysis: what does regularity quantify? *American Journal of Physiol*. 266: H1643-H1656, 1994.

Poland, J. L., J. W. Poland, Honey R. N. Differential response of rat cardiac and skeletal muscle glycogen to glucocorticoids. *Can Journal of Physiol Pharmacol*. 60(5): 634-637, 1982.

Pomeranz, B., R. J. Macaulay, M. A. Caudill, I. Kutz, C. Adam, D. Gordon, et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology*. 248: H151-153, 1985.

Rimoldi, O., S. Pierini, A. Ferrari, S. Cerutti, M. Pagani, A. Malliani. Analysis of short-term oscillations of R-R and arterial pressure in conscious dogs. *American Journal of Physiology*. 258: H967-976, 1990.

Rosenbaum, M., D. Race. Frequency-response characteristics of vascular resistance vessels. *American Journal of Physiology*. 215: 1397-1402, 1968.

Sahlin, K., K. Söderlund, M. Tonkonogi, K. Hirakoba. Phosphocreatine content in single fibers of human muscle after sustained submaximal exercise. *American Journal of Physiology*. 273: C172-C178, 1997.

Schwartz, L., W. Kindermann. B-endorphin, adrenocorticotrophic hormone, cortisol and catecholamines during aerobic and anaerobic exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 61: 165-171, 1990.

Schwartz, P. J., and S. G. Priori. Sympathetic nervous system and cardiac arrhythmias. In: *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, edited by D. P. Zipes, and J. Jalife. Philadelphia, WB Saunders, s. 330-343, 1990.

Shannon, D. C., D. W. Carley, and H. Benson. Aging of modulation of heart rate. *American Journal of Physiology*. 253 (Heart Circ. Physiol. 22); H874-H877, 1987.

Shephard, R. J., P. O. Åstrand, *Endurance in Sport: Vol II of the Encyclopedia of Sports Medicine*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.s. 117-125, 192-193, 1992.

Siegenthaler, W. *Klinische Pathophysiologie*. Thieme, Stuttgart, s. 288-320, 1987.

Sutton, J. R., J. H. Casey. The adrenocortical response to competitive athletics in veteran athletes. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*. 40: 135-138, 1975.

Tegelman, R., P. Lindeskog, K. Carlström, A. Pousette, R. Blomstrand. Peripheral hormone levels in healthy subjects during controlled fasting. *Acta Endocrinology (Copenhagen)*. 113(3):457-462, 1986.

Tulppo, M. P., T. H. Mäkikallio, T. Seppänen, R. T. Laukkanen, H. V. Huikuri. Vagal modulation of heart rate during exercise: Effects of age and Physical fitness. *American Journal of Physiology*. 274: 43, 1998.

Tulppo, M. P., Mäkikallio T. H., Takala T. E. S., Seppänen T., Huikuri H.V. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American Journal of Physiology*. 271: H244-H252, 1996.

Urhausen, A., H. Gabriel, W. Kinderman. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine*. 20 (4): 251-276, 1995.

Urhausen, A., W. Kindermann. Behaviour of testosterone, sex hormone binding globulin (SHBG) and cortisol before and after a triathlon competition. *International Journal of Sports Medicine*. 8: 305-308, 1987.

Van Ravenswaaij-Arts, C. M. A., L. A. A. Kollée, J. C. W. Hopman, G. B. A. Stoelinga, H. P. van Geijn. Heart Rate Variability. *Annual International Medicine*. 118: 436-447, 1993.

VanHelder, W., K. Casey, R. Goode, W. Radowski. Growth hormone regulation in two types of aerobic exercise of equal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*. 55: 236-239, 1986.

Wasserman, K. and K. Koike. Is the anaerobic threshold truly anaerobic. *Chest* 101 (Supplement): 211S-218S, 1992.

Weicker, H. Hormonal regulation during endurance and shortterm exercise. In: Franz I. W., H. Mellerowicz, W. Noack, editors. Training und Sport zur Prävention in der tchnisierten Umwelt. Berlin: Sprinder, s. 42-50, 1985.

Vissing, J., Iwamoto F. A. Rybicki K. J., Galbo H. & Mitchell J. H. Mobilization of glucoregulatory hormones and glucose by hypothlamic locomotor centers. American Journal of Physiology. 257: E722-E728, 1989.

