

**Tapaustutkimus etelä- ja pohjoisnaparetkien fyysisistä
rasittavuuseroista sykevälivaihteluun perustuen**

Tuomo Väisänen

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Tampereen yliopisto

Lääketieteen yksikkö

3/2016

Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö

VÄISÄNEN TUOMO: TAPAUSTUTKIMUS ETELÄ- JA POHJOISNAPARETKIEN
FYYSISISTÄ RASITTAVUUSEROISTA SYKEVÄLIVAIHTELUUN PERUSTUEN

Kirjallinen työ, 28 s.

Ohjaaja: LT Heikki Karinen, TkT Reija Autio

Maaliskuu 2016

Avainsanat: sykevälivaihtelu, energiankulutus, etelänapa, pohjoisnapa, retkeily

Vaikka äärimmäisen fyysisen rasituksen vaikutuksia ihmiskehoon on tutkittu jonkin verran arktisissa ja antarktisisissa olosuhteissa, pohjois- ja etelänapavaellusten fyysisiä rasittavuuseroja ei ole aiemmin tutkittu. Tässä tapaustutkimuksessa seurattiin yhden suomalaisen miehen sykevälivaihtelua pohjois- ja etelänapavaellusten aikana.

Tutkittava osallistui pääosin hiihtäen tapahtuneisiin etelä- ja pohjoisnapavaelluksiin vuosina 2006 ja 2008. Vaellukset kestivät etelänavalle 44 ja pohjoisnavalle 55 päivää ja matkaa kertyi vastaavasti 1131 km ja 850 km. Sykevälivaihteludataa kerättiin vaellusten ajan öisin sekä aamuisin sykemittarilla (Suunto T6). Vaellusten aikaista sykevälivaihtelua verrattiin keskenään ja erikseen jakamalla vaellukset alku- ja loppupuoliskoisiin. Etelänavalla keskihajonta (SD), RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvojen neliöjuuri (RMSSD) sekä sykevälivaihtelun korkeataajuiset (HF) ja matalataajuiset (LF) jaksot olivat pienempiä sekä aamu- että yömittauksissa. Myös alku- ja loppumatkoja erikseen verrattaessa sykevälivaihtelu oli pienempää etelänavalla. Lisäksi sykevälivaihteluissa oli matkan loppua kohden laskeva trendi viitaten rasituksen kasvaneen matkan edetessä. Lisäksi tutkittavan energiankulutus oli suurempi etelänavalla sopien kovempaan fyysiseen rasitukseen.

Tulokset viittaavat etelänapavaelluksen olevan fyysisesti vaativampi ponnistus. Joskin etelänavan hypobaarisemmat ja hypoksisemmat olosuhteet vähentävät myös itsessään sykevälivaihtelua heikentäen tulosten luotettavuutta eikä yhdellä henkilöllä tehtyä tutkimusta voi suoraan yleistää suuriin populaatioihin.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	
1.1 Äärimmäisen fyysisen rasituksen vaikutus suorituskyykyyn ja sen arviointi.....	4
1.2 Fyysisen kuormituksen arvioiminen sykevälivaihteluanalyysin perusteella.....	6
1.3 Sykevälivaihtelun analysoimisen työkalut.....	8
1.4 Tutkimuksen tarkoitus.....	10
2 Menetelmät.....	10
3 Tulokset.....	12
4 Pohdinta.....	22
5 Yhteenveto.....	24
6 Lähdeluettelo.....	25

1 Johdanto

1.1 Äärimmäisen fyysisen rasituksen vaikutus suorituskykyyn ja sen arviointi

Raskas fyysinen kuormitus, varsinkin jos siihen liittyy riittämätön energiansaanti, aiheuttaa elimistölle stressiä, mikä näkyy monissa hormonaalisissa ja metabolisissa toiminnoissa (Friedl, Moore et al. 2000, Frykman, Harman et al. 2003, Helge, Lundby et al. 2003, Kyrolainen, Karinkanta et al. 2008, Bourrilhon, Philippe et al. 2009, Gagnon, Pullinen et al. 2011). Huolimatta runsaasta energiansaannista napa- ja vuoristoretikunnissa riittämätön ravinnon mukana saatava energia suhteessa kulutukseen on yleistä, mikä osaltaan johtaa kehon koostumuksen ja elimistön metabolian muutoksiin (Helge, Lundby et al. 2003, Gagnon, Pullinen et al. 2011, Torkko 2013). Näitä muutoksia voidaan arvioida muun muassa veren testosteroni-, lipidi-, kortisoli- ja tyroksiinipitoisuuksia sekä kehon koostumusta ja painonmuutoksia määrittämällä, kuten edellä mainituissa tutkimuksissa tehtiin. Helgen johtamassa tutkimuksessa Grönlannin ylityksen aikana havaittiin kehon massan pienenevän ja painon pudotuksen johtuvan suurelta osin rasvakudoksen määrän vähenemisestä. Myös Gagnonin tutkimuksessa havaittiin kehon massan pienenevän pohjoisnapavaelluksen aikana. Lisäksi kortisoli-, testosteroni- ja vapaan tyroksiinin pitoisuudet laskivat ja LDL- HDL- sekä verihiutaletasot puolestaan nousivat. Myös trijodityroniinin, insuliinin kaltaisen kasvutekijän (IGF-1) ja testosteronin määrän havaittiin laskevan dramaattisesti Friedlin johtamassa tutkimuksessa, jossa tutkittiin äärimmäisen fyysisen rasituksen ja riittämättömän energiansaannin vaikutuksia yhdysvaltalaisissa sotilaissa (Friedl, Moore et al. 2000). Nämä muutokset olivat kuitenkin levon myötä palautuvia.

