

**SYDÄMEN AUTONOMINEN SÄÄTELY INTENSIIVISEN
HARJOITTELUJAKSON AIKANA AMPUMAHIIHTÄJILLÄ**

Ville Vesterinen

LFY.A004/ Kandidaatintutkielma

Kevät 2006

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Seminaariohjaaja: Antti Mero

Tutkimusohjaaja: Esa Hynynen

TIIVISTELMÄ

Ville Vesterinen. 2006. Sydämen autonominen säätely intensiivisen harjoittelujakson aikana ampumahiihtäjillä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma. 40 sivua.

Huippu-urheilijoiden harjoittelu on sekä määrällisesti että laadullisesti niin kovaa, että liikutaan aivan ylirasitustilan ja tuottavan harjoittelun rajoilla. Tällöin harjoituskuormituksen seuranta on avainasemassa, jotta urheilija ei ajautuisi ylirasitustilaan. On havaittu, että yhtenä käyttökelpoisena menetelmänä harjoituskuormituksen seurannassa on autonomisen hermoston säätelyn seuraaminen sykevaihdelun avulla. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli saada selville, miten 11 vuorokauden harjoitusjakso vaikuttaa autonomisen hermoston säätelyä kuvaaviin sykevaihdelumuuttujiin sekä tutkia vaikuttaako harjoittelun rytmitys sykevaihdeluun. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää koetun palautuneisuustilan ja sykevaihdelumuuttujien muutosten yhteyttä harjoituskuormituksen muutoksiin

Koehenkilöinä (n=8) oli ampumahiihdon olympiaryhmän ampumahiihtäjiä, kolme naista (20 ± 2 v) ja viisi miestä (22 ± 1 v). Tutkimus toteutettiin normaalin harjoitusleirin yhteydessä marraskuussa 2005. Urheilijat keräsivät sykedataa harjoituksista sekä öisin nukkuessaan. Lisäksi he täyttivät jokaisesta harjoituksesta kuormittavuuskyselyn sekä aamuisin palautuneisuuskyselyn, jossa he arvioivat sen hetkistä fyysistä ja psyykkistä palautuneisuuttaan. Harjoitusten sykedatan ja kyselyiden perusteella määritettiin harjoittelun kuormittavuus koko harjoitusjaksolle sekä valitulle kuormittavalle ja palauttavalle päivälle. Harjoitusten kuormittavuutta kuvasi harjoitusten kesto, TRIMP (=training impulse) ja sykevaihdeluun pohjautuva raskauskertymä, EPOC. Yösykekeräykset suoritettiin ensimmäisen harjoituspäivän jälkeisenä yönä, em. kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisenä yönä sekä leirin lopussa. Yönaikaiset sykevaihdelumuuttujat keskiarvoistettiin klo 01:00 – 04:00 väliseltä aikajaksolta. Tarkasteltavina muuttujina olivat keskisyke (HR_{avg}), matalin syke ($HR_{min,50}$ peräkkäisen sykevälillä matalin sykekeskitaso), sykevälien keskihajonta (SDRR), peräkkäisten sykevälillä keskimääräinen vaihtelu (RMSSD), erittäin matalataajuuksinen sykevaihtelu (VLF), matalataajuuksinen sykevaihtelu (LF), korkeataajuuksinen sykevaihtelu (HF ja HF2) ja kokonaisykevaihtelu (TP). Lisäksi tarkastelussa oli Firstbeat Technologies Oy:n Hyvinvointianalyysin sykevaihdeluun pohjautuva laskennallinen stressi- ja palautumis -indeksi, stressi- ja palautumisreaktioiden suhteellinen osuus ja voimavara -indeksi (koko yönaikaiseen sykedataan perustuva). Sykevaihdelumuuttujien muutosta tarkasteltiin leirin alku- ja loppumittauksien välillä sekä kuormittavan ja palauttavan päivien jälkeisten mittausten välillä verrannollisten parien t-testillä. Tutkittaessa harjoitusten kuormittavuuden suhteellisten muutosten yhteyttä subjektiivisen palautuneisuustilan muutoksiin ja sykevaihdelun suhteellisiin muutoksiin käytettiin Pearsonin korrelaatiota.

Harjoitusjakson vaikutuksesta TP lisääntyi ($p < 0.05$), kuten myös HF, HF2 ja LF ($p < 0.05$). Lisäksi HR_{avg} madaltui ($p < 0.05$) ja RMSSD lisääntyi ($p < 0.05$). Palautumis -indeksi suureni ja stressi -indeksi pieneni harjoitusjakson aikana ($p < 0.05$). Harjoittelun kuormitus ja kesto olivat selvästi vähäisempää palauttavana päivänä kuin kuormittavana päivänä ($p < 0.001$). Palauttavan vuorokauden aikana koettu palautuneisuustila koheni ($p < 0.01$), kuten myös palautumis- ja voimavaraindeksi ($p < 0.05$). HR_{avg} madaltui palauttavan vuorokauden vaikutuksesta ($p < 0.01$). Muissa sykevaihdelumuuttujissa ei tapahtunut muutoksia. Harjoitusten kuormittavuuden suhteellisten muutosten ja koetun palautuneisuustilan muutosten väliltä löytyi vahva yhteys (-0.973 , $p < 0.01$), mutta sykevaihdelumuuttujiin yhteyttä ei löytynyt. Johtopäätöksenä oli, että harjoitusjakso lisäsi sykevaihdelua, joka osoittaa parasymptaattisen aktiivisuuden lisääntyneen.

Avainsanat: sykevaihtelu, autonominen hermosto, harjoittelun kuormittavuus

LYHENTEET

HR _{avg} (lnt/min)	keskisyke
HR _{min} (lnt/min)	matalin syke
SDRR (ms)	sykevälien keskihajonta
RMSSD (ms)	peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua kuvaava muuttuja
VLF (ms ²)	erittäin matalataajuuksinen sykevaihtelu, 0.03-0.04 Hz
LF (ms ²)	matalataajuuksinen sykevaihtelu, 0.04-0.15 Hz
HF (ms ²)	korkeataajuuksinen sykevaihtelu, 0.15-0.4 Hz
HF2 (ms ²)	korkeataajuuksinen sykevaihtelu 2, 0.15-1.0 Hz
TP (ms ²)	kokonaissykevaihtelu
stressi- ja palautumis -indeksi (absolute stress/relaxation vector)	laskennallinen sykevaihteluun pohjautuva stressi- ja palautumis -indeksi
voimavara -indeksi	koko yönaikaiseen sykedataan pohjautuva voimavaroja kuvaava suhdeluku
EPOC (Excess Postexercise Oxygen Consumption)	kuormituksen jälkeinen lisääntynyt hapenkulutus; fysiologinen rasisuskertymä
TRIMP (training impulse)	harjoituskuormitus -indeksi

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

LYHENTEET

1 JOHDANTO.....	6
2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	7
2.1 Harjoitusvaikutuksen synty ja harjoittelun kuormitus.....	7
2.1.1 Harjoitusvaikutuksen syntymekanismi.....	7
2.1.2 Ylirasitustila.....	8
2.2 Ampumahiihtäjien harjoittelu.....	9
2.2.1 Fyysinen harjoittelu.....	9
2.2.2 Harjoituskaudet.....	10
2.3 Sykevaihtelu autonomisen hermoston säätelyn kuvaajana.....	11
2.3.1 Autonominen hermosto.....	11
2.3.2 Sykevaihtelun fysiologiaa.....	12
2.3.3 Sykevaihtelun mittaaminen ja analyysimenetelmät.....	13
2.4 Harjoittelun vaikutus sykevaihteluun.....	14
2.4.1 Kestävyysharjoittelun vaikutus leposykkeeseen.....	14
2.4.2 Kestävyysharjoittelun vaikutus sykevaihteluun.....	15
2.4.3 Sykevaihtelu ylirasitustilassa.....	17
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	19
3.1 Tutkimusongelmat.....	19
3.2 Hypoteesit.....	19
4 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	20
4.1 Koehenkilöt.....	20
4.2 Koeasetelma.....	20
4.3 Aineiston keräys.....	21
4.4 Aineiston analysointi.....	21

4.5 Tilastolliset menetelmät.....	23
5 TULOKSET.....	24
5.1 Harjoitusjakson vaikutus sykevaihteluun.....	24
5.2 Kuormittavan ja palauttavan harjoituspäivän vaikutukset sykevaihteluun.....	25
5.3 Koetun palautuneisuustilan ja sykevaihtelun muutosten yhteys harjoituskuormituksen muutokseen.....	27
6 POHDINTA.....	29
6.1 Harjoitusjakson vaikutus sykevaihteluun.....	29
6.2 Harjoittelun rytmityksen vaikutus sykevaihteluun.....	31
6.3 Aineiston ja menetelmien arviointi.....	32
6.4 Johtopäätökset.....	34
7 LÄHTEET.....	35

LIITTEET

1 JOHDANTO

Suorituskyvyn kehittämiseksi urheilijoiden harjoittelun on oltava elimistöä kuormittavaa. Harjoitusten tulee järkyttää elimistön homeostasiaa, jotta harjoitusvaikutusta syntyisi. Harjoitusärsyke saa aikaan tilapäisen suorituskyvyn heikkenemisen. Riittävän palautumisjakson aikana suorituskyky nousee lähtötasoa hieman korkeammalle. Harjoitusten välisen lepojakson ollessa liian lyhyt tai liian pitkä suorituskyky ei kehity. Riittämättömän palautumisen seurauksena suorituskyky ei ehdi nousta lähtötasolle ja suorituskyky heikkenee. Mikäli tätä jatkuu pidempään, saattaa seurauksena olla ylirasitustila. Huippu-urheilijoiden harjoittelu on sekä määrällisesti että laadullisesti niin kovaa, että liikutaan aivan ylirasitustilan ja tuottavan harjoittelun rajoilla. Ylirasitustila onkin melko yleistä urheilijoilla. (mm. Kreider ym. 1998 s.10-13, O'Toole 1998 s.10-14, Rusko 2003 s.62-64.)

Ylirasitustilaan on havaittu liittyvän autonomisen hermoston säätelyn muutoksia (Mourrot ym. 2004, Hynynen ym. 2006). Samoin intensiivisen harjoittelujakson seurauksena sydämen autonominen säätely on muuttunut (mm. Garet ym. 2004, Pichot ym. 2000). On havaittu, että sykevaihdelumuuttujien avulla pystytään havaitsemaan sympaattisen ja parasympaattisen säätelyn aktiivisuutta ja siten urheilijoiden kuormittuneisuutta. (Armstrong & Van Heest 2002, Kreider ym. 1998, Rusko 2003 s.141-148.)

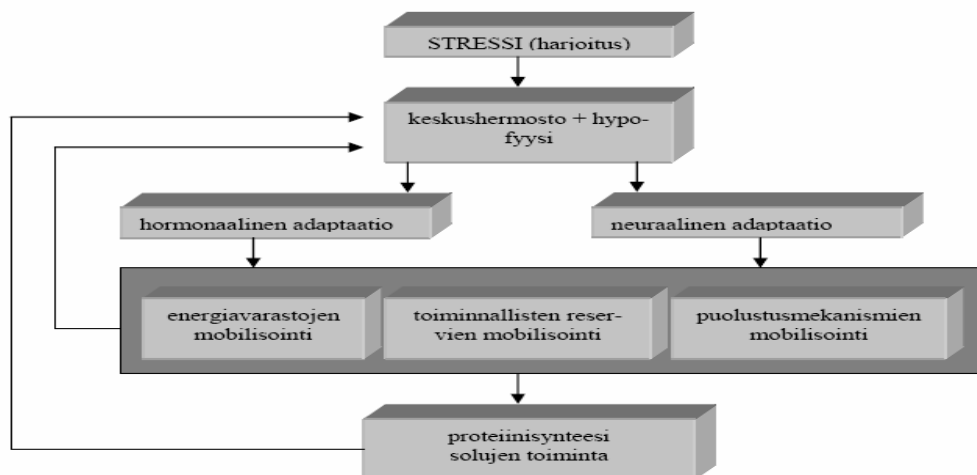
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten 11 vuorokauden harjoitusleiri vaikuttaa autonomisen hermoston säätelyä kuvaaviin sykevaihdelumuuttujiin ampumahiihdon olympiaryhmän urheilijoilla sekä tutkia vaikuttaako harjoittelun rytmitys sykevaihdeluun. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää koetun palautuneisuustilan ja sykevaihdelumuuttujien muutosten yhteyttä harjoituskuormituksen muutoksiin, koska tätä aluetta ei juurikaan ollut aikaisemmin tutkittu.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Harjoitusvaikutuksen synty ja harjoittelun kuormitus