Woo, A. M., W. G. Stevenson, D. K. Moser and H. R. Middlekauff. Complex heart rate variability and serum norepinephrine levels in patients with advanced heart failure. Journal of American Coll. of Cardiology. 23: 565-9, 1994.

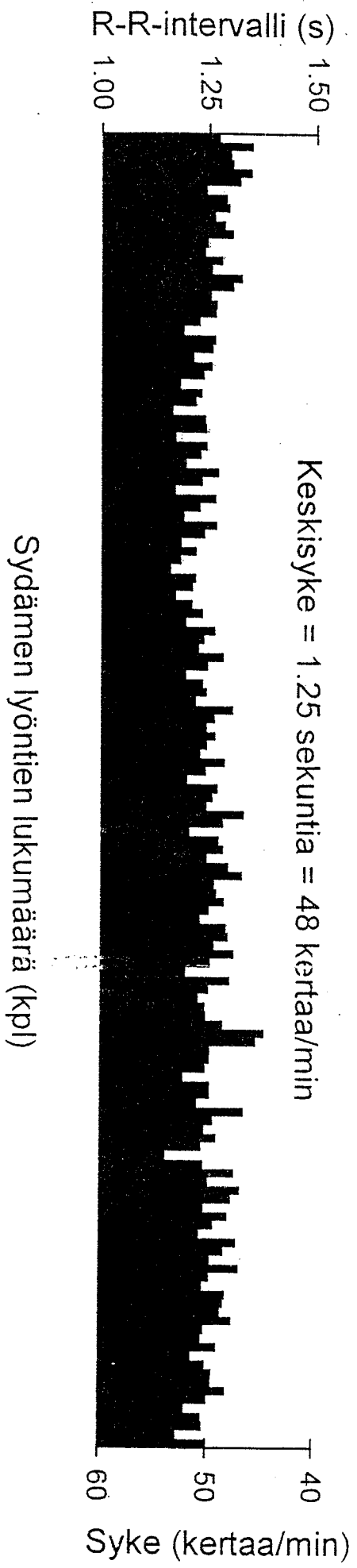
Yamamoto, Y., R. L. Hughson and J. C. Peterson. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. Journal of Applied Physiology. 71: 1136-1142, 1991.

Yamamoto, Y., R. L. Hughson and Y. Nakamura. Autonomic nervous system responses to exercise in ralation to ventilatory threshold. Chest 101 (Supplement): 206S-210S, 1992.

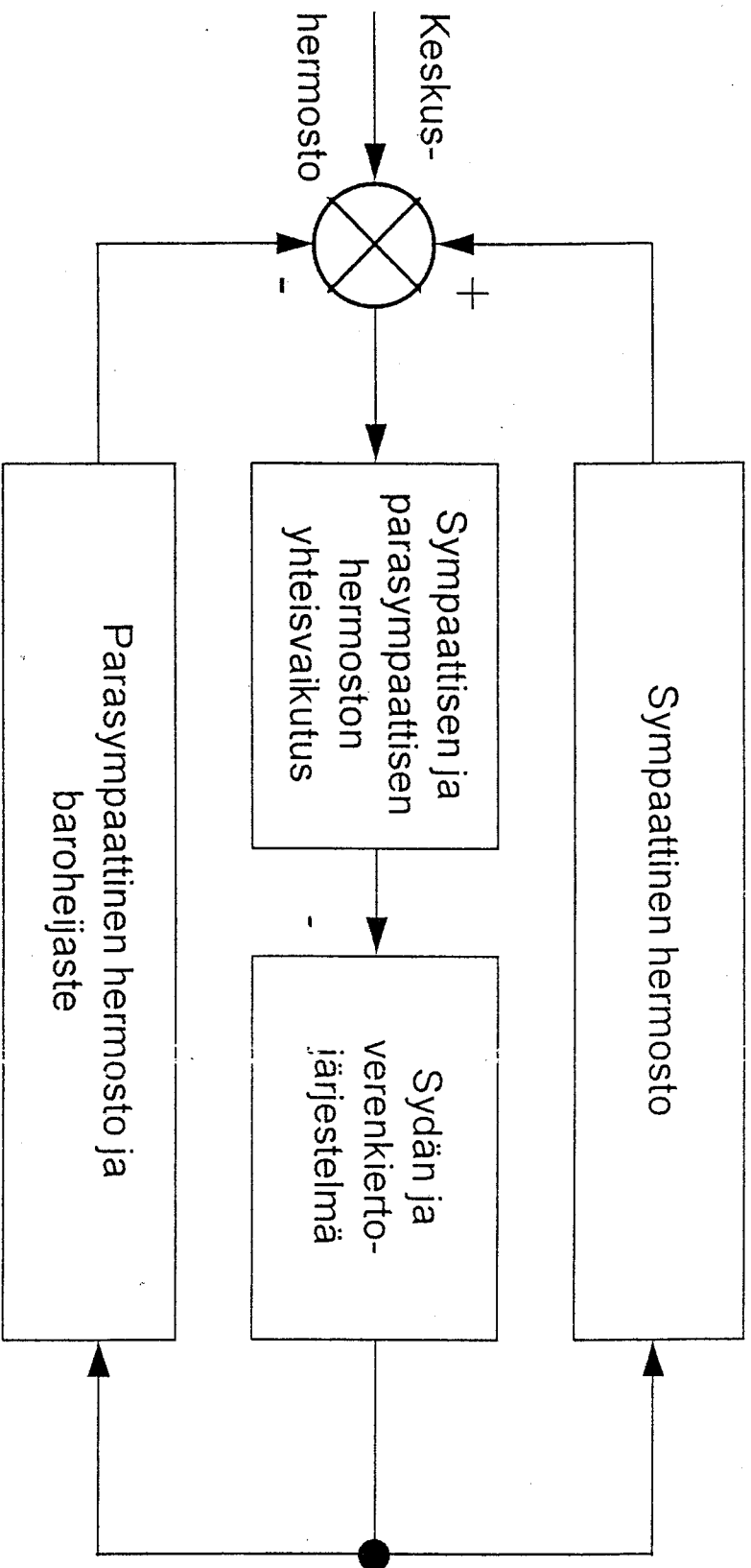
Yamamoto, Y., R. L. Hughson, J. R. Sutton, C. S. Houston, A. Cymerman, E. L. Fallen, M. V. Kamath. Operation Everest II: An indication lf deterministic chaos in human heart rate varability at stimulated extreme altitude. Biol. Cybern. 69, 205-212, 1993.