Naparetkien fyysistä rasittavuutta on arvioitu myös energiankulutusta arvioimalla. G2-tutkimusretkellä kaksi miestä ylitti Grönlannin hiihtäen 2928 km 86 päivän aikana vetäen alun perin 150 kilogramman painoista kelkkaa. Energiankulutus mitattiin kaksoismerkityn veden avulla kolmessa kahden viikon jaksossa. Miesten energiankulutus vaihteli suuresti olosuhteiden ja maaston mukaan. Helppoissa olosuhteissa alhaisimmat mitatut energiankulutukset olivat 14,1 MJ/vrk ja 16,7 MJ/vrk. Suurimmat kulutukset olivat puolestaan 28,3 MJ/vrk ja 34,6 MJ/vrk. Molemmat miehet menettivät vaelluksen aikana painoa (1,1 kg ja 8,6 kg) huolimatta runsasenergisestä (25,1 MJ/vrk) ravinnosta. (Frykman, Harman et al. 2003) Etelänapamantereen ylityksessä jalan kaksi miestä veti alkumatkasta 222 kilogramman painoista kelkkaa 2300 kilometriä 95 päivässä. Ruoat oli punnittu ja esipakattu ja keskimääräinen energiansaanti oli 21,3 MJ/vrk. Energiankulutusta arvioitiin energiatasapainotietojen avulla sekä isotooppi-merkityn veden avulla. Ensimmäisten 50 päivän aikana molemmat menetelmät antoivat samansuuntaiset tulokset antaen toiselle miehistä

päivittäiseksi energiankulutukseksi 38,3 MJ energiatasapainotietojen avulla ja 35,5 MJ isotooppimenetelmällä. Toiselle miehistä energiankulutukseksi saatiin 28,6 MJ/vrk energiatasapainotietojen avulla ja 29,1 MJ/vrk isotooppimenetelmällä. Isotooppi-datan perusteella energiankulutus oli päivien 20-30 aikana peräti 44,6 MJ/vrk ja 48,7 MJ/vrk. (Stroud, Ritz et al. 1997) Grönlannin mannerjään ylityksellä puolestaan neljä miestä hiihti 650 kilometriä 42 päivässä leväten vaelluksen aikana viisi päivää. He vetivät alkumatkasta 120 kilogramman painoista kelkkaa 8-9 tuntia päivässä. Miesten energiankulutukseksi arvioitiin energiatasapainotietojen avulla $18,6 \pm 1,2$ MJ/vrk. Vaelluksen aikana miesten paino putosi $5,7 \pm 0,5$ kilogrammaa. (Helge, Lundby et al. 2003)

Naparetkien fyysistä rasittavuutta voidaan arvioida myös ennen ja jälkeen retkikuntien tehtyjen fyysistä suorituskykyä arvioivien mittausten perusteella. Pitkä äärimmäinen fyysinen rasitus naparetkikunnilla näyttäisi parantavan hapenottoa, mutta heikentävän maksimaalista voimantuottoa sekä lihasten anaerobista kapasiteettia (Frykman, Harman et al. 2003, Suomela 2006). Frykmanin tutkimuksessa vertailtiin näitä muutoksia ennen ja jälkeen Grönlannin 2928 kilometrin hiihtovaellusta ja havaittiin maksimaalisen hyppyvoiman heikkenevän, kun taas muut fyysisen kunnon testiparametrit eivät näyttäneet muuttuvan merkittävästi. Naparetkikuntien aikana tapahtuvia fyysisen suorituskyvyn muutoksia on arvioitu muun muassa mittaamalla elimistön harjoitusaikaista hapenkulutusta, lihassolujen jakauman muutoksia ja harjoituksen aikana kerääntyvää laktaatin määrää sekä erilaisilla lihaskuntotesteillä, joissa arvioidaan niin aerobista kestävyyttä kuin maksimaalista anaerobista voimantuottoa (Helge, Lundby et al. 2003, Suomela 2006, Suomela 2009). Sydämen sykevälivaihtelun käyttöä naparetkikuntien fyysisen rasittavuuden arvioinnissa tai etelä- ja pohjoisnapavaellusten rasittavuuden eroja ei ole kuitenkaan tutkittu.

Etelä- ja pohjoisnapahiihdot ovat fyysiseltä ja psyykkiseltä rasittavuudeltaan äärimmäisiä ponnistuksia, mutta tutkimustietoa etelä- ja pohjoisnapahiihtojen rasittavuuseroista sykevälivaihteluun perustuen ei ole olemassa. Kuitenkin etelänavalla oleskelun on havaittu itsessään vähentävän autonomisen hermoston sympaattista aktiivisuutta (Farrace, Ferrara et al. 2003, Harinath, Malhotra et al. 2005). Fyysiseltä luonteeltaan napahiihdot ovat varsin erilaisia. Etelänapa sijaitsee noin kolme tuhatta metriä merenpinnan yläpuolella ja haasteena retkikunnilla ovat erityisesti korkea ilmanala sekä lähes jatkuva tuuli ja pohjoisnapahiihtoon verrattuna pidempi matka. Pohjoisnapahiihdossa erityisenä haasteena ovat alun ahtojäätiköt, vesistöjen ylitykset sekä mahdollisena vaellusajankohtana vallitseva kylmempi ilmanala (Suomela 2006, Suomela 2009). Äärimmäisten olosuhteiden takia molemmat napahiihdot ovat myös riskialttiita tapahtumia, jotka ovat vaatineet kuolonuhreja. Muun muassa aikanaan toinen etelänavan, Robert Scottin johdolla,

saavuttanut retkikunta menehtyi paluumatkalla ja hiljattain brittiläinen Henry Worsley kuoli yrittäessään ylittää etelämannerta hiihtäen.

1.2 Fyysisen kuormituksen arvioiminen sykevälivaihteluanalyysin perusteella

Sykevälivaihteluksi (HRV, heart rate variability) kutsutaan sydämen lyöntien välisen ajan vaihtelua. Sykevälianalyysi tehdään EKG-signaalista mittaamalla RR-intervallia eli peräkkäisten QRS-kompleksien välistä aikaa. Sydämen sykevaihtelua säädellään hyvin tarkasti ja siihen vaikuttaa erilaisia tekijöitä, joista kaikkia ei vielä tunneta tarkkaan. Sääteleytekijöistä tärkeimmän ajatellaan olevan sympaattisen ja parasympaattisen (vagaalisen) autonomisen hermoston tasapaino, jota pystytään epäsuorasti mittaamaan sykevälivaihteluanalyysien avulla (Makikallio 1998).