2.1.1 Harjoitusvaikutuksen syntymekanismi

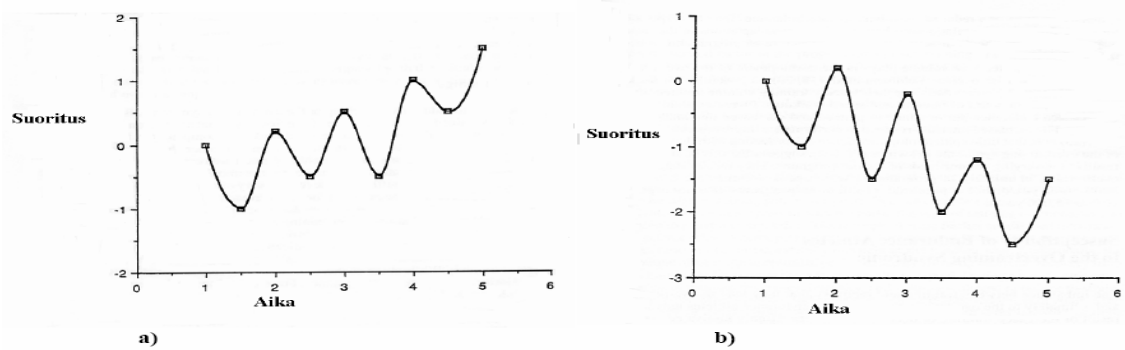
Harjoitusvaikutuksen synty perustuu ns. ylikuormitusperiaatteeseen. Harjoitusärsyksen tulee olla riittävän suuri, jotta tuloksena olisi harjoitusadaptaatiota elimistön eri rakenteissa ja fysiologisissa toiminnoissa (kuva 1). Harjoitusvaikutuksen synnyttyä elimistön eri solujen, kudosten ja elinten vastustuskyky homeostasian järkkymiselle kehittyy. Jos harjoituksen tuottama ärsyke ei ole tarpeeksi suuri järkyttämään elimistön sen hetkistä homeostasiaa, harjoitusvaikutusta ei synny. Tällöin harjoituksen kuormittavuutta on lisättävä harjoituksen kestoja tai intensiteettiä lisäämällä. (Rusko 2003 s.62-64.)



Kuva 1. Kaavio harjoitusärsyksen aiheuttamista elimistön adaptaatiomekanismeista (mukailtu Rusko 2003 s.63).

Adaptaatioteorian mukaan yksittäinen harjoituskuormitus aiheuttaa suorituskyvyn tilapäisen heikkenemisen. Kuormitusta seuraavan palautumisen aikana elimistössä tapahtuu harjoitusadaptaatiota ja suorituskyky nousee hetkellisesti hieman korkeammalle kuin ennen harjoitusta (superkompensaatio). Positiivisen harjoitteluvaikutuksen edellytyksenä on, että yksittäisten harjoitusärsykkeiden välissä oleva palautumisaika on riittävän pitkä jotta suorituskyky ehtii nousemaan lähtötasoa korkeammalle tasolle (kuva 2.a). Mikäli kuormitus seuraa liian nopeasti edellistä kuormitusta, suorituskyky on vielä läh-

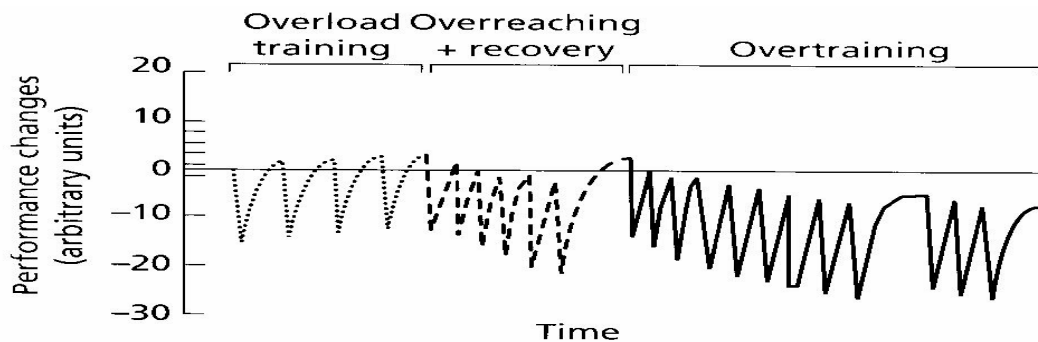
tötasoa matalammalla tasolla ja superkompensaatiota ei synny (kuva 2.b). Harjoittelun rytmittämisessä tätä voidaan hyödyntää silloin, kun halutaan elimistön kuormituksen kasvavan pidemmän aikaa, jotta sitä seuraavalla palautumisjaksolla elimistön suorituskyky nousee selvästi lähtötason yläpuolelle. Toisaalta jos harjoitusärsykkeiden välinen aika on liian pitkä, edellisen ärsykkeen harjoitusvaikutus ehtii hävitä ennen seuraavaa harjoitusta, jolloin harjoittelu ei ole elimistöä kehittävää. (O'Toole 1998 s.10-14.)



Kuva 2.a ja 2.b. Optimaalisen (a) ja liian kuormittavan (b) harjoittelun vaikutus suorituskykyyn (Kreider ym. 1998 s.10,13).

2.1.2 Ylirasitustila

Fyysisen kunnan kasvaessa yksittäinen harjoitusärsyke ei enää riitä järkyttämään elimistön homeostasiaa riittävästi, jotta harjoitusvaikutusta syntyisi. Tällöin on harjoittelun oltava kuormittavaa pidemmän aikaa, jolloin suorituskyky heikentyy ja elimistöön muodostuu tilapäinen ylirasittuminen (overreaching). Tässä vaiheessa on erittäin tärkeää riittävä palautumisjakso, ettei urheilija ajaudu riittämättömän levon takia pitkäaikaiseen, krooniseen ylirasitustilaan (overtraining) (kuva 3).



Kuva 3. Suorituskyvyn muutos ylikuormittumistilan syntyvaiheissa. Kuormittavan harjoittelun (overload training) ja tilapäisen ylirasituksen (overreaching) ja riittävän levon seurauksena on parantunut suorituskyky. Jatkuvan ylirasituksen (overtraining) ja riittämättömän levon vaikutuksesta suorituskyky laskee ja syntyy ylirasitustila. (Rusko 2003 s. 141.)

Ylirasitustilan oireita on lukuisia. Sen pääoireena voidaan pitää pitkäaikaista suorituskyvyn laskua. Muita oireita ovat muun muassa väsymys, unettomuus, mielialan muutokset, motivaation heikkeneminen, keskittymiskyvyn puute ja masennus-oireet. Ylirasitustila on usein jaettu sympaattiseen ja parasympaattiseen ylirasitustilaan. Määräpainotteinen harjoittelu aiheuttaa autonomisen hermoston parasympaattisen vallitsevuuden, jolloin yleisiä oireita ovat väsymys, masennus, apatia ja matala syke levossa sekä submaksimaalisessa rasituksessa. Kovatehoinen harjoittelu puolestaan saa aikaan sympaattisen hermoston vallitsevuuden. Tällöin oireina ovat unettomuus, ärtyisyys, korkea leposyke ja verenpaine. Sympaattinen ylirasitus on yleisempää teholajien urheilijoilla, kun taas parasympaattinen on yleisempää kestävyysurheilijoilla. On myös esitetty, että urheilulajin luonteesta riippumatta kehittyy ensin sympaattinen ylirasitustila ja riittämättömän palautumisen seurauksena pitkittynyt ylirasitustila muuttuu asteittain parasympaattiseksi ylirasitustilaksi. Lukuisista tutkimuksista huolimatta ylirasitustilan syntymekanismit ovat vielä osittain epäselvät. Yhtä päämekanismia ei ole löydetty. On myös pyritty löytämään keinoja, joiden avulla urheilijat ja valmentajat havaitsisivat ylirasitustilan synnyn riittävän ajoissa. On havaittu, että yhtenä käyttökelpoisena menetelmänä voisi olla autonomisen hermoston säätelyn seuraaminen sykevaihdelun avulla. (Armstrong & Van Heest 2002, Kreider ym. 1998, Rusko 2003 s.141-148).

2.2 Ampumahiihtäjien harjoittelu

2.2.1 Fyysinen harjoittelu

Ampumahiihtäjän fyysisestä harjoittelusta noin 90 % on kestävyysharjoittelua, jonka harjoitusvaikutus kohdistuu pääasiassa hengitys- ja verenkiertoelimistöön sekä energia-aineenvaihdunnan eri toimintamekanismeihin (O'Toole 1998 s.10-11). Peruskestävyysharjoittelun osuus on noin 70-80 % kokonaisharjoittelusta. Sen vaikutukset kohdistuu hiussuonistoon, rasva-aineenvaihduntaan sekä tukee aerobista lihaskestävyyttä. Vauhtikestävyysharjoittelun osuus on 10-20 %. Sen tarkoituksena on kehittää suorituskykyä, maksimaalista hapenottokykyä ja taloudellisuutta. Metaboliset vaikutukset kohdistuu hiilihydraattiaineen-vaihduntaan. Maksimikestävyysharjoittelun osuus on 2-7 % kokonaisharjoittelusta. Sen päätarkoituksena on maksimaalisen hapenottokyvyn kehittä-

täminen sekä hermo-lihasjärjestelmän toiminnan kehittäminen happamissa oloissa. Nopeuskestävyysharjoittelun osuus on ampumahiihtäjillä pieni. Kaikkien lajinomaisten kestävyysharjoitusten tulee samalla olla myös tekniikkaharjoitteita, jotta suorituksen taloudellisuus kehittyisi. (Roponen 2005.)

Ampumahiihdossa korostuu lihaskestävyyden rooli. Se on jopa hieman suurempi kuin maastohiihdossa, koska ammunta vaatii väsyneessä tilassa hyvää lihasten hallintaa (pitoa) ja erityisesti naisilla myös aseiden paino (minimipaino 3,5 kg) asettaa suuremmat vaatimukset jalkojen lihaskestävyysominaisuuksille. (Roponen 2005.) Koska hiihdossa vaadittavat voimatasot ovat melko pieniä (20 – 50 % maksimivoimantuotosta), on maksimivoimaharjoittelun osuus pieni. Voimantuotto tapahtuu kuitenkin melko lyhyessä ajassa, joka asettaa vaatimuksia hermolihaskäytölle. Tämän takia tulee harjoittaa nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksia läpi koko harjoituskauden. (Rusko 2003 s.75.) Erityisesti nuorilla nopeusharjoittelun rooli on tärkeä. Perinteinen kestävyysharjoittelu voi vähentää lapsen luontaisia nopeusominaisuuksia ja on hyvin tärkeää säilyttää hermo-lihasjärjestelmän tehokas/nopea toimintakyky. (Roponen 2005.)

2.2.2 Harjoituskaudet

Harjoitusvuosi jakaantuu eri kausiin harjoittelun painotuksen sekä kilpailujen mukaan. Harjoituskaudet saattavat vaihdella paljonkin arvokisojen ja tavoitteiden mukaisesti. Viime vuosina kilpailukausi on entisestään pidentynyt erityisesti huippu-urheilijoilla, mikä on aiheuttanut myös lajiharjoittelukauden aikaistumisen selvästi. Perinteinen harjoituskausijako on silti edelleen hyvin toimiva ja antaa selkeän pohjan tavoitteelliselle valmentautumiselle. (Roponen 2005, Rusko 2003 s.90.)

Peruskuntokausi I ajoittuu harjoituskauden alkuun toukokuusta elokuun puoliväliin saakka. Tämän kauden päätavoitteena on perusominaisuuksien nousujohteinen kehittäminen. Tällöin pääpaino on peruskestävyys- ja voimaharjoittelussa. Lisäksi tällöin on syytä kiinnittää huomiota heikkojen ominaisuuksien kehittämiseen, esim. ylävartalon voimatasojen kehittämiseen. Peruskuntokausi II jatkuu elokuun puolivälistä marraskuun alkuun asti. Tällöin pääpaino on edelleen perusominaisuuksien harjoittamisessa. Tehoharjoittelun määrä kasvaa nousujohteisesti ja samoin harjoittelun lajinomaisuus kasvaa. Lajiharjoittelukausi ajoittuu perinteisesti marraskuun alusta joulukuun alkuun. Tosin

nykyään kilpailukausi voi alkaa jo marraskuussa ja silloin lajiharjoittelukausi sijoittuu loka-marraskuuhun. Tällöin harjoittelusta noin 80-90 % on lajinomaista harjoittelua. Harjoituskuormitus on tällä kaudella suurta, koska harjoitusmäärät ovat suuria ja lisäksi harjoittelu sisältää lajinomaista tehoharjoittelua. Tällöin nopeus- ja voimaharjoitukset ovat tasapainottamassa kuormittuneisuutta. Kilpailukausi alkaa marras-joulukuussa ja kestää aina huhtikuuhun saakka. Tällöin harjoitusmäärät laskevat ja kilpailujen kautta tehot nousevat paljon. Kilpailukaudella perusominaisuuksia pyritään ylläpitämään, jotta esim. voimatasot eivät pääsisi laskemaan. Harjoittelu jaksottuu tärkeiden kilpailujen ja tavoitteiden mukaisesti. (Roponen 2005.)