## Sykevaihtelu keskisykkeen ympärillä (takogrammi)



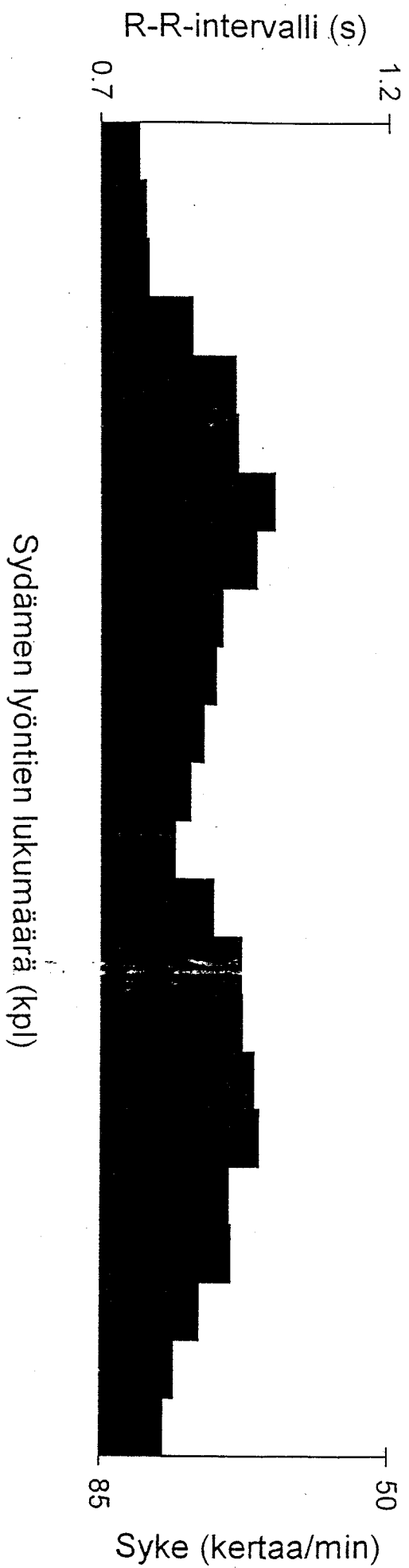
## Parasympaattisen ja sympaattisen hermoston yhteisvaikutus