Sympaattiset ja parasympaattiset hermopäätteet vaikuttavat suoraan sydämen syketaajuuteen ja sykevälivaihteluun siten, että sydämen oikean puolen sympaattinen ja vagaalinen hermotus stimuloi tai inhiboi pääosin sinussolmuketta ja vasemman puolen hermotus AV-solmuketta.

Parasympaattinen hermosto aiheuttaa muutoksia lähinnä suuritaajuisessa sykevälivaihtelussa, mutta vaikuttaa myös matalataajuisella alueella. Sympaattinen hermosto vaikuttaa puolestaan enimmäkseen matalataajuiseseen vaihteluun. Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto toimivat kuitenkin vahvasti sidoksissa toisiinsa ja niiden välillä on jatkuvaa vuorovaikutusta, minkä takia näiden vaikutusten erottaminen toisistaan on haastavaa ja arviointi monitulkintaista. Sykevaihtelun eri ominaisuuksia voidaan kuvata erilaisilla matemaattisilla muuttujilla, joiden ajatellaan vastaavan autonomisen hermoston tasapainon eri muotoja. Analysointitapoja ovat muun muassa perinteiset aikakenttäanalyysit ja taajuuskenttämuuttujat sekä nykyaikaisemmat epälineaariset muuttujat.

(Huikuri 1995, Laitio 2001, Rajendra Acharya, Paul Joseph et al. 2006)

Sykevälivaihtelussa voidaan erottaa kolme eri frekvenssialuetta. R-R-intervallit jaetaan matala- (LF, low frequency) ja korkeataajuisiin (HF, high frequency) ja erittäin matalataajuuksiin (VLF, very low frequency) jaksoihin. HF-teho (0,15-0,40 Hz) kuvastaa sydämen parasympaattista säätelyä ja on osittain hengitysvaiheesta riippuvainen. Keuhkoissa olevat venytysreseptorit havaitsevat sisäänhengitysvaiheessa keuhkojen venymisen, mikä saa aikaan parasympaattisen vaikutuksen vähenemisen ja syketaajuuden kiihtymisen. Tämä ilmiö nähdään erityisesti nuorilla ihmisillä. LF-teho (0,04-0,15 Hz) kuvastaa puolestaan sekä sympaattista että parasympaattista säätelyä. VLF-tehon (0,004-0,04 Hz) fysiologinen syntymekanismi on suhteellisen tuntematon. LF- ja HF-tehojen

suhde kuvaa sympato-vagaalisen vaikutuksen tasapainoa. RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvojen neliöjuuri, RMSSD (Root Mean Square of the Successive Differences), puolestaan kuvastaa sydämen parasympaattista modulaatiota. (Huikuri, Linnaluoto et al. 1992, 1996, Nienstedt 1999, Laitio 2001)

Sydämen sykevälivaihtelua on laajalti käytetty autonomisen hermoston toiminnan analysointiin, erityisesti vagaalisen hermoston aktiivisuuden muutosten arviointiin (Aubert, Seps et al. 2003). Sykevälivaihtelua on käytetty ennustamaan myös kuolleisuutta ja kardiovaskulaarisia tapahtumia sekä ennen että jälkeen sairastetun sydäninfarktin (Kleiger, Miller et al. 1987). Tässä tutkimuksessa käytettiin RR-intervallien keskihajontaa. Toisaalta jo istumasta seisaalle nousun on havaittu nostavan diastolista ja systolista verenpainetta sekä sykevälivaihtelua ja plasman adrenaliinipitoisuutta. (Tulen, Boomsma et al. 1999) Lukuisten tutkimusten mukaan myös syketasolla on suora positiivinen korrelaatio sykevälivaihteluun (Kleiger, Miller et al. 1987, Van Hoogenhuyze, Weinstein et al. 1991, Fleiss, Bigger et al. 1992). Näiden tutkimusten mukaan sykevälivaihtelu on pienempää sykkeen ollessa korkea ja suurempaa sykkeen ollessa matala.

Ikä ja vuorokaudenaika vaikuttavat myös sykevälivaihteluun. Sykevälivaihtelun on todettu lisääntyvän autonomisen hermoston kehittymisen myötä siten, että sykevaihtelu on vähäisempää alle 6-vuotiailla kuin 6-15-vuotiailla ja suurinta 15-39-vuotiailla. Iän myötä sykevälivaihtelu kuitenkin jälleen vähenee ollen vähäisintä yli 60-vuotiailla. Sykevälivaihtelussa on myös suuria yksilöllisiä eroja. Keski-ikäisillä miehillä vaihtelu on yli kolmikertaista keskimääräiseen syketaajuuteen verrattuna. (Huikuri 1995, Laitio 2001, Wood, Maraj et al. 2002)

Vuorokaudenaika vaikuttaa sykevälivaihteluun siten, että yöllä non-REM-unessa LF vähenee ja HF lisääntyy eli parasympaattinen toiminta voimistuu. REM-unen aikana LF pysyy muuttumattomana, mutta HF vähenee samalle tasolle kuin valveilla ollessa, mistä voidaan päätellä sympaattisen aktivaation lisääntyvän merkittävästi tässä univaiheessa. (Somers, Dyken et al. 1993, Huikuri, Niemela et al. 1994)