2.3 Sykevaihtelu autonomisen hermoston säätelyn kuvaajana

2.3.1 Autonominen hermosto

Autonominen hermosto säätelee elimistön toimintoja sekä ylläpitää optimaalisia olosuhteita elimistön toiminnan kannalta. Sen toiminta tapahtuu pääsääntöisesti tahdosta riippumatta. Sisäelinten reseptoreissa syntyvät impulssit kulkevat afferenttia hermorataa pitkin keskushermostoon, missä informaatio integroidaan. Impulssi kulkeutuu keskushermostosta ulospäin efferentin hermoradan avulla kohde-eliimiin, kuten silmiin, verisuoniin, keuhkoihin, sydämeen, ruoansulatuseliimiin ja sisäeritysrauhasiin. (Nienstedt ym. 1999 s. 538-540.)

Autonominen hermosto koostuu kahdesta eri haarasta; sympaattisesta ja parasympaattisesta hermostosta. Nämä haarat eroavat toisistaan sekä rakenteellisesti että toiminnallisesti. Mikäli molemmat haarat säätelevät kohde-elimien toimintaa, saavat ne aikaan vastakkaiset reaktiot. Pääsääntöisesti sympaattinen hermosto kiihdyttää ja parasympaattinen hermosto rauhoittaa kohde-elimien toimintaa. Sympaattisen hermoston aktiivisuus on yhteydessä tilanteisiin, jossa vaaditaan fyysisiä tai psyykkisiä ponnisteluja. Tällöin muun muassa pupillit laajenevat, sydämen syke nousee ja muutenkin kehon hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta ja aineenvaihdunta tehostuu. (Nienstedt ym. 1999 s. 541-542.)

Parasympaattinen hermosto on yleisesti liitetty lepoon, kasvuun ja voimavarojen lisääntymiseen. Sen reaktiot kohde-elimissä ovat pääosin vastakkaiset kuin sympaattisen. Eli se saa aikaan muun muassa pupillien supistumista, sykkeen alenemista sekä ruoansulatuksen tehostumista. (Nienstedt ym. 1999 s.543-544.) On kuitenkin havaittu, että parasympaattisen hermoston aktiivisuus ei liity ainoastaan elimistön lepotilaan. Parasympaattisen hermoston säätelyllä voidaan muuttaa nopeasti psykofysiologista toimintatilaa. Parasympaattisen hermoston aktiivisuuden pieneneminen saa aikaan vastaavia reaktioita kuin sympaattisen hermoston aktiivisuuden lisääntyminen. Tämä saa aikaan nopeampia reaktioita kuin viiveellä tapahtuvat sympaattisen hermoston säätelystä aiheutuvat reaktiot. Täten esimerkiksi sykkeen nousu ei välttämättä johdu sympaattisen hermoston aktiivisuuden lisääntymisestä vaan parasympaattisen hermoston aktiivisuuden pienenemisestä. (Porges & Byrne 1992.)

2.3.2 Sykevaihtelun fysiologiaa

Ilman hermostollista säätelyä sydän supistuisi sinussolmukkeeseen automaattisen perusrhythmin mukaan. Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston, hormonaalisten ja refleksiivisten tekijöiden vaikutuksesta sydämen syke ei ole täysin säännöllistä vaan siinä esiintyy eri taajuisia vaihtelua. Tämä vaihtelu on pääasiassa autonomisen hermoston säätelystä (Porges & Byrne 1992). Sykevaihtelun mittaaminen onkin avannut uuden näkökulman autonomisen hermoston toiminnan tutkimiseen, koska sykevaihtelun avulla voidaan arvioida sympaattisen ja parasympaattisen hermoston säätelyä erikseen. (Task Force 1996.)

Reseptorien eri ominaisuuksien mukaan parasympaattinen hermosto säätelee tehokkaasti korkeataajuisia sykevaihtelua ja sympaattinen hermosto matalataajuisia vaihtelua. Parasympaattisen säätelyn salpauskokeissa lääkaineilla on pystytty hävittämään korkeataajuinen sykevaihtelu lähes kokonaan. Tämä tukee sitä, että korkeataajuinen vaihtelu on parasympaattisen säätelyn aiheuttamaa. Sen lisäksi siihen vaikuttaa hengitysrytmi. Syke nousee sisäänhengityksen aikana ja laskee uloshengityksen aikana. Tätä ilmiötä kutsutaan respiratoriseksi arytmiaksi. Matalataajuisen sykevaihtelun mekanismi on hieman epäselvä, mutta epäillään, että siihen vaikuttaa sekä sympaattinen että parasympaattinen hermosto. Lisäksi siihen vaikuttaa verenpaineen säätelystä aiheutuva barorefleksi, joka syntyy suurten valtimoiden baroreseptoreiden lähettämien afferenttien im-

pulssien vaikutuksesta. Erittäin matalataajuksinen sykevaihtelun aiheuttaja on epäselvä, mutta sen arvellaan liittyvän aineenvaihdunnallisiin ja humoraalisiin mekanismeihin. (Kettunen & Keltinkangas-Järvinen 2001, Task Force 1996.)

2.3.3 Sykevaihtelun mittaaminen ja analyysimenetelmät

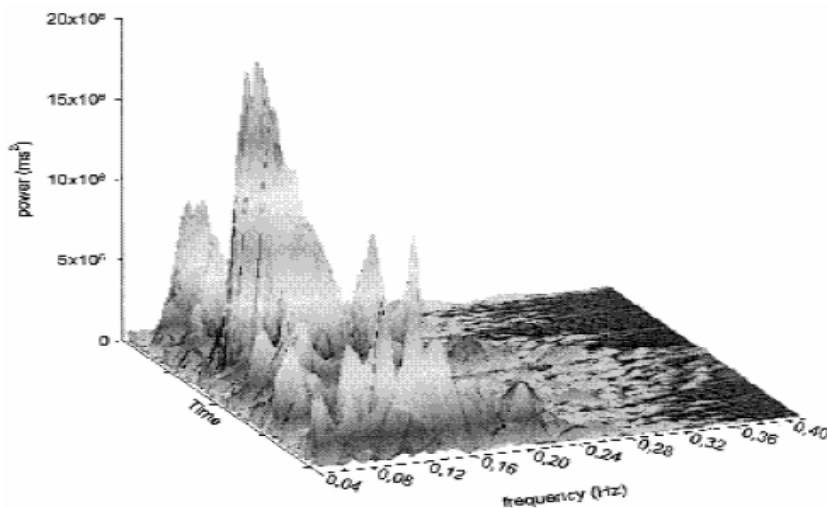
Sykevaihtelua on tutkittu viime aikoina melko paljon ja sen on havaittu olevan hyvänoninvasiivinen autonomisen hermoston säätelyn mittari. Sykevaihtelua mitataan laitteella, joka pystyy tunnistamaan sydämen sähkökäyrästä (EKG) jokaisen R-piikin. Sykevaihtelun analysointiin käytetään yleensä lineaarisia aikakenttä- ja taajuuskenttämenetelmiä. Lisäksi analyysimenetelmänä on aikataajuusmenetelmä. (Task Force 1996.)

Aikakenttämenetelmä. Aikakenttämenetelmässä käytetään matemaattisia muuttujia R-R-välien laskemiseksi. Yleisimpiä muuttujia ovat keskihajonta (SDRR, varianssin neliöjuuri), peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua kuvaava muuttuja (RMSSD, neliöjuuri peräkkäisten R-R-välien erotusten neliöiden keskiarvosta), peräkkäisten R-R-välien muutosten keskihajonta (SDSD) sekä enemmän kuin 50 ms poikkeavien peräkkäisten R-R-välien prosentuaalinen osuus (pNN50). Näistä parhaiten parasympaattista säätelyä kuvaavat RMSSD ja pNN50. Aikakenttämuuttujien on todettu olevan toistettavuudeltaan hyviä. (Task Force 1996.)

Taajuuskenttämenetelmä. Taajuuskenttämenetelmällä (spektrianalyysi) pystytään mittaamaan eri taajuuksista sykevaihtelua kuvaten näin eri fysiologisten toimintojen säätelyä. Sykevaihtelu jaetaan korkeataajuiseen (HF = high frequency power; 0.15-0.40 Hz), matalataajuiseen (LF = low frequency power; 0.04-0.15 Hz), erittäin matalataajuiseen (VLF = very low frequency power; <0.04 Hz) komponenttiin. Eri komponenttien mittaukset esitetään yleensä absoluuttisina arvoina (ms^2). LF ja HF voidaan ilmoittaa myös normalisoituna yksikkönä eli komponentin osuus kokonaisvaihtelusta vähennettynä VLF. Taajuuskenttämenetelmien on todettu korreloivan vahvasti aikakenttämenetelmien kanssa. Sekä aikakenttä- että taajuuskenttämenetelmät vaativat, että syketason pitäisi olla vakaa. (Task Force 1996.)

Aikataajuusmenetelmä. Koska syketaso ja autonomisen hermoston säätely ei monesti-kaan ole stationaarinen esimerkiksi urheilusuorituksesta palautuessa, on kehitetty aika-

taajuusmenetelmä. Sillä voidaan esittää sykesignaalin frekvenssi ajan funktiona (kuva 4). Tämän menetelmän etuna on se, että sykkeen ei tarvitse pysyä muuttumattomana. Taajuuskenttämenetelmässä tietylle aikajaksolle (esim. 10 min) lasketaan yksi arvo. Aikataajuusmenetelmässä jokainen 200ms jakso saa oman lukuarvon ja näin pystytään tarkastelemaan sykevaihdelun muutoksen avulla autonomisen hermoston säätelyn muutosten ajankohtia. (Kettunen & Keltinkangas-Järvinen 2001.)



Kuva 4. Esimerkki sykevaihdelun aikataajuusjakaumasta seitsemän minuutin aikajaksolta (Kettunen & Keltinkangas-Järvinen 2001).

2.4 Harjoittelun vaikutus sykevaihteluun

2.4.1 Kestävyysharjoittelun vaikutus leposykkeeseen

Fyysisesti hyväkuntoisilla kestävyysurheilijoilla on useissa tutkimuksissa havaittu levossa suurta sykevaihtelua ja matala leposyke (mm. Aubert ym. 2003, Bonaduce ym. 1998). Yleisesti tämän on todettu olevan parasympaattisesta aktiivisuudesta johtuvaa. Bonaduce ym. (1998) tutkimuksen mukaan urheilijoiden matalan leposykkeen (=bradykardia) taustalla on kuitenkin jokin muu mekanismi kuin vagaalisen toiminnan säätely. Syinä matalampaan sykkeeseen sekä levossa että rasituksessa saattaa olla muun muassa harjoittelun aikaansaamat muutokset sydämen herkkyydessä katekoliamiineille, sympaattisen säätelyn pieneneminen tai näiden yhteisvaikutus. Kestävyysharjoittelun aikaan saama sykkeen lasku johtuu osaksi myös lisääntyneestä iskutilavuudesta. (Melanson & Freedson 2001.)

Leposyke on madaltunut tutkittavilla jo melko lyhyen harjoittelujakson seurauksena (Hynynen ym. 2002, Melanson & Freedson 2001, Yamamoto ym. 2001). Bonaduce ym. (1998) tutkimuksessa viiden kuukauden kuormittava harjoittelu laski pyöräilijöiden (N = 15) leposykettä noin 5 lyöntiä/min. Hedelin ym. (2000b) tutkimuksessa seitsemän kuukauden kestävyysharjoittelu ei sen sijaan vaikuttanut nuorten hiihtäjien leposykkeeseen, mutta submaksimaalisessa rasituksessa syke oli merkitsevästi madaltunut. Earnest ym. (2004) ei myöskään havainnut merkitsevää leposykkeen laskua pyöräilijöillä (N = 8) kolmen viikon etappikilpailun aikana vaikkakin syketrendi oli laskeva.

