

**ERILAISTEN YHDISTETTYJEN VOIMA- JA KESTÄVYYSKUORMITUSTEN
VASTEET SYKEVÄLIVAIHTELUUN**

Tuulia Viberg

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2016

Työnohjaajat: Antti Mero & Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Viberg, Tuulia. 2016. Erilaisten yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet sykevälivaihteluun. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, kandidaatintutkielma, 69 s., 7 liitettä.

Johdanto. Autonominen hermosto on herkkä reagoimaan kehon stressitiloihin. Sykevälivaihtelu kuvastaa autonomisen hermoston toimintaa. Urheiluvalmennuksessa sykevälivaihtelua on hyödynnetty urheilijoiden rasiustilan seurantaan, sillä urheiluharjoitukset saavat aikaan muutoksia autonomisessa säätelyssä. Autonomiseen hermostoon kohdistuvia vasteita seuraamalla voidaan harjoittelua ohjelmoida tehokkaasti. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vaikuttavatko yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset unen aikaiseen sykevälivaihteluun mieskuntoilijoilla. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten aineenvaihdunnallisten ja hermolihasjärjestelmän vasteiden yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana.

Menetelmät. Yksitoista 20–40-vuotiaasta mieskuntoilijaa osallistui tutkimukseen. Tutkittavilla oli vähintään vuoden kestävyysharjoittelutausta. Tutkittavat suorittivat neljä erillistä yhdistettyä voima- ja kestävyyskuormitusta. Eri kuormituksissa voima- ja kestävyysosioiden suoritusjärjestykset vaihtelivat. Voimaosiot koostuivat räjähtävää voimantuottoa vaativista nopeusvoimaharjoitteista, esimerkiksi loikista. Kestävyysosiot koostuivat joko intervalli- tai tasavauhtisesta kuormituksesta, joiden nopeus oli 80–90 % vVO₂max. Kaikki kuormitukset olivat erittäin rankkoja. Kuormitusten vasteita seurattiin kahtena peräkkäisenä kuormituksen jälkeisenä päivänä palautumismittauksissa. Palautumismittauksissa tutkittavat suorittivat juoksumatolla taloudellisuustestin ja isometrisessä jalkaprässissä maksimivoimamittauksia. Unenaikaisista sykemuuttujista kerättiin tietoa kuormituksia edeltävältä yöltä sekä kahdelta peräkkäiseltä yöltä kuormituksen jälkeen. Tutkittavat suorittivat yösykekeräyksen omatoimisesti kotiooloissa käyttäen Polar V800-sykemittaria. Unenaikaisista sykemuuttujista analysoitiin kuormitusten vastetta sykevälien keskimääräiseen keston (RR), keskisykkeeseen (HR), sykevälien keskihajontaan (SDNN), peräkkäisten sykevälien keskimääräiseen vaihteluun (RMSSD), enemmän kuin 50ms toisistaan poikkeavien sykevälien osuuteen (pnn50) ja taajuusmuuttujista hf- sekä lf-komponenttiin. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

Tulokset. Ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä havaittiin sykemuuttujista RR, SDNN, RMSSD, pnn50 ja hf-komponentissa laskevaa trendiä lähes kaikilla tutkittavilla. Näistä ensimmäisen yön laskevista trendeistä tilastollisesti merkitseviä olivat A-kuormituksessa SDNN ($p=0,05$), pnn50 ($p=0,05$) ja TP ($p=0,05$), B-kuormituksessa RR ($p=0,28$), lf ($p=0,28$) ja hf-muuttujien ($p=0,28$), C-kuormituksessa RR ($p=0,008$), lf ($p=0,012$) ja pnn50 ($p=0,066$) sekä D-kuormituksessa hf ($p=0,012$). HR-muuttujassa havaittiin nousevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä lähes kaikilla tutkittavilla, mutta ainoastaan C-kuormituksessa tämä muutos oli tilastollisesti merkitsevä. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä kaikki sykemuuttujat olivat palanneet lähelle kuormitusta edeltävää tasoa, eikä tilastollisesti merkitseviä eroja havaittu kuormitusta edeltävän mittauksen ja toisen kuormituksen jälkeisen yön välillä. Puolestaan kahden peräkkäisen kuormituksen jälkeisen

yön välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä muutos A-kuormituksessa SDNN ($p=0,017$), RMSSD ($p=0,036$), RR ($p=0,036$), HR ($p=0,036$), pnn50 ($p=0,05$) ja TP ($p=0,025$), B-kuormituksessa RR ($p=0,028$) ja HR ($p=0,28$), C-kuormituksessa RR ($p=0,08$), HR ($p=0,08$) ja pnn50 ($p=0,051$) ja D-kuormituksessa RR ($p=0,036$) muuttujissa. Yhdistetyn kuormituksen jälkeen taloudellisuustestin hapenkulutuksen ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä havaittiin 24 tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ($p<0,05$). Tilastollisesti merkittävimmät ($p<0,01$) korrelaatioparit olivat A-kuormituksessa HR, post1–post2 ja vo2, pre–post24h ($p=-0,929$, $R=0,001$), SDNN, pre–post1 ja VO₂, pre–post24h ($p=-0,857$, $R=0,007$), pnn50, pre–post1 ja VO₂, pre–post48h ($p=-0,857$, $R=0,007$), TP, pre–post1 ja VO₂, pre–post48h ($p=-0,881$, $R=0,004$), B-kuormituksessa RR, pre–post1 ja VO₂, pre–post24h ($p=-0,943$, $R=0,004$), D-kuormituksessa lf, pre–post1 ja VO₂, pre–post ($p=0,857$, $R=0,007$) ja hf, pre–post1 ja VO₂ pre–post ($p=-0,857$, $R=0,007$). Vastaavasti isometrisessä jalkaprässissä mitatun maksimivoiman ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä havaittiin 24 tilastollisesti merkitsevää ($p<0,05$) korrelaatioparia. Tilastollisesti merkittävimmät ($p<0,01$) korrelaatioparit olivat B-kuormituksessa lf, post1–post2 ja VO₂, post–post48h ($p=-0,943$, $R=0,005$), hf, post1–post2 ja VO₂, post–post48h ($p=0,943$, $R=0,005$), D-kuormituksessa pnn50, pre–post1 ja VO₂, pre–post ($p=0,905$, $R=0,002$).

Johtopäätökset. Tulokset osoittavat, että yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet heijastuvat sykemuuttujiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä sykemuuttajat olivat palanneet lähelle kuormitusta edeltävää tasoa, eikä tilastollisesti merkitseviä eroja havaittu kuormitusta edeltävän yön ja toisen kuormituksen jälkeisen yön välillä. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että tutkimuksessa käytetyt yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset olivat riittävän kuormittavia aikaansaamaan muutoksia autonomisen hermoston toiminnassa, jotka näkyivät vielä 24 tuntia kuormituksen päättymisen jälkeen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös yhdistettyjen kuormitusten aineenvaihdunnallisten ja hermolihaskäytön vasteiden yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana. Tuloksissa havaitut lukuisat tilastollisesti merkitsevät yhteydet osoittavat, että unenaikaiset sykemuuttajat heijastavat kehon palautumistilaa ja mahdollistavat harjoittelun kuormittavuuden seurannan. Kuitenkaan tutkimuksessa unenaikaisista sykemuuttujista ei erottunut selkeästi yksittäistä muuttujaa, joka olisi selkeästi muita sykemuuttujia useammin yhteydessä aineenvaihdunnalliseen tai hermolihaskäytön väsymykseen. Näin ollen tämä tutkimus osoittaa, että sykemuuttujia tulisi tulkita laajalaisesti, eikä yksittäisten sykemuuttujien perusteella tulisi tehdä pitkälle meneviä päätelmiä. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tutkia enemmän unenaikaisten sykemuuttujien yhteyksiä kehon kuormittuneisuuteen, jotta sykemuuttujien tarjoamia mahdollisuuksia voitaisiin hyödyntää entistä paremmin käytännön valmennuksessa ja harjoittelun optimoinnissa.

Avainsanat: autonominen hermosto, sykemuuttajat, sykevälivaihtelu, palautuminen, uni, yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu

KÄYTETYT LYHENTEET

HF (ms ²)	high frequency power, korkean taajuuden sykevaihtelu
HR (bpm)	heart rate, sydämen lyöntitiheys minuutissa
LF (ms ²)	low frequency power, matalan taajuuden sykevaihtelu
NREM	non-rapid eye movement, syväuni
PNN50 (%)	percentage of differences between adjacent NN intervals that are greater than 50 ms, enemmän kuin 50 ms toisistaan poikkevien RR-välien prosentuaalinen osuus
REM	rapid eye movement sleep, nopeiden silmänliikkeiden univaihe, vilkeuni
1 RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi
RMSSD (ms)	root-mean-square of differences between adjacent R-R intervals, peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu
RR (ms)	R-R intervals, sykeväli, kahden peräkkäisen sydämenlyönnin välinen aika millisekunneissa
SDNN (ms)	standard deviation of R-R intervals, sykevälien keskihajonta, varianssin neliöjuuri
TP (ms ²)	total power, kokonaissykevälivaihtelu
VLf (ms ²)	very low frequency, erittäin matalan taajuuden sykevaihtelu
VO _{2max}	volume oxygen max, maksimaalinen hapenottokyky
VO ₂	volume oxygen, oxygen consumption, hapenkulutus
vVO ₂	velocity at maximal oxygen uptake, nopeus, jolla maksimaalinen hapenottokyky saavutetaan

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 SYKEVÄLIVAIHTELUN FYSIOLOGINEN PERUSTA	3
3 SYKEVÄLIVAIHTELUN MITTAAMINEN, ANALYSOINTI JA HYÖDYNTÄMINEN URHEILUVALMENNUKSESSA.....	6
3.1 Sykevälivaihteluanalyysi aikakenttämenetelmällä	8
3.2 Sykevälivaihteluanalyysi taajuuskenttämenetelmällä	10
3.3 Sykevälivaihtelun hyödyntäminen urheiluvalmennuksessa	11
4 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU	14
4.1 Voimaharjoittelu.....	14
4.2 Kestävyysharjoittelu	15
4.3 Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu	17
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT	20
6 MENETELMÄT.....	22
6.1 Tutkittavat.....	22
6.2 Tutkimusasetelma.....	22
6.3 Aineiston keräys ja analysointi.....	24
6.4 Tilastolliset menetelmät.....	27
7 TULOKSET	28
7.1 Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet sykevälivaihteluun unen aikana 28	
7.2 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys aineenvaihdunnalliseen väsymykseen....	38
7.3 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys hermolihasjärjestelmän väsymykseen	40

8 POHDINTA.....	43
8.1 Päätulokset.....	43
8.2 Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet sykevälivaihteluun unen aikana 44	
8.3 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys aineenvaihdunnalliseen väsymykseen....	45
8.4 Unenaikaisten sykevälivaihtelun yhteys hermolihasjärjestelmän väsymykseen...	47
8.5 Onko kuormituksen jälkeisen aineenvaihdunnallisen väsymyksen yhteys sykevälivaihteluun erilainen kuin hermolihasjärjestelmän väsymyksen yhteys sykevälivaihteluun unen aikana?	49
8.6 Tutkimuksen rajoitteet.....	49
8.7 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	50
8.8 Käytännön sovellukset.....	52
9 LÄHTEET	63

LIITTEET

1 JOHDANTO

Urheiluvalmennuksessa on tavoitteena optimoida urheilijan fyysisten ominaisuuksien kehittyminen. Kehittymisen kulmakiviä ovat kova harjoittelu ja riittävä palautuminen. Jokainen yksittäinen fyysinen kuormitus horjuttaa kehon toimintoja pois tasapainosta ja aiheuttaa stressitilan ja saa fyysisen suorituskyvyn laskemaan. Palautumisvaiheessa keho pyrkii adaptoitumaan kuormituksen vaatimuksiin. Liiallinen kehon kuormittaminen johtaa ylikuormitustilaan ja suorituskyvyn heikkenemiseen, kun taas palautumisen ollessa riittävää suorituskyky nousee lähtötasoa korkeammalle. Saman fyysisen kuormituksen akuutit vasteet ja palautumisaika kuormituksesta ovat erilaisia eri yksilöillä. Kun tavoitteena on maksimoida suorituskyvyn kehittyminen, harjoittelun tulee olla yksilöllisesti rytmitettyä ja ohjelmoitua. (Bomba & Haff 2009, 15–18; Wenger & Bell 1986).

Sekä fyysinen että psyykinen kuormitus heijastuvat autonomisen hermoston toimintaan. Kuormitusten vasteet näkyvät muutoksina sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuudessa. (Guyton & Hall 2011, 115-120; Shaffer ym. 2014.) Autonomisessa säätelyssä tapahtuvia muutoksia voidaan tutkia sykevälivaihtelun avulla. Sykevälivaihtelulla tarkoitetaan sydämen lyöntien välisen ajan vaihtelua. Stressitilanteissa sykevälivaihtelu laskee, kun taas kehon palautuessa sykevälivaihtelu kasvaa. Sykevälivaihtelu on hyvin yksilöllistä, joten yleisiä viitearvoja ei voida asettaa. (Task Force 1996.)

Fyysisen kuormituksen jälkeen sykevälivaihtelu on vähäisempää minuuteista vuorokausiin. Kuormituksen vaikutus autonomisen hermoston toimintaan riippuu harjoituksen intensiteetistä ja kestosta (Kaikkonen ym. 2012; Seiler ym. 2007) sekä yksilön kokemasta kuormittuneisuudestaan (Kaikkonen ym. 2012). Seuraamalla sykevälivaihtelussa tapahtuvia muutoksia saadaan hyödyllistä tietoa palautumisprosessin etenemisestä sekä voidaan ennaltaehkäistä ylikuormitustiloja (Pichot ym. 2002). Lisäksi sykevälivaihtelua hyödyntäen ohjelmoidulla harjoittelulla on saatu parempaa kehitystä suorituskyvyssä verrattuna perinteiseen etukäteen suunniteltuun harjoitteluun (Kiviniemi ym. 2007).

Olemassa olevan kirjallisuuden perusteella tiedetään kestävyyskuormitusten (Hautala ym. 2001; Stanley ym. 2013) sekä voimakuormitusten (Chen ym. 2011; Rezk ym. 2006) vasteista sykevälivaihteluun, mutta yhdistetyistä voima- ja kestävyyskuormituksista ei ole aiempaa tutkimustietoa. Siksi tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään erilaisten yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita sykevälivaihteluun. Tämän tutkimuksen kuormitusmalleissa voima- ja kestävyysosoiden suoritusjärjestykset vaihtelivat eri kuormitusten välillä sekä kestävyysosio koostui joko intervalli- tai tasavauhtisesta kestävyyskuormituksesta, jotta saataisiin mahdollisesti uutta tietoa siitä, miten erilaiset kuormitusmallit vaikuttavat sykevälivaihteluun.

Aikaisemman tutkimustiedon perusteella näyttää siltä, että kestävyyskuormitusten jälkeen (Stanley ym. 2013) sykevälivaihtelu pysyy pidempään laskeneella tasolla kuin voimakuormitusten jälkeen (Chen ym. 2011). Siksi tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeisen aineenvaihdunnallisen ja hermolihasjärjestelmän väsymysten yhteyksiä sykemuuttujiin unen aikana.

2 SYKEVÄLIVAIHTELUN FYSIOLOGINEN PERUSTA

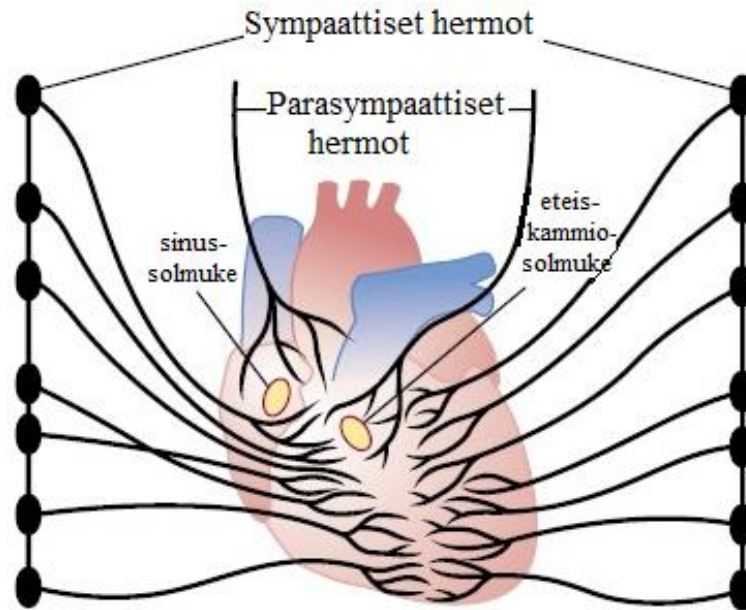
Sydän on nelionteloinen lihas, jonka tehtävänä on vastata kehon aineenvaihdunnallisiin vaatimuksiin. Sydän kostuu kahdesta erillisestä pumpusta, joista oikea puoli pumppaa verta keuhkoille ja vasen puoli periferiaan. Molemmat pumput voidaan jakaa vielä eteiseen ja kammioon. Suurista laskimoista verta virtaa jatkuvasti eteisiin. Eteisiin saapuneesta verestä noin 80 % jatkaa vielä virtaustaan suoraan kammioihin ennen eteisten supistumista. Eteisten supistuminen saa liikkeelle lopun 20 % laskimoista sydämeen virranneesta verestä. Eteiset toimivat siis sydämen pumppauksen tehostajana. Kammioiden pumppausvoimalla veri siirtyy oikeasta kammioista keuhkoverenkiertoon hapetettavaksi pieneen verenkiertoon ja vasemmasta kammioista periferiaan suureen verenkiertoon. (Guyton & Hall 2011, 101–106.)

Sydänlihas supistuu aina kokonaan. Kun yhden sydänlihassolun kynnys aktiopotentiaalille ylittyy, aktiopotentiaali leviää välittömästi kaikkiin sydänlihassoluihin ja ne supistuvat samanaikaisesti. Rymiset sähköimpulssit lähtevät sinussolmukkeesta – oikean eteisen yläosasta. Sähköimpulssit leviävät välittömästi koko sydämeen; ensin eteisjohtoratoja pitkin eteisiin ja sen jälkeen eteiskammiosolmukkeen kautta kammioihin. Eteisten ja kammioiden supistumisen välillä on 0,1 sekunnin viive, joka mahdollistaa eteisten supistumisen ennen kammioita. Molemmat kammiot supistuvat täsmälleen samanaikaisesti, jolloin sydän voi pumpata verta tehokkaasti eteenpäin. Sinussolmukkeesta lähtevä rytmi on normaalisti 70 – 80 kertaa minuutissa. Sinussolmukkeen rytmi on hallitseva sydämen tahdistajana, sillä se on muiden solmukkeiden rytmiä nopeampi. Sinussolmukkeesta lähtee uusi aktiopotentiaali ennen kuin muissa solmukkeissa ylittyy aktiopotentiaalın kynnysarvo. (Guyton & Hall 2011, 101–120.)

Sinussolmukkeen rytmiä eli sydämen lyöntitiheyttä säätelee autonominen hermosto. Autonominen hermosto pyrkii reagoimaan mahdollisimman nopeasti ja voimakkaasti kehon tasapainossa tapahtuviin muutoksiin. Autonominen säätely tapahtuu sympaattisia ja parasympaattisia hermoja pitkin, jotka lähtevät pääasiassa selkäytimen, aivorungon ja hypothalamuksen alueilta. Parasympaattiset hermot jakautuvat pääosin sinussolmukkeeseen ja eteiskammiosolmukkeeseen, kun taas sympaattiset hermot ovat levittyneet koko sydämeen

(kuva 1). Sympaattisen ja parasympaattisen hermojen aktivoitumisen vaikutukset ovat yleensä vastakkaisia. Parasympaattinen aktivaatio laskee sinusrytmiä ja heikentää eteiskammiosolmukkeen impulssinjohtavuutta vagus-hermopäätteistä erittyvän asetyylikoliinin seurauksena. Sympaattinen aktivoituminen nostaa sinusrytmiä, lisää impulssinjohtavuutta sekä parantaa sydämen supistusvoimakkuutta noradrenaliinin toimiessa välittäjäaineena. Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto ovat aktiivisina samaan aikaan toisen ollessa dominoivampi. (Guyton & Hall 2011, 115–120, Shaffer ym. 2014.)

Autonomisen säätelyn aiheuttamat muutokset sinussolmukkeen toiminnassa heijastuvat myös verenkiertoelimistön toimintaan. Levossa sydän pumppaa minuutin aikana verta noin viisi litraa, mutta raskaassa fyysisessä kuormituksessa sydämen minuuttitilavuus voi kasvaa jopa kahdeksan kertaa suuremmaksi. (Wilmore & Costil 2004, 186.) Vahva sympaattinen aktiivisuus saa minuuttitilavuuden kasvamaan kolminkertaiseksi lisäämällä sydämen lyöntitiheyttä ja supistusvoimaa. Puolestaan vahva parasympaattinen aktiivisuus voi laskea sydänlihaksen supistusvoimaa 20 – 30 % tai pysäyttää sydämen kokonaan muutamaksi sekunniksi johtuen laskeneesta sydämen supistusvoimasta ja hidastuneesta lyöntitiheydestä. Parasympaattisen aktiivisuuden vaikutus kohdistuu enemmän sydämen lyöntitiheyden kuin supistusvoiman laskuun, sillä parasympaattiset vagus-hermot jakautuvat eteisiin, eivätkä juurikaan kammioihin, joissa tehokas sydämen supistuminen tapahtuu. (Guyton & Hall 2011, 110–111, 229–232.)



KUVA 1. Sympaattisten ja parasympaattisten hermojen jakautuminen sydämeen (mukailtu Guyton & Hall 2011, 111).