Fyysisen harjoittelun on todettu lisäävän sykevälivaihtelua pitkällä ajanjaksolla (Sovijärvi A.; Ahonen A.; Hartiala J. 2003). Sykevälivaihtelua onkin nykyisin käytetty myös arvioitaessa urheilijoiden harjoitusten tehoa ja autonomisen hermoston toimintaa (Kaikkonen, Nummela et al. 2007, Seiler, Haugen et al. 2007, Borresen and Lambert 2008) sekä muokkaamaan päivittäisten harjoitusten rasittavuutta (Kiviniemi, Hautala et al. 2007). Toisaalta pitkäkestoisen maksimaalisen suorituksen on havaittu vähentävän sykevälivaihtelua heti rasituksen jälkeen tehdyissä mittauksissa

tutkimuksessa, jossa mitattiin kymmenen mieshiihtäjän sykevälivaihtelua ennen ja jälkeen 75 kilometrin hiihtokisan. Sykevälivaihtelu palautui kuitenkin entiselle tasolle HF-komponentin osalta 4.2 tunnissa ja LF-komponentin osalta toisena kilpailun jälkeisenä päivänä (Hautala, Tulppo et al. 2001). Suomalaisen keski-ikäisillä miehillä tehdyn 5-vuoden seurantatutkimuksen perusteella matalan intensiteetin kestävyysharjoittelulla ei kuitenkaan ole merkittävää pitkän aikavälin vaikutusta sykevälivaihteluun (Uusitalo, Laitinen et al. 2004). Harjoittelun intensiteetillä näyttäisi siis olevan vaikutusta siihen, kuinka paljon fyysinen kuormitus moduloi sykevälivaihtelun perusteella mitattavaa autonomisen hermoston toimintaa.

On tutkittu, että hyväkuntoisilla yksilöillä sykevälivaihtelu on suurempaa kuin verrokkiväestöllä (Janssen, de Bie et al. 1993, Bonaduce, Petretta et al. 1998, Melanson 2000), mutta ylikunnon vaikutuksista sykevälivaihteluun ei puolestaan ole kattavaa näyttöä, koska tulokset ovat osin ristiriitaisia (Hedelin, Kentta et al. 2000, Hedelin, Wiklund et al. 2000, Uusitalo, Uusitalo et al. 2000). Kuitenkin ylirasitus vaikuttaisi aiheuttavan sympaattisen aktivaation lepo- ja ortostaattiseen sykkeeseen ja tämä näyttäisi vähentävän sykevälivaihtelua tutkimuksessa, jossa arvioitiin suuri-intensiteettisen kestävyysurheilun ja ylikunnon vaikutuksia verenpaineeseen ja sykevälivaihteluun nuorilla naisurheilijoilla (Uusitalo, Uusitalo et al. 2000). Hynysen työryhmän tutkimuksessa tarkasteltiin stressihormonien ja sykevälivaihtelun avulla autonomisen hermoston toimintaa heräämisen jälkeen ylikunnossa olevilla urheilijoilla ja verrokeilla. Ryhmien sykevälivaihtelussa tai stressihormonitasoissa ei ollut eroa unessa, mutta heräämisen jälkeen ylikunnossa olevien urheilijoiden sykevälivaihtelun olevan pienempää verrokkeihin verrattuna (Hynynen, Uusitalo et al. 2006).

1.3 Sykevälivaihtelun analysoimisen työkalut

Sykevälivaihtelun analysoimiseen on kehitetty erilaisia työkaluja, kuten aikakenttäanalyysi, taajuuskenttäanalyysi, poincare plot sekä approksimatiivinen entropia ja DFA. Näitä esitellään lyhyesti seuraavassa.

Aikakenttäanalyysin avulla kuvataan yksinkertaistettuna sykevaihdelun määrää ja syketasoa. Yleensä RR-intervallijaksoista lasketaan keskiarvo ja keskihajonta. Näin pystytään kuvaamaan sekä sympaattisen että parasympaattisen hermoston moduloivaa vaikutusta. Sykevälin keskihajonta, SD, kuvaa sykevälivaihtelun yleistä määrää, mutta haluttaessa arvioida perättäisien RR-intervallien

vaihtelua, käytetään RMSSD:tä. Lisäksi voidaan laskea niiden RR-välien osuus, jotka poikkeavat yli 50ms toisistaan. Edellä kuvatut suureet arvioivat lähinnä parasympaattisen hermoston aktiiviteettia ja hengityksen aiheuttamaa vaihtelua. Aikakenttäanalyysit ovat herkkiä häiriöille ja toisaalta epätarkkoja fysiologisissa mittauksissa ja vaativat ektooppisten lyöntien ja EKG:ssa olevien häiriöiden poistoa ennen analysointia.

Taajuuskenttäanalyysin avulla kuvataan taajuusvaihtelun määrää eri (HF, LF ja VLF) frekvenssialueilla. Tässä analyysissä eri taajuuksien määrä mitataan, minkä jälkeen lasketaan vaihtelun voima jokaiselle taajuuskaistalle. Tämän analyysimenetelmän avulla voidaan aikakenttäanalyysia paremmin erottaa parasympaattisen ja sympaattisen aktivaation aiheuttama sykevälivaihtelu toisistaan. Kuitenkin tekniset vaatimukset ovat suuremmat ja ektooppiset lyönnit sekä häiriöt nauhoituksessa tulee poistaa ennen analysointia.

Poincare plot on kaksiulotteinen vektorianalyysi, jossa RR-intervallit jaetaan siten että x-akselilla on edellinen arvo ja y-akselilla sitä seuraava. Saadusta pistejoukosta tehdään virtuaalinen analyysi, josta saadaan laskettua keskihajonta pistejoukon horisontaaliselta ja pitkittäiseltä akselilta. Näistä ensimmäinen vastaa taajuuskenttäanalyysin HF-komponenttia eli vagaalista säätelyä ja jälkimmäinen LF-komponenttia eli sympaattista säätelyä. Näiden suhde heijastaa siis sympatovagaalista tasapainoa. Poincare plot ei vaadi teknisesti yhtä hyvälaatuista sykedataa kuin taajuuskenttäanalyysi ja sen on myös arvioitu olevan parempi sympatovagaalisen tasapainon mittari.