Intensiivisen harjoittelun seurauksena leposyke saattaa myös nousta. Uimareiden (N = 7) kolmen viikon harjoittelun seurauksena leposykkeen muutoksissa havaittiin suurta yksilöllistä vaihtelua. Muutos ryhmätasolla ei ollut merkitsevä, mutta suuntaus oli leposykkeen osalta nouseva. (Garet ym. 2004.) Pichot ym. (2000) tutkimuksessa kolmen viikon harjoittelun seurauksena keskimatkojen juoksijoiden (N = 7) leposyke nousi noin 4 lyöntiä/min. Viikon palauttavan jakson jälkeen juoksijoiden leposyke pieneni hieman lähtötilanteen alapuolelle. Tämän tutkimuksen ristiriitaisuus saattaa johtua harjoittelun intensiteetin eroavaisuudesta muihin kestävyysharjoittelututkimuksiin. Keskimatkojen juoksijoilla harjoittelun teho on selvästi suurempaa kuin pidempikestoisten kestävyyslajien urheilijoilla. (Pichot ym. 2000.) Iellamo ym. (2002) tutkimuksessa soutajat (N = 7) nostivat harjoittelun kuormitusta lepotasosta maksimikuormitustasoon yhdeksässä kuukaudessa. Puolessa välissä harjoituskuormituksen oltua 75 % maksimitasosta, oli leposyke laskenut lähtötason 56 lyönnistä/min 50 lyöntiin/min. Jälkimmäisellä puoliskolla harjoittelun oltua maksimaalisen kuormittavaa, oli leposyke noussut 61 lyöntiin/min. (Iellamo ym. 2002.)

2.4.2 Kestävyysharjoittelun vaikutus sykevaihteluun

Yleisesti voidaan olettaa, että kestävyysharjoittelu lisää harjoittelemattomien / ei-urheilijoiden sykevaihtelua (mm. Al-Ani ym. 1996, Aubert ym. 2003, Yamamoto ym. 2001). Eri tutkimusten vertailua keskenään vaikeuttaa se, että käytössä on ollut lukuisia eri tutkimusmenetelmiä. Myös tutkittavien iällä, sukupuolella ja kuntotasolla on vaikutusta tutkimustuloksiin. Sykevaihtelun on todettu ikääntyessä vähentyvän selvästi. Sukupuolen vaikutus ei ole niin selvä, mutta on viitteitä, että miehillä sykevaihtelu saattaa olla suurempaa kuin naisilla. (Aubert ym. 2003.) Kuntotason vaikutus sykevaihteluun

näky siinä, että urheilijoilla on todettu olevan selvästi suurempaa sykevaihtelua kuin harjoittelemattomilla (mm. Achten & Jeukendrup 2003). Seuraavissa kappaleissa on keskitytty nimenomaan urheilijoiden sykevaihteluun.

Kestävyysharjoittelun vaikutuksesta sykevaihtelu lisääntyi nuorilla hiihtäjillä (N = 17) Hedelin ym. (2000b) tutkimuksessa. Seitsemän kuukauden harjoittelujakso lisäsi kokonaissykevaihtelua ja vähensi matalan taajuuden sykevaihtelua. Parasympaattista aktiivisuutta kuvaava korkeataajuinen sykevaihtelu ei muuttunut harjoitusjakson aikana. Toisin kuin Aubert ym. (2003) tutkimuksessa, tässä tutkimuksessa naisilla (N = 9) oli selvästi enemmän sekä kokonaissykevaihtelua että korkeataajuista sykevaihtelua kuin miehillä. (Hedelin ym. 2000b.) Pigozzi ym. (2001) tutkimuksessa viiden viikon kestävyysharjoittelu ei vaikuttanut päivittäisten aktiviteettien sykevaihteluun, mutta lisäsi naisurheilijoiden (N = 13) yönaikaista matalataajuista sykevaihtelua. Hynynen ym. (2002) tutkimuksessa kestävyysurheilijoiden kokonaissykevaihtelu lisääntyi viiden vuorokauden kestävyysharjoittelujakson aikana.

Kestävyysharjoittelun vaikutuksista autonomisen hermoston säätelyyn on saatu kuitenkin osittain ristiriitaisia tuloksia (Hedelin ym. 2000b). Bonaduce ym. (1998) tutkimuksessa viiden kuukauden harjoittelu ei aiheuttanut muutoksia pyöräilijöiden sykevaihtelumuuttujiin. Samoin kolmen viikon etappikilpailu ei vaikuttanut pyöräilijöiden sykevaihtelumuuttujiin (Earnest ym. 2004).

Garet ym. (2004) mukaan uimareiden kolmen viikon harjoitusjakso aiheutti ryhmätasolla parasympaattisen aktiivisuuden pienenemistä. Kahden viikon palauttavan jakson jälkeen parasympaattinen aktiivisuus palautui hieman lähtötason yläpuolelle. Tutkimuksessa ilmeni myös se, että suorituskykyisyyden ja parasympaattista aktiivisuutta kuvaavien sykevaihtelumuuttujien (SDNN, RMSSD, pNN50) väliltä löytyi selvä positiivinen yhteys. Myös Pichot ym. (2000) tutkimuksessa keskimatkojen juoksijoiden sykevaihtelu pieneni kolmen viikon harjoittelujakson vaikutuksesta. Parasympaattinen aktiivisuus pieneni 41 % ja sympaattinen aktiivisuus suureni 31 % kolmen harjoitusviikon aikana. Palauttavan viikon jälkeen sykevaihtelu oli palautunut lähtötasolle. (Pichot ym. 2000.) Iellamo ym. (2002) tutkimuksessa soutajien nostettua harjoituskuormitusta lepotasosta ensin kolmen kuukauden aikana 75 % tasoon maksimikuormituksesta ja sitten maksimitasoon, kokonaissykevaihtelu ensin lisääntyi ja lopussa väheni. Samoin korkeataajuinen

sykevaihtelu lisääntyi merkitsevästi harjoituskuormituksen lisääntyttyä lepotasosta 75 % tasolle, mutta pieneni seuraavan kolmen kuukauden aikana jopa selvästi lähtötason alapuolelle. Tutkijoiden mukaan tämä osoittaa sen, että erittäin intensiivisen harjoittelun seurauksena autonomisen hermoston parasympaattinen vallitsevuus kääntyy sympaattisen puolen vallitsevuudeksi. Urheilijoille ei kuitenkaan ollut syntynyt kroonista yliparasitustilaa, koska viimeiset mittaukset olivat 20 vuorokautta ennen maailmanmestaruuskilpailuja, joissa urheilijat voittivat kolme mitalia. (Iellamo ym. 2002.)

2.4.3 Sykevaihtelu yliparasitustilassa

Sykevaihtelua yliparasitustilassa on tutkittu vähän. Lisäksi tulokset ovat ristiriitaisia. Pichot ym. (2000) mukaan sykevaihtelun pienenemisen on havaittu olevan yhteydessä yliparasitustilaan sekä kovaan harjoitteluun. Myös Mourot ym. (2004) tutkimuksessa havaittiin, että yliparasitustilassa olevilla urheilijoilla (N=7) sykevaihtelu oli pienempää kuin samanikäisillä kestävyysurheilijoilla (N=8). Lisäksi havaittiin, että yliparasitustilassa olevilla urheilijoilla ja samanikäisillä harjoittelemattomilla henkilöillä (N=8) sympaattista aktiivisuutta kuvaavat sykevaihtelumuuttujat olivat samalla tasolla sekä makuu asennossa että 60° pystyasennossa. Kestävyysurheilijoilla puolestaan havaittiin parasympaattista aktiivisuutta kuvaavien muuttujien (SDNN, RMSSD, HF, TP, LF/HF) olevan suurempia kuin yliparasitustilassa olevilla urheilijoilla. (Mourot ym. 2004.)

Hedelin ym. (2000a) tutkimuksessa kuuden vuorokauden intensiivinen harjoittelu ei aiheuttanut muutoksia melojien (N = 9) sykevaihtelussa, mutta syke rasiuksessa oli selvästi matalampi kuin ennen leiriä. Tutkijoiden mukaan urheilijat olivat tilapäisessä yliparasitustilassa (short-term overtraining), koska heidän suorituskykynsä oli tippunut merkitsevästi. Hynynen ym. (2006) tutkimuksessa yliparasitustilaksi diagnosoiduilla urheilijoilla (N=12) ei havaittu poikkeavaa yönaikaista sykevaihtelua verrattaessa samanikäisiin urheilijoihin (N=12). Heti heräämisen jälkeen yliparasitustilassa olevilla urheilijoilla havaittiin vähäisempää matalataajuista sykevaihtelua sekä R-R -välien keskihajontaa (SDRR), mikä viittaa hieman vähäisempään parasympaattisen aktiivisuuden säätelyyn heti heräämisen jälkeen. (Hynynen ym. 2006.)

Hedelin ym. (2000c) –case tutkimuksessa havaittiin, että yliparasitustilassa (overtraining syndrome) syke oli sekä submaksimaalisessa että maksimaalisessa rasiuksessa matalampi

lampi kuin normaalisti. Korkeataajuinen sykevaihtelu sekä kokonaissykevaihtelu olivat huomattavasti suurentuneet nuorella hiihtäjällä ylirasitustilassa. Tutkijoiden mukaan ylirasitustilassa urheilijan parasympaattisen hermoston aktiivisuus oli lisääntynyt selvästi. (Hedelin ym. 2000c.) Aubert ym. (2003) mukaan on mahdotonta havaita ryhmätason muutoksia ylirasitustilassa olevien urheilijoiden sykevaihtelussa, koska on kahdenlaista ylirasitusta (sympaattinen ja parasympaattinen) ja sykevaihtelumuutokset ovat yksilöllisiä. Sykevaihtelua tulisikin käyttää yksilöllisesti urheilijoiden harjoitustilan seurannassa. (Aubert ym. 2003.)

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää vaikuttaako 11 vuorokauden harjoitusleiri autonomisen hermoston säätelyä kuvaaviin sykevaihtelumuuttujiin ampumahiihdon olympiaryhmän urheilijoilla sekä tutkia vaikuttaako harjoittelun rytmitys sykevaihteluun. Lisäksi tarkoituksena on selvittää koetun palautuneisuustilan ja sykevaihtelumuuttujien muutosten yhteyttä harjoittelun kuormittavuuden muutoksiin.

3.1 Tutkimusongelmat

- 1) Onko 11 vuorokauden intensiivisellä harjoitusjaksolla vaikutusta ampumahiihtäjien yönaikaiseen sykevaihteluun?
- 2) Eroaako yöllinen sykevaihtelu kuormittavan ja palauttavan harjoituspäivän jälkeen?
- 3) Onko koetun palautuneisuustilan ja sykevaihtelun muutokset yhteydessä harjoittelun kuormituksen eroihin kuormittavan ja palauttavan päivän välillä?

3.2 Hypoteesit

- 1) Olettamuksena on, että 11 vuorokauden intensiivisen harjoitusjakson vaikutuksesta urheilijoiden kokonaissykevaihtelu pienenee ja autonomisen hermoston parasymptaattista aktiivisuutta kuvaavat sykevaihtelumuuttujat pienenevät ja sympaattista aktiivisuutta kuvaavat muuttujat kasvavat.
- 2) Oletettavasti palauttavan vuorokauden jälkeen yönaikainen sykevaihtelu on suurempaa kuin kuormittavan vuorokauden jälkeen.
- 3) Olettamuksena on, että harjoituskuormituksen vähentyessä palauttavan päivän seurauksena palautuneisuustila kohoaa ja sykevaihtelu on suurempaa kuin kuormittavan päivän jälkeen.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöt (n=8) olivat ampumahiihdon olympiaryhmän ampumahiihtäjiä, kolme naista ja viisi miestä (taulukko 1). Kaikki koehenkilöt olivat kansainvälisen tason urheilijoita, sillä heillä on kokemusta maailmancupin osakilpailuista, nuorten tai aikuisten arvokilpailuista.

Taulukko 1. Koehenkilöiden taustatietoja (keskiarvot, keskihajonnat).

	Ikä (v)	Pituus (m)	Paino (kg)	VO ₂ max (ml/kg/min)
Naiset (n=3)	20 ± 2	1.68 ± 0.04	56 ± 3	63 ± 3
Miehet (n=5)	22 ± 1	1.80 ± 0.10	76 ± 11	74 ± 6

4.2 Koeasetelma

Mittaukset suoritettiin ampumahiihtäjien normaalin harjoitusleirin yhteydessä 29.10 – 13.11.2005 Levillä. Urheilijat noudattivat päävalmentajan laatimaa leiriohjelmaa. Ampumahiihtäjien harjoittelu oli leiriajankohtaan nähden normaalia harjoittelua. Pääpaino oli lajinomaisessa peruskestävyys- ja tekniikkaharjoittelussa. Harjoittelussa käytettiin rytmitystä 3:1 eli kolmea kuormittavaa harjoituspäivää seurasi yksi palauttava päivä. Harjoitusten sykedatan ja kyselyiden perusteella määritettiin harjoittelun kuormittavuus koko harjoitusjaksolle sekä valitulle kuormittavalle ja palauttavalle päivälle. Yösykeke-
räykset suoritettiin ensimmäisen harjoituspäivän jälkeisenä yönä, em. kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisenä yönä sekä leirin lopussa. Sykevaihtelumuuttujien muutosta tarkasteltiin leirin alku- ja loppumittausten välillä sekä kuormittavan ja palauttavan päivien jälkeisten mittausten välillä. Mittaukset liittyivät liikunnan ja urheilun kuormit-
tumis- ja palautumiskonseptin kehittämis –projektiin (KIHUn TEKES-projekti 2004 – 2006).