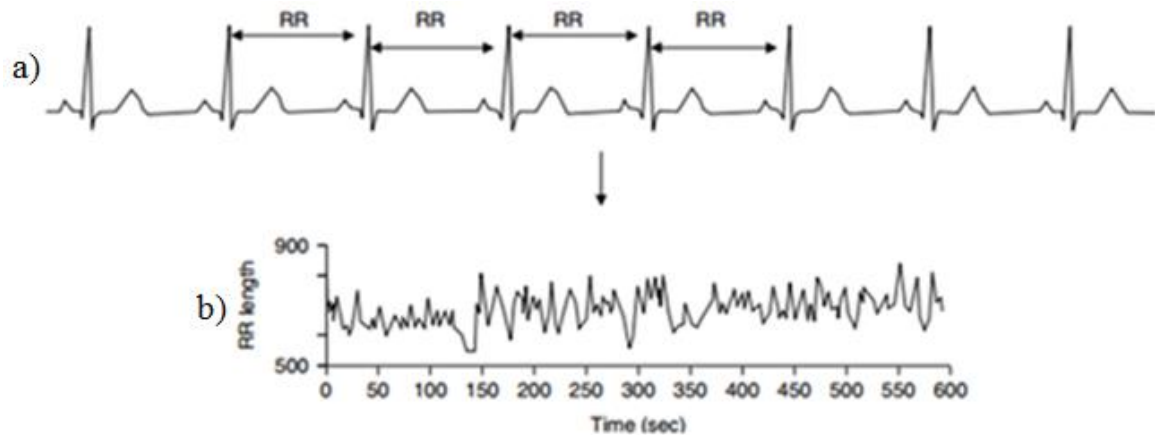
Sydämen minuuttitilavuuteen vaikuttaa autonomisen säätelyn lisäksi Frank – Starlingin laki. Lain mukaan lisääntyneen laskimopaluun myötä sydämen kammioihin kohdistuu samassa suhteessa suurentunut venytys, joka saa supistuvat komponentit – aktiini ja myosiinisäikeet – sijoittumaan optimaaliseen voimantuottokulmaan mahdollistaen supistusvoiman kasvun. Sydämen toimintaperiaatteena on aina automaattisesti pumpata eteenpäin kaikki veri, joka saapuu laskimoista oikeaan eteiseen. Fyysisessä kuormituksessa eri kudosten verenvirtaus ja minuuttitilavuus kasvavat hapenkulutuksen lisääntymisen seurauksena. (Guyton & Hall 2011, 110–111, 229–232.)

3 SYKEVÄLIVAIHTELUN MITTAAMINEN, ANALYSOINTI JA HYÖDYNTÄMINEN URHEILUVALMENNUSSESSA

Sydän ei lyö tasaisella rytmillä, vaan lyöntien väliset ajat vaihtelevat. Perättäisten lyöntien välisen ajan vaihtelua kutsutaan sykevälivaihteluksi. Sykevälivaihtelu heijastaa autonomisen hermoston toimintaa, sympaattisen ja parasympaattisen säätelyn tasapainoa. Sympaattinen aktiivisuus laskee sykevälivaihtelua ja puolestaan parasympaattinen nostaa sykevälivaihtelua. (Task Force 1996.)

Sykevälivaihtelu on hyvin yksilöllistä, joten yleisiä viitearvoja ei voida asettaa. Sykevälivaihtelumuuttujat kuvaavatkin enemmän autonomisen säätelyn astetta kuin autonomisen säätelyn absoluuttista tasoa. (Task Force 1996.) Sykevälivaihteluun vaikuttavat muun muassa perimä (Singh ym. 1999), ikääntyminen (Tulppo ym. 1998), sukupuoli (Ramaekers et al. 1998, Barantke et al. 2008), fyysinen kunto (Kaikkonen ym. 2014) sekä elintavat, kuten esimerkiksi tupakointi ja alkoholin käyttö (Uusitalo ym. 2002; Vaschillo ym. 2008). Ikääntymisen myötä sykevälivaihtelu laskee johtuen muutoksista autonomisessa hermostossa (Tulppo ym. 1998). Sukupuoli vaikuttaa siten, että alle 40-vuotiailla naisilla on havaittu matalampaa sykevälivaihtelua ja korkeampaa sympaattista aktiivisuutta kuin miehillä (Ramaekers et al. 1998, Barantke et al. 2008). Hyvä aerobinen kunto liittyy korkeaan sykevälivaihteluun (Kaikkonen ym. 2014; Tulppo ym. 1998), mutta kuitenkin tämä suhde ei ole yksiselitteinen, sillä aerobisen kunnan kehitykseen ei aina liity suurentunutta sykevälivaihtelua (Uusitalo ym. 2002).

Sykevälivaihtelun mittaaminen perustuu sydänsähkökäyrästä (EKG) valitun tietyn sydänvaiheen toistumisen mittaamiseen. Usein valitaan EKG:stä R-piikkien välinen aika (kuva 2), joka kuvaa kammioiden supistumisen alkua. (Aubert ym. 2003; Guyton & Hall 2011, 121.) R-piikkien välistä aikaa kutsutaan myös NN-intervalleiksi (normal-to-normal interval) (Task Force 1996).



KUVA 2. EKG-käyrästä mitataan R-piikkien välistä aikaa millisekunneissa (a) ja saaduista mittaustuloksista muodostetaan kuvaaja (b). RR = R-piikkien välinen aika millisekunneissa. (Aubert ym. 2003.)

Nykyään sykevälivaihtelun mittaaminen on helppoa, sillä monet kaupalliset sykemittarit osaavat mitata sitä. Jotta mittauksista saadaan luotettavia tuloksia, on erittäin tärkeää standardoida mittausolosuhteet sekä tulkita mittaustuloksia huolellisesti. (Task Force 1996.) Koska käytössä olevat mittausmenetelmät soveltuvat paremmin parasympaattisen kuin sympaattisen aktiivisuuden mittaamiseen, on mittaus hyvä suorittaa lepotilassa (Sandercock ym. 2006). Unenaikainen sykevälivaihtelun mittaus on optimaalista, sillä ulkoiset häiriötekijät ovat minimoituja sekä keho on mahdollisimman rentoutuneessa tilassa (Task Force 1996). Päiväaikaan heräillä ollessa huolet ja murheet laskevat sykevälivaihtelua, mutta unenaikaisen mittauksen aikana voidaan niiden vaikutus minimoida (Brosschot ym. 2007).

Nummela ym. (2010) ovat tutkineet unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteyttä suorituskyvyn kehittymiseen. Tutkimuksessa neljän viikon kestävyysharjoittelujakson jälkeen tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään perustuen juoksumattotestin maksimaalisen nopeuden kehittymiseen. Vaikka harjoituskuormitus oli ollut vastaava molemmilla ryhmillä, oli ero suorituskyvyn kehittämisessä merkittävä. Toisella ryhmällä juoksumattotestin maksiminopeus kehittyi noin 11 %, kun taas toisessa ryhmässä kehitys oli noin 2 %. Tutkimuksen tuloksissa havaittiin, että unenaikainen parasympaattinen aktiivisuus oli merkittävästi korkeampi

neljännellä viikolla verrattuna ensimmäiseen viikkoon enemmän suorituskykyään kehittäneellä ryhmällä. Tutkimuksen mukaan unenaikaisen sykevälivaihtelun muutokset ovat siis yhteydessä suorituskyvyn kehittymiseen. (Nummela ym. 2010.)

Uni muodostuu REM- sekä NREM-unen vaiheista, jotka vuorottelevat aaltoilemalla sykleissä. REM- eli vilkeunessa ihminen näkee unia, aivosähkökäyrä muistuttaa valvetilaa ja sympaattinen aktiivisuus on hallitsevaa. Puolestaan NREM-unen syvimmissä vaiheissa keho palautuu, kehittyy ja parasympaattinen aktiivisuus hallitsee. (Bonnet & Arand 1997; Trinder ym. 2001; Van Cauter ym. 2000.) Bunnell ym. (1983) ovat tutkineet kuormittavan harjoituksen vaikutusta unen eri vaiheisiin. Tutkimuksen mukaan kuormittavan harjoituksen jälkeen NREM-syvän unen osuus lisääntyy ja REM-unen osuus vähenee merkittävästi. Lisäksi ensimmäisen REM-unen vaihe ajoittuminen viivästyi tavallista myöhemmäksi ja oli kestoltaan tavallista lyhyempi. Tutkimuksessa havaittiin myös, että kuormittavan harjoituksen vaikutus kohdistuu erityisesti unen ensimmäisiin vaiheisiin. (Bunnell ym. 1983.) Hall ym. (2004) mukaan psyykinen stressi laskee parasympaattista aktiivisuutta sekä NREM- että REM-unessa ja sympaattinen aktiivisuus lisääntyy NREM-unessa. Tutkimuksen mukaan stressi heikentää unenlaatua, sillä syvän unen määrää vähenee. (Hall ym. 2004.) Urheilijalle saattaa muodostua kilpailutilanteesta stressitekijä, jolloin autonomisen hermoston toiminta muuttuu jo päiviä ennen kilpailusuoritusta (Hynynen ym. 2010).

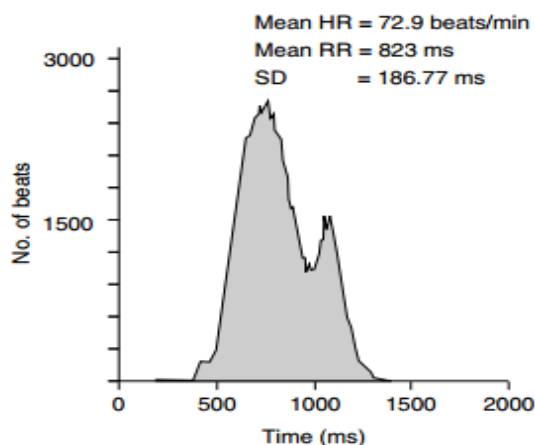
Sykevälivaihtelumittauksista kerättyä dataa voidaan analysoida joko aikakenttä- tai taajuuskenttämenetelmällä. Aikakenttämenetelmässä sykevälivaihtelua tutkitaan ajanfunktiona, kun taas taajuuskenttämenetelmässä sykevälivaihtelu muutetaan algoritmeilla taajuusalueisiin, jotka heijastelevat joko sympaattista tai parasympaattista säätelyä. Näiden eri menetelmien muuttujien on havaittu korreloivan keskenään 24 tunnin mittauksissa. (Task Force 1996.)

3.1 Sykevälivaihteluanalyysi aikakenttämenetelmällä

Aikakenttämenetelmä on yksinkertainen tilastomatematiikkaan pohjautuva menetelmä, jossa kerätään tietoa sykkeestä tietynä ajanhetkenä tai ajasta perättäisten NN-intervallien välillä.

Aikakenttämenetelmä soveltuu erityisen hyvin pitkäkestoisiin mittauksiin, joissa mittausaika on vähintään 18 tuntia. Koska mittausaika on pitkä, voidaan mittaustulokset analysoida joko koko keräysjaksolta tai jaettuna lyhytkestoisempiin alueisiin. Mittaustiedon jakaminen osiin mahdollistaa esimerkiksi päivän- ja unenaikaisten sykevälivaihtelumuuttujien vertailun. (Task Force 1996.)

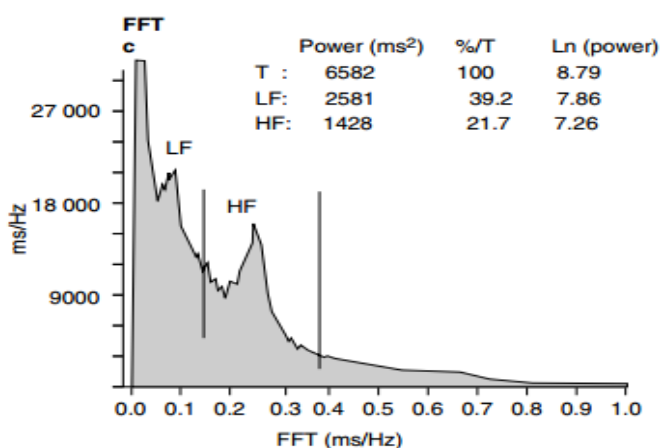
Aikakenttämenetelmässä yleisimpiä sykevälivaihtelun kuvaamiseen käytettyjä muuttujia ovat sykevälien keskihajonta eli varianssin neliöjuuri (SDNN), perättäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD) ja yli 50 ms kestävien sykevälien prosentuaalinen osuus (pNN50). Mittausjakson pituus on tärkeää standardoida vakioksi, sillä joidenkin muuttujien arvot ovat suhteessa mittausaikaan. Tällainen muuttuja on esimerkiksi sykevälivaihtelun kokonaisvariaatio, joka saa suurempia arvoja mittausajan pidentyessä. (Task Force 1996.) Kuvassa 3 on esimerkki aikakenttäänalyysistä 24 tunnin mittauksesta.



KUVA 3. Sykevälivaihtelun aikakenttäänalyysi 24 tunnin mittauksesta. Histogrammin piikki noin 750 ms kohdalla kertoo päivän keskisykkeen ja toinen piikki noin 1100 ms kohdalla kertoo yön keskisykkeen. Mean HR = sykkeen keskiarvo, mean RR = sykevälivaihtelun keskiarvo, SD = sykevälivaihtelun keskihajonta. (Aubert ym. 2003.)

3.2 Sykevälivaihteluanalyysi taajuuskenttämenetelmällä

Taajuuskenttämenetelmä on tarkempi erittelemään autonomisen hermoston toiminnassa tapahtuvia muutoksia kuin aikakenttämenetelmä. Taajuuskenttämenetelmässä sykevälivaihtelusta kerätty data muunnetaan algoritmien avulla eri taajuusalueisiin, joita ovat korkeataajuinen (HF, high frequency 0,15 – 0,40 Hz), matalataajuinen (LF, low frequency 0,04 – 0,15 Hz) sekä erittäin matalataajuinen (VLF, very low frequency < 0,04 Hz). Lisäksi taajuusalueiden vaihtelusta voidaan laskea kokonaissykevälivaihtelu (TP = HF + LF) sekä matalataajuisen ja korkeataajuisen vaihtelun suhde (LF/HF). Taajuusalueiden HF-komponentti kuvaa parasympaattista aktiivisuutta. LF-komponentista on ristiriitaista tietoa, mutta siihen vaikuttanee sekä sympaattinen että parasympaattinen aktiivisuus. LF/HF-suhde kuvaa sympaattisen ja parasympaattisen hermoston säätelyn tasapainoa. Saadut tulokset voidaan ilmaista joko absoluuttisina arvoina (ms^2) tai normalisoituna, jolloin eri taajuuskomponenteille lasketaan suhteellinen osuus kokonaissykevälivaihtelusta ja vähennetään VLF-komponentti. (Task Force 1996.) Taajuuskenttämenetelmä soveltuu erityisen hyvin lyhytkestoisiin mittauksiin, joissa syke pysyy suhteellisen tasaisena. Suuret vaihtelut syketiheydessä mittausjaksolla voivat johtaa virhetulkintoihin. (Task Force 1996.) Kuvassa 4 on esimerkki taajuuskenttäanalyysistä 24 tunnin mittauksesta.



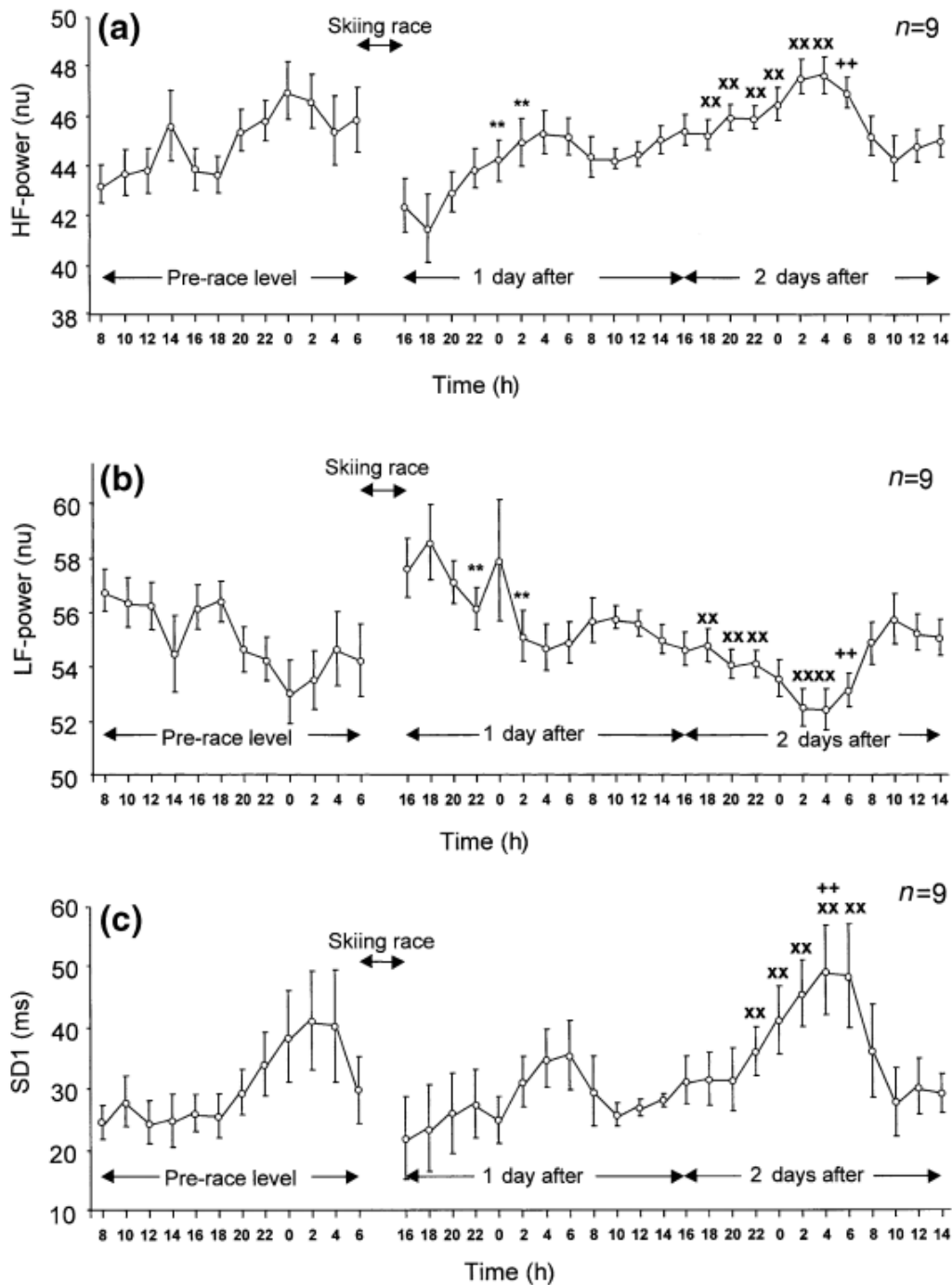
KUVA 4. Sykevälivaihtelun taajuuskenttäanalyysi 24 tunnin mittauksesta. T = kokonaissykevälivaihtelu, LF = matalan taajuuden sykevaihtelu, HF = korkean taajuuden sykevaihtelu, Ln = sykevälivaihtelu normalisoituna. (Aubert ym. 2003.)

3.3 Sykevälivaihtelun hyödyntäminen urheiluvalmennuksessa

Urheiluharjoitus saa aikaan muutoksia autonomisen hermoston toiminnassa. Harjoituksen jälkeen autonomisen hermoston palautuminen riippuu harjoituksen intensiteetistä ja kestosta (Kaikkonen ym. 2012; Seiler ym. 2007) sekä yksilön kokemasta kuormittuneisuudestaan (Kaikkonen ym. 2012). Hynysen ym. (2010) mukaan kuormitus aiheuttaa autonomisessa säätelyssä annos-vastesuhteen mukaisen muutoksen. Sykevälivaihtelu laskee sitä enemmän, mitä rasittavampi kuormitus on ollut. (Hynynen ym. 2010.)

Seilerin ym. (2007) mukaan laktaattikynnyksellä ja sen yläpuolella suoritettu fyysinen kuormitus laskee parasympaattista aktiivisuutta merkittävästi enemmän verrattuna alle laktaattikynnyksen tehtyihin kuormituksiin. Laktaattikynnyksen ylittävät kuormitukset eivät laske parasympaattista aktiivisuutta enempää laktaattikynnyksellä tehdyt kuormitukset. (Seiler ym. 2007.) Kaikkonen ym. (2010) havaitsivat kuormitusten intensiteetin vaikuttavan autonomisen hermoston säätelyyn enemmän kuin harjoituksen keston. Stanley ym. (2013) ovat keränneet tietoa autonomisen hermoston palautumisajoista kahdeksasta eri tutkimuksesta yhdeksäntoista eri kuormituksen jälkeen. Parasympaattinen aktiivisuus palautuu lähelle kuormitusta edeltänyttä tasoa 90 minuutin kuluessa laktaattikynnyksen alapuolella ja – kynnyksellä suoritetuista kuormituksissa. Laktaattikynnyksen alapuolelle sijoittuvista kuormituksista täydellinen palautuminen vie enintään 24 tuntia ja laktaattikynnykselle sijoittuvista kuormituksista 24 – 48 tuntia. Erittäin kovatehoisista kuormituksista autonomisen hermoston palautuminen vie vähintään 48 tuntia. (Stanley ym. 2013.)

Hautala ym. (2001) ovat tutkineet pitkäkestoisien maksimaalisen kuormituksen jälkeisiä muutoksia autonomisessa säätelyssä. Heidän tutkimuksessaan kymmenen kohtuullisesti fyysisesti aktiivisista mieshenkilöä hiihtivät 75 kilometrin maastohiitokilpailun. Sykevälivaihtelumuuttujia mitattiin 24 tuntia ennen sekä 48 tuntia kilpailun jälkeen. Tulokset osoittivat, että parasympaattinen säätely laski kuormituksen jälkeen merkittävästi ja palasi kuormitusta edeltäneelle tasolle vasta toisena kuormituksen jälkeisenä päivänä (kuva 5). (Hautala ym. 2001.)