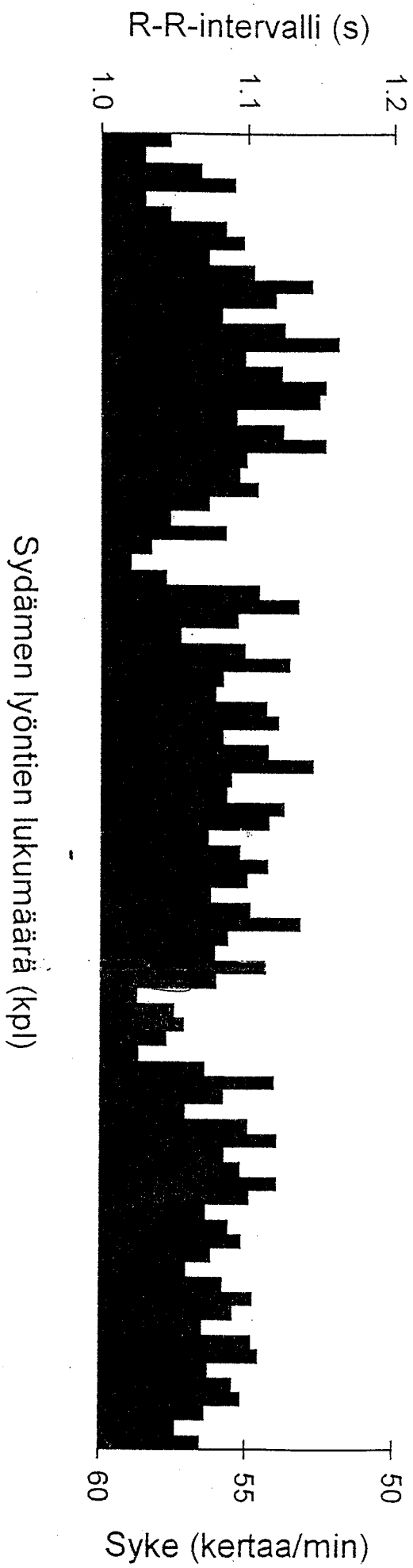
Lähde: Malliani et al. Circulation, 1991



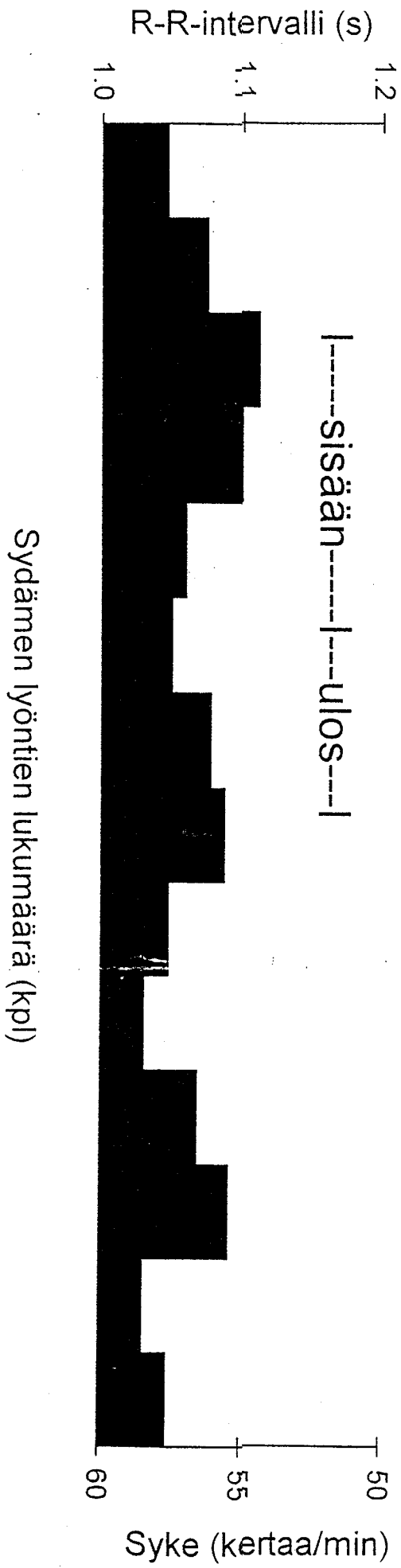
# Verenpaineen säätelyn vaikutus sykkeeseen