4.3 Aineiston keräys

Koehenkilöt keräsivät harjoituksista sykedataa Suunto t6 –rannetietokoneella (Suunto Oy, Vantaa, Suomi), joka mittaa sydämenlyöntien välistä aikaa. Laite sisälsi rinnan ympärille laitettavan joustavan lähetinpannan sekä rannevastaanottimen. Lisäksi koehenkilöt täyttivät jokaisesta harjoituksesta kyselyn (liite 1), jossa arvioivat kunkin harjoituksen kuormittavuutta. Koehenkilöt keräsivät sykedataa myös öisin. He aloittivat yösykekeräyksen mennessään nukkumaan ja lopettivat aamulla herättyään. Koetun palautuneisuustilan selvittämiseksi ampumahiihtäjät täyttivät aamuisin palautuneisuuskyselyn (liite 2), jossa he arvioivat sen hetkistä fyysistä ja psyykkistä palautuneisuuttaan asteikolla 0 – 10.

4.4 Aineiston analysointi

Harjoittelun kuormittavuus. Sykedata siirrettiin tietokoneelle Suunto Training Manager –ohjelmaan. Data analysoitiin Hyvinvointianalyysin (Versio 1.3.2.6, Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi) avulla. Analyysistä poimittiin harjoitusten kuormittavuutta kuvaamaan rasituskertymä, EPOC (Rusko ym. 2003, Rusko ym. 2004). Lisäksi harjoitusten aikaisen sykkeen ja harjoituskyselyiden perusteella määritettiin harjoituskuormitus –indeksi, TRIMP = training impulse (Banister 1991, modifioinut Foster ym. 2001). Modifioitu TRIMP kuvaa harjoituskuormitusta harjoitusajan ja intensiteetin yhteisvaikutuksena. Indeksien laskemiseksi määritetään kolme harjoitusintensiiteetti –luokkaa: I. kevyt intensiteetti, < aerobinen kynnys, II. keskitason intensiteetti, aerobinen kynnys – anaerobinen kynnys, III. korkea intensiteetti, > anaerobinen kynnys (mm. Earnest ym. 2004). Kynnysten määrittäminen tapahtui Hyvinvointianalyysin perusteella sykevaihteluun perustuen maksimaalisen hapenoton suhteellisina arvoina: aerobinen kynnys = 50 % VO_{2max}, anaerobinen kynnys = 75 % VO_{2max}. TRIMP –indeksi laskettiin eri luokissa olleen sykkeen ajan ja luokkakertoimien tulon summana. Kerroin luokalle I on 1, luokalle II on 2 ja luokalle III on 3. TRIMP ilmaistuna kaava muodossa:

$TRIMP = (aika(min), jolloin\ syke\ on\ luokassa\ I \times 1) + (aika(min), jolloin\ syke\ on\ luokassa\ II \times 2) + (aika(min), jolloin\ syke\ on\ luokassa\ III \times 3).$

Harjoituksista, joista ei ollut sykedataa, harjoitusintensiiteetti määritettiin harjoituskyselyn perusteella. Tutkittavien kokonaisharjoituskuormituksesta 79,3 % määritettiin harjoitussykkeiden perusteella ja 20,7 % harjoituskyselyiden perusteella.

Sykevaihtelu. Yösykedata siirrettiin tietokoneelle Suunto Training Manageriin ja sieltä analysoitavaksi Firstbeat Technologies Oy:n Hyvinvointianalyysiin. Sykedata tarkistettiin visuaalisesti, jolloin poistettiin häiriökohdat. Hyvinvointianalyysin vektorimuuttujat määrittävät muuttujan arvon kullekin mittausjakson ajanhetkelle. Vektoreiden taajuus on yksi sekunti, mikä tarkoittaa sitä, että kukin datapiste vektorissa vastaa yhtä sekuntia ajassa. Siten menetelmä muodostaa aikataajuusjakauman, jossa jokaista ajanhetkeä vastaa uusi taajuusjakauma (menetelmä perustuen: Kettunen & Saalasti 2002, Saalasti 2003). Aikakenttämuuttujat (SDRR, RMSSD) laskettiin Hyvinvointianalyysin Data Exportin ibi.tiedostosta (ibi = interbeat interval). Hyvinvointianalyysin stressi- ja palautumisreaktioiden laskennallinen menetelmä perustuu autonomisen hermoston säätelyn muutoksiin. Sykevaihtelun pohjalta laskettu fysiologinen stressi-indeksi tuottaa tiedon siitä, onko autonomisen hermoston toimintataso kiihtyneempi kuin sen hetkisen fyysisen rasituksen tarpeisiin vastaamiseksi tulisi olla. Kiihtyneeseen autonomisen hermoston toimintatasoon liittyy lisääntynyt sympaattisen hermoston aktiivisuus ja pienentynyt parasympaattisen hermoston aktiivisuus. (Kettunen & Keltinkangas-Järvinen 2001, Saalasti 2003, Task Force 1996).

Muuttujat keskiarvoistettiin klo 01:00–04:00 väliseltä aikajaksolta. Kyseiselle aikajaksolle laskettiin seuraavat sykemuuttujat:

- keskisyke, HR_{avg} (Int/min)
- matalin syke (50 sykevälin matalin sykekeskitaso), HR_{min} (Int/min)
- sykevälien keskihajonta (kuvaava kokonaissykevaihtelua), SDRR (ms)
- peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (kuvaava korkeataajuuksista sykevaihtelua), RMSSD (ms)
- erittäin matalataajuuksinen sykevaihtelu (0.03-0.04 Hz), VLF (ms^2)
- matalataajuuksinen sykevaihtelu (0.04-0.15 Hz), LF (ms^2)
- korkeataajuuksinen sykevaihtelu (0.15-0.4 Hz), HF (ms^2)
- korkeataajuuksinen sykevaihtelu 2 (0.15-1.0 Hz), HF2 (ms^2)
- kokonaissykevaihtelu, TP(=VLF+LF+HF2, 0.03-1.00 Hz) (ms^2)
- stressi- ja palautumis -indeksi (absoluuttinen vektori -indeksi)

- stressi- ja palautumisreaktioiden suhteellinen osuus
- voimavara -indeksi (koko yönaikaiseen sykedataan perustuva)

4.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit suoritettiin Microsoft Excel –ohjelmalla sekä SPSS 12.0.1 for Windows –ohjelmalla. Tulokset ilmaistiin absoluuttisina arvoina sekä suhteellisina muutoksina. Harjoitusjakson aiheuttamien muutosten tutkimiseksi laskettiin leirijakson alussa mitattujen sykemuuttujien alkuarvot, joita vertailtiin leirin loppumittauksiin. Lisäksi tutkittiin harjoittelun rytmityksen vaikutusta sykevaihteluun. Täten analysoitiin kuormittavan harjoituspäivän jälkeinen yö sekä sitä seuraavan palauttavan päivän jälkeinen yö ja vertailtiin näiden eroavaisuuksia. Kyseiset vertailut suoritettiin verrannollisten parien t-testillä. Kyseisessä tilastollisessa analyysissä otettiin sykevaihtelumuuttujista luonnollinen logaritmi, jotta aineisto saatiin kokonaisuudessaan normaalisti jakautuneeksi. Tutkittaessa harjoitusten kuormittavuuden suhteellisten muutosten yhteyttä subjektiivisen palautuneisuustilan muutoksiin ja sykevaihtelun suhteellisiin muutoksiin käytettiin Pearsonin korrelaatiota. Suhteellinen (=prosentuaalinen) muutos saatiin vähentämällä palauttavan päivän arvosta kuormittavan päivän arvo, jonka jälkeen erotus jaettiin kuormittavan päivän arvolla ja lopuksi saatu osamäärä kerrottiin luvulla 100. Eli mikäli palauttavan päivän arvo oli pienempi, suhteellinen muutos oli tällöin negatiivinen. Merkitsevyytasona käytettiin $p < 0.05$.

5 TULOKSET

5.1 Harjoitusjakson vaikutus sykevaihteluun

Analysoitavista yökeräyksistä ensimmäinen ajoittui ensimmäisen varsinaisen harjoituspäivän jälkeen ja toinen ajoittui leirin loppuun. Mittausten välinen harjoitusjakso oli pituudeltaan 11 ± 1 vuorokautta. Koehenkilöiden harjoituskuormitus (TRIMP) oli keskimäärin 2021 ± 265 ja harjoitusmäärä oli keskimäärin 31 ± 4 tuntia. Näin ollen vuorokautta kohden harjoitusta kertyi keskimäärin 171 ± 10 minuuttia.

Koehenkilöiden palautuneisuustila (liite 2) heikkeni sekä fyysisesti (alussa 6.9 ± 1.2 ja lopussa 5.6 ± 1.3 , $p < 0.05$) että psyykkisesti (alussa 7.6 ± 0.9 ja lopussa 5.6 ± 2.1 , $p < 0.05$) harjoitusjakson aikana. Eli harjoitusjakso heikensi psyykkistä palautuneisuustilaa 26.3 % ja fyysistä 18.8 %.

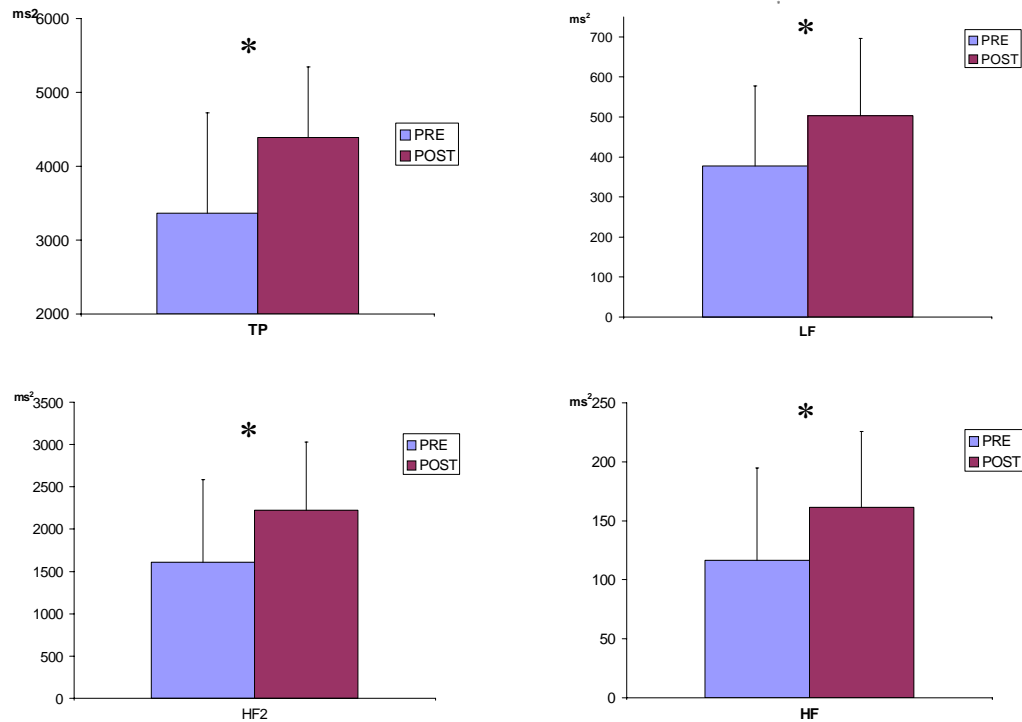
Kun tarkastellaan harjoitusjakson vaikutusta sykevaihtelumuuttujiin (taulukko 2) voidaan havaita, että aikakenttämuuttujista keskisyke HR_{avg} madaltui ($p < 0.05$). Sen sijaan HR_{min} ei muuttunut. RMSSD lisääntyi ($p < 0.05$) harjoitusjakson aikana, kuten myös palautumis -indeksi ($p < 0.05$). Stressi -indeksi puolestaan pieneni ($p < 0.05$). Voimavara -indeksi sekä palautumis- ja stressireaktioiden suhteellisten osuuksien muutokset eivät olleet merkitseviä. Trendi voimavarojen ja palautumisreaktioiden suhteen oli kuitenkin kasvava ja stressireaktioiden pienenevä.