KUVA 5. Pitkäkestoisen maksimaalisen suorituksen vaikutukset sykevälivaihtelumuuttujiin kahden vuorokauden ajalta. A) muutokset korkea taajuisessa vaihtelussa, B) muutokset matala taajuisessa vaihtelussa C) muutokset sykevälivaihtelussa. HF power (nu)= korkean taajuuden sykevaihtelu normalisoituna, LF power (nu) = matalan taajuuden sykevaihtelu normalisoituna, SD1 = sykevälivaihtelun keskihajonta millisekunneina. (Hautala ym. 2001.)

Kehon kuormittuneisuuden sekä palautuneisuuden yhteys autonomisen hermoston toimintaan ja sen myötä myös sykevälivaihteluun mahdollistaa urheiluvalmennuksessa harjoittelunohjelmoinnin yksilöllisesti ja optimaalisesti. Viikon pääharjoitukset voidaan suorittaa palautuneessa tilassa sekä välttää ylikuormitustiloja, kun harjoittelua ohjelmoidaan sykevälivaihtelulla. (Pichot ym. 2002.) Kiviniemi ym. (2007) ovat havainneet tutkimuksessaan, että neljän viikon sykevälivaihtelulla ohjelmoitu harjoittelu kehitti maksimaalista hapenottokykyä sekä juoksumattotestin maksiminopeutta enemmän kuin perinteinen etukäteen suunniteltu harjoittelu. Tutkimuksessa sykevälivaihtelulla ohjelmoidun harjoittelun päivän harjoituskuormitus määräytyi aamun ortostaattisen kokeen tuloksien perusteella. Kun sykevälivaihtelun HF-komponentin arvon laski merkittävästi, harjoittelua kevennettiin. (Kiviniemi ym. 2007.)

Sykevälivaihtelumittaus mahdollistaa myös tulevan harjoitusvasteen ennakkoinnin. Hautalan ym. (2003) mukaan erityisesti unenaikainen korkea parasympaattinen aktiivisuus ennustaa parempaa harjoitusvastetta verrattuna matalampaan parasympaattiseen aktiivisuuteen. Vastaavia tuloksia on havaittu Vesterisen ym. (2013) tutkimuksessa, jossa tutkittiin kestävyysurheilijoilla tulevan harjoitusvasteen ennustettavuutta sykevälivaihtelun avulla. Tutkimuksessa oli mukana 28 mieskestävyysurheilijaa, jotka suorittivat 28 viikon harjoittelujakson. Ensimmäisellä 14 viikolla painotus oli perusharjoittelussa ja seuraavalla kovatehoisessa harjoittelussa. Unen aikaista sykevälivaihtelua mitattiin ennen ja jälkeen harjoitusjaksoja kolmena peräkkäisenä yönä. Tulokset osoittivat, että harjoitusjaksoa edeltävä sykevälivaihtelu on yhteydessä kovatehoisella harjoittelujaksolla kehittymiseen. Matalatehoisella harjoitusjaksolla ei tapahtunut merkittäviä muutoksia sykevälivaihtelumuuttujissa. Tutkimuksen mukaan muutokset autonomisessa säätelyssä edellyttävät kohtuutehoista tai raskasta harjoittelua. Tutkimuksessa korkea sykevälivaihtelu ennusti hyvää harjoitusvastetta ja matala sykevälivaihtelu puolestaan heikompaa harjoitusvastetta. (Vesterinen ym. 2013.)

4 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU

Voima- ja kestävyysominaisuudet ovat tärkeitä useimmissa urheilulajeissa. Haasteena kuitenkin on, että voima- ja kestävyyskuormitusten harjoitusvasteet ovat suurelta osin vastakkaisia (Hickson 1980; Wilson ym. 2012). Kestävyysharjoittelun tavoitteena on ensisijaisesti kehittää sydän- ja verenkiertoelimistön toimintaa sekä kestävyysuorituskykyä, kun taas voimaharjoittelun tavoitteena on kehittää lihaksen voiman ja tehon tuottoa (Mrowczynski & Lochynski 2014; Nader 2006).

4.1 Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelun tavoitteena on kehittää lihaksen voimantuottokapasiteettia ja sen vaikutus kohdistuu hermoston, lihassolukkoon, elastisiin osiin, hermostolliseen ja hormonaaliseen säätelyyn (Hickson 1980; McArdle 2001, 509). Voimaharjoittelun alkuvaiheessa lihasvoiman kasvu selittyy muutoksilla hermostollisissa tekijöissä. Hermoston kyky aktivoida lihaksia kehittyy lihasten motoristen yksiköiden käskytystiheyden kasvun ja samanaikaisemman rekrytoinnin seurauksena. Näiden lisäksi hermoston inhibitorinen vaikutus vähenee sekä vaikuttaja- ja vastavaikuttajalihaksen yhteistoiminta tehostuu. Muutosten myötä lihakset kykenevät tuottamaan voimaa tehokkaammin ja maksimaalisemmin. Myöhemmin tapahtuvat voimaharjoittelun adaptaatiot selittyvät puolestaan lihaksien rakenteellisilla muutoksilla. Yksittäisien lihassolujen koko kasvaa johtuen myofibrillien, aktiini- ja myosiinifilamenttien, sarkoplasman ja tukikudoksen kasvusta. (Folland & Williams 2007; Moritani & deVries 1979; Wilmore & Costil 2004, 228-231.)

Voimaharjoittelu voidaan jakaa nopeusvoimaan, kestovoimaan ja maksimivoimaan harjoituksen toteutustavan perusteella. Voimaharjoittelun vasteet ovat spesifejä valitulle harjoituksen toteutustavalle. Harjoitusvaste riippuu käytetystä kuormasta, sarjojen sekä toistojen määrästä ja palautuksen kestosta. Suurta hermolihasarjestelmän aktiivisuutta vaativat kuormitukset aiheuttavat suurempaa väsymystä verrattuna matalaa voimantuottoa vaativiin kuormituksiin. Voimakuormituksen aiheuttama väsymys voi olla joko sentraalista tai perifeeristä. Sentraalisessa väsymyksessä hermolihasarjestelmän kyky aktivoida lihaksia on

heikentynyt. Perifeerinen väsymys näkyy lihassolujen supistusvoiman laskuna johtuen häiriöistä aktiopotentiaalien muodostumisessa tai välittyemisessä. Kuormituksen aiheuttama väsymys näkyy alentuneena maksimivoimana ja voimantuottonopeuden hidastumisena. (Komi & Tesch 1979; Peltonen ym. 2012)

Voimaharjoitus aiheuttaa muutoksia autonomisen hermoston toiminnassa. Chen ym. (2011) ovat tutkineet painonnostajien kahden tunnin voimakuormituksen vaikutusta sykevälivaihtelumuuttujiin. Tutkimuksen voimakuormitus oli rankka, nosti lihasten kreatiinikinaasitason nelinkertaiseksi ja aiheutti pitkittynyttä lihaskipua (DOMS). Tulokset osoittivat, että parasympaattinen aktiivisuus oli laskeneella ja sympaattinen aktiivisuus kohonneella tasolla kolme tuntia kuormituksen päättymisen jälkeen. Autonomisen hermoston toiminta palasi kuormitusta edeltäneelle tasolle viimeistään 24 tunnin kuluessa kuormituksen päättymisestä ja nousi kuormitusta edeltäneen tason yläpuolelle 48–72 tunnin kuluessa. Tutkimuksen mukaan parasympaattinen aktiivisuus kuvastaa hyvin palautumisen tilaa voimakuormituksesta. (Chen ym. 2011.)

Figueiredo ym. (2015) ovat tutkineet voimaharjoituksen eri kuormien – 60 %, 70 % ja 80 % yhdentoiston maksimista (1RM) – vaikutusta sykevälivaihteluun. Tulokset osoittivat, että sykevälivaihtelussa ei ollut merkittävää eroa eri kuormituksilla. Kaikkien kolmen eri kuormituksen jälkeen havaittiin merkittävää kasvua sympaattisessa aktiivisuudessa ja laskua parasympaattisessa aktiivisuudessa. Myös Rezk ym. (2006) tutkimuksessa on havaittu vastaavia tuloksia. Heidän tutkimuksessaan voimakuormitus suoritettiin 40 % ja 80 % 1RM-kuormilla. Tuloksissa havaittiin, että voimakuormitusten jälkeen parasympaattinen aktiivisuus laski ja sympaattinen aktiivisuus kasvoi, mutta kuormitusten välillä ei havaittu eroa. Parasympaattinen aktiivisuus oli laskeneena 20–75 minuuttia kuormituksen jälkeen. (Rezk ym. 2006.)

4.2 Kestävyysharjoittelu

Kestävyydellä tarkoitetaan lihasten kykyä vastustaa väsymystä – ylläpitää tiettyä tehoa tai nopeutta mahdollisimman pitkään. Kestävyys on merkittävä ominaisuus suorituksissa, joiden

kesto ylittää kaksi minuuttia. Kestävyysharjoittelun tavoitteena on parantaa yksilön suorituskykyä, jolloin yksilö kestää tiettyä harjoituskuormaa ajallisesti kauemmin tai voi suorittaa sen suuremmalla intensiteetillä. (Jones & Carter 2000; Wilmore & Costil 2004, 273–274.) Kestävyys suorituskykyyn vaikuttavat maksimaalinen hapenottokyky, suorituksen taloudellisuus, laktaattikynnys ja hapenoton kinetiikka. (Jones & Carter 2000).

Kestävyysharjoittelun vasteet kohdistuvat hengitys- ja verenkiertoelimistön sekä hermo- lihasjärjestelmän toimintaan. Kestävyysharjoittelun myötä kudosten kyky käyttää happea ja maksimaalinen hapenottokyky kehittyvät. Kudosten kyky käyttää happea paranee, sillä lihasten hiussuonitus, mitokondrioiden määrä sekä koko sekä valtimoiden ja laskimoiden välien happiero kasvavat sekä entsyymien laatu muuttuu. (Mrowczynski & Lochynski 2014; Vollaard ym. 2009.) Maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymien selittyy sydämen iskutilavuuden sekä minuuttitulavuuden kasvulla, jotka liittyvät sydänlihaksen koon ja supistusvoiman kasvuun. (Holloszy & Coyle 1984; Spina 1999). Maksimaalinen hapenottokyky on tärkeä kestävyys suorituskyvyn kannalta, sillä se määrittelee kestävyys suorituksen intensiteetille ylärajan eli maksimaalisen tehon, jolla happea voidaan kuljettaa ja hyödyntää. Kuitenkaan maksimaalinen hapenottokyky ei erottele eri yksilöiden suorituskykyjä, sillä vaikka maksimaalinen hapenottokyky olisi sama, yksilöiden välillä voi olla eroja selittyen erilaisella suorituksen taloudellisuudella. (Basset 2000; Holloszy & Coyle 1984.)

Kestävyyttä voidaan harjoittaa tasavauhtisilla tai intervallityyppisillä kuormituksilla. Helgerud ym. (2007) havaitsivat, että kovatehoinen intervalliharjoittelu kehittää maksimaalista hapenottokykyä paremmin kuin tasavauhtinen harjoittelu, vaikka harjoituksien työmäärä on vakioitu samaksi molempiin kuormituksiin. Tämä selittynee sydämen iskutilavuuden kasvulla intervalliharjoittelun myötä. Mourot ym. (2004) mukaan tasavauhtisen ja intervallikuormituksen vasteet autonomisen hermoston toimintaan ovat erilaisia, vaikka työmäärä on vastaava molemmissa kuormituksissa. Kuormituksen jälkeen sykevälivaihtelu on kauemmin laskeneella tasolla intervallikuormituksen jälkeen verrattuna tasavauhtiseen kuormitukseen. Kaikkonen ym. (2012) ovat vertailleet erilaisten intervallikuormitusten vasteita sykevälivaihteluun. Tutkimukseen osallistui 13 kestävyysharjoittelutta miesurheilijaa, jotka juoksivat erilaisia intensiteetin sekä keston

intervallikuormituksia. Tulokset osoittivat, että kuormituksen jälkeinen sykevälivaihtelu oli yhteydessä intervalliharjoituksen työmäärään. Mitä suurempi harjoituskuormitus oli, sitä enemmän sykevälivaihtelu laskee kuormituksen jälkeen. (Kaikkonen ym. 2012.)

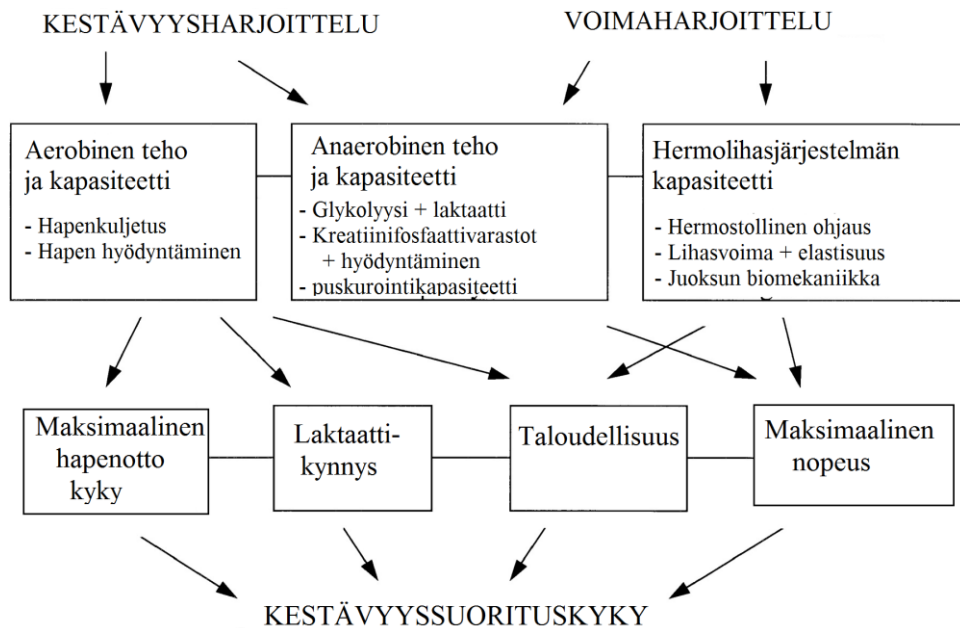
Pitkäaikainen kestävyysharjoittelu saa aikaan muutoksia autonomisen hermoston toiminnassa. Sykevälivaihtelu ja parasympaattinen aktiivisuus kasvavat ja sympaattinen aktiivisuus laskee levossa. Lisäksi leposyke sekä tietyn kuormitustason syke laskevat kestävyysharjoittelun myötä. (Carter ym. 2003.)

4.3 Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu

Kestävyysurheilijoille on tutkitusti hyötyä yhdistetystä voima- ja kestävyysharjoittelusta selittyen muutoksilla hermostollisissa, rakenteellisissa ja aineenvaihdunnallisissa tekijöissä. Yhdistetty harjoittelu parantaa lihasaktiivisuutta, maksimaalista voimantuottoa, voiman tuottonopeutta, jotka mahdollistavat suhteellisesti matalamman voimantuottovaatimuksen suorituksessa. Lisäksi tarvittava voima kyetään tuottamaan nopeammin, jolloin suoritus on taloudellisempi ja väsyminen viivästyy. (Hoff ym. 2002; Paavolainen ym. 1999.) Myös glykogeenivarastot suurenevat sekä aerobinen että anaerobinen kapasiteetti kehittyvät yhdistetyn harjoittelun myötä mahdollistaen väsymyksen viivästymisen sekä paremman loppukirin (Aagaard & Andersen 2010; Mikkola ym. 2007). Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ei ole havaittu häiritsevän maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymistä (Hicksonin 1980; Rønnestadin ym. 2011).

Paavolainen ym. (1999) ovat tutkineet yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutusta viiden kilometrin juokсутestiaikaan. Heidän tutkimuksessa oli mukana 12 kestävyysurheilutaustaista mieshenkilöä, jotka harjoittelivat 9 viikkoa. Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään, jotka harjoittelivat ajallisesti saman verran, mutta toinen ryhmä teki voimaharjoituksia merkittävästi enemmän. Toisella ryhmällä voimaharjoittelua oli 32 % harjoitteluohjelmasta ja toisella puolestaan 3 % harjoitteluohjelmasta. Tulokset osoittivat, että viiden kilometrin aika kehittyi enemmän voimaharjoittelua sisältäneen harjoitteluohjelman tutkittavilla. Ryhmien välinen ero viiden kilometrin juoksuajassa oli merkittävä.

Maksimaalinen hapenottokyky tai aerobinen kapasiteetti eivät kehittyneet kummallakaan ryhmällä. Tutkimuksen mukaan yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu kehittää hermostolihasjärjestelmän toimintaa siten, että lihaksen tehontuotto sekä taloudellisuus kehittyvät. (Paavolainen ym. 1999.) Kuvassa 6 on eritelty kestävyys harjoittelun ja voimaharjoittelun vasteiden yhteys kestävyys suorituskykyyn.



KUVA 6. Kestävyys harjoittelun ja voimaharjoittelun vasteiden yhteys kestävyys suorituskykyyn (mukailtu Paavolainen ym. 1999).

Voimaurheilijalle yhdistetystä voima- ja kestävyys harjoittelusta voi olla jopa haittaa, sillä yhdistetty harjoittelu saattaa hidastaa lihasvoiman ja tehon kehittymistä verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (Hickson 1980). Kuitenkin Häkkinen ym. (2003) havaitsivat tutkimuksessaan, ettei yhdistetty voima- ja kestävyys harjoittelu häiritse lihasmassan ja lihasvoiman kehittymistä vähäisillä harjoitus määrillä. Tutkimuksessa voimaharjoittelu jakso kesti 21 viikkoa ja sisälsi 2 raskasta tai maksimaalista voimaharjoitusta viikossa. Voiman kehittymisessä ei ollut eroa voimaharjoitteluryhmän ja yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoitteluryhmän välillä, jolloin matalalla harjoitus määrällä voidaan saavuttaa

vastaavia tuloksia yhdistetyllä voima- ja kestävyys sekä pelkällä voimaharjoittelulla. (Häkkinen ym. 2003.)

Karavirta ym. (2013) ovat tutkineet yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutusta autonomiseen säätelyyn. Heidän tutkimuksessaan oli mukana 90 aikaisemmin harjoittelematonta 40 – 65-vuotiasta naishenkilöä, jotka jaettiin neljään harjoitteluryhmään – kestävyys-, voima-, yhdistetty harjoittelu- sekä kontrolliryhmä. Ryhmät harjoittelivat 21 viikkoa. Tulokset osoittivat, että kestävyysryhmällä harjoittelun jälkeen parasympaattinen säätely kasvoi johtaen sykkeen laskuun submaksimaalisilla kuormilla harjoitusjakson aikana. Puolestaan voimaryhmällä ja yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoitteluryhmällä ei havaittu vastaavia muutoksia sykemuuttujissa. (Karavirta ym. 2013.)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vastetta sykevälivaihteluun unen aikana. Lisäksi selvitettiin yhdistettyjen kuormitusten jälkeisen aineenvaihdunnallisen ja hermolihasjärjestelmän väsymyksen yhteyksiä sykemuuttujiin unen aikana.

ONGELMA 1. Vaikuttaako yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset sykevälivaihteluun unen aikana?

HYPOTEESI 1. Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteena sykevälivaihtelu sekä parasympaattinen aktiivisuus ovat laskeneella tasolla unen aikana.

PERUSTELU 1. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että sekä voima- (Chen ym. 2011) että kestävyyskuormitusten (Stanley ym. 2013) jälkeen sykevälivaihtelu ovat laskeneella tasolla. Stanleyn ym. (2013) havaitsivat meta-analyysissä, että matalan intensiteetin kuormituksista täydellinen palautuminen vie enintään 24 tuntia, laktaattikynnykselle sijoittuvista kuormituksista 24 – 48 tuntia ja erittäin kovatehoisista kuormituksista vastaavasti vähintään 48 tuntia. Hynysen ym. (2010) mukaan kestävyyskuormitukset muuttavat autonomista säätelyä annos-vastesuhteen mukaisesti, jolloin sykevälivaihtelu laskee sitä enemmän, mitä rasittavampi kuormitus on ollut. Seilerin ym. (2007) mukaan erityisesti laktaattikynnyksellä tai sen yläpuolella tehty kuormitus laskee sykevälivaihtelua merkittävästi ja viivästyttää autonomisen hermoston palautumista. Laktaattikynnyksen alapuolelle sijoittuvista kuormituksista palautuminen tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin sen ylittävistä kuormituksista. (Seiler ym. 2007.) Voimakuormitusten jälkeen parasympaattinen aktiivisuus on laskeneella ja sympaattinen aktiivisuus kohonneella tasolla. Autonomisen hermoston toiminta palautuu kuormituksesta viimeistään 24 tunnin kuluessa ja nousee kuormitusta edeltäneen tason yläpuolelle 48–72 tunnin kuluessa. (Chen ym. 2011.)

ONGELMA 2. Onko kuormitusten jälkeisellä aineenvaihdunnallisella väsymyksellä yhteyttä sykevälivaihteluun unen aikana?

HYPOTEESI 2. Aineenvaihdunnallisella väsymyksellä on yhteys sykevälivaihteluun unen aikana.

PERUSTELU 2. Erittäin kovatehoinen maksimaalinen kestävyyskuormitus aiheuttaa muutoksia sykemuuttujissa unen aikana (Hautala ym. 2011). Hynysen ym. (2010) mukaan kuormitus aiheuttaa autonomisessa säätelyssä annos-vastesuhteen mukaisen muutoksen. Sykevälivaihtelu laskee sitä enemmän, mitä rasittavampi kuormitus on ollut. (Hynynen ym. 2010.)

ONGELMA 3. Onko hermolihasjärjestelmän väsymyksellä yhteyttä sykevälivaihteluun unen aikana?

HYPOTEESI 3. Hermolihasjärjestelmän väsymyksellä on yhteys sykevälivaihteluun unenaikana.