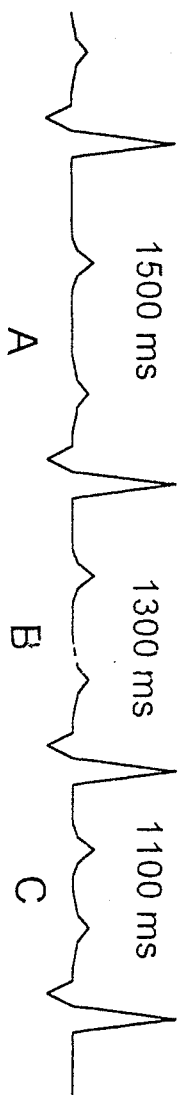
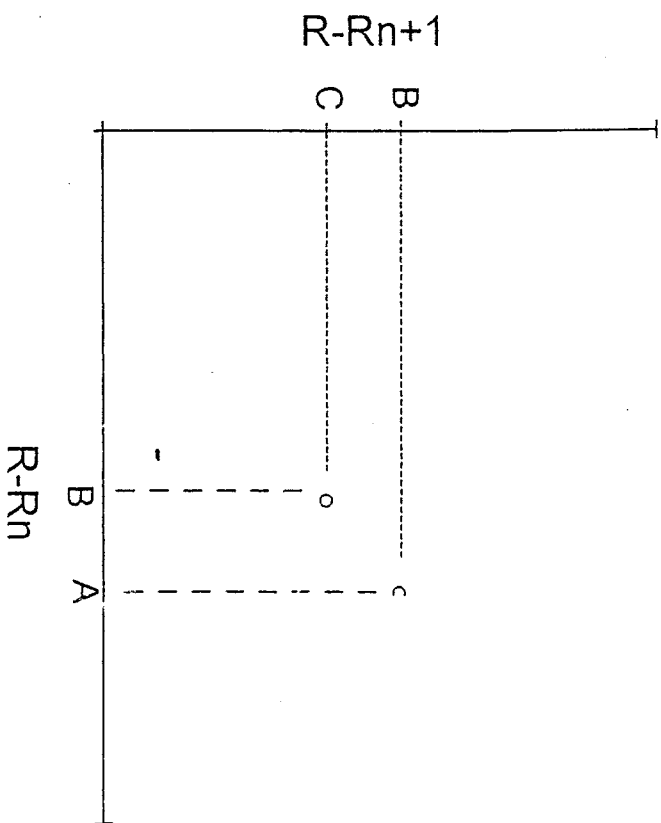
# Hitaat muutokset sykkeessä



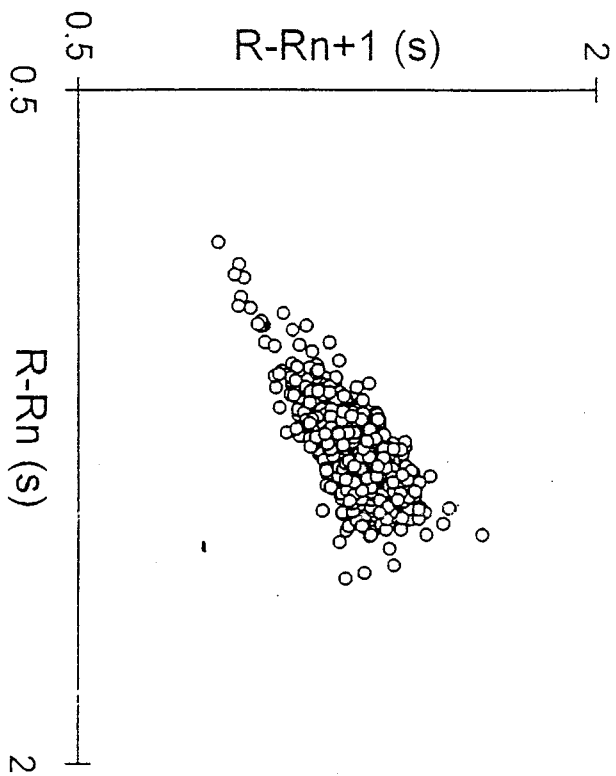
# Hengityksen vaikutus sykkeeseen



# Poincare' plot-menetelmän periaate



# Terveen henkilön takogrammi ja sykevaihtelu Poincare´plot-menetelmällä kuvattuna





LF/HF -suhteen ja testosteronin muutosten yksilöllinen vertailu  
mittausjakson aikana (satunnaisotos; n=5)

neliö= testosteroni  
vinoneliö= LF/HF -suhde