Taulukko 2. Ampumahiihtäjien (n=8) sykevaihtelumuuttujien tulokset (ka, kh) leirin alussa(Pre) sekä leirin lopussa(Post)

	Pre	Post	Muutos (%)
HR_{avg} (lnt/min)	54 ± 5	50 ± 5	-7.4 *
HR_{min} (lnt/min)	45 ± 4	43 ± 4	-4.4 NS
SDRR (ms)	136 ± 32	151 ± 17	11.0 NS
RMSSD (ms)	92 ± 27	112 ± 27	21.7 *
Palautumis -indeksi	87.3 ± 6.4	93.5 ± 5.0	7.1 *
Stressi -indeksi	0.082 ± 0.016	0.071 ± 0.015	-13.4 *
Palautumisreaktio (%)	65 ± 35	88 ± 20	23.0 NS
Stressireaktio (%)	35 ± 35	12 ± 20	-23.0 NS
Voimavara -indeksi	27 ± 65	63 ± 57	133.3 NS

t-testi (toistetut mittaukset): * $p < 0.05$, NS= ei ole tilastollisesti merkitsevä

Taajuusmuuttujia tarkastellessa (kuva 5) voidaan huomata, että TP oli harjoitusjakson lopussa ($4391 \pm 954 \text{ ms}^2$) suurempaa kuin jakson alussa ($3368 \pm 1356 \text{ ms}^2$) (30.4 %, $p < 0.05$). Harjoitusjakson aikana lisääntyi myös HF ($116 \pm 78 \text{ ms}^2 \rightarrow 161 \pm 64 \text{ ms}^2$, 38.8 %, $p < 0.05$), HF2 ($1610 \pm 977 \text{ ms}^2 \rightarrow 2222 \pm 807 \text{ ms}^2$, 38.0 % $p < 0.05$) sekä LF ($378 \pm 200 \text{ ms}^2 \rightarrow 503 \pm 194 \text{ ms}^2$, 33.1 %, $p < 0.05$). VLF ei muuttunut ($1380 \pm 556 \text{ ms}^2 \rightarrow 1667 \pm 500 \text{ ms}^2$, 20.8 %, NS).



Kuva 5. Sykevaihtelun taajuusmuuttujat harjoitusjakson alussa (pre) ja lopussa (post) ampumahiittäjillä (n=8). t-testi (toistetut mittaukset): * $p < 0.05$.

5.2 Kuormittavan ja palauttavan harjoituspäivän vaikutukset sykevaihteluun

Neljän koehenkilön kohdalla analysoitu kuormittava ja palauttava harjoituspäivä ajoitettiin peräkkäin ja kahden koehenkilön kohdalla analysoitujen päivien välissä oli kaksi harjoituspäivää. Kaikilla koehenkilöillä palauttavan päivän mittaus oli kuitenkin kuormittavan päivän mittauksen jälkeen. Kuormittavan ja palauttavan päivän harjoittelu (taulukko 3) poikkesi toisistaan erittäin selvästi. Harjoitusten kesto, TRIMP ($p < 0.001$) ja EPOC-arvo ($p < 0.05$) oli vähäisempiä palauttava kuin kuormittavana päivänä.

Taulukko 3. Kuormittavan ja palauttavan päivän harjoituskuvaus (keskiarvot, keskihajonnat).

	Kuormittava	Palauttava	Erotus
Harjoituksen kesto (min)	229 ± 39	63 ± 17	-166***
TRIMP	248 ± 33	63 ± 17	-185***
EPOC	22 ± 12	5 ± 4	-17*

t-testi (toistetut mittaukset): *p<0.05, ***p<0.001, NS= ei ole tilastollisesti merkitsevä.

Ampumahiihtäjien fyysinen palautuneisuustila kohosi palauttavan vuorokauden aikana (p<0.01) (taulukko 4). Tarkasteltaessa kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisen yön sykevaihdelumuuttujien tuloksia voidaan havaita, että HR_{avg} oli palauttavan päivän jälkeisenä yönä merkitsevästi matalampi kuin kuormittavan päivän jälkeen (p<0.01). Muissa aikakenttämuuttujissa ei ollut tilastollisia eroja. Myöskään kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisten öiden sykevaihdelun taajuusmuuttujat eivät poikenneet toisistaan. TP:n ja VLF:n osalta trendi oli kuitenkin nouseva, kun taas muut taajuusmuuttujat pysyivät lähes muuttumattomina. Palautumis -indeksi ja voimavara -indeksi olivat suurempia palauttavan vuorokauden jälkeen kuin kuormittavan (p<0.05). Stressi -indeksi sen sijaan pysyi muuttumattomana. Palautumis- ja stressireaktioiden suhteelliset osuudet eivät muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi. Trendinä oli kuitenkin se, että palauttavan päivän jälkeen oli enemmän voimavaroja sekä palautumisreaktioita kuin kuormittavan päivän jälkeen.

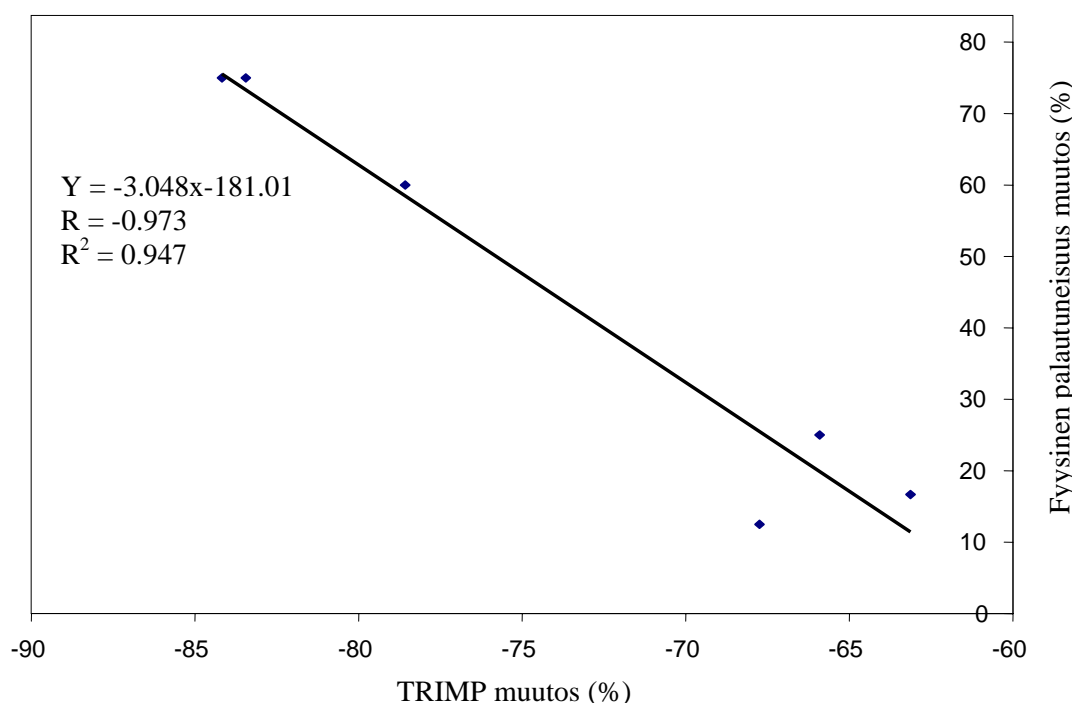
Taulukko 4. Ampumahiihtäjien palautuneisuustuntemukset kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeiseltä aamulta sekä kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisen yön sykevaihdelumuuttujien tulokset (n=6, keskiarvot, keskihajonnat).

	Kuormittava	Palauttava	Muutos (%)
Fyysinen palautuneisuus	5.2 ± 1.6	7.2 ± 1.3	38.5 **
Psyykkinen palautuneisuus	6.5 ± 2.1	7.2 ± 1.2	10.8 NS
HR _{avg} (lnt/min)	53 ± 3	50 ± 4	-5.7 **
HR _{min} (lnt/min)	44 ± 3	43 ± 5	-2.3 NS
SDRR (ms)	141 ± 24	154 ± 21	9.2 NS
RMSSD (ms)	103 ± 31	108 ± 28	4.9 NS
TP (ms ²)	3922 ± 1505	4215 ± 1154	7.5 NS
VLF (ms ²)	1499 ± 461	1765 ± 564	17.7 NS
LF (ms ²)	512 ± 217	499 ± 149	-2.5 NS
HF (ms ²)	139 ± 74	137 ± 47	-1.4 NS
HF2 (ms ²)	1911 ± 1020	1951 ± 719	2.1 NS
Palautumis -indeksi	89.5 ± 5.1	92.3 ± 5.3	3.1 *
Stressi -indeksi	0.075 ± 0.017	0.071 ± 0.017	-5.3 NS
Palautumisreaktio (%)	68 ± 35	88 ± 14	20 NS
Stressireaktio (%)	32 ± 35	12 ± 14	-20 NS
Voimavara -indeksi	32 ± 65	63 ± 49	96.9 *

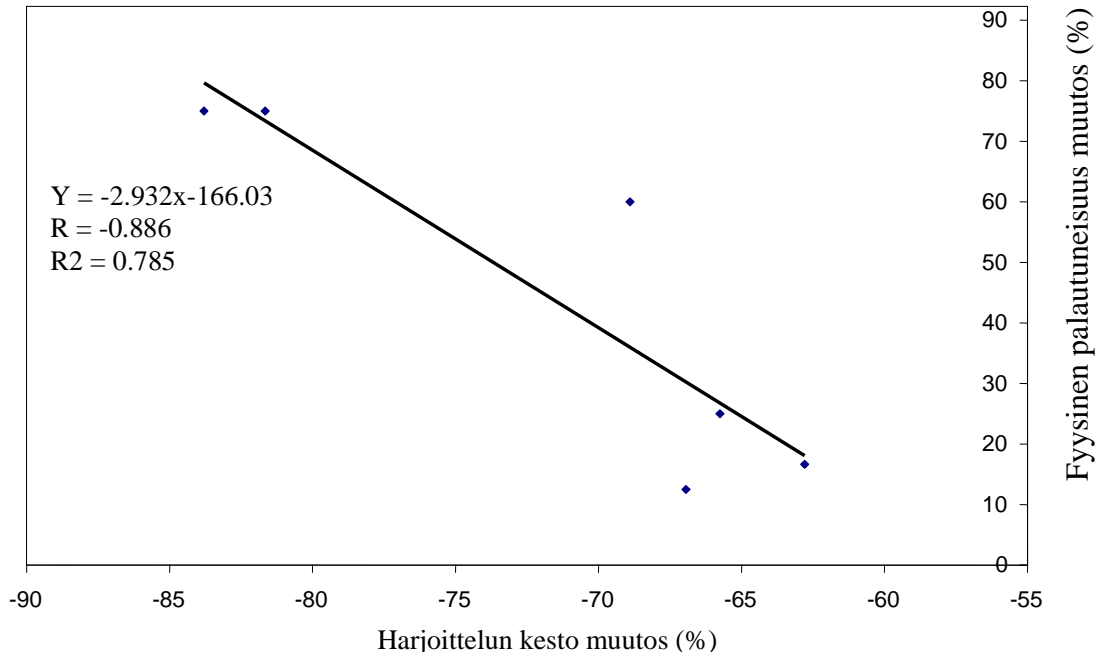
t-testi (toistetut mittaukset): *p<0.05, **p<0.01, NS= ei ole tilastollisesti merkitsevä

5.3 Koetun palautuneisuustilan ja sykevaihdelun muutosten yhteys harjoituskuormituksen muutoksiin

Harjoitusrytmyksen (kuormittava vs. palauttava päivä) aiheuttaman fyysisen palautuneisuustilan muutoksen ja harjoittelun kuormituksen muutoksen väliltä löytyi vahva yhteys ($R = -0.973$, $p < 0.01$) (kuva 6). Eli mitä enemmän harjoittelu keveni palauttavalle päivälle, sitä enemmän koettu palautuneisuustila koheni. Selityskertoimen avulla voidaan todeta, että 94,7 % fyysisen palautuneisuuden muutoksista voidaan selittää harjoittelun kuormituksen muutoksilla. Samoin vahva negatiivinen yhteys löytyi harjoitusten keston muutosten ja fyysisen palautuneisuustilan muutosten väliltä ($R = -0.886$, $p < 0.05$) (kuva 7). 78,5 % fyysisen palautuneisuuden muutoksista voidaan selittää harjoitusten keston muutoksilla. Sykevaihdelumuuttujien muutoksien ja harjoituskuormituksen muutoksen väliltä ei löytynyt yhteyttä (liite 3).



Kuva 6. Harjoittelun kuormituksen muutoksen yhteys koetun fyysisen palautuneisuuden muutokseen (n=6).



Kuva 7. Harjoittelun keston muutoksen yhteys koetun fyysisen palautuneisuuden muutokseen (n=6).