PERUSTELU 3. Voimakuormitusten jälkeen parasympaattinen aktiivisuus laskee ja sympaattinen aktiivisuus kasvaa (Figueiredo ym. 2015; Rezk ym. 2006). Chen ym. (2011) tutkimuksessa rankasta voimakuormituksesta, joka aiheutti pitkittynyttä lihaskipua (DOMS) autonomisen hermoston palautuminen kuormitusta edeltävälle tasolle tapahtui 24 tunnin kuluessa (Chen ym. 2011).

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 11 miestä, joilla oli vähintään vuoden kestävyysharjoittelutausta ja jotka olivat iältään 20–40 vuotta. Kaikki tutkittavat olivat terveitä ja osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti. Poissulkukriteereinä olivat tulehdukselliset sairaudet, respiratoriset ja kardiovaskulaariset sairaudet, jotka haittaavat kuormitusta ja harjoittelua, hoitamaton malingisairaus sekä kooperaatiota haittaava psykiatrinen sairaus tai päihteiden käyttö. Tutkittavien taustatiedot on taulukossa 1. Tutkimuksella on Jyväskylän yliopiston Eettisen toimikunnan antama hyväksyvä lausunto.

TAULUKKO 1. Tutkittavien keskimääräinen ikä, pituus, paino, painoindeksi, maksimaalinen hapenotto kyky ja keskihajonnat.

	Ikä \pm SD (vuotta)	Pituus \pm SD (cm)	Paino \pm SD (kg)	Painoindeksi \pm SD (m/kg^2)	VO _{2max} \pm SD (ml/kg/min)
Kestävyysharjoittelu- taustaiset mieshenkilöt (n=11)	31 \pm 7	174 \pm 4	72 \pm 7	23 \pm 2	51 \pm 3

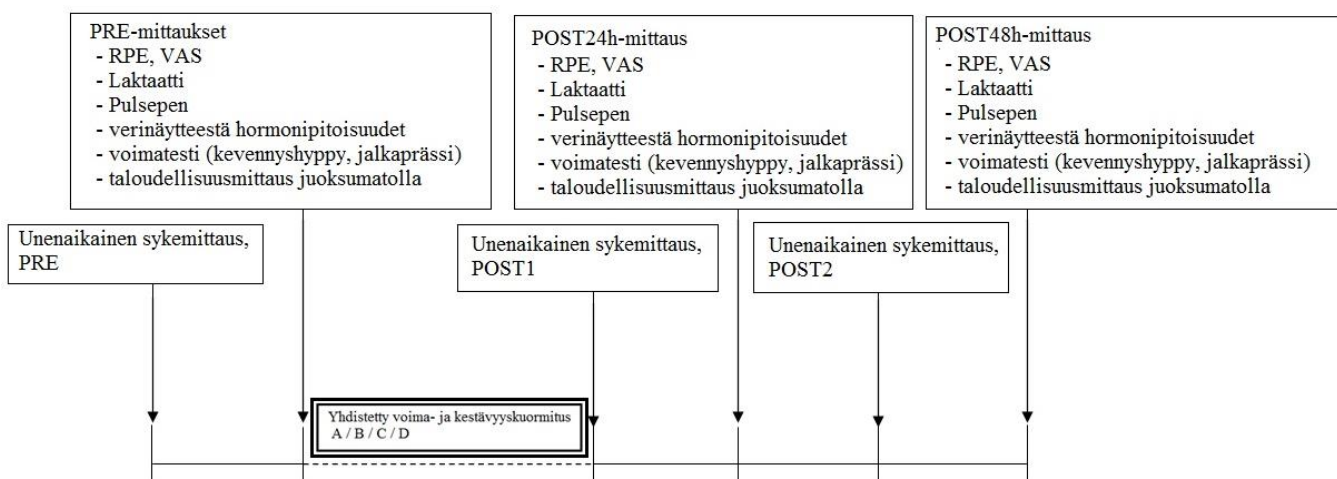
6.2 Tutkimusasetelma

Tämä tutkimus oli osa Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen Keijo Häkkisen johtamaa tutkimusta, jossa tutkittiin yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten akuutteja vasteita ja palautumista. Tutkimuksessa oli sekä voimaharjoittelu- että kestävyysharjoittelutaustaisten tutkittavien ryhmät. Tämä tutkimus keskittyy kestävyysharjoittelutaustaisten suorittamiin yhdistettyihin voima- ja kestävyyskuormituksiin.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita sykevälivaihteluun unen aikana. Yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset voidaan nähdä

taulukosta 2. Yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset olivat yksittäisiä, eikä tutkimukseen liittynyt harjoitusjaksoa. Yhdistettyjen kuormitusten vasteita sykevälivaihteluun mitattiin kahdelta peräkkäiseltä yöltä kuormituksen jälkeen (kuva 7).

Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeisen aineenvaihdunnallisen ja hermolihasjärjestelmän väsymyksen yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana. Aineenvaihdunnallisen väsymyksen mittarina tässä tutkimuksessa käytettiin juoksun taloudellisuustestissä mitattua hapenkulutusta. Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita hermolihasjärjestelmän toimintaan seurattiin mittaamalla isometrisessä jalkaprässissä maksimaalista voimantuottoa. Molemmat mittaukset suoritettiin kahtena peräkkäisenä päivänä kuormituksen jälkeen (kuva 7).



KUVA 7. Tutkimusasetelma aikajanalla kuvattuna. Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita aineenvaihduntaan ja hermolihasjärjestelmään seurattiin kuormituksen jälkeen kahtena peräkkäisenä päivänä. Vastaavasti sykevälivaihtelua mitattiin kahdelta peräkkäiseltä yöltä kuormituksen jälkeen.

6.3 Aineiston keräys ja analysointi

Mittaukset ennen tutkimusprojektin alkua. Tutkimusmittaukset alkoivat vuoden 2015 syyskuussa ja kestivät toukokuulle 2016. Ennen tutkimusprojektin alkua tutkittavilta otettiin sydänsähkökäyrä (EKG) mahdollisten sydänsairauksien tunnistamiseksi. Lisäksi tutkittavat suorittivat juoksumatolla suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin. Maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä mitattiin hengityskaasuja, laktaatteja ja sykettä. Näiden pohjalta määriteltiin tutkimuksen yhdistettyihin kuormituksiin kestävyysosioihin tehoalueet, jotta kestävyysosioiden suhteellinen intensiteetti olisi sama kaikille tutkittaville. Lisäksi ennen tutkimusprojektia tutkittavat suorittivat maksimivoimatestejä. Isometristä maksimivoimaa ja tehoa mitattiin jalkaprässissä ja dynaaminen maksimivoimaa mitattiin jalkaprässissä. Jokainen voimatesti koostui 3–5 maksimaalisesta yrityksestä. Maksimivoimatesteistä määriteltiin tutkimuksen yhdistettyihin kuormituksiin voimaosioihin kuormat suhteellisesti yhtä suuriksi tutkittaville. Ennen tutkimuksen alkua mitattiin tutkittavilta antropometriset muuttujat (paino, kehonkoostumus ja pituus).

Kuormitusmittaukset. Tutkittavat suorittivat neljä erillistä kuormitusta, jotka sisälsivät sekä voima- että kestävyysosioita. Voima- ja kestävyysosioiden suoritusjärjestykset vaihtelivat eri kuormitusten välillä. Voimaosiot koostuivat räjähtävää voimantuottoa vaativista nopeusvoimaharjoitteista, esimerkiksi loikista. Kestävyysosiot koostuivat joko intervalli- tai tasavauhtisesta kuormituksesta. Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten tarkat tiedot kuormituskohtaisesti löytyvät taulukosta 2. Tutkittavia ohjeistettiin tulemaan kuormitusmittauksiin palautuneena. Yleisenä ohjeena oli harjoitella kaksi kuormitusta edeltävää päivää kevyesti ja pitämään kuormituksia edeltävä päivä mieluiten lepopäivänä. Yhdistettyjen kuormitusten suoritusjärjestys oli satunnaistettu. Kuormitusten vasteita seurattiin kahtena peräkkäisenä kuormituksen jälkeisenä päivänä palautumismittauksissa.

TAULUKKO 2. Yhdistettyjen kestävyys- ja voimakuormitusten (A–D) rakenne.

A	B	C	D
Tasavauhtinen juoksu 45 minuuttia 80–85% VO_{2max}	Juoksu 5 minuuttia 80–85% VO_{2max} (1)	Lämmittely juoksu 4 minuuttia 70% VO_{2max}	Lämmittelyjuoksu 4 minuuttia 70% VO_{2max}
CMJ 2x10, palautus 2 minuuttia	CMJ 10 (2)	Juoksuintervallit 6x4 minuuttia 90–95% VO_{2max} , palautus 2 minuuttia 70% HR_{max}	Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
DJ 2x10, palautus 2 minuuttia	Juoksu 5 minuuttia 80–85% VO_{2max} (3)	CMJ 2x10, palautus 2 minuuttia	Palautus 1 minuutti + CMJ 10 + palautus 1 minuutti + DJ 10 + palautus 1 minuutti
VL 2x2x5, palautus 2 minuuttia	DJ 10 (4)	DJ 2x10, palautus 2 minuuttia	Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
Jalkaprässi 3x10 70–80% / 1RM, palautus 2 minuuttia	Juoksu 5 minuuttia 80–85% VO_{2max} (5)	VL 2x2x5, palautus 2 minuuttia	Palautus 1 minuutti + VL 2x5 + palautus 1 minuutti + jalkaprässi 10x 70– 80%/1RM + palautus 1 minuutti
	VL 2x5 (6)	Jalkaprässi 3x10, 70–80%/1RM	Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
	Juoksu 5 minuuttia 80–85% VO_{2max} (7)	Jäähdyttely juoksu 5 minuuttia, 70% VO_{2max}	Palautus 1 minuutti + CMJ 10 + palautus 1 minuutti + DJ 10 + palautus 1 minuutti
	Jalkaprässi 10x, 70–80%/1RM (8)		Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
	Toistetaan uudestaan kohdat 1–8		Palautus 1 minuutti +VL 2x5 + palautus 1 minuutti
	Juoksu 5 minuuttia 80–85% VO_{2max}		Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
	Jalkaprässi 10x 70–80%/1RM		Palautus 1 minuutti +jalkaprässi 10x 70– 80%/1RM + palautus 1 minuutti
			Juoksu 4 minuuttia 90–95% VO_{2max}
			Palautus 1 minuutti + jalkaprässi 10x 70– 80%/1RM + palautus 1 minuutti
			Jäähdyttely juoksu 5 minuuttia 70% VO_{2max}

CMJ = kevennyshyppy, DJ = pudotushyppy, VL = vuoroloikka

Palautumismittaukset. Kuormitusten vasteita seurattiin kahtena peräkkäisenä päivänä kuormituksen jälkeen. Hermolihasjärjestelmän väsymystilaa seurattiin isometrisen jalkaprässin maksimivoimatestillä. Testissä tutkittava teki 3 – 5 maksimaalista suoritusta voimalevyä vasten minuutin palautuksella. Neljäs ja viides suoritus tehtiin, jos maksimaalinen voima kasvoi yli 5 % suoritusten välillä. Aineenvaihdunnallista väsymystilaa seurattiin juoksumatolla tehdyssä taloudellisuustestissä. Ennen taloudellisuustestiä tutkittavat lämmittelivät viisi minuuttia juoksumatolla. Taloudellisuustestin intensiteetti oli 70% VO_{2max} . Taloudellisuustestissä mitattiin hengityskaasuja sekä sykettä. Testi kesti kymmenen minuuttia.

Sykevälivaihtelu unen aikana. Tutkimuksessa mitattiin unenaikaista sykevälivaihtelua kuormitusta edeltävältä yöltä sekä kahdelta peräkkäiseltä yöltä kuormituksen jälkeen. Tutkittavat suorittivat nämä mittaukset omatoimisesti kotioloissa Polarin V800-sykemittarilla. Gilesin ym. (2016) tutkimuksessa arvioitiin Polarin V800-sykemittareilla ja EKG-mittauksilla mitattujen sykevälivaihtelumuuttujien yhteyttä. Tulokset osoittivat, että Polarin V800-sykemittarilla ja EKG-keräyksellä havaitut RR-intervallit ovat johdonmukaisia eri menetelmien välillä, vaikkakin RR-intervallien absoluuttiset arvot riippuivat mittausmenetelmästä. Sekä Polarin V800-sykemittarin sykedatasta että EKG-mittauksesta lasketut sykevälivaihtelumuuttujat ovat verrannollisia keskenään. (Giles ym. 2016.)

Tutkittavia ohjeistettiin laittamaan sykemittarista RR-tallennus päälle nukkumaan mennessä ja aamulla herätessä pysäyttämään mittaus. Lisäksi heitä ohjeistettiin kostuttamaan sykevyö huolella ennen mittauksen aloittamista. Sykevälivaihtelumuuttujista kerätty tieto siirrettiin sykemittareista Polar Flow-ohjelmaan, josta se muutettiin Kubios-ohjelman tukemaan muotoon. Kubios-ohjelmalla mittausdatasta poistettiin häiriöpiikit sekä suoritettiin sykevälivaihteluanalysit. Analysointiin valittiin neljän tunnin jakso, joka alkoi puolituntia nukkumaan menemisen jälkeen. Paljon häiriöitä sisältänyttä mittausdataa ei analysoitu tutkimuksen tuloksiin.

6.4 Tilastolliset menetelmät

Tulokset analysoitiin IBM SPSS Statistics 22.0 -ohjelmalla (IBM Corp. Armonk, NY, USA) sekä Microsoft Office: Excel 2011 -ohjelmalla (Microsoft Corp. Redmond, USA). Excel-ohjelmalla laskettiin muuttujille keskiarvot ja keskihajonnat. SPSS-ohjelmalla tehtiin aineiston tilastolliset analyysit.

Ennen tilastollisia analyyskejä yökeräyksen sykedataa analysoitiin Kubios-ohjelmaa (Kubios HRV 2.2, Biosignal Analysis and Medical Imaging Group BSAMIG, Kuopio, Finland) käyttäen. Aineiston normaalijakautuneisuus tarkistettiin Shapiro-Wilkinsin testillä. Koska aineisto on pieni ($n=11$) ja keskihajonta osoittautui suureksi, unenaikaisten sykemuututujen tilastolliseen analysointiin käytettiin non-parametrista Wilcoxonin testiä. Lisäksi saadut tulokset varmistettiin Mauchlyn sfäärisyystestillä (Mauchly's test of sphericity). Mauchlyn sfäärisyystestillä havaitut tilastolliset merkitsevyydet selvitettiin käyttämällä parittaista vertailua.

Taloudellisuustestissä mitatun hapenkulutuksen ja sykevälivaihtelun välistä yhteyttä tutkittiin käyttämällä Spearmannin järjestyskorrelaatiota, johon eri mittauskertojen väliset muutokset laskettiin käyttämällä erotuslaskua. Vastaavasti isometrisessä jalkaprässissä mitatussa maksimivoiman ja sykevälivaihtelun välistä yhteyttä tutkittiin käyttämällä Spearmannin järjestyskorrelaatiota, johon eri mittauskertojen väliset muutokset laskettiin käyttämällä erotuslaskua. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0.05$.

7 TULOKSET

7.1 Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet sykevälivaihteluun unen aikana

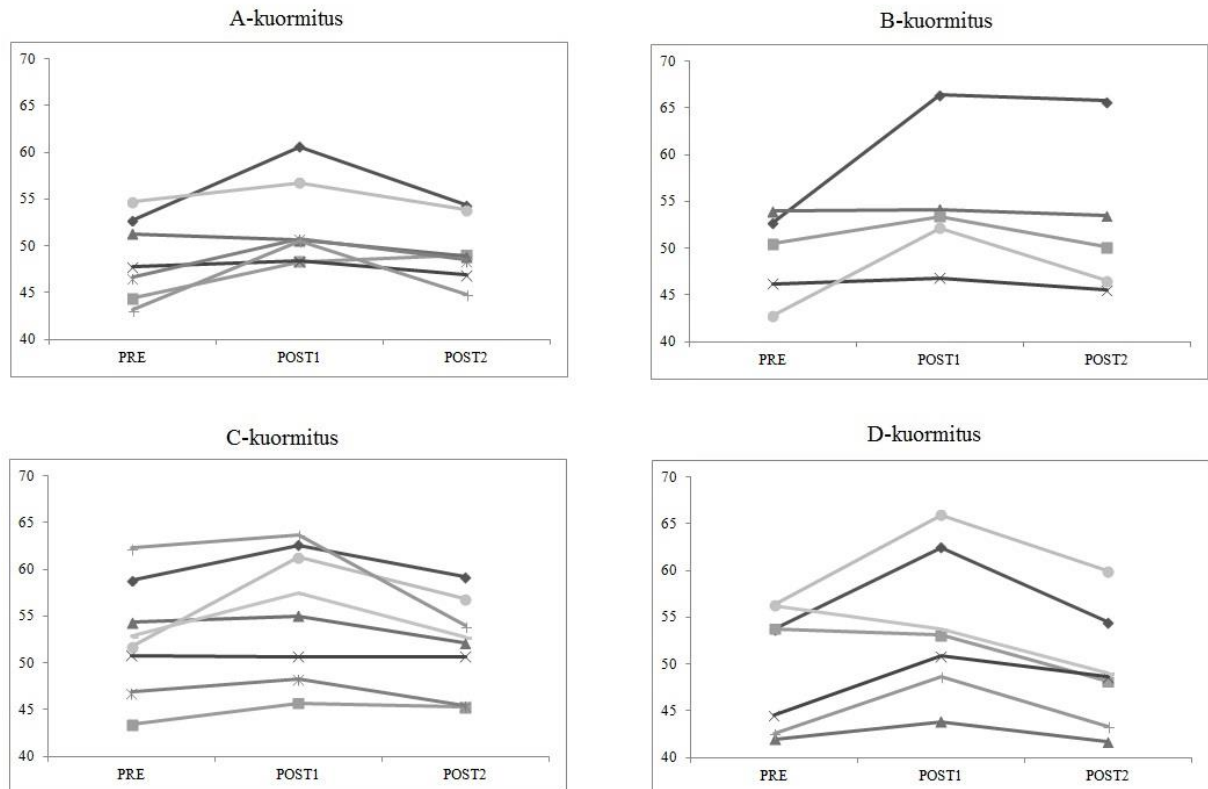
Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteena sykevälimuuttujissa havaittiin muutoksia, jotka noudattivat lähes kaikilla tutkittavilla yhdenmukaista trendiä. Liitteessä 1 on unen aikaisen sykemuuttujien arvot ja keskihajonnat ennen kuormituksia sekä kahdelta peräkkäiseltä yöltä yhdistettyjen kuormitusten jälkeen. Liitteessä 2 ja 3 on sykemuuttujien tilastollisesti merkitsevät muutokset taulukkomuodossa kuormituskohtaisesti. Taulukosta 3 on kooste tilastollisesti merkitsevistä muutoksista.

TAULUKKO 3. Unen aikaisissa sykemuuttujissa havaitut tilastollisesti merkitsevät muutokset. Pre = kuormitusta edeltävän mittauksen ja kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä havaittu tilastollisesti merkitsevä muutos sykemuuttujissa unen aikana. Post = kahden peräkkäisen kuormituksen jälkeisen yön välillä havaittua tilastollisesti merkitsevää muutos sykemuuttujissa unen aikana.

Sykemuuttuja	Kuormitus			
	A	B	C	D
HR	post	post	pre & post	-
SDNN	pre & post	-	-	-
RMSSD	post	-	-	-
RR	post	pre & post	pre & post	post
pnn50	pre & post	-	pre & post	-
lf	-	pre	pre	-
hf	-	pre	-	pre
TP	pre & post	-	-	-

Tilastollisesti merkitsevä muutos: $p < 0,05$

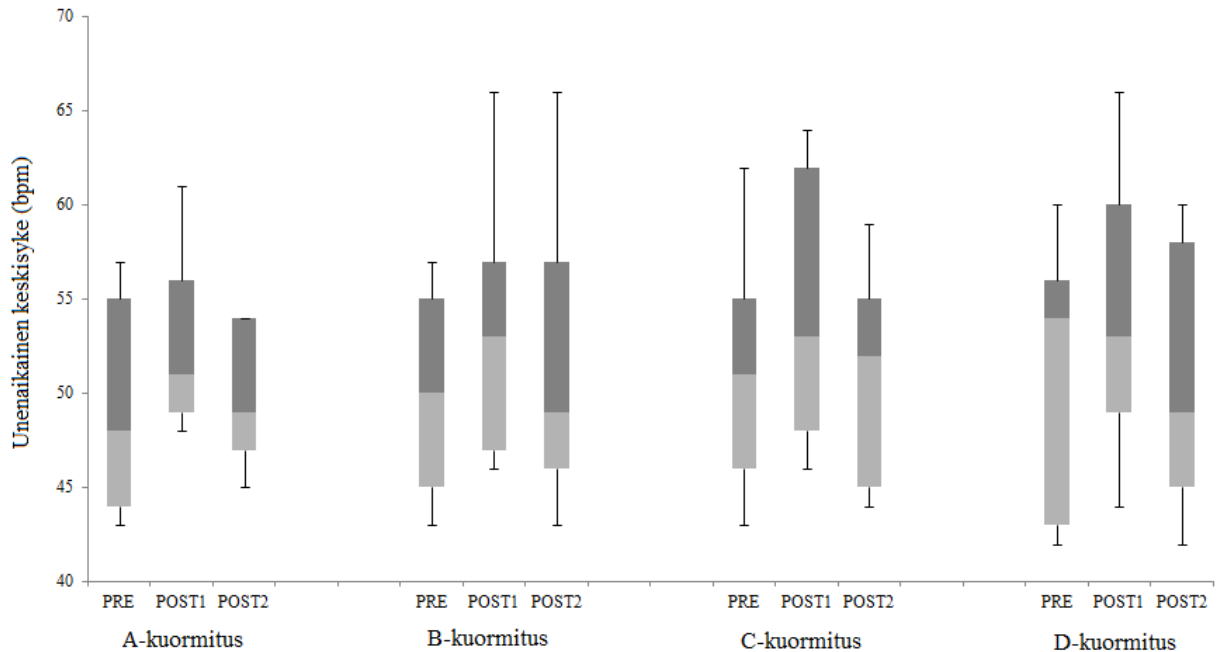
Keskisyke unen aikana(HR). Unenaikaisessa keskiykyssä havaittiin nousevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Puolestaan toisena kuormituksen jälkeisenä yönä keskiyke palasi lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Kaikissa yhdistetyissä kuormituksissa (A–D) havaittiin samanlaista trendiä (kuva 8). Tutkittavien välillä oli suurta keskihajontaa absoluuttisissa sykearvoissa.