Approksimatiivinen entropia kuvaa RR-intervallien satunnaisuutta. Satunnaisen sykevälivaihtelun entropia eli hajaantumistaso on korkea, kun taas RR-intervallien vaihdellessa säännöllisesti on entropia matala. Tässä mallissa sykevälit esitetään vektoreina. Approksimatiivisen entropian heikkous on herkkyys aineiston pienellekin lineaariselle trendille. DFA-analyysissä RR-intervalleja käsitellään fraktaaleina eli itseään toistavina sarjoina. Sykevälivaihtelun on havaittu olevan fraktaalityyppistä eli jokainen RR-intervalli korreloi seuraavien RR-intervallien pituuksiin lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, mikä tarkoittaa sitä että RR-intervalli on riippuvainen kaikista aiemmista RR-intervalleista. DFA:ta käytetäänkin mittaamaan aikasarjan sisäisiä korrelaatioita lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. DFA:n etuna on kyky luokitella, kuuluuko tutkittava EKG-sarja fraktaaliseen vai satunnaiseen dynamiikan perustyyppiin ja vaatimukset sykedatan laadun suhteen eivät ole niin suuret.

1.4 Tutkimuksen tarkoitus

Napahiihdot ovat pitkän keston ja äärimmäisten olosuhteiden takia rankkoja fyysisiä ponnistuksia. Tämän työn tarkoituksena on vertailla pohjois- ja etelänapahiihtojen fyysisiä rasittavuuseroja sykevälivaihteluanalyysien, massan, energiankulutuksen sekä maksimaalisen aerobisen kapasiteetin muutoksien perusteella. Tutkimuksen tuloksilla saadaan valotettua hiihtojen rasittavuutta sekä niiden eroja. Tulokset voivat valmistaa tulevia naparetkikuntia paremmin fyysisiin haasteisiin, joita he matkalla kohtaavat.

2 Menetelmät

Tutkimusaineisto koostui etelä- ja pohjoisnaparetkikunnasta, joista pohjoisnaparetkikuntaan kuului seitsemän ja etelänaretkikuntaan kaksi miespuolista suomalaista henkilöä. Yksi tutkimushenkilöstä osallistui sekä etelä- että pohjoisnaparetkikuntaan. Tutkimuksessa käytettiin tältä henkilöltä kerättyä dataa. Molemmat vaellukset toteutettiin ns. unsupported-tyyppisinä eli retkikunnat eivät saaneet matkan aikana muona-, varuste- tai polttoainetäydennyksiä. Tutkimuksen lähtöoletus oli etteivät napavaellukset eroa fyysiseltä rasittavuudeltaan merkittävästi toisistaan.

Ennen pohjoisnapavaellusta tutkimushenkilön ikä oli 40 vuotta, pituus 174 cm, paino 78 kg, rasvaprosentti 22 % ja maksimaalinen aerobinen kapasiteetti 47 ml/kg/min. Retkikunnan jäsenet viettivät vajaa kaksi viikkoa Resolute Bayssa Kanadassa, jossa he totuttuivat kylmään ilmanalaan, harjoittelivat hiihtoa varten ja pakkasivat varusteita. Retkikunta aloitti vaelluksensa Ward Huntista Pohjois-Kanadasta ja päätti sen geologiselle pohjoisnavalle 55:n päivän ja 850 kilometrin jälkeen. Navan saavuttamisen jälkeen retkikunta lensi Pohjois-Norjaan, jossa he palautuivat yhden viikon ajan ennen lentoa takaisin Helsinkiin. Vaellus koostui lähinnä hiihdosta, mutta sisälsi ajoittain myös kävelyä, kiipeilyä ja lyhyitä uiden tapahtuneita railonylityksiä. Retkikunta piti matkan aikana viisi taukopäivää. Hiihto suoritettiin unsupported-tyyppisenä eli retkikunta kuljetti mukanaan kaikki tarvittavat varusteet. Ahkioiden paino hiihtäjää kohden oli alkumatkasta noin 140 kg. Retkikunnan jäsenet nukkuivat öisin keskimäärin kahdeksan tuntia loppumatkaa lukuunottamatta, jolloin nukkuma-aika väheni jopa 2-4 tuntiin pidempien päivämatkojen saavuttamiseksi. Päivittäin kuljettu matka vaihteli välillä 0-34.9 km siten että päivittäin kuljetun matkan keskimääräinen pituus kasvoi loppua kohti. Kahden ensimmäisen viikon aikana keskimääräinen päivämatka oli 4.3 km, kolmannen ja neljännen viikon aikana 10.6 km ja

viimeisen neljän viikon aikana 22.4 km. Lämpötila vaihteli alkuviikkojen -47:stä celsius-asteesta loppuvaiheen -3:een celsius-asteeseen. Ravinto oli pakattu päiväkohtaisiin pakkauksiin, jotka sisälsivät energiaa 19,5 MJ/vrk viikoilla 1-2, 23,8 MJ/vrk viikoilla 3-4 ja 25,7 MJ/vrk viikoilla 5-8. Päivittäinen energiankulutus arvioitiin laskemalla kehon massan muutokset ottaen huomioon, että 1 gramma rasvaa vastaa ≈ 37 kilojoulea (kJ) energiaa (Jeukendrup and Wallis 2005). Oletuksena oli että vaelluksen aikainen massan menetys tuli rasvakudoksen menetyksestä.