6 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin sykevaihtelun avulla sydämen autonomisen säätelyn vasteita intensiiviseen harjoitusjaksoon olympiaryhmän ampumahiihtäjillä. Tutkimuksen päätulokset olivat:

- 1) Harjoitusjakson vaikutuksesta kokonaissykevaihtelu lisääntyi ($p < 0.05$), kuten myös korkeataajuinen sekä matalataajuinen sykevaihtelu ($p < 0.05$).
- 2) Harjoitusjakson vaikutuksesta yönaikainen keskisyke madaltui ($p < 0.05$) ja RMSSD lisääntyi ($p < 0.05$). Palautumis -indeksi suureni ja stressi -indeksi pieneni ($p < 0.05$).
- 3) Harjoittelun rytmityksen vaikutuksesta harjoittelun kuormitus ja kesto oli selvästi vähäisempää palauttavan päivän aikana kuin kuormittavana päivänä ($p < 0.001$). Palauttavan vuorokauden aikana koettu palautuneisuustila koheni merkitsevästi ($p < 0.01$), kuten myös palautumis- ja voimavara -indeksi ($p < 0.05$). Yönaikainen keskisyke madaltui palauttavan vuorokauden vaikutuksesta ($p < 0.01$). Muissa sykevaihtelumuuttujissa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia.

6.1 Harjoitusjakson vaikutus sykevaihteluun

Tässä tutkimuksessa harjoittelujakson seurauksena ampumahiihtäjien yönaikainen keskisyke laski selvästi (taulukko 2). Tämän tutkimuksen kanssa ovat yhtenevästi raportoineet muun muassa Bonaduce ym. (1998), Melanson & Freedson (2001) ja Yamamoto ym. (2001). Pichot ym. (2000) raportoivat keskimatkojen juoksijoista, joiden leposyke puolestaan nousi noin 4 lyöntiä/min kolmen viikon harjoittelun seurauksena. Myös Iellamo ym. (2002) raportoivat leposykkeen nousseen soutajilla maksimaalisen harjoituskuormituksen seurauksena. Tässäkin tutkimuksessa harjoittelun kuormitus oli suurta, mutta harjoittelun kuormittavuus aiheutui hyvin pitkälle harjoittelun määrän (matala teho) kautta, eikä niinkään tehon kautta kuten Pichot ym. (2000) ja Iellamo ym. (2002) tutkimuksissa. Harjoittelun laatuerot selittänevätkin leposykkeen erilaisen käyttäytymi-

sen tämän ja Pichot ym. (2000), Iellamo ym. (2002) tutkimusten välillä. Tehopainotteinen kuormittava harjoitusjakso saanee aikaan autonomisen hermoston sympaattisen aktiivisuuden lisääntymisen ja/tai parasympaattisen aktiivisuuden pienenemisen. Määräpainotteinen harjoittelu puolestaan voi aiheuttaa parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymisen, mikä näkyy muun muassa matalampana leposykkeenä. (esim. Hynynen ym. 2002). On kuitenkin viitteitä siitä, että urheilijoiden madaltuneeseen leposykkeeseen saattaa vaikuttaa myös joitakin muita mekanismeja kuin vagaalisen toiminnan säätely. Syinä saattaa olla myös harjoittelun aikaansaamat muutokset sydämen herkkyydessä katekoliamiineille sekä lisääntynyt iskutilavuus ja plasmavolyymi. (mm. Bonaduce ym. 1998.)

Autonomisen hermoston parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymistä harjoitusjakson aikana tukee myös se, että kokonaissykevaihdtelu ja parasympaattista aktiivisuutta kuvaavat muuttujat, RMSSD, HF, HF2, lisääntyivät merkitsevästi. Tätä tukevat myös palautumis –indeksin suureneminen ja stressi –indeksin pieneneminen (taulukko 2, kuva 5). Samansuuntaisesti tämän tutkimuksen kanssa ovat raportoineet muun muassa Hedelin ym. (2000b), jossa seitsemän kuukauden harjoittelujakson vaikutuksesta kokonaissykevaihdtelu lisääntyi nuorilla hiihtäjillä. Poikkeavaa tosin oli se, että matala-taajuinen sykevaihdtelu pieneni. Pigozzi ym. (2001) tutkimuksessa puolestaan juuri matalataajuisen sykevaihdtelu lisääntyi naisurheilijoilla viiden viikon kestävyysharjoittelun seurauksena. Pichot ym. (2000) ja Iellamo ym. (2002) tutkimuksissa sykevaihdtelu pieneni kovan harjoittelun seurauksena. Voikin todeta, että useimmissa urheilijoihin kohdistuneissa tutkimuksissa ei ole juurikaan saatu niin merkitseviä muutoksia sykevaihdtelun lisääntymisessä kuin tässä tutkimuksessa. Sen sijaan harjoittelemattomien tutkimuksissa (mm. Al-Ani ym. 1996, Aubert ym. 2003, Yamamoto ym. 2001) sykevaihdtelu on usein lisääntynyt merkitsevästi positiivisen harjoitusvaikutuksen seurauksena. Tästä voineekin tehdä sellaisen johtopäätöksen, että ampumahiihtäjien harjoittelu leirijaksolla ei ollut liian kuormittavaa ja näin ollen sympaattinen aktiivisuus ei lisääntynyt vaan päinvastoin pieneni. Toisaalta on myös muistettava, että kestävyysurheilijoilla esiintyvään yllirasitustilaan voi liittyä parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymistä, kuten mm. Hedelinin (2000c) case-tutkimuksessa.

Harjoituskuormitus näkyi lähinnä koetussa palautuneisuustilassa. Sekä fyysinen että psyykkinen palautuneisuustila laskivat merkitsevästi. Psyykkinen palautuneisuustila

madaltui enemmän kuin fyysinen. Voikin ajatella, että pitkän (16 vrk) leirijakson aikana urheilijoille kertyi psyykkistä leiriväsymystä hotellielämän sekä pimeässä kaamoksessa ja ajoittain melko huonoissa olosuhteissa suoritettujen toistuvien päivittäisrutiinien vaikutuksesta. Voi myös pohtia sitä, miten paljon psyykkinen väsymys vaikuttaa fyysisen palautuneisuustilan tuntemuksiin. Onko psyykkisen palautuneisuustilan heikentymisen syynä se, että urheilijat kokivat myös fyysisen tilan heikentyneen, vai johtuuko se ainoastaan harjoittelun kuormituksesta? Todennäköisin selitys lienee näiden tekijöiden yhteisvaikutus. Sykevaihtelumuuttajat kuitenkin toivat esille sen, että ampumahiihtäjien harjoitusjakso ei ollut niin kuormittava, että autonomisen hermoston tila olisi kääntynyt sympaattisen puolen vallitsevuudeksi.

6.2 Harjoittelun rytmityksen vaikutus sykevaihteluun

Jotta harjoittelu ei olisi liian yksipuolista ja tasaisen kuormittavaa, on harjoittelua rytmittävä. Tällöin elimistön homeostasiaa on aika ajoin järkytettävä kuormittavilla harjoituksilla ja sen jälkeen elimistön on annettava palautua, jotta suorituskyky kehittyisi. Tällä leirillä harjoittelun rytmittämiseksi käytettiin neljän vuorokauden sykliä, johon sisältyi kolme kuormittavaa harjoituspäivää ja yksi palauttava päivä. Harjoittelun rytmityksen vaikutusten selvittämiseksi tarkasteltiin kuormittavan ja palauttavan päivän harjoittelua ja näitä päiviä seuranneiden öiden sykevaihtelua. Tuloksista havaittiin että harjoittelu poikkesi erittäin paljon kuormittavan ja palauttavan päivän välillä. Palauttava päivä todellakin oli palauttava ja sen myötä myös urheilijoiden palautuneisuustila koheeni palauttavan vuorokauden aikana merkitsevästi. Leposyke madaltui palauttavan vuorokauden aikana, mikä viittaa siihen, että parasympaattinen aktiivisuus lisääntyi tai toisaalta sympaattinen aktiivisuus pieneni palauttavan päivän seurauksena. Sitä tukee myös palautumis- ja voimavara -indeksin suureneminen. Sykevaihtelumuuttajissa ei kuitenkaan tullut suuria muutoksia esiin. Kokonaisykevaihtelun ja erittäin matalataajuisen sykevaihtelun osalta trendi oli kuitenkin lisääntyvä. Samoin palautumisreaktioiden trendinä oli se, että palauttavan päivän jälkeen oli enemmän palautumisreaktioita kuin kuormittavan päivän jälkeen. Osittain melko suurten hajontojen takia muutokset eivät kuitenkaan olleet merkitseviä.

Voidaan kuitenkin päätellä, että harjoittelun rytmityksen ansiosta harjoituskuormitus ei kasvanut kumulatiivisesti harjoitusjakson aikana vaan palauttavien päivien aikana urheilijoiden voimavarat lisääntyivät. Sykevaihtelumuuttujien perusteella autonomisen hermoston säätelyssä ei kuitenkaan suuria muutoksia tapahtunut kuormittavan ja palauttavan harjoituspäivän välillä. Pohdittavaksi jääkin olisiko muutos ollut merkitsevä, jos palauttavia päiviä olisi ollut kaksi peräkkäin. Tulokset olisivat voineet olla myös erilaisia, jos kuormittavan päivän harjoitus olisi ollut kovatehoinen. Oletettavasti tällöin sympaattinen aktiivisuus olisi voinut olla koholla myös vielä yöllä. Eli osasyynä siihen, että sykevaihtelumuuttujat eivät eronneet kuormittavan ja palauttavan päivän välillä, voi olla kuormittavan päivän harjoittelun matalatehoisuus. Tulokset antavat myös viitteitä siitä, että Hyvinvointianalyysin palautumis- ja stressi –indeksit sekä voimavara-indeksi voivat olla herkempiä autonomisen säätelyn mittareita kuin perinteiset sykevaihtelumuuttujat, koska muutos näiden indeksien kohdalla oli havaittavissa kuormittavan ja palauttavan päivän välillä.

Harjoittelun muutos kuormittavan ja palauttavan päivän välillä oli yhteydessä ainoastaan koetun fyysisen palautuneisuuden muutoksiin. Harjoittelun kuormituksen muutos selitti enemmän palautuneisuustuntemuksien muutoksia kuin harjoittelun kesto, mikä onkin aivan loogista. Mikäli kuormittavan päivän harjoittelu olisi ollut tehopainoitteisempaa, olisi kuormituksen muutos ollut yhä selittävämpi tekijä verrattuna harjoittelun keston muutoksiin. Syynä siihen, miksi harjoittelun muutos ei ollut yhteydessä sykevaihtelumuutoksiin, on varmasti ko. muuttujien muuttumattomuus kuormittavan ja palauttavan päivän välillä.

6.3 Aineiston ja menetelmien arviointi

Tutkimusta on aiheellista kritisoida koehenkilöiden pienestä määrästä. Suurempi koehenkilöryhmä olisi tuonut lisää luotettavuutta tilastollisiin analyysihin, erityisesti korrelatiiviseen vertailuun. Lisäksi suurempi koehenkilömäärä olisi mahdollistanut naisten ja miesten välisen vertailun. Nyt sukupuolen vaikutus sykevaihteluun jäi hämärän peittoon. Yösykekeräys onnistui melko hyvin, lukuun ottamatta pieniä häiriökohtia sykedata-

tassa. Häiriöt kuitenkin poistettiin, joten niiden vaikutusten voidaan olettaa jääneen vähäiseksi.

Harjoitussykkeiden keräys ei onnistunut aivan täydellisesti. Joidenkin harjoitusten osalta sykedataa ei saatu ja tällöin harjoitusten kuormitus laskettiin subjektiivisten tunteusten avulla. Useimmiten kyseessä oli kuitenkin matalatehoinen harjoitus, jolloin voi luottaa melko hyvin subjektiiviseen arvioon harjoitustehosta sekä ajasta. Harjoituksista, joista ei ollut sykedataa, ei myöskään saatu EPOC-arvoa. Näin ollen kuormittavan ja palauttavan päivien EPOC-vertailussa oli ainoastaan kolmen koehenkilön tulokset, mikä osaltaan vaikeuttaa tuloksien vertailua.

Analyysin valinta klo 01 – 04 välille perustui osin aikaisempiin tutkimuksiin ja siihen, että koehenkilöt olisivat olleet unessa vähintään tunnin klo 01 mennessä. Tämä onnistuikin hyvin. Jos analyysi olisi alkanut klo 24, kuten melko useissa tutkimuksissa (mm. Bonaduce ym. 1998, Pichot ym. 2000), olisi ongelmia saattanut esiintyä siinä, että tutkittavat eivät olisi ehtineet nukahtaa ennen analyysijakson alkua.. Pitkän aikajakson on ajateltu kuvaavan paremmin elimistön tilaa kuin lyhyiden jaksojen. Voikin olettaa, että klo 01-04 välinen aikajakso on riittävä kuvaamaan autonomisen hermoston tilaa. Tällöin syketaso oli myös vakiintunut ja monesti syke oli matalimmillaan juuri tuona aikajaksona.