KUVA 8. Keskiyke unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).

Keskiykyssä unen aikana oli selkeää nousevaa trendiä jokaisessa kuormituksessa ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä, niin kuitenkin muutos oli ainoastaan C-kuormituksessa tilastollisesti merkitsevä. Puolestaan toisena kuormituksen jälkeisenä yönä havaittu keskiykyksen laskeva trendi oli tilastollisesti merkitsevä A-, B- ja C-kuormituksissa. D-kuormituksessa keskiykyksen muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, vaikka

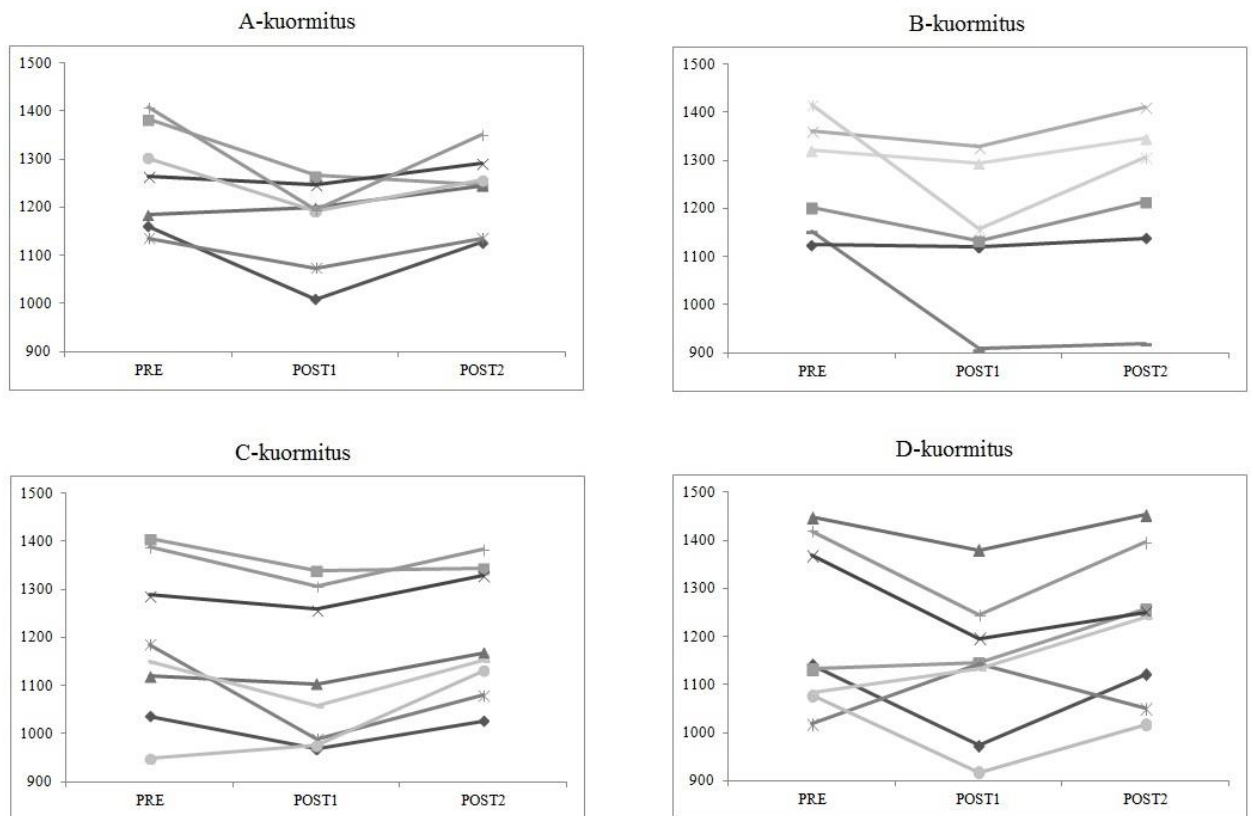
vastaavaa trendiä oli havaittavissa kuin muissakin kuormituksissa. Kuormitusta edeltävän yön ja toisen kuormituksen jälkeisen yön välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa yhdessäkään kuormituksessa eli keskisyke unen aikana oli palannut lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Kuva 9 havainnollistaa tutkittavien välistä vaihtelua keskisykkeessä unen aikana eri kuormituksissa.



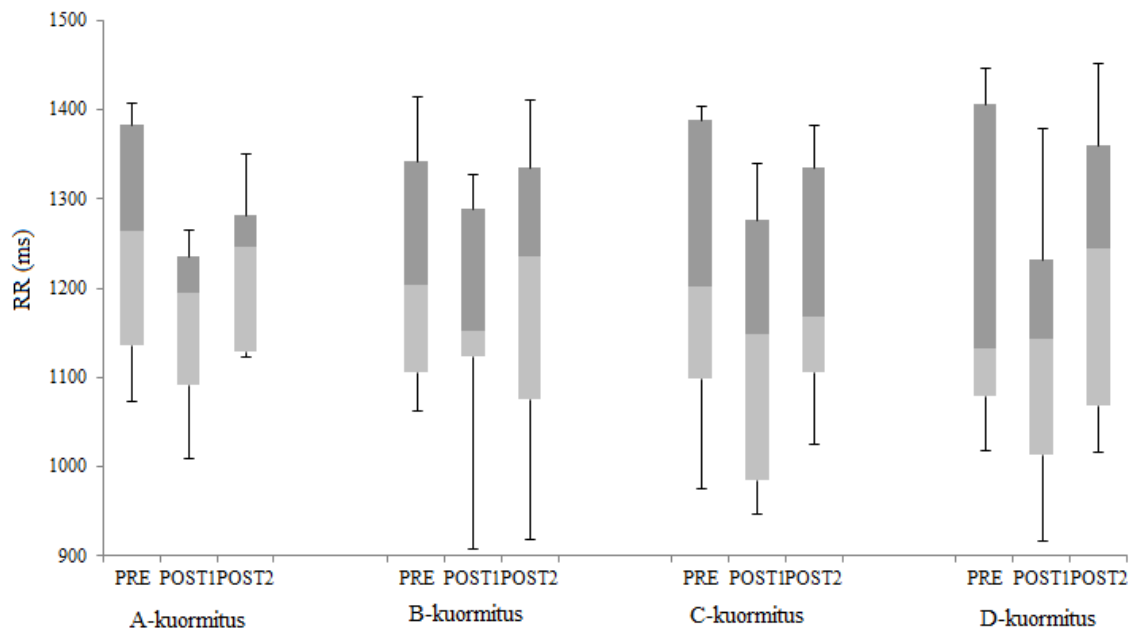
KUVA 9. Keskisyke unen aikana eri kuormituksissa (A–D). Pylväissä näkyvät alaneljännes, mediaani ja yläneljännes sekä lisäksi virhepalkki. Negatiivinen virhepalkki on laskettu alaneljänneksen ja pienimmän mittaustuloksen erotuksena. Positiivinen virhepalkki on laskettu suurimman mittaustuloksen ja yläneljänneksen erotuksena.

RR, sykevälijen kesto. Sykemuuttujista *RR*:llä tarkoitetaan kahden peräkkäisen sydämenlyönnin välistä aikaa millisekunneissa. Tutkimuksessa havaittiin yhdistetyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeen *RR*:ssä laskevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Puolestaan toisena kuormituksen jälkeisenä yönä nousevaa trendiä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa (kuva 10).

Havaitut muutokset ensimmäisen kuormituksen jälkeisen yön aikana olivat tilastollisesti merkitseviä vain B- ja C-kuormituksissa. Puolestaan muutokset kahden kuormituksen yön välillä oli tilastollisesti merkitsevä kaikissa kuormituksissa (A–D). Kuormitusta edeltävän yön ja toisen kuormituksen jälkeisen yön välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa yhdessäkään kuormituksessa. Tuloksissa havaittiin paljon hajontaa eri tutkittavien välillä RR-välin kestossa (kuva 11).



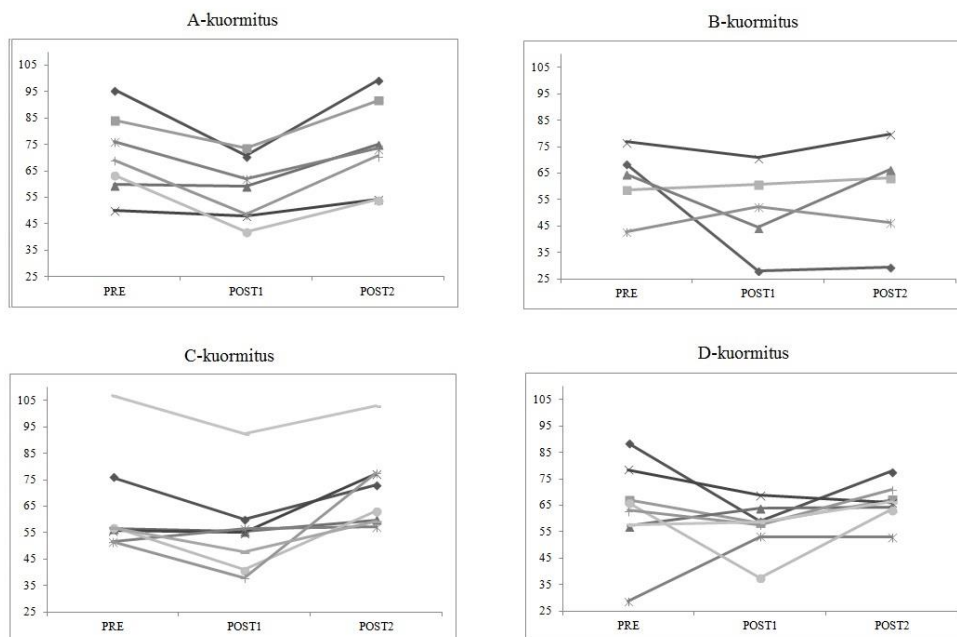
KUVA 10. Keskimääräinen RR-välin kesto unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).



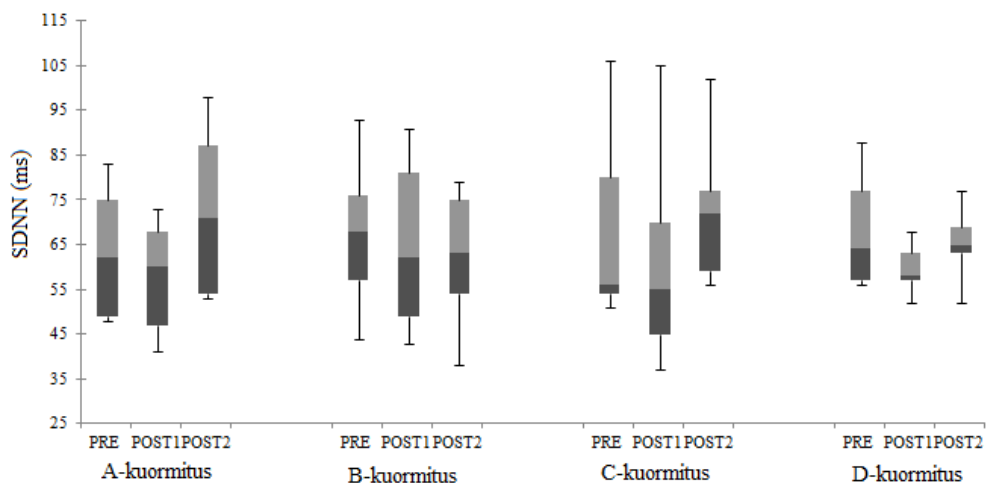
KUVA 11. Keskimääräinen RR-välien kesto unen aikana eri kuormituksissa (A–D). Pylväissä näkyvät alaneljännes, mediaani ja yläneljännes sekä lisäksi virhepalkki. Negatiivinen virhepalkki on laskettu alaneljänneksen ja pienimmän mittaustuloksen erotuksena. Positiivinen virhepalkki on laskettu suurimman mittaustuloksen ja yläneljänneksen erotuksena.

SDNN, sykevälien keskihajonta. SDNN-muuttuja kuvaa sykevälien keskihajontaa ja se lasketaan ottamalla sykevälivaihtelusta neliöjuuri. Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeen havaittiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä SDNN:ssä laskevaa trendiä. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä SDNN palaa lähelle kuormitusta edeltävää tasoa (kuva 12). Tutkittavien välillä oli suurta vaihtelua SDNN absoluuttisessa tasossa, vaikka lähes kaikilla käyrät noudattivatkin samaa trendiä (kuva 13).

SDNN:ssä tapahtuvat muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä vain A-kuormituksessa. A-kuormituksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero sekä kuormitusta edeltävän mittauksen ja kuormituksen jälkeisen mittauksen että myös kahden kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä. Kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut kuormitusta edeltävän mittauksen ja toisen kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä.

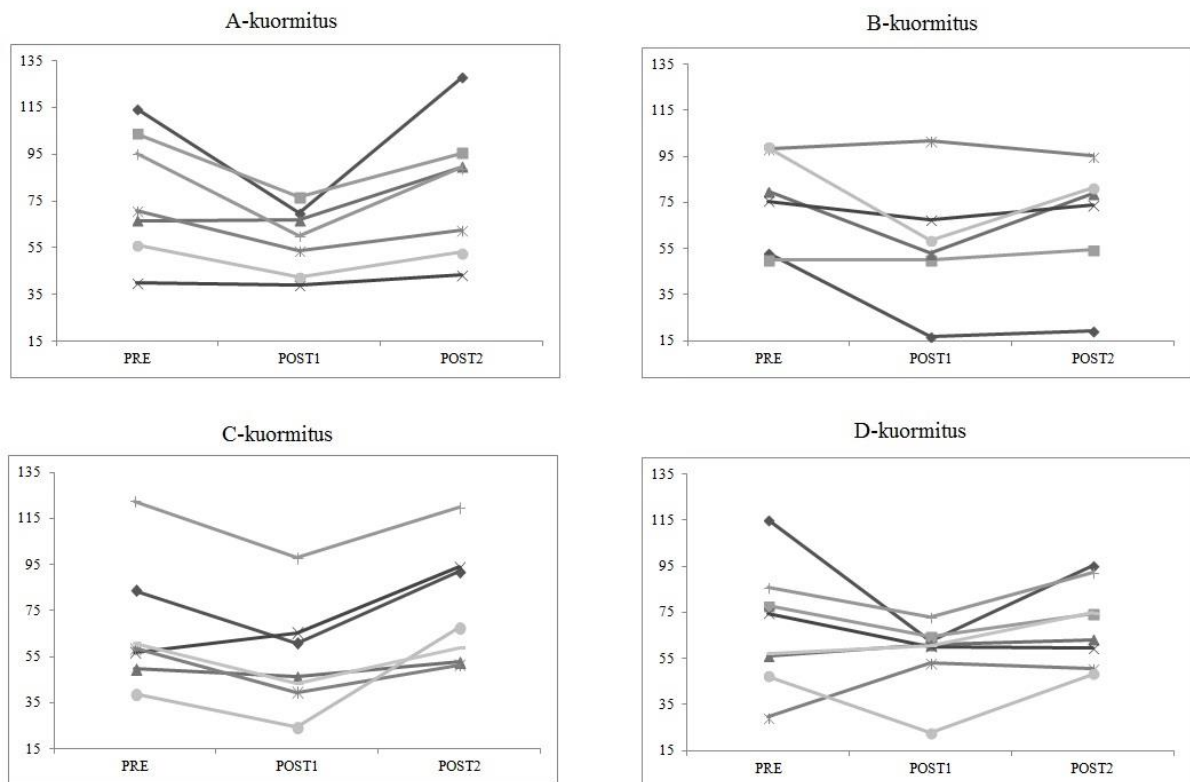


KUVA 12. Sykevälien keskihajonta (SDNN) unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).

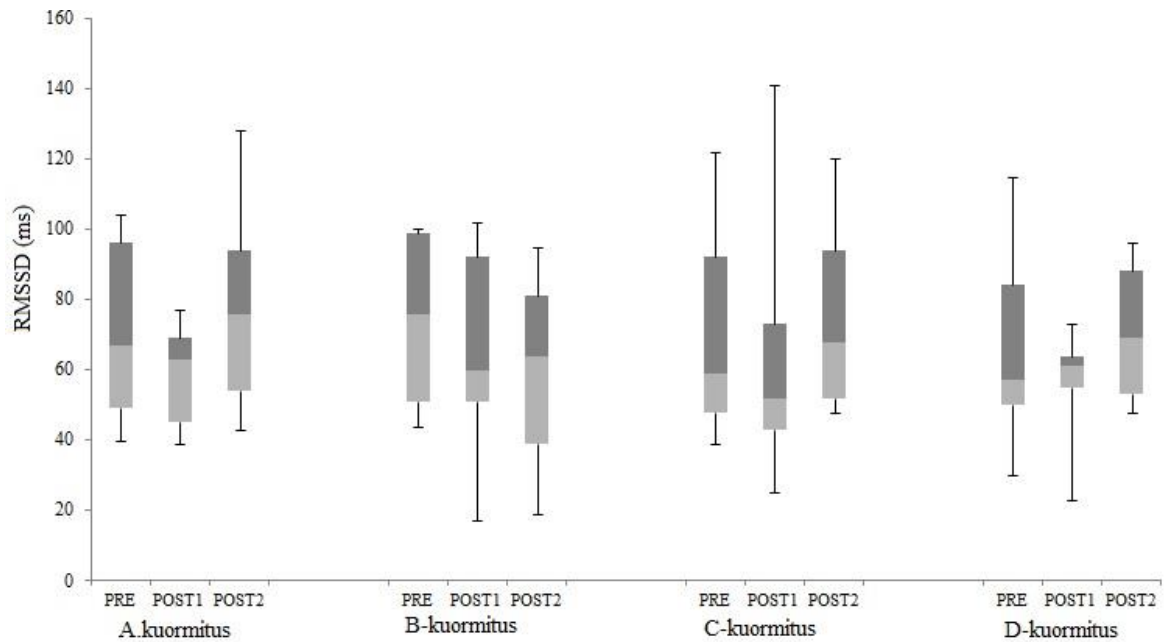


KUVA 13. SDNN-muuttuja unen aikana eri kuormituksissa (A–D). Pylväissä näkyvät alaneljännes, mediaani ja yläneljännes sekä lisäksi virhepalkki. Negatiivinen virhepalkki on laskettu alaneljänneksen ja pienimmän mittaustuloksen erotuksena. Positiivinen virhepalkki on laskettu suurimman mittaustuloksen ja yläneljänneksen erotuksena.

RMSSD, peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu. RMSSD-muuttuja lasketaan peräkkäisten sykevälien erotusten neliöiden keskiarvon neliöjuurella. Tutkimuksessa havaittiin yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten ensimmäisenä jälkeisenä yönä laskevaa trendiä ja toisena kuormituksen jälkeisenä yönä nousevaa trendiä (kuva 14). RMSSD-muuttujassa muutokset olivat vähäisiä. Tilastollinen merkitsevyys havaittiin ainoastaan A-kuormituksessa kuormituksen jälkeisissä yömittauksissa. RMSSD-muuttujassa havaittiin suurta vaihtelua tutkittavien välillä (kuva 15).



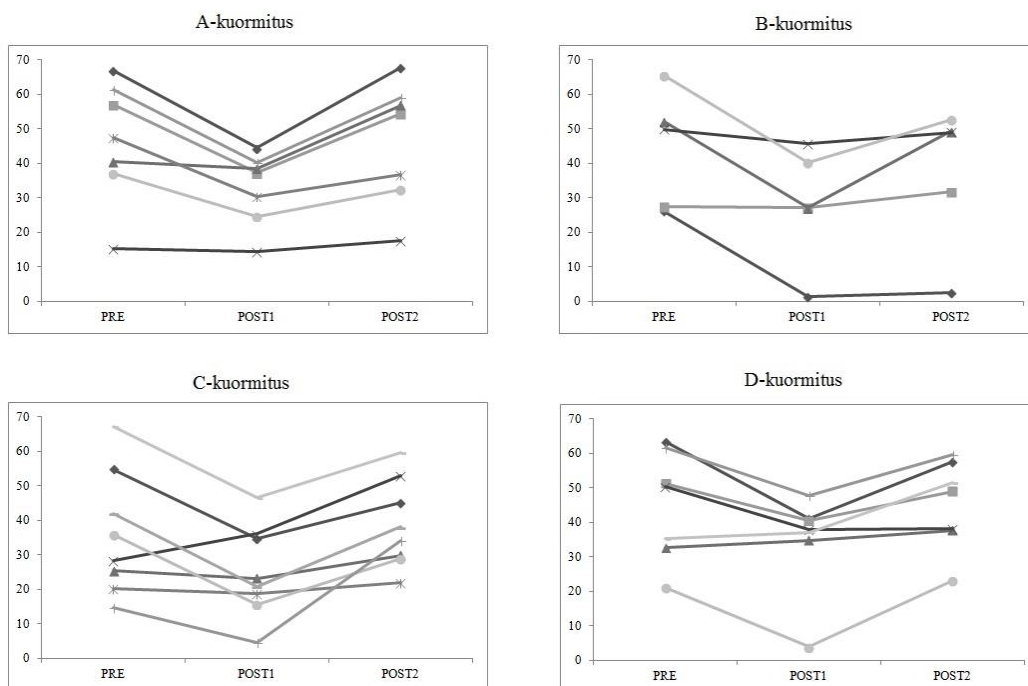
KUVA 14. Peräkkäisten sykevälien vaihtelu (RMSSD) unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).