Etelänapavaelluksen aikaan tutkimushenkilön ikä oli 42 vuotta, pituus 173 cm, paino 79 kg, rasvaprosentti 21 % ja maksimaalinen aerobinen kapasiteetti 58 ml/kg/min. Retkikunnan jäsenet viettivät viikon Punta Arenassa Chilessä, josta lensivät etelämantereelle. Retkikunta aloitti vaelluksensa Hercules Inletistä ja päätti sen geologiselle etelänavalle 44:n päivän ja 1131 kilometrin jälkeen. Navan saavuttamisen jälkeen retkikunta vietti kaksi päivää etelänavan tutkimusasemalla, josta lensi Patriot Hillsin tukikohtaan ja muutaman päivän kuluttua edelleen Chilen kautta Suomeen. Vaellus koostui lähinnä hiihdosta ja kiipeilyä, vesistön ylityksiä tai kävelyä ei ollut siinä määrin kuin pohjoisnapavaelluksella. Retkikunta piti matkan aikana kaksi taukopäivää. Myös etelänapahiihto suoritettiin unsupported-tyyppisenä ja ahkoiden paino hiihtäjää kohden oli alkumatkasta noin 105 kg. Myös etelänaparetkikunnan aikana pyrittiin kahdeksan tunnin yöuniin loppumatkaa lukuunottamatta, jolloin nukkuma-aika väheni pidempien päivämatkojen saavuttamiseksi. Päivittäin kuljettu matka vaihteli välillä 0-46.5 km siten, että päivittäin kuljetun matkan keskimääräinen pituus kasvoi loppua kohden. Ensimmäisen viikon aikana keskimääräinen päivämatka oli 12.8 km, toisen ja kolmannen viikon aikana 24.0 km, neljännen, viidennen ja kuudennen viikon aikana 31.4 km ja viimeisenä kolmena päivänä 41 km. Lämpötila oli matkan aikana varsin tasainen vaihdellen -10 ja -28 celsius-asteen välillä. Tuuli vaihteli täysin tyynestä 14:ään metriin sekunnissa siten että alkumatkasta oli tuulisempaa. Ravinto oli pakattu päiväkohtaisiin pakkauksiin, jotka sisälsivät energiaa 21.2 MJ/vrk viikoilla 1-2, 24,0 MJ/vrk viikoilla 3-4 ja 26,1 MJ/vrk viikoilla 5-7.

Vaellusten aikana kerättiin syke-dataa aamuisin tutkittavan herättyä sekä öisin tutkittavan nukkuessa. Sykevälivaihteludatan keräämiseen käytettiin Suunto T6 -sykemittaria (Suunto, Vantaa, Suomi). Sykevälivaihteludatan analysoimiseen käytettiin Firstbeat SPORTS 4.X ohjelmaa, joka on ladattavissa osoitteesta firstbeat.com/professional-sports/individual-athletes.

Riittäväksi EKG:n rekisteröintipituudeksi lyhyen aikavälin sykevälivaihtelukomponenttien analysoimiseksi on suositeltu viittä minuuttia. Rekisteröinnin tulisi kattaa vähintään kymmenen kertaa tutkittavan komponentin pisimmän aallonpituuden (Karinen, Uusitalo et al. 2012). Tarvitaan

siis noin yhden minuutin rekisteröinti HF-komponentin ja kaksi minuuttia LF-komponentin arvioimiseksi (Karinen, Uusitalo et al. 2012). Tässä tutkimuksessa aamuisin mitatusta sykevälivaihteludatasta valittiin neljän minuutin analysoitavia jaksoja, joiden avulla arvioidaan autonomisen hermoston toimintaa analysoimalla R-R-intervalleja. Öisin mitatusta sykevälivaihteludatasta valittiin alkuyöstä 240 minuutin analysoitavat jaksot. Valittujen jaksojen pituus pitäisi siten olla riittävä haluttujen sykevälivaihtelukomponenttien analysoimiseksi (Koskinen, Kahonen et al. 2009). Sykevälivaihteludatan kerääminen toteutettiin retkikuntien ajan rekisteröimällä sykettä aamuisin levossa ollessa sekä öisin unen aikana. Analysoitavasta datasta rajattiin rekisteröinnin alku- ja loppupään häiriötä sisältävät jaksot datan riittävän laadun saavuttamiseksi. Tämän datan avulla pystytään arvioimaan fyysisen rasituksen vaikutuksia autonomisen hermoston toimintaan ja siten retkikuntien elimistölle aiheuttamaa fyysistä räsitusta. Koska tutkimusaineisto oli rajallinen ($n = 1$), ei tilastollisia testauksia tehty, vaan aineistosta tehtiin deskriptiivinen analyysi.

3 Tulokset

Etelänapavaelluksen aikana sykevälivaihteludataa kerättiin aamuisin yhteensä 20 kertaa ja öisin yhteensä 22 kertaa. Pohjoisnapavaelluksen aikana vastaavat keräykset tapahtuivat 20 kertaa ja 8 kertaa. Analysoitavaksi valittiin mahdollisimman häiriöttömät jaksot jättäen pois mittausten alku- ja loppupäät. Tulokset keskiarvoistettiin ja taulukoitiin arvioiden erikseen kokonaismatkoja sekä alku- että loppumatkoja. Jako tehtiin, koska vaellusten luonne muuttui matkojen aikana.

Aamumittausten sykevälivaihtelu on esitetty taulukossa 1. Etelänavan aamumittauksissa RMSSD oli 15 ms ja pohjoisnavalla 27 ms. SD oli vastaavasti 58 ms ja 70 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 233 ms^2 sekä 1385 ms^2 ja pohjoisnavalla 845 ms^2 sekä 2447 ms^2 . LF/HF-suhde oli 1043 % ja 392 %. Etelänavan yömittauksissa (Taulukko 2) RMSSD oli 33 ms ja pohjoisnavalla 41 ms. SD oli vastaavasti 74 ms ja 93 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 1226 ms^2 sekä 1982 ms^2 ja pohjoisnavalla 2278 ms^2 sekä 2611 ms^2 . LF/HF-suhde oli 216 % ja 204 %.

Taulukko 1. Aamumittausten sykevälivaihtelut.

Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	27 (6,51)	15 (5,17)
SD (ms)	70 (18,08)	58 (31,49)
HF (ms ²)	845 (474)	233 (184)
LF (ms ²)	2447 (1072)	1385 (1033)
LF/HF-suhde (%)	392 (156)	1043 (837)

Taulukko 2. Yömittausten sykevälivaihtelut.

Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	41 (3,64)	33 (4,79)
SD (ms)	93 (18,95)	74 (6,77)
HF (ms ²)	2278 (391)	1226 (356)
LF (ms ²)	2611 (432)	1982 (375)
LF/HF-suhde (%)	204 (97)	216 (38)

Etelänavan alkumatkan aamumittauksissa (Taulukko 3) RMSSD oli 19 ms ja pohjoisnavalla 29 ms. SD oli vastaavasti 92 ms ja 76 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 397 ms² sekä 2430 ms² ja pohjoisnavalla 1022 ms² sekä 2955 ms². LF/HF-suhde oli 965 % ja 402 %. Etelänavan alkumatkan yömittauksissa (Taulukko 4) RMSSD oli 34 ms ja pohjoisnavalla 42 ms. SD oli vastaavasti 73 ms ja 97 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 1300 ms² sekä 2119 ms² ja pohjoisnavalla 2336 ms² sekä 2794 ms². LF/HF-suhde oli 216 % ja 236 %.

Taulukko 3. Alkumatkan aamumittausten sykevälivaihtelut.

Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	29 (7,14)	19 (5,20)
SD (ms)	76 (22,01)	92 (49,63)
HF (ms ²)	1022 (593)	397 (234)
LF (ms ²)	2955 (1298)	2430 (1536)
LF/HF-suhde (%)	402 (188)	965 (451)

Taulukko 4. Alkumatkan yömittausten sykevälivaihtelut.

Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	42 (5,07)	34 (4,74)
SD (ms)	97 (25,52)	73 (6,00)
HF (ms ²)	2336 (497)	1300 (361)
LF (ms ²)	2794 (457)	2119 (291)
LF/HF-suhde (%)	236 (133)	216 (44)

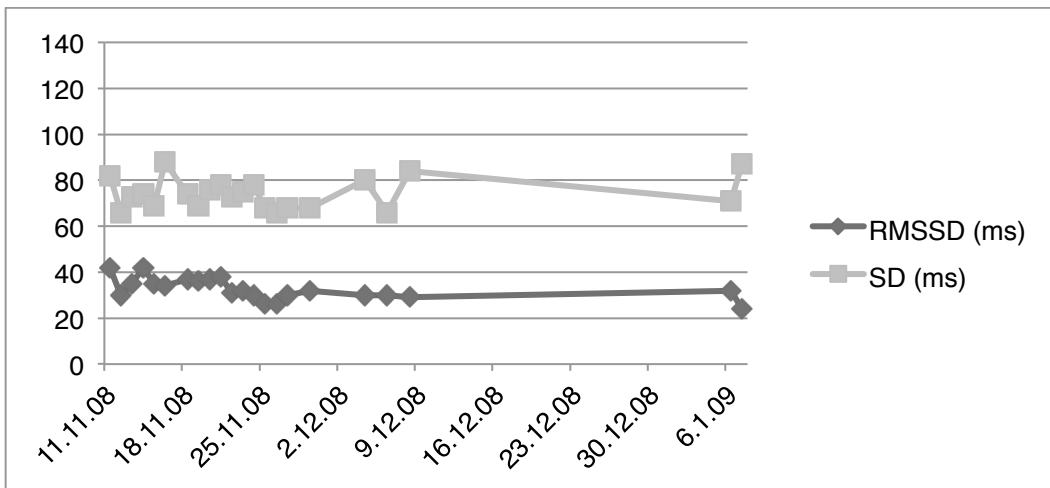
Etelänavan loppumatkan aamumittauksissa (Taulukko 5) RMSSD oli 14 ms ja pohjoisnavalla 23 ms. SD oli vastaavasti 50 ms ja 65 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 192 ms² sekä 1124 ms² ja pohjoisnavalla 701 ms² sekä 2031 ms². LF/HF-suhde oli 1063 % ja 383 %. Etelänavan loppumatkan yömittauksissa (Taulukko 6) RMSSD oli 29 ms ja pohjoisnavalla 41 ms. SD oli vastaavasti 78 ms ja 88 ms. Etelänavalla HF ja LF olivat 976 ms² sekä 1513 ms² ja pohjoisnavalla 2219 ms² sekä 2427 ms². LF/HF-suhde oli 213 % ja 171 %.

Taulukko 5. Loppumatkan aamumittausten sykevälivaihtelut.

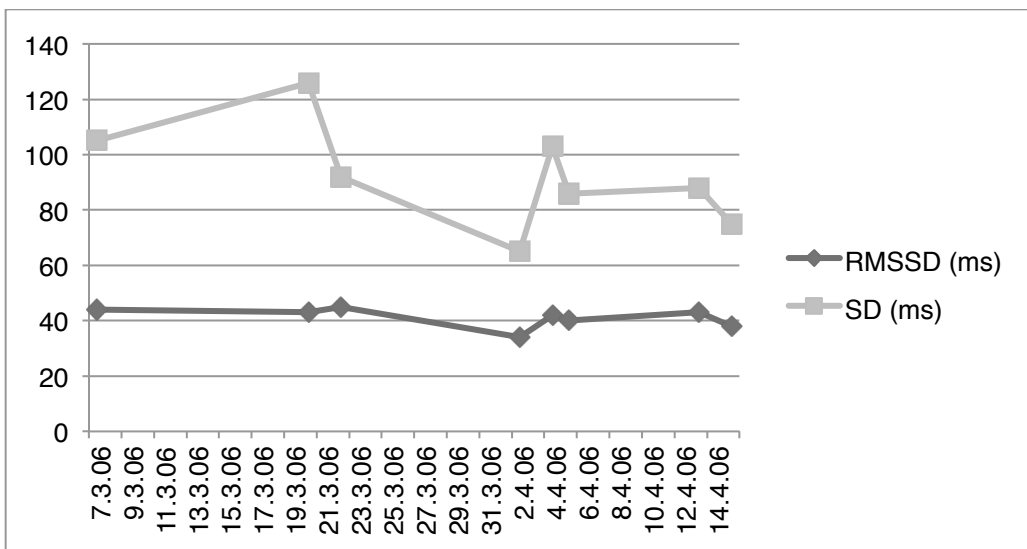
Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	23 (5,04)	14 (4,88)
SD (ms)	65 (12,97)	50 (19,76)
HF (ms ²)	701 (308)	192 (151)
LF (ms ²)	2031 (644)	1124 (718)
LF/HF-suhde (%)	383 (134)	1063 (920)

Taulukko 6. Loppumatkan yömittausten sykevälivaihtelut.