Sykevaihtelututkimuksissa on käytetty lukuisia eri menetelmiä, joten niiden keskinäinen vertailu on melko vaikeaa. Myös tämän tutkimuksen absoluuttiset arvot saattavat poiketa muiden tutkimusten tuloksista. Itse ilmiöiden vertailuun se ei kuitenkaan vaikuta. Tämän tutkimuksen tulokset toisaalta vahvistavat sitä käsitystä, että kestävyystyyppinen harjoittelu lisää sykevaihtelua. Toisaalta vertailtaessa moniin muihin urheilijoiden harjoitustutkimuksiin, tulokset poikkeavat sykevaihtelun osalta. Yksittäistä syytä siihen ei varmasti ole. Siihen voi vaikuttaa muun muassa harjoittelun laatu ja määrä, tutkittavien lukumäärä, kuntotaso, ikä ja sukupuoli sekä tutkimusmenetelmät. Pitää myös muistaa, että urheilijat ovat yksilöitä ja yksilölliset erot sykevaihtelun käyttäytymisessä voi olla hyvinkin suuria. Siksi sykevaihtelun käyttäminen urheilijoiden kuormittavuustasojen selvittämiseen on parhaimmillaan silloin, kun pystytään seuraamaan yksilöllisiä sykevaihtelun muutoksia toistuvasti pitkällä aikajaksolla.

Olisi ollut mielenkiintoista tietää, miten ampumahiihtäjien suorituskyky muuttui harjoitusjakson aikana. Tulevaisuudessa olisikin tarpeellista selvittää suorituskyvyn yhteyttä autonomisen hermoston säätelyä kuvaavaan sykevaihteluun. Lisäksi tulevaisuuden tutkimuksissa tulisi pyrkiä selvittämään, miten suuri elimistön homeostasian järkyttäminen (autonomisen hermoston järkyttäminen), aiheuttaa optimaalisen harjoitusvasteen. Optimaalinen harjoittelu on juuri niin kovaa, että kyetään suorituskyvyn maksimaaliseen parantamiseen ajautumatta kuitenkaan ylirasitustilaan. Pystytäänkö sykevaihtelun avulla löytämään tuo raja, se jää nähtäväksi tulevaisuudessa.

6.4 Johtopäätökset

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat tutkimusongelmiin liittyvät johtopäätökset:

- 1) Harjoitusjakson (11 vrk) aikana ampumahiihtäjien yönaikainen sykevaihtelu lisääntyi, mikä on osoitus autonomisen hermoston parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymisestä.
- 2) Yönaikainen keskisyke oli palauttavan päivän jälkeen matalampi kuin kuormittavan päivän jälkeen. Palautumis- ja voimavara-indeksi puolestaan suurenvat palauttavan vuorokauden seurauksena. Molemmat löydökset antavat viitteitä parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymisestä palauttavan vuorokauden aikana. Kuormittavan ja palauttavan päivän jälkeisen yön muut sykevaihtelumuuttujat eivät muuttuneet.
- 3) Harjoittelun kuormituksen muutokset olivat yhteydessä subjektiivisten palautuneisuustunteiden muutoksiin, mutta ei sykevaihtelun muutoksiin.

7 LÄHTEET

- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517 – 538.
- Al-Ani, M., Munir, S.M., White, M., Townend, J. & Coote, J.H. 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.
- Armstrong, L.E. & Van Heest, J.L. 2002. The unknown mechanism of the overtraining syndrome: Clues from Depression and Psychoneuroimmunology. *Sports Medicine* 32 (3), 185 – 209.
- Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. 2003. Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889 – 919.
- Banister, E. W. Modeling elite athletic performance. Teoksessa Green, H.J., McDougal, J.D. & Wenger, H. (toim.). 1991. *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*, Champaign, IL. Human Kinetics, 403 – 424.
- Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V., Apicella, C., Ianniciello, A., Romano, M., Breglio, R. & Marciano, F. 1998. Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), 691 – 696.
- Earnest, C.P., Jurca, R., Church, T.S., Chicharro, J.L., Hoyos, J. & Lucia, A. 2004. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *British Journal of Sports Medicine*, 38(5), 568 – 75.
- Foster, C., Florhaug, J.A. & Franklin, J. et al. 2001. A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15. 109 – 115.
- Garet, M., Tournaire, M., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J.R., Barthelemy, J.C. & Pichot, V. 2004. Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112 – 2118.

- Hedelin, R., Kenttá, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. 2000a. Short-term overtraining: Effects on performance, circulatory responses and heart rate variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1480 – 1484.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. 2000b. Pre- and post-season heart rate variability in adolescent cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10, 298 – 303.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. 2000c. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1531 – 1533.
- Hynynen, E., Konttinen, N. & Rusko, H. 2002. The Effects of Increased Training Volume on Heart Rate Variability among Young Endurance Athletes. 49th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine in conjunction with the 6th IOC World Congress on Sports Sciences, St. Louis, Missouri, USA. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(5), S23.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N. & Rusko, H. 2006. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 313 – 317.
- Iellamo, F., Legramante, J.M., Pigozzi, F., Spataro, A., Norbiato, G., Lucini, D. & Paganini, M. 2002. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*, 105, 2719 – 2724.
- Kettunen, J. & Keltinkangas-Järvinen, L. 2001. Intraindividual analysis of instantaneous heart rate variability. *Psychophysiology*, 38, 659 – 668.
- Kettunen, J. & Saalasti, S. 2002. Procedure for detection of stress state. Finnish patent pending FI 20025039 and international patent pending PCT/FI/03/00608.
- Kreider, R., Fry, A. & O'Toole, M. 1998. *Overtraining in sport*. Champaign: Human Kinetics.
- Melanson, E. & Freedson, P. 2001. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 442 – 449.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Cappelle, S., Henriot, M-T., Wolf, J-P., Rouillon, J-D. & Regnard, J. 2004. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 24, 10 – 18.

- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY, Helsinki.
- O'Toole, M. 1998. Overreaching and overtraining in endurance athletes. Teoksessa *Overtraining in sport*. Kreider, R., Fry, A. & O'Toole, M. (toim.) Champaign: Human Kinetics, s.3 – 17.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J-M., Enjolras, Franck., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J-R. & Barthélémy. 2000. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729 – 1736.
- Pigozzi, F., Alabiso, A., Parisi, A., Di Salvo, V., Di Luigi, L., Spataro, A. & Iellamo, F. 2001. Effects of aerobic exercise training on 24 hr profile of heart rate variability in female athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(1), 101-107
- Porges, S & Byrne, E. 1992. Research methods for measurement of heart rate and respiration. *Biological physiology*, 34, 93 – 130.
- Roponen, T. Valmentajan opas I: Fyysinen osuus. Suomen ampumahiihtoliitto. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://www.biathlon.fi/data/materiaalit/opaat/valmentaja1/valmentaja1_A_fyys_os.pdf>](http://www.muodossa:<URL:http://www.biathlon.fi/data/materiaalit/opaat/valmentaja1/valmentaja1_A_fyys_os.pdf>).24.11.2005.
- Rusko, H. 2003. *Cross Country Skiing*. Blackwell Science, Massachusetts, USA.
- Rusko, H.K., Pulkkinen, A., Saalasti, S., Hynynen, E. & Kettunen, J. 2003. Pre-prediction of EPOC: A tool for monitoring fatigue accumulation during exercise? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5 supplement), 183.
- Rusko, H.K., Pulkkinen, A., Martinmäki, K., Saalasti, S. & Kettunen, J. 2004. Influence of increased duration or intensity on training load as evaluated by EPOC and TRIMPS. ACSM Congress, Indianapolis, June 2-5, 2004. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36(5). Abstract.
- Saalasti, S. 2003. Neural networks for heart rate time series analysis. Jyväskylän yliopisto. Matematiikan ja tilastotieteenlaitos. Väitöskirja.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93, 1043 – 1065.
- Yamamoto, K., Miyachi, M., Saitoh, T., Yoshioka, A. & Onodera, S. 2001. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(9), 1496 – 1502.

Nimi: _____

Pvm: _____

Kuinka **kuormittavalla** harjoitus tuntui? Ympyröi parhaiten tuntemuksiasi vastaava numero.

Harjoitus 1: Mitä ja millin (kilo)?	Verenkierto & hengitys		Lihaset & hermosto		Psyke		Kokonaissuus	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maksimaalinen kuormittavissa oleva	.	.	.	.	.	.	.	.
Erittäin paljon	10	10	10	10	10	10	10	10
Hyvin paljon	9	9	9	9	9	9	9	9
	8	8	8	8	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	6	6	6	6	6	6	6
	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4	4	4	4
Kohtuullisesti	3	3	3	3	3	3	3	3
Vähän	2	2	2	2	2	2	2	2
Melko vähän	1	1	1	1	1	1	1	1
Erittäin vähän	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ei ollenkaan	0	0	0	0	0	0	0	0

Harjoitus 2: Mitä ja millin (kilo)?	Verenkierto & hengitys		Lihaset & hermosto		Psyke		Kokonaissuus	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maksimaalinen kuormittavissa oleva	.	.	.	.	.	.	.	.
Erittäin paljon	10	10	10	10	10	10	10	10
Hyvin paljon	9	9	9	9	9	9	9	9
	8	8	8	8	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	6	6	6	6	6	6	6
	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4	4	4	4
Kohtuullisesti	3	3	3	3	3	3	3	3
Vähän	2	2	2	2	2	2	2	2
Melko vähän	1	1	1	1	1	1	1	1
Erittäin vähän	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ei ollenkaan	0	0	0	0	0	0	0	0

Harjoitus 3: Mitä ja millin (kilo)?	Verenkierto & hengitys		Lihaset & hermosto		Psyke		Kokonaissuus	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maksimaalinen kuormittavissa oleva	.	.	.	.	.	.	.	.
Erittäin paljon	10	10	10	10	10	10	10	10
Hyvin paljon	9	9	9	9	9	9	9	9
	8	8	8	8	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	6	6	6	6	6	6	6
	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4	4	4	4
Kohtuullisesti	3	3	3	3	3	3	3	3
Vähän	2	2	2	2	2	2	2	2
Melko vähän	1	1	1	1	1	1	1	1
Erittäin vähän	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ei ollenkaan	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuinka **rasittava** päivä oli muuten kuin fyysisen harjoittelun osalta?

Harjoittelun ulkopuolinen stressi (ja ei-fyysiset harjoitukset)	Fyysisesti		Psyykkisesti	
	1	2	3	4
Maksimaalinen kuormittavissa oleva	.	.	.	.
Erittäin paljon	10	10	10	10
Hyvin paljon	9	9	9	9
	8	8	8	8
	7	7	7	7
	6	6	6	6
	5	5	5	5
	4	4	4	4
Kohtuullisesti	3	3	3	3
Vähän	2	2	2	2
Melko vähän	1	1	1	1
Erittäin vähän	0,5	0,5	0,5	0,5
Ei ollenkaan	0	0	0	0

Kommentit päivästä:

LIITE 1. Harjoitusten kuormittavuuskysely

Nimi: _____

Kuinka palautuneeksi tunnet itsesi juuri tänä aamuna?
 Valitse parhaiten tuntemuksiasi vastaava numero.

	____,____,2005		____,____,2005		____,____,2005		____,____,2005		____,____,2005		____,____,2005		____,____,2005	
	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti	Fyysisesti	Psyykkisesti
Maksimaalinen kuviteltavissa oleva	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Erittäin paljon	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Hyvin paljon	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Paljon	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Kohtuullisesti	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vähän	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Melko vähän	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Erittäin vähän	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ei ollenkaan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kommentit:

LIITE 2. Palautuneisuuskysely

LIITE 3. Ampumahiihtäjien (n=8) palautuneisuustilan (pal F, pal P) ja sykevaihtelun suhteellisten muutosten yhteys harjoituskuormituksen muutoksiin. Arvot ovat Pearsonin korrelaatiokertoimia ja p-arvoja.

	Harjkesto (n=6)	TRIMP (n=6)	EPOC (n=3)
Pal Fyysinen	-.886(*)	-.973(**)	-.906
p	.019	.001	.279
Pal Psyykkinen	-.049	-.354	.945
p	.926	.491	.212
HRavg	-.506	-.675	.062
p	.306	.141	.960
HRmin	-.014	-.170	.605
p	.979	.747	.586
SDRR (ms)	.307	.538	-.337
p	.554	.271	.781
RMSSD (ms)	.268	.546	-.503
p	.607	.262	.665
VLF	-.194	-.062	-.130
p	.713	.907	.917
LF	-.492	-.374	-.194
p	.321	.466	.875
HF	.016	.265	-.345
p	.977	.612	.776
HF2	-.027	.217	-.320
p	.959	.679	.793
TP	-.200	-.005	-.243
p	.704	.993	.844

*p<0.05, **p<0.01