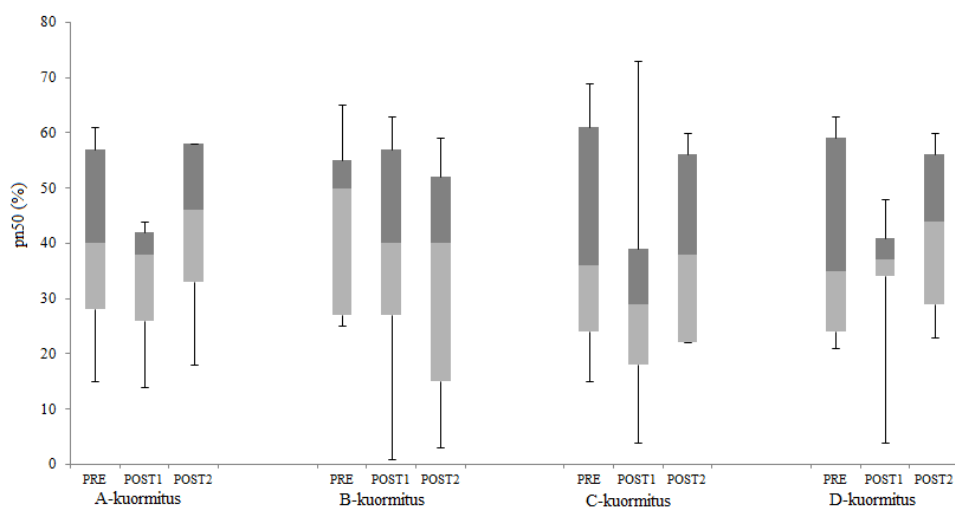
KUVA 15. RMSSD-muuttuja unen aikana eri kuormituksissa (A–D). Pylväissä näkyvät alaneljännes, mediaani ja yläneljännes sekä lisäksi virhepalkki. Negatiivinen virhepalkki on laskettu alaneljänneksen ja pienimmän mittaustuloksen erotuksena. Positiivinen virhepalkki on laskettu suurimman mittaustuloksen ja yläneljänneksen erotuksena.

pnn50, enemmän kuin 50 ms toisistaan poikkevien RR-välien prosentuaalinen määrä. Ensimmäisenä yhdistetyn kuormituksen jälkeisenä yönä pnn50-muuttujassa havaittiin laskua. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä pnn50-muuttujan arvot palasivat lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Osalla tutkittavista pnn50-muuttujassa ei tapahtunut juurikaan muutosta yhdistetyn kuormituksen jälkeen (kuva 16).

Vain A- ja C-kuormituksissa havaitut muutokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Kuvassa 17 näkyy mittaustulosten vaihtelu tutkittavien välillä pnn50-muuttujan osalta.



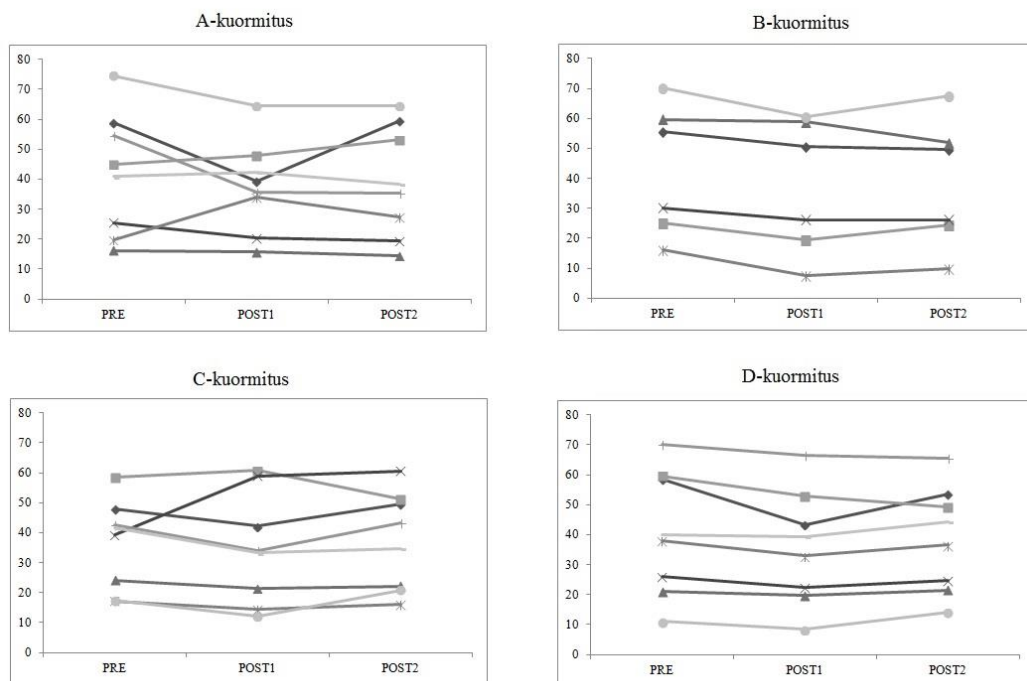
KUVA 16. Yli 50ms kestävien RR-välien prosentuaalinen osuus (pnn50) unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).



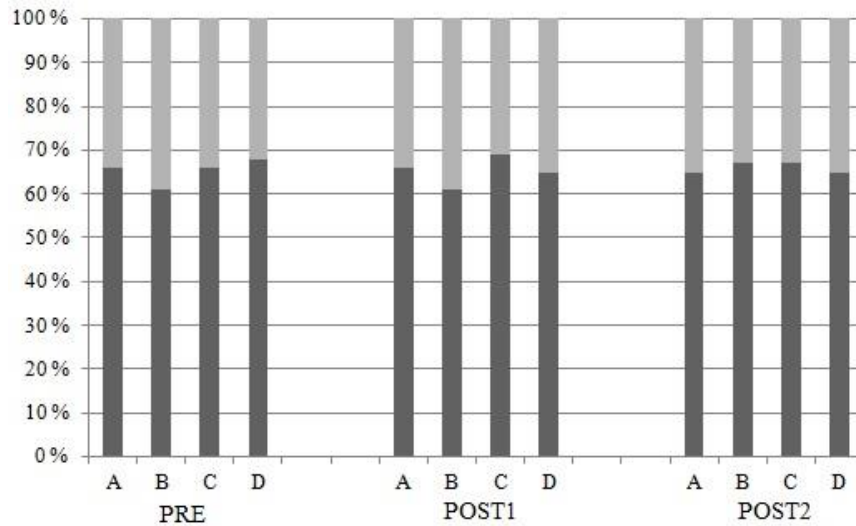
KUVA 17. Pnn50-muuttuja unen aikana eri kuormituksissa (A–D). Pylväissä näkyvät alaneljännes, mediaani ja ylaneljännes sekä lisäksi virhepalkki. Negatiivinen virhepalkki on laskettu alaneljänneksen ja pienimmän mittaustuloksen erotuksena. Positiivinen virhepalkki on laskettu suurimman mittaustuloksen ja ylaneljänneksen erotuksena.

Taajuuskenttämuuttujat. Taajuuskenttämenetelmässä sykevälivaihtelusta lasketaan hf- ja lf-komponentit. HF-komponentin on havaittu kuvaavan parasympaattista aktiivisuutta. LF-komponentista on havaittu tutkimuksissa ristiriitaista tietoa. Tutkimuksessa yhdistetyn voima- ja kestävyyskuormituksen jälkeen hf-komponentissa havaittiin lievää laskevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Puolestaan toisena kuormituksen jälkeisenä yönä hf-komponentti palaa lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Valtaosalla tutkittavista hf-komponentin muutokset olivat vähäisiä (kuva 18). B- ja C-kuormituksissa kuormitusta edeltävän yön ja ensimmäisen kuormituksen jälkeisen yön välinen lasku oli tilastollisesti merkitsevä.

Kuvassa 19 on hf- ja lf-komponenttien suhteelliset osuudet keskimääräisillä eri mittauskertojen arvoilla laskettuna. Muutokset taajuuskomponenteissa olivat vähäisiä.



KUVA 18. Hf-komponentti unen aikana kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).



KUVA 19. Taajuusmuuttujien lf- ja hf-komponenttien keskiarvojen suhde kuormitusta edeltävässä mittauksessa (pre), ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä (post1) sekä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä (post2) tutkittavakohtaisesti eri kuormituksissa (A–D).

7.2 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys aineenvaihdunnalliseen väsymykseen

Yhdistettyjen kuormitusten jälkeisinä päivinä havaittiin, että juoksun taloudellisuus oli heikentynyt kuormitusta edeltävään mittaukseen nähden. Taloudellisuuden heikkeneminen näkyi jokaisessa kuormituksessa (A–D) kasvaneena hapenkulutuksena. Hapenkulutus oli suurinta heti kuormituksen jälkeisissä taloudellisuusmittauksissa (+4 %) ja palasi vähitellen takaisin kuormitusta edeltävälle tasolle, saavuttaen lähes kuormitusta edeltävän tason toisena kuormituksen jälkeisenä päivänä.

Hapenkulutuksen ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita yhteensä 24 muuttujaparin välillä ($p < 0,05$). Näistä tilastollisesti erittäin merkitseviä korrelaatiopareja oli seitsemän ($p < 0,01$). Liitteessä 5 on tilastollisesti merkitsevät korrelaatioparit taulukoituna. Sykemuuttujien arvot löytyvät liitteestä 1 ja hapenkulutuksen arvot liitteestä 4. Alla on esitelty tärkeimmät sykemuuttujien ja hapenkulutuksen väliset

yhteydet kuormituskohtaisesti. Taulukossa 4 on yhteenvedo havaituista tilastollisesti merkitsevistä korrelaatioista.

A-kuormituksessa HR-, RMSSD-, pnn50-muuttujien muutos ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä korreloi tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) hapenkulutuksen muutokseen, joka tapahtui kuormitusta edeltävän mittauksen ja 48h-mittauksen välillä. pnn50-muuttujan ja hapenkulutuksen muutoksen välinen yhteys oli erittäin vahva ($R = -0,857$; $p = 0,007$). Sykemuuttujien SDNN ja pnn50 muutokset ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä korreloivat tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen, joka tapahtui kuormitusta edeltävän mittauksen 24h-mittauksen välillä. Taajuusmuuttujista lf- ja hf-komponenttien muutos ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä korreloi tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen, joka havaittiin kuormitusta edeltävän mittauksen ja heti kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä. Kokonaissykevälivaihtelussa (TP) ensimmäisenä yönä tapahtuva muutos korreloi tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen sekä kuormitusta edeltävän mittauksen ja 24h-mittauksen että kuormitusta edeltävän mittauksen ja 48h-mittauksen välillä. Kaikki havaitut korrelaatiot olivat negatiivisia lukuun ottamatta lf- ja HR-muuttujia ja hapenkulutusta.

B-kuormituksessa RR-muuttujan muutos ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä hapenkulutuksen muutokseen kuormitusta edeltävästä mittauksesta 24h-mittaukseen. Korrelaatio oli negatiivinen ja erittäin vahva ($R = -0,943$; $p = 0,005$). HR-, SDNN- ja RMSSD-muuttujien muutokset kuormitusta edeltävästä mittauksesta toiseen kuormituksen jälkeisen yön mittaukseen korreloivat hapenkulutuksessa tapahtuviin muutoksiin, jotka tapahtuivat kuormitusta edeltävän mittauksen ja kuormituksen jälkeisten mittauksen välillä. Taajuusmuuttujista lf- ja hf-komponenttien muutokset peräkkäisinä kuormitusten jälkeisinä öinä korreloivat tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen kuormituksen jälkeisissä mittauksissa. Lisäksi kokonaissykevälivaihtelun (TP) muutos kuormitusta edeltävän mittauksen ja toisen kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä korreloi tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen, joka tapahtui kuormitusta edeltävästä mittauksesta 48-mittaukseen. Korrelaatio oli negatiivinen.

C-kuormituksessa RR-, ja pnn50-muuttujien muutokset peräkkäisinä kuormituksen jälkeisinä öinä korreloivat tilastollisesti merkitsevästi hapenkulutuksen muutokseen, joka tapahtui heti kuormituksen jälkeisen mittauksen ja 48h-mittauksen välillä. Taajuusmuuttujien muutoksien ja hapenkulutuksen muutoksien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota.

D-kuormituksessa taajuusmuuttujista lf- ja hf-komponenttien muutoksilla ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä ja myös toisena kuormituksen jälkeisenä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys hapenkulutuksen kasvuun, joka tapahtui kuormitusta edeltävän mittauksen ja heti kuormituksen jälkeisen mittauksen välillä. Korrelaatio oli erittäin vahva taajuuskomponenttien ensimmäisen yön aikana tapahtuvan muutoksen ja hapenkulutuksen muutoksen välillä ($R=0,857$; $p=0,007$). Aikakenttämuuttujien muutoksien ja hapenkulutuksen muutoksien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

TAULUKKO 4. Unenaikaisissa sykemuuttujissa ja hapenkulutuksessa eri mittauskertojen välillä havaittujen muutoksien väliset tilastollisesti merkitsevät ($p<0,05$) korrelaatiot eri kuormituksissa (A-D) sykemuuttujakohtaisesti.

RR	HR	SDNN	RMSSD	pnn50	lf	hf	TP
A	A	A	A	A	A	A	A
B	B	B	B	-	B	B	B
C	-	-	-	C	-	-	-
-	-	-	-	-	D	D	-

7.3 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys hermolihasjärjestelmän väsymykseen

Yhdistettyjen kuormitusten jälkeisinä päivinä havaittiin, että isometrinen maksimivoima oli heikentynyt kuormitusta edeltävään mittaukseen nähden. Isometrisen maksimivoiman

heikkeneminen näkyi jokaisessa kuormituksessa (A–D). Suurin lasku tapahtui heti kuormituksen jälkeisissä mittauksissa (-13%). Maksimivoima palasi vähitellen takaisin kuormitusta edeltävälle tasolle, saavuttaen lähes kuormitusta edeltävän tason toisena kuormituksen jälkeisenä päivänä.

Isometrisessä jalkaprässissä mitatun maksimivoiman ja sykevälivaihtelun välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä korrelaatiopareja 24 ($p < 0,05$). Näistä tilastollisesti erittäin merkitseviä korrelaatiopareja oli kolme ($p < 0,01$). Liitteessä 7 on tilastollisesti merkitsevät korrelaatioparit taulukoituna. Sykemuuttujien arvot löytyvät liitteestä 1 ja maksimivoiman arvot liitteestä 6. Alla on esitelty tärkeimmät sykemuuttujien ja isometrisen maksimivoiman väliset yhteydet kuormituskohtaisesti. Taulukossa 5 on yhteenveto havaituista tilastollisesti merkitsevistä korrelaatioista.

A-kuormituksessa RR-muuttujan muutos kahden kuormituksen jälkeisen yön välillä korreloi tilastollisesti merkitsevästi isometrisen voiman muutokseen kuormituksen jälkeisissä mittauksissa. Korrelointiparit muodostuivat isometrisen voiman muutokseen heti kuormituksen jälkeisen mittauksen ja 24h-mittauksen ($R=0,833$; $p=0,010$), 24h-mittauksen ja 48h-mittauksen ($R=0,738$; $p=0,037$) sekä heti kuormituksen jälkeisen ja 48h-mittauksen ($R=0,810$; $p=0,015$) välille. HR-, RMSSD-, pnn50-muuttujien muutos kahden kuormituksen jälkeisen yön välillä korreloi tilastollisesti merkitsevästi isometrisen maksimivoiman kasvuun, joka tapahtui heti kuormituksen jälkeisestä mittauksesta 48h-mittauksen välillä.

B-kuormituksessa ainoastaan taajuusmuuttujien muutokset olivat yhteydessä isometrisen maksimivoiman muutokseen. Korrelointipareja muodostui kuormitusta edeltävien mittauksien ja kuormituksen jälkeisten mittauksien sekä kahden peräkkäisen kuormituksen jälkeisten mittauksien välille. Tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaatio havaittiin lf-komponentilla kuormituksen jälkeisen öiden muutoksen ja isometrisen voiman muutoksen heti kuormituksen jälkeisestä mittauksesta 48h-mittaukseen välillä ($R=-0,943$; $p=0,005$). Vastaava muutos havaittiin myös hf-komponentissa ($R=0,943$; $p=0,005$).

C-kuormituksessa RR-, HR-, RMSSD- ja pnn50-muuttujien muutokset kuormitusta edeltävän mittauksen ja ensimmäiseen kuormituksen jälkeiseen yön välillä olivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) yhteydessä isometrisen voiman muutokseen kuormitusta edeltävästä mittauksesta 24h-mittaukseen. Taajuusmuuttujien muutoksella ei havaittu olevan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä isometrisen voiman muutokseen.

D-kuormituksessa RR-, HR- ja pnn50-muuttujien muutokset korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) isometrisen maksimivoiman muutokseen kuormitusta edeltävästä mittauksesta heti kuormituksen jälkeiseen mittaukseen. pnn50-muuttujan muutoksen ja isometrisen maksimivoiman muutoksen korrelaatio oli erittäin vahva ($R = 0,905$; $p = 0,002$). Taajuusmuuttujissa ainoastaan kokonaissykevälivaihtelun (TP) muutos kuormitusta edeltävän mittauksen ja ensimmäisen kuormituksen jälkeisen yön välillä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä isometrisen voiman muutokseen kuormitusta edeltävästä mittauksesta 48h-mittaukseen ($R = 0,714$; $p = 0,047$).

TAULUKKO 5. Sykemuuttujissa unen aikana ja isometrisessä maksimivoimassa eri mittauskertojen välillä havaittujen muutoksien väliset tilastollisesti merkitsevät ($p < 0,05$) korrelaatiot eri kuormituksissa (A–D) sykemuuttujakohtaisesti.

RR	HR	SDNN	RMSSD	pnn50	lf	hf	TP
A	A	A	A	A	A	A	A
-	-	-	-	-	B	B	-
C	C	-	C	C	-	-	-
D	D	-	-	D	-	-	D

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita sykevälivaihteluun unen aikana kestävyyskuntoilutaustaisilla 20–40-vuotiailla mieshenkilöillä. Tämän lisäksi tutkimuksessa selvitettiin myös yhdistettyjen kuormitusten jälkeisten aineenvaihdunnallisen ja hermolihasjärjestelmän väsymysten yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana.

8.1 Päätulokset

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että kestävyyskuntoilutaustaisilla mieshenkilöillä yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu aiheuttaa muutoksia sykevälivaihtelussa unen aikana. Muutokset tapahtuivat ensimmäisenä kuormitusten jälkeisenä yönä. Toisena kuormitusten jälkeisenä yönä sykemuuttajat palasivat lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Sykevälien kestopissa (RR), sykevälien keskihajonnassa (SDNN), peräkkäisten sykevälien keskimääräisessä vaihtelussa (RMSSD) sekä taajuusalueiden hf-komponentissa havaittiin laskevaa trendiä ensimmäisenä kuormitusten jälkeisenä yönä. Puolestaan keskisykkeessä havaittiin nousevaa trendiä ensimmäisenä yönä. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että tämän tutkimuksen yhdistetyt voima- ja kestävyyskuormitukset olivat riittävän kuormittavia aikaansaamaan vasteita autonomisen hermoston toiminnassa.

Aineenvaihdunnallisen väsymyksen mittarina tässä tutkimuksessa käytettiin juoksun taloudellisuustestissä mitattua hapenkulutusta. Yhdistettyjen kuormitusten vasteena juoksun taloudellisuus oli heikentyneenä vielä kahtena päivänä kuormitusten jälkeen. Tämä viittaa kehon väsymystilaan. Kuormitusten jälkeisen taloudellisuuden heikkenemisen ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä havaittiin 24 tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota (liite 5). Mikään yksittäinen unenaikainen sykemuuttuja ei selkeästi korreloinut muita sykemuuttujia useammin taloudellisuustestissä havaittuihin muutoksiin. Näin ollen voidaan todeta, että sykemuuttujia tulisi tulkita laaja-alaisesti, eikä yksittäisten sykemuuttujien perusteella voisi tehdä pitkälle meneviä päätelmiä.

Hermolihasjärjestelmän väsymyksen mittarina tässä tutkimuksessa käytettiin isometrisessä jalkaprässissä tuotettua maksimivoimaa. Yhdistettyjen kuormitusten jälkeisen isometrisen maksimivoiman heikkenemisen ja unenaikaisten sykemuuttujien muutoksen välillä havaittiin 24 tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota (liite 7). Vastaavasti kuin taloudellisuuden ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä havaittiin, mikään yksittäinen sykemuuttuja unen aikana ei korreloinut selkeästi muita sykemuuttujia useammin isometrisen jalkaprässin maksimivoiman heikkenemiseen.

8.2 Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet sykevälivaihteluun unen aikana

Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeen havaittiin unenaikaisissa sykemuuttujissa tilastollisesti merkitseviä muutoksia, joten tutkimuksen kuormituksia voidaan pitää riittävän kuormittavina horjuttamaan autonominen hermosto pois tasapainotilasta. Yhdistettyjen kuormitusten vasteet heijastuivat sykemuuttujiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä sykemuuttujat olivat palanneet lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aikaisempia havaintoja fyysisen kuormituksen vasteista autonomisen hermoston toimintaan ja sykevälivaihtelumuuttujiin.

Keskisykkeessä havaittiin nousevaa trendiä ensimmäisenä yönä ja laskevaa trendiä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä. Vastaava muutos havaittiin kaikissa tutkimuksen yhdistetyissä voima- ja kestävyyskuormituksissa. Sykevälien kestossa (RR), sykevälien keskihajonnassa (SDNN), peräkkäisten sykevälien keskimääräisessä vaihtelussa (RMSSD) sekä taajuusmuuttujien hf-komponentissa havaittiin laskevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä ja nousevaa trendiä toisena kuormituksen jälkeisenä yönä. Kaikissa tutkimuksen yhdistetyissä voima- ja kestävyyskuormituksissa tutkittavien käyrät noudattivat samaa trendiä. Tutkimuksessa havaitut sykemuuttujien muutokset ovat loogisia, sillä kehon kuormittuessa sydämen toimintaa tulee tehostaa, jolloin sydämen lyöntien välinen aika lyhenee, joka havaitaan RR-muuttujan laskuna. Vastaavasti myös sykevälien keskihajonta (SDNN) ja peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD) sekä yli 50ms RR-

välien prosentuaalinen osuus (pnn50) laskevat. Koska sympaattinen aktiivisuus kasvaa kuormittuneisuuden myötä ja parasympaattinen laskee, taajuusmuuttujista hf-komponentissa havaitaan laskua. Aikaisemmin yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita sykemuuttujiin unen aikana ei ole tutkittu. Toisaalta pitkäkestoisen kovatehoisen kestävyyskuormituksen (Hautala ym. 2001) vasteena on havaittu vastaavia muutoksia kuin tässä tutkimuksessa. Myös voimakuormituksen jälkeen on havaittu, että sykevälivaihtelu on laskeneella tasolla (Chen ym. 2011).

Kuormitusten jälkeen autonomisen hermoston palautuminen riippuu harjoituksen intensiteetistä sekä kestosta (Kaikkonen ym. 2012; Myllymäki ym. 2011; Seiler ym. 2007). Stanleyn ym. (2003) ovat meta-analyysissä havainneet, että laktaattikynnykselle sijoittuvissa kuormituksissa täydellinen palautuminen kestää 24–48 tuntia ja erittäin kovatehoisissa kuormituksissa vähintään 48 tuntia. Tämän tutkimuksen kaikissa yhdistetyissä voima- ja kestävyyskuormituksissa kestävyysosiot ylittivät laktaattikynnyksen (85–95 % VO₂) tehon, joten aikaisemman tutkimustiedon valossa oli oletettavaa, että autonomisen hermoston täydellinen palautuminen vie vähintään 24 tuntia. Tutkimuksessa havaittiin, että ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä sykemuuttujissa kehon kuormittuneisuuden viittaavia muutoksia. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä ja kuormitusta edeltävän yön välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ja sykemuuttujien havaittiin palanneen lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Tässä tutkimuksessa yhdistetyn voima- ja kestävyyskuormitusten vasteet heijastuivat sykemuuttujiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä.

8.3 Unenaikaisen sykevälivaihtelun yhteys aineenvaihdunnalliseen väsymykseen

Tutkimuksessa yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten aineenvaihdunnallisia vasteita seurattiin taloudellisuustestillä kahtena peräkkäisenä päivänä kuormituksen jälkeen. Tutkimuksessa tarkoituksena oli selvittää yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten aineenvaihdunnallisten vasteiden yhteyksiä sykevälivaihtelun vasteisiin unen aikana.

Unenaikaisista sykemuuttujista RR ja hf-komponentti olivat taloudellisuuden kanssa eniten korreloineet sykemuuttajat. Sykevälien kestossa (RR) unen aikana havaittiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä laskevaa trendiä, joka oli yhteydessä hapenkulutuksen kasvavaan trendiin kuormituksen jälkeen A- ja B-kuormituksissa. B-kuormituksessa tämä yhteys oli erittäin vahva ($R=-0,943$; $p=0,005$). C-kuormituksessa havaittiin, että RR-muuttujan muutos kuormituksen jälkeisinä öinä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa korreloi tilastollisesti merkitsevästi taloudellisuustestissä mitatun hapenkulutuksen palautumiseen kuormituksen jälkeisinä päivinä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Saadut tulokset osoittavat, että RR-muuttujassa havaitut kehon kuormittuneisuuden viittaavat muutokset saattaisivat heijastua taloudellisuudessa havaittuihin kuormittuneisuuden aiheuttamiin muutoksiin aineenvaihdunnallisesti kuormittavan harjoituksen jälkeen, jolloin RR-muuttuja olisi mahdollisesti hyvä kehon kuormittuneisuuden arviointiin.

Taajuusmuuttujista hf-komponentissa havaittiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä laskevaa trendiä, joka oli tilastollisesti yhteydessä kuormituksen jälkeiseen taloudellisuustestissä mitattuun hapenkulutuksen kasvavaan trendiin D-kuormituksessa. Havaittu yhteys oli erittäin vahva ($R=-0,857$; $p=0,007$). B-kuormituksessa hf-muuttujan toisen kuormituksen jälkeisen yön kasvava trendi lähelle kuormitusta edeltävää tasoa oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä hapenkulutuksen laskuun kuormituksen jälkeisinä päivinä. Myös aiemmin on havaittu, että hf-komponentti olisi yhteydessä kehon kuormittuneisuuteen (Kiviniemi ym. 2007).

Hapenkulutuksen ja unenaikaisten sykemuuttujien välille muodostui yhteensä 24 tilastollisesti merkitsevää korrelaatioparia (liite 5). Mikään yksittäinen sykemuuttuja ei ollut yhteydessä hapenkulutuksen muutokseen selkeästi muita sykemuuttujia enempää. Tämä antaa viitteitä siitä, että sykemuuttujia tulisi tulkita laaja-alaisesti, eikä yksittäisten sykemuuttujien perusteella voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tutkimuksen pieni otanta ($n=11$) saattaa selittää tätä laaja-alaista jakautumista, joten tulevaisuudessa kaivattaisiin lisää tutkimuksia kuormituksen jälkeisen taloudellisuuden ja unenaikaisten sykemuuttujien välisistä yhteyksistä.

Näin ollen näyttäisi siis siltä, että kuormituksen jälkeen unenaikaisten sykemuuttujien muutoksilla ja taloudellisuustestin hapenkulutuksen muutoksilla on mahdollisesti yhteys. Tutkimusta aiheesta tarvitaan kuitenkin lisää, jotta asiasta voidaan varmistua. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että sykevälivaihtelu on laskeneella tasolla kuormituksen jälkeen (Hautala ym.2001; Chen ym. 2011), mutta sen yhteyttä kuormitusten jälkeiseen taloudellisuuden muutokseen ei ole aiemmin tutkittu. Tämä tutkimus antaa viitteitä siitä, että sykemuuttujat unen aikana heijastanevat kehon kuormittuneisuutta ja väsymystä, jolloin niitä voidaan mahdollisesti myös hyödyntää kehon kuormittuneisuuden arvioinnissa aineenvaihduntaa kuormittavan harjoituksen jälkeen. Tutkimuksen havainto on linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa, jossa on havaittu, että sykemuuttujista hf-komponentilla ohjelmoitu harjoittelu kehittää paremmin maksimaalista hapenottoa verrattuna perinteiseen etukäteen suunniteltuun harjoitteluun (Kiviniemi ym. 2007).

8.4 Unenaikaisten sykevälivaihtelun yhteys hermolihasjärjestelmän väsymykseen

Yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteita hermolihasjärjestelmän toimintaan seurattiin mittaamalla isometrisessä jalkaprässissä maksimaalista voimantuottoa kahtena peräkkäisenä päivänä kuormituksen jälkeen. Kuormituksen jälkeinen heikentynyt kyky tuottaa maksimivoimaa johtuu väsymyksestä hermostollisissa tekijöissä (Komi & Tesch 1979). Tässä tutkimuksessa selvitettiin kuormituksen hermolihasjärjestelmään kohdistuvien vasteiden yhteyksiä unenaikaiseen sykevälivaihteluun.

Unenaikaisista sykemuuttujista RR ja hf-komponentti olivat isometrisen maksimivoiman kanssa eniten korreloineet sykemuuttujat. Sykevälien kestossa (RR) havaittiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä laskevaa trendiä, joka oli yhteydessä isometrisen jalkaprässin maksimivoiman laskevaan trendiin kuormituksen jälkeen C- ja D-kuormituksissa. A-kuormituksessa havaittiin, että RR-muuttujan muutos kuormituksen jälkeisinä öinä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa korreloi tilastollisesti merkitsevästi maksimivoiman palautumiseen kuormituksen jälkeisinä päivinä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Saadut tulokset osoittavat, että RR-muuttujassa havaitut muutokset ovat yhteydessä isometrisellä

jalkaprässillä mitattuun maksimivoimaan hermolihasjärjestelmää kuormittavan harjoituksen jälkeen, jolloin RR-muuttuja olisi mahdollisesti hyvä kehon kuormittuneisuuden arviointiin.

Taajuusmuuttujista hf-komponentissa havaittiin toisena kuormituksen jälkeisenä yönä kasvava trendiä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa, joka oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä isometrisen maksimivoiman kasvavaan trendiin kuormituksen jälkeisinä päivinä A- ja B-kuormituksissa. B-kuormituksessa havaittu yhteys oli erittäin vahva ($R=0,943$; $p=0,05$). Myös aiemmin on havaittu, että hf-komponentti olisi yhteydessä kehon kuormittuneisuuteen (Kiviniemi ym. 2007).

Isometrisen jalkaprässin maksimivoiman ja unenaikaisten sykemuuttujien välille muodostui yhteensä 24 tilastollisesti merkitsevää korrelaatioparia (liite 7). Unenaikaisista sykemuuttujista ei selkeästi erottunut yksittäistä muuttujaa, joka olisi selkeästi muita sykemuuttujia useammin ollut yhteydessä maksimivoiman muutokseen. Näin ollen tämä tutkimus antaisi viitteitä, että sykemuuttujia tulisi tulkita laaja-alaisesti, eikä yksittäisien sykemuuttujien perusteella voisi tehdä johtopäätöksiä. Tutkimuksen pieni otanta ($n=9$) saattaa selittää tätä laaja-alaista jakautumista, joten tulevaisuudessa kaivattaisiin lisää tutkimuksia kuormituksen jälkeisen isometrisen maksimivoiman ja unenaikaisten sykemuuttujien välisistä yhteyksistä.

Näin ollen näyttäisi siis siltä, että kuormituksen jälkeen unenaikaisten sykemuuttujien ja isometrisessä jalkaprässissä mitatun maksimivoiman saattaisi mahdollisesti olla yhteys. Tutkimusta aiheesta tarvitaan kuitenkin lisää, jotta asiasta voidaan varmistua. Aikaisempia tutkimuksissa on havaittu, että voimakuormitukset, jotka aiheuttavat pitkittynyttä lihaskipua (DOMS) saavat aikaan muutoksia myös parasympaattisessa aktiivisuudessa (Chen ym. 2011), mutta parasympaattisen aktiivisuuden ja sitä kuvaavien sykemuuttujien yhteydestä kuormituksen jälkeiseen isometrisessä jalkaprässissä mitatuista maksimivoiman muutoksista ei ole aiempaa tutkimustietoa. Tämä tutkimus osoittaa, että sykemuuttujat unen aikana heijastavat kehon kuormittuneisuutta ja palautumistilaa ja niitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää kehon kuormittuneisuuden arvioinnissa hermolihasjärjestelmää kuormittavan harjoituksen jälkeen.

8.5 Onko kuormituksen jälkeisen aineenvaihdunnallisen väsymyksen yhteys sykevälivaihteluun erilainen kuin hermolihasjärjestelmän väsymyksen yhteys sykevälivaihteluun unen aikana?

Yhdistetty voima- ja kestävyys harjoitus kuormittaa sekä aineenvaihduntaa että hermostoa (Hoff ym. 2002; Paavolainen ym. 1999). Mielenkiintoinen kysymys on, missä määrin hermolihasjärjestelmän toiminnassa tapahtuvat muutokset tai vastaavasti missä määrin aineenvaihdunnalliset tekijät ovat yhteydessä sykevälivaihteluun unen aikana. Tässä tutkimuksessa saatiin havaintoja sekä aineenvaihdunnallinen että hermolihasjärjestelmän väsymys heijastuvat unenaikaiseen sykevälivaihteluun. Koska tutkimuksen otanta oli pieni (n=9), aihe kaipaa lisää tutkimusta. Tulevaisuudessa näiden yhteyksien tutkiminen saattaisi mahdollistaa harjoittelun ohjelmoinnin entistä yksilöllisemmin. Toisaalta kehon kuormittuneisuutta seuraamalla voitaisiin mahdollisesti myös välttää yllirasitustiloja entistä paremmin.

Aiemmissa tutkimuksissa kestävyyskuormituksen jälkeen (Stanley ym. 2013) sykevälivaihtelun on havaittu pysyvän pidempään laskeneella tasolla kuin voimakuormituksen jälkeen (Chen ym. 2011). Tämän perusteella saattaisi olla mahdollista, että aineenvaihdunnallinen väsymys aiheuttaa erilaisia vasteita sykevälivaihteluun kuin hermolihasjärjestelmän väsymys. Kuitenkaan vielä tämän tutkimuksen perusteella eroja ei pystytty todentamaan.

8.6 Tutkimuksen rajoitteet

Tutkittavien otos (n=11) oli tässä tutkimuksessa pieni, joten tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää kattamaan koko väestöä. Tässä tutkimuksessa tutkittavat olivat vähintään vuoden kestävyys harjoittelutaustaisia mieskuntoilijoita, joten tutkimuksen tuloksia tulee soveltaa harkiten kilpaurheilijoihin sekä liikkumattomiin.

Ihmistutkimuksissa saatuihin mittaustuloksiin voi mahdollisesti vaikuttaa tutkittavien fyysiset ja psyykkiset tekijät. Mittaustuloksia on voinut vääristää esimerkiksi sairastelut, väsymys,

motivaation puute tai stressitekijät. Tutkittavien valmistautuminen tutkimuksen kuormitusmittauksiin ei välttämättä ohjeistuksesta huolimatta ollut kaikilla tutkittavilla optimaalista.

Erityisesti sykevälivaihtelu on herkkä erilaisille häiriötekijöille. Osalle tutkittavista unenaikainen sykekeräys saattoi aiheuttaa mahdollisesti stressiä, joka puolestaan vääristää sykevälivaihtelua. Yöllinen sykekeräys suoritettiin kotioloissa ja tutkittavat suorittivat mittaukset omatoimisesti. Osassa yösykekeräyksiä mittausdata sisälsi erittäin paljon häiriöitä ja nämä yökeräykset jouduttiin jättämään tutkimuksen ulkopuolelle. Lopulta tutkittavien määrä, joilta saatiin jokaisesta neljästä yhdistetystä voima- ja kestävyyskuormituksesta kaikki yökeräykset onnistumaan jäi niin vähäiseksi, että tilastollisia analyyseillä ei voitu suorittaa kuormitusten välistä vertailua.

Sykemuuttajat ovat hyvin yksilöllisiä, joka asettaa haasteita tutkimukselle. Tässäkin tutkimuksessa havaittiin unenaikaisissa sykemuuttujissa suurta keskihajontaa eri tutkittavien välillä (liite 1).

8.7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vasteiden yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana kestävyyskuntoilutaustaisilla mieshenkilöillä. Yksi tutkimuksen päähavainnoista oli, että yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeen unenaikaisista sykemuuttujista sykevälien kestossa (RR), sykevälien keskihajonnassa (SDNN), peräkkäisten sykevälien keskimääräisessä vaihtelussa (RMSSD) sekä taajuusalueiden hf-komponentissa havaittiin laskevaa trendiä ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä ja toisena kuormituksen jälkeisenä yönä nousevaa trendiä lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Unenaikaisessa keskisykkeessä (HR) havaittiin päinvastaisia muutoksia kuin muissa sykemuuttujissa. Ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä keskisyke nousi ja toisena kuormituksen jälkeisenä yönä laski lähelle kuormitusta edeltävää tasoa.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös yhdistettyjen kuormitusten aineenvaihdunnallisten ja hermolihasjärjestelmän vasteiden yhteyksiä sykevälivaihteluun unen aikana. Unenaikaisista sykemuuttujista ei erottunut selkeästi mitään yksittäistä muuttujaa, joka olisi selkeästi muita sykemuuttujia useammin ollut yhteydessä kuormitusten aineenvaihdunnallisiin tai hermolihasjärjestelmään kohdistuviin vasteisiin. Näin ollen tämä tutkimus osoittaa, että sykemuuttujia tulisi tulkita laaja-alaisesti, eikä yksittäisten sykemuuttujan perusteella tulisi tehdä pitkälle meneviä päätelmiä. Osaltaan tutkimuksen pieni otanta (n=9) saattaa selittää tätä laaja-alaista jakautumista. Kuitenkin tutkimuksessa havaitut lukuisat tilastolliset yhteydet yhdistetyn kuormituksen aineenvaihdunnallisten (liite 5) tai hermolihasjärjestelmän (liite 7) vasteiden ja unenaikaisten sykemuuttujien välillä viittaavat siihen, että unenaikaiset sykemuuttajat soveltunevat kehon kuormittuneisuuden seurantaan.

Tulevaisuudessa unenaikaisiin sykemuuttujiin kohdistuva tutkimus kasvattaa suosiotaan, sillä kilpailun koventuessa huipulla valmentajien tulee löytää uusia keinoja optimoida harjoittelua entistä kustannustehokkaammin. Unenaikaisen sykevälivaihtelun hyödyntäminen urheiluvalmennuksessa saattaa tarjota mahdollisuuden rytmittää harjoittelua entistä paremmin.

Päätulokset.

1. Ensimmäisenä yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeisenä yönä unenaikaisista sykemuuttujista RR, SDNN, RMSSD, pnn50 ja hf-komponentissa havaittiin laskevaa trendiä ja HR-muuttujassa nousevaa trendiä.
2. Toisena yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten jälkeisenä yönä lähes kaikki sykemuuttajat olivat palanneet lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Tutkimuksen yhdistettyjen voima- ja kestävyyskuormitusten vaste näkyi siis sykemuuttujissa ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä.
3. Kuormituksen jälkeisillä aineenvaihdunnallisella ja hermolihasjärjestelmän väsymyksellä saattaa mahdollisesti olla yhteys sykevälivaihteluun unen aikana.

8.8 Käytännön sovellukset

Urheiluvalmennuksessa tavoitteena on optimoida urheilijan fyysisten ominaisuuksien kehittyminen. Kehittymisen kulmakiviä ovat kova harjoittelu ja riittävä palautuminen. Liiallinen kehon kuormittaminen johtaa ylikuormitustilaan ja suorituskyvyn heikkenemiseen, kun taas palautumisen ollessa riittävää suorituskyky nousee lähtötasoa korkeammalle. (Bomba & Haff 2009; 15 – 18.)

Sykevälivaihtelua voidaan hyödyntää urheilijoiden harjoitustilan ja kehityksen seurannassa. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että kuormitusten vasteet heijastuivat sykemuuttujiin ensimmäisenä kuormituksen jälkeisenä yönä. Toisena kuormituksen jälkeisenä yönä sykemuuttajat olivat palanneet lähelle kuormitusta edeltävää tasoa. Tulokset osoittavat, että keho oli toisen kuormituksen jälkeisen yön jälkeen valmiimpi uuteen harjoitusärsykkeeseen kuin ensimmäisen kuormituksen jälkeisen yön jälkeen. Mielenkiintoista olisi ollut seurata kuormitusten vasteita pidempään ja selvittää kauanko olisi keho kestänyt, että unenaikaiset sykemuuttajat nousseet kuormitusta edeltävän tason yläpuolelle.

Sykemuuttajat ovat yksilöllisiä, joten saatuja mittaustuloksia tulisi aina tulkita urheilijakohtaisesti. Yleisiä viitearvoja sykemuuttujille ei voida asettaa. Tässäkin tutkimuksessa sykemuuttujissa havaittiin suurta keskihajontaa eri tutkittavien välillä. Näin ollen sykevälivaihtelun voidaankin todeta kuvaavan autonomisen säätelyn astetta enemmän kuin sen absoluuttista tasoa. Tärkeää olisi suhteuttaa saadut tulokset saman urheilijan aiempiin mittaustuloksiin, esimerkiksi lepotilassa suoritettuun kontrollimittaukseen. Sykemuuttujia tarkkailemalla voidaan harjoittelua yksilöllistää urheilijakohtaiseksi, optimoida tehokkaammin ja välttää ylikuormitustiloja. Kilpailun kiristyessä huipulla on harjoittelun kustannustehokkuudella saavutettava hyöty huippu-urheilijoille tärkeää. Sama harjoitusohjelma ei toimi samalla tavoin jokaisen urheilijan kohdalla, jolloin yksilöllinen harjoittelun rytmitys kehon palautuneisuuden mukaan mahdollistaneekin tehokkaamman suorituskyvyn kehittymisen.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tutkia enemmän sykevälivaihtelun yhteyttä urheilijoiden räsitustilaan, jotta sykevälivaihtelun tarjoamia mahdollisuuksia voitaisiin hyödyntää entistä paremmin käytännön valmennuksessa. Esimerkiksi harjoittelun ohjelmointi sykevälivaihteluun perustuen voi tulevaisuudessa tarjota lukuisia mahdollisuuksia harjoittelun tehokkaampaan optimointiin sekä suorituskyvyn kehittämisen maksimointiin. Toisaalta vaikka kehon kuormittuneisuudesta kertovat objektiiviset seurantamenetelmät antavat paljon hyödyllistä tietoa, ei urheilijan subjektiivisia tuntemuksia voida täysin sivuttaa harjoitustilan arvioinnissa. Objektiiviset seurantamenetelmät ovat hyvä lisätuki subjektiivisten rinnalle.

LIITE 1. Unenaikaisten sykemuuttujien keskiarvot ja keskihajonnat yöltä ennen yhdistettyjä voima- ja kestävyyskuormituksia (A–D) sekä kahtena peräkkäiseltä yöltä kuormitusten jälkeen.

	A			B			C			D		
	PRE	POST 1	POST 2	PRE	POST 1	POST 2	PRE	POST 1	POST 2	PRE	POST 1	POST 2
RR (ms)	1222 ± 123	1158 ± 85	1210 ± 86	1218 ± 125	1170 ± 133	1206 ± 162	1234 ± 146	1143 ± 148	1203 ± 125	1221 ± 183	1142 ± 146	1223 ± 155
SDNN (ms)	67 ± 15	58 ± 11	70 ± 16	68 ± 14	61 ± 21	59 ± 17	67 ± 20	62 ± 22	72 ± 14	60 ± 15	57 ± 9	66 ± 7
RMSSD (ms)	72 ± 27	58 ± 13	74 ± 27	73 ± 23	64 ± 28	60 ± 26	70 ± 30	62 ± 34	75 ± 25	61 ± 20	57 ± 15	70 ± 18
HR (bpm)	50 ± 5	53 ± 4	50 ± 4	50 ± 5	52 ± 6	51 ± 7	50 ± 6	54 ± 7	51 ± 5	51 ± 7	54 ± 7	51 ± 7
pnn50 (%)	42 ± 17	34 ± 10	43 ± 17	43 ± 16	38 ± 20	35 ± 21	40 ± 20	31 ± 19	41 ± 14	37 ± 19	35 ± 13	43 ± 14
LF (ms ²)	2209 ± 929	64 ± 15	43 ± 17	60 ± 18	63 ± 19	66 ± 20	66 ± 14	66 ± 17	64 ± 16	62 ± 21	64 ± 19	61 ± 18
HF (ms ²)	1792 ± 1555	36 ± 15	38 ± 19	40 ± 18	37 ± 19	34 ± 20	34 ± 14	34 ± 17	36 ± 16	38 ± 21	36 ± 19	39 ± 18
TP (ms ²)	4395 ± 2117	3320 ± 1100	4850 ± 2182	4465 ± 1736	3847 ± 2356	3551 ± 1740	4348 ± 2590	3873 ± 2856	4862 ± 2022	3551 ± 1508	3172 ± 901	4069 ± 923

RR = keskimääräinen sykeväli, SDNN = sykevälien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu, HR = keskisyke, pnn50 = enemmän kuin 50 ms toisistaan poikkevien RR-välien prosentuaalinen määrä, LF = matalan taajuuden sykevaihtelu, HF = korkean taajuuden sykevaihtelu, tp = kokonaissykeväli vaihtelu, pre = kuormitusta edeltävä yö, post 1 = ensimmäinen kuormituksen jälkeinen yö, post 2 = toinen kuormituksen jälkeinen yö

LIITE 2. Unenaikaisten sykemuuttujien tilastollisesti merkitsevät ($p < 0,05$) muutokset Maughlyn sfäärisyystestillä ja parittaisella vertailulla sekä Wilcoxonin testillä.

Kuormitus	Sykemuuttuja	Sykemittaukset	Maughlyn sfäärisyystesti (p-arvo)	Wilcoxonin testi (p-arvo)
A	SDNN	pre – post 1	0,063	0,05
	pn 50	pre – post 1	0,067	0,05
	TP	pre – post 1	0,074	0,05
B	RR	pre – post1	0,071	0,028
	lf	pre – post1	0,008	0,028
	lf	pre – post 2	0,08	0,028
	hf	pre – post 1	0,008	0,028
	hf	pre – post 2	0,008	0,028
C	RR	pre – post 1	0,010	0,008
	HR	pre – post 1	0,03	0,011
	lf	pre – post1	0,018	0,012
	pnn50	pre – post1	0,043	0,066
D	hf	pre – post1	0,018	0,012

RR = keskimääräinen sykeväli, SDNN = sykevälien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu, HR = keskisyke, pnn50 = enemmän kuin 50 ms toisistaan poikkevien RR-välien prosentuaalinen määrä, LF = matalan taajuuden sykevaihtelu, HF = korkean taajuuden sykevaihtelu, TP = kokonaissykevälivaihtelu, pre = kuormitusta edeltävä yö, post 1 = ensimmäinen kuormituksen jälkeinen yö, post 2 = toinen kuormituksen jälkeinen yö

LIITE 3. Unenaikaisten sykemuuttujien tilastollisesti merkitsevät ($p < 0,05$) muutokset Maughlyn sfäärisyystestillä ja parittaisella vertailulla sekä Wilcoxonin testillä.

Kuormitus	Sykemuuttuja	Sykemittaukset	Maughlyn sfäärisyystesti (p-arvo)	Wilcoxonin testi (p-arvo)
A	RR	post 1 – post 2	0,034	0,036
	SDNN	post 1 – post 2	0,007	0,017
	HR	post 1 – post 2	0,038	0,036
	RMSSD	post 1 – post 2	0,042	0,036
	pn 50	post 1 – post 2	0,027	0,05
	TP	post 1 – post 2	0,014	0,025
B	RR	post 1 – post 2	0,027	0,028
	HR	post 1 – post 2	0,030	0,028
C	RR	post 1 – post 2	0,003	0,008
	HR	post 1 – post 2	0,007	0,008
	pnn50	post 1 – post 2	0,027	0,051
D	RR	post 1 – post 2	0,021	0,036

RR = keskimääräinen sykeväli, SDNN = sykevälien keskihajonta, RMSSD = peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu, HR = keskisyke, pnn50 = enemmän kuin 50 ms toisistaan poikkevien RR-välien prosentuaalinen määrä, LF = matalan taajuuden sykevaihtelu, HF = korkean taajuuden sykevaihtelu, TP = kokonaissykevälivaihtelu, post 1 = ensimmäinen kuormituksen jälkeinen yö, post 2 = toinen kuormituksen jälkeinen yö

LIITE 4. Juoksun taloudellisuustestissä mitattu hapenkulutus pre-, post-, post 24h- ja post 48h-mittauksissa eri kuormituksissa (A–D).

Kuormitus	Mittaus	Hapenkulutus (ml/min) [?] ± SD	Muutosprosentti pre- mittaukseen nähden (%)
A	PRE	2607 ± 329	-
	POST	2756 ± 346	6
	POST 24h	2645 ± 303	1
	POST 48h	2649 ± 330	2
B	PRE	2497 ± 352	-
	POST	2575 ± 343	3
	POST 24h	2506 ± 334	0
	POST 48h	2516 ± 355	1
C	PRE	2496 ± 273	-
	POST	2615 ± 273	5
	POST 24h	2617 ± 310	5
	POST48h	2508 ± 269	1
D	PRE	2577 ± 298	-
	POST	2654 ± 286	3
	POST 24h	2616 ± 303	1
	POST 48h	2569 ± 307	0

pre = kuormitusta edeltävä mittaus, post = heti kuormituksen jälkeinen mittaus, post 24h = kuormituksen jälkeisen päivän mittaus, post 48h = toisen kuormituksen jälkeisen päivän mittaus

LIITE 5. Unenaikaisissa sykemuuttujissa ja hapenkulutuksessa eri mittauskertojen välillä havaittujen muutoksien väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot eri kuormituksissa (A–D). R = korrelaatio, p = korrelaation tilastollinen merkitsevyys.

Kuormitus	Sykemuuttuja, muutosväli	Hapenkulutus, muutosväli	R	p
	RR, pre–post1	Pre–post48h	-0,810	0,015 *
	HR, pre–post1	Pre–post48h	0,833	0,010*
	HR, post1–post2	Pre–post24h	-0,929	0,001**
	SDNN, pre–post1	Pre–post24h	-0,857	0,007 **
	RMSSD, pre–post1	Pre–post48h	-0,786	0,021*
	pnn50, pre–post1	pre–post24h	-0,714	0,047 *
A	pnn50, pre–post1	pre–post48h	-0,857	0,007 **
	lf, pre–post1	pre–post	0,786	0,021*
	hf, pre–post1	pre–post	-0,786	0,021*
	TP, pre–post1	pre–post24h	-0,833	0,010 *
	TP, pre–post1	pre–post48h	-0,881	0,004 **
	RR, pre–post1	pre–post24h	-0,943	0,005 **
	HR, pre–post2	pre–post	0,886	0,019*

B	SDNN, pre–post2	pre–post24h	-0,829	0,042*
	RMSSD, pre–post2	pre–post48h	-0,829	0,042*
	lf, post1–post2	post24h–post48h	-0,829	0,042
	hf, post1–post2	post24h–post48h	0,829	0,042*
	TP, pre–post2	pre–post48h	-0,829	0,042*
C	RR, post1–post2	post–post48h	0,683	0,042*
	pnn50, post1–post2	post–post48h	0,667	0,050*
D	lf, pre–post1	pre–post	0,857	0,007**
	lf, pre–post2	pre–post	0,762	0,028*
	hf, pre–post1	pre–post	-0,857	0,007**
	hf, pre–post2	pre–post	-0,762	0,028*

Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio: *p<0,05, **p<0,01

LIITE 6. Isometrisessä jalkaprässissä mitattu maksimivoima pre-, post-, post24h- ja post48h-mittauksissa eri kuormituksissa (A–D).

Kuormitus	Mittaus	Isometrinen maksimivoima (N) ± SD	Muutosprosentti pre- mittaukseen nähden (%)
A	PRE	3304 ± 964	-
	POST	2770 ± 706	-16
	POST 24h	3117 ± 933	-6
	POST 48h	3253 ± 1147	-2
B	PRE	3258 ± 990	-
	POST	2963 ± 917	-9
	POST 24h	3180 ± 1113	-2
	POST 48h	3227 ± 1121	-1
C	PRE	3312 ± 1020	-
	POST	2807 ± 845	-15
	POST 24h	3256 ± 844	-2
	POST48h	3326 ± 912	0
D	PRE	3302 ± 987	-
	POST	2901 ± 703	-12
	POST 24h	3202 ± 979	0
	POST 48h	3230 ± 1013	-2

pre = kuormitusta edeltävä mittaus, post = heti kuormituksen jälkeinen mittaus, post 24h = kuormituksen jälkeisen päivän mittaus, post 48h = toisen kuormituksen jälkeisen päivän mittaus

LIITE 7. Unenaikaisissa sykemuuttujissa ja isometrisessä maksimivoimassa eri mittauskertojen välillä havaittujen muutoksien väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot eri kuormituksissa (A–D). R = korrelaatio, p = korrelaation tilastollinen merkitsevyys

Kuormitus	Sykemuuttuja, muutosväli	Maksimivoima, muutosväli	R	p
	RR, post1–post2	Post–post24h	0,833	0,010*
	RR, post1–post2	Post24h–post48h	0,738	0,037*
	RR, post1–post2	post–post48h	0,810	0,015*
A	HR, post1–post2	post–post48h	-0,714	0,047*
	SDNN, pre–post1	pre–post	0,738	0,037*
	RMSSD, post1–post2	post–post48h	0,714	0,047*
	pnn50, post1–post2	post–post48h	0,714	0,047*
	lf, post1–post2	post–post48h	-0,714	0,047*
B	hf, post1–post2	post–post48h	0,714	0,047*
	TP, pre–post1	pre–post	0,810	0,015*
	lf, pre–post2	pre–post	0,829	0,042*
	lf, post1–post2	post–post24h	-0,886	0,019*
	lf, post1–post2	post–post48h	-0,943	0,005**

	hf, pre–post2	pre–post	-0,829	0,042*
	hf, post1–post2	post–post24h	0,886	0,019*
	hf, post1–post2	post–post48h	0,943	0,005**
<hr/>				
	RR, pre–post1	pre–post24h	-0,767	0,016*
	HR, pre–post1	pre–post24h	0,750	0,020*
C	RMSSD, pre–post1	pre–post24h	-0,667	0,050*
	pnn50, pre–post1	pre–post24h	-0,783	0,013*
<hr/>				
	RR, pre–post1	pre–post	0,833	0,010*
	HR, pre–post1	pre–post	-0,738	0,037*
D	pnn50, pre–post1	pre–post	0,905	0,002**
	TP, pre–post1	pre–post48h	0,714	0,047*

Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

9 LÄHTEET

- Aagaard, P. & Andersen, J. L. 2010. Effects of strength training on endurance capacity in top level endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20, 39–47.
- Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. 2003. Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine* 33, 889–919.
- Anrep, G. V., Pascual, W., Rossler, R. 1936. Respiratory variations of heart rate. II.— The central mechanism of the respiratory arrhythmia and the inter-relations between the central and reflex mechanisms 119, 218–230.
- Basset, D., Howley E. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32, 70–84.
- Barantke, M., Krauss, T., Ortak, J., Lieb, W., Reppel, M., Burgdorf, C., Pramstaller, PP., Schunkert, H. & Bonnemeier, H. 2008. Effects of gender and aging on differential autonomic responses to orthostatic maneuvers. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology* 19 (12), 1296–1303.
- Bompa, T. & Haff, G. 2009. *Periodization. Human Kinetics. USA.*
- Bonnet, M.H. & Arand, D.L. 1997. Heart rate variability: sleep stage, time of night, and arousal influences. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 102, 390–396.
- Brosschot, J.F, Van Dijk, E & Thayer, J.F. 2007. Daily worry is related to low heart rate variability during waking and the subsequent nocturnal sleep period. *International Journal of Psychophysiology* 63, 39–47.
- Bunnell,D., Bevier, W. & Horvath, S. 1983. Effects of Exhaustive Exercise on the Sleep of Men and Women. *Psychophysiology* 20, 50–58.
- Carter, JB., Banister, EW. & Blaber, AP. 2003. Effect of Endurance Exercise on Autonomic Control of Heart Rate. *Sports Medicine* 33, 33–46.
- Chen, J., Yeh, D., Lee, J., Chen, C., Huang, C., Lee, S., Chen, C., Kuo, T., Kao, C. & Kuo, C. 2011. Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of strenght and conditioning research* 25 (6), 1546–1552.

- Clays, E., Bacquer, DD., Crasset, V., Kittel, F., de Smet, P., Kornitzer, M., Karasek, R. & De Backer, G. 2011. The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 84, 185–191.
- Figueiredo, T., Willardson, JM, Miranda, H, Bentes CM, Reis VM, Sima R. 2015. Influence of load intensity on postexercise hypotension and heart rate variability after a strength training session. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 29 (10), 2941–2948.
- Guyton, AC. & Hall, JE. 2011. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia, USA.
- Giles, D., Draper, N. & Neil, W. 2016. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology* 116, 563–571.
- Hall, M., Vasko, R., Buysse, D., Ombao, H., Chen, Q., Cashmere, J.D., Kupfer, D. & Thayer, J.F. 2004. Acute Stress Affects Heart Rate Variability During Sleep. *Psychosomatic Medicine* 66, 56–62.
- Hautala, A., Tulppo, MP., Makikallio, T.H., Laukkanen, R., Nissila, S. & Huikuri, H.V. 2001. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 21 (2), 238–245.
- Hautala, A.J., Mäkikallio, T.H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R.T., Nissilä, S., Huikuri, H.V. & Tulppo, M.P. 2003. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology* 285, 1747–1752.
- Helgerud J., Høydal K., Wang E., Karlsen T., Berg P., Bjerkaas M., Simonsen T., Helgesen C., Hjørth N., Bach R. & Hoff J. 2007 Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39 (4), 665–671
- Hickson, R.C. 1980. Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance, *European Journal of Applied Physiology* 45, 255–263.
- Holloszy, J.O. & Coyle, E.F. 1984. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56, 831–838.
- Hoff J., Gran A. & Helgerud J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12 (5), 288–295.

- Hynynen E., Vesterinen V., Rusko H. & Nummela A. 2010. Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV. *Sports Medicine* 31, 428–432.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89, 42–52.
- Jones, AM. & Carter, H. 2000. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine* 29, 373–386.
- Kaikkonen, K., Korpelainen, R., Tulppo, M., Kaikkonen, H., Vanhala, M., Kallio, M., Keinänen-Kiukaanniemi, S. & Korpelainen, J. 2014. Physical Activity and Aerobic Fitness are Positively Associated With Heart Rate Variability in Obese Adults. *Journal of Physical Activity and Health*, 11, 1614–1621.
- Kaikkonen P., Hynynen E., Mann T., Rusko H. & Nummela A. 2010. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology* 108, 435–442.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H. & Nummela, A. 2012. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology* 112, 829–838.
- Kaikkonen, P., Rusko, H. & Martinmäki, K. 2008. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 18 (4), 511–519.
- Karavirta L., Costa M. D., Goldberger A. L., Tulppo M. P., Laaksonen D. E., Nyman K., Keskitalo M., Häkkinen A. & Häkkinen K. 2013. Heart rate dynamics after combined strength and endurance training in middle-aged women: heterogeneity of responses. *PLOS One*. 27 (8), 72664.
- Kemp, A., Quintana, D., Gray, M., Felmingham, K., Brown, K. & Gatt, J. 2010. Impact of Depression and Antidepressant Treatment on Heart Rate Variability: A Review and Meta-Analysis. *Biological Psychiatry* 67, 1067–1074.
- Kiviniemi A. M., Hautala A. J., Kinnunen H & Tulppo M. P. 2007. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology* 101 (6), 743–751.

- Komi, P. & Tesch, P. 1979. EMG frequency spectrum, muscle structure and fatigue during dynamic contractions in man. *European Journal of Applied Physiology* 42, 41–50.
- Kraemer, W., Patton, J., Gordon, S., Harman, E., Deschenes, M., Reynolds, K., Newton, R., Triplett, N., & Dziados, J. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 78, 976–989.
- Kyröläinen, H., Pullinen, T., Candau, T., Avela, J., Huttunen, P. & Komi, P. 2000. Effects of marathon running on economy and kinematics. *European Journal of Applied Physiology*. 82, 297–304.
- McArdle W. D., Katch F. I. & Katch V. L. 2007. *Exercise physiology*, Lippincott Williams & Wilkins.
- Moritani, T. & deVries, H.A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58 (3), 115–130.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.D. & Regnard, J. 2004. Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology* 92, 508–517.
- Mikkola, J. S., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M. & Hakkinen, K. 2007. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 21 (2), 613–620.
- Mrowczynski W. & Lochynski D. 2014. Physiological adaptations of motor units to endurance and strength training. *Trends in Sport Sciences*. 3 (21), 129–134
- Nader G.A., 2006. Concurrent Strength and Endurance Training: From Molecules to Man. *Medicine & science in sports & exercise*. 38 (11), 1965–1970.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P. & Rusko, H. 2010. Endurance Performance and Nocturnal HRV Indices. *International Journal of Sports Medicine* 31, 154–159.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*. 86 (5), 1527–1533.

- Peltonen H., Häkkinen K. & Avela J. 2013. Neuromuscular responses to different resistance loading protocols using pneumatic and weight stack devices. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23, 118–124.
- Pichot V., Busso T., Roche F., Garet M., Costes F., Duverney D., Lacour J.R. & Barthelemy J.C. 2002. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: A laboratory study. *Medicine & science in sports & exercise*. 34(10), 1660–1666
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J.M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J.R. & Barthelemy, J.C. 2000. Relation between heart rate variability and training in middle distance runners. *Official journal of the american college of sports medicine* 32 (10), 1729–1736.
- Ramaekers, D., Ector, H., Aubert, A.E., Rubens, A. & Van de Werf, F. 1998. Heart rate variability and heart rate in healthy volunteers. is the female autonomic nervous system cardioprotective? *European Heart Journal* 19 (9), 1334–1341.
- Rønnestad, B., Hansen, E. & Raastad, T. 2011. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 250–259.
- Rezk, C.C., Marrache, R.C.B., Tinucci, T., Mion, D., Forjaz, C.L.M. 2006. Post-resistance exercise hypotension, hemodynamics, and heart rate variability: influence of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*. 98, 105–112
- Sandercock, G.R.H. & Brodie, D.A. 2006. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports*, 16, 302–312.
- Seiler, S., Haugen, O. & Kuffel, E. 2007. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39 (8), 1366–73.
- Shaffer, F., McCraty, R. & Zerr, C. L. 2014. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology* 5, 1040.
- Singh, J.P., Larson, M.G., O'Donnell, C.J., Tsuji, H., Evans, J.C. & Leavy, D. 1999. Heritability of heart rate variability. *Circulation*. 99, 2251–2254.
- Spina, R.J. 1999. Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 27, 317–332.

- Stanley, J., Peake, J.M., Buchheit, M. 2013. Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise: Implications for Training Prescription. *Sports Medicine*. 43, 1259–1277.
- Task Force. 1996. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology 51 and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93, 1043–1065.
- Taylor, AW. & Bachman, L. 1999. The Effects of Endurance Training on Muscle Fiber Types and Enzyme Activities. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24, 41–53.
- Tharion, E. Parthasarathy, S. & Neelakantan, N. 2009. Short-term heart rate variability measures in students during examinations. *The National Medical Journal of India* 22, 63–66.
- Tulppo, M.P., Makikallio, T.H., Seppanen, T., Laukkanen, R.T. & Huikuri, H.V. 1998. Vagal modulation of heart rate during exercise: Effects of age and physical fitness. *American Journal of Physiology*. 274 (2), 424–429.
- Trinder, J., Kleiman, J., Carrington, M., Smith, S., Breen, S., Tan, N., & Kim, Y. 2001. Autonomic activity during human sleep as a function of time and sleep stage. *Journal of Sleep Research*, 10, 253–264.
- Uusitalo, A.L.T., Laitinen, T., Väisänen, S.B., Länsimies, E. & Rauramaa, R. 2002. Effects of endurance training on heart rate and blood pressure variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 22, 173–179.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L. & Nummela, A. 2013. Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23, 171–180.
- Van Cauter, E., Leproult, R., Plat, L. 2000. Age-related changes in slow wave sleep and REM sleep and relationship with growth hormone and cortisol levels in healthy men. *The Journal of the American Medical Association*. 284, 861–868.
- Vaschillo, E.G., Bates, M.E., Vaschillo, B., Lehrer, P., Udo, T., Mun, E.Y. & Ray, S. 2008. Heart rate variability response to alcohol, placebo, and emotional picture cue challenges: Effects of 0.1-Hz stimulation. *Psychophysiology*. 45, 847–858.
- Vollaard, NB., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, PL., Timmons, JA. & Sundberg, CJ. 2009. Systematic analysis of

adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 106, 1479–1486.

Wenger, H.A. & Bell, G.J. 1986. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Medicine*. 3, 346–56.

Wilmore, J. & Costil, D. 2004. *Physiology of Sport and Exercise*. Third edition. Human Kinetics. Illinois.

Wilson, J.M., Marin, P.J., Rhea, M.R., Wilson, S.M.C., Loenneke, J.P. & Anderson, J.C. 2012. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 26 (8), 2293–307.