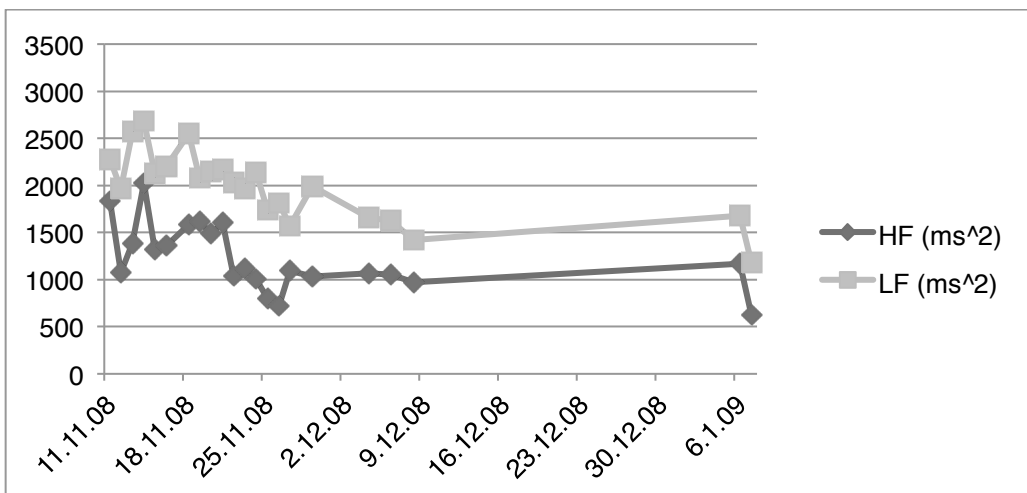
Muuttuja	Pohjoisnapa (keskiarvo, keskihajonta)	Etelänapa (keskiarvo, keskihajonta)
RMSSD (ms)	41 (2,22)	29 (3,00)
SD (ms)	88 (11,52)	78 (8,85)
HF (ms ²)	2219 (318)	976 (210)
LF (ms ²)	2427 (371)	1513 (211)
LF/HF-suhde (%)	171 (40)	213 (11)



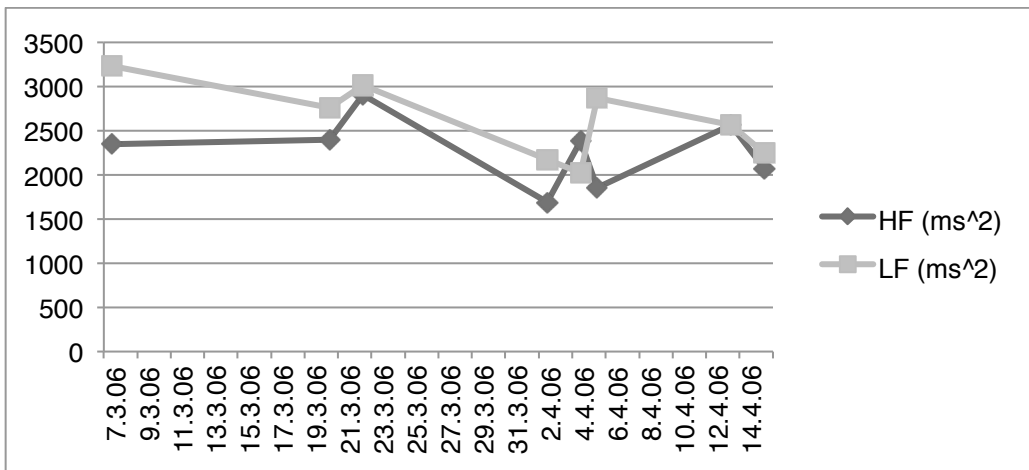
Kaavio 3. Etelänavan yömittausten RMSSD ja SD.



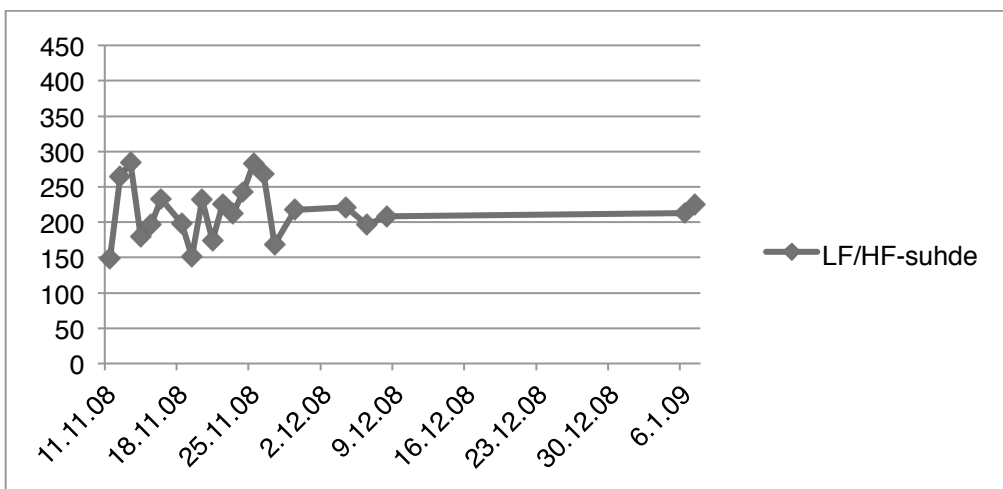
Kaavio 4. Pohjoisnavan yömittausten RMSSD ja SD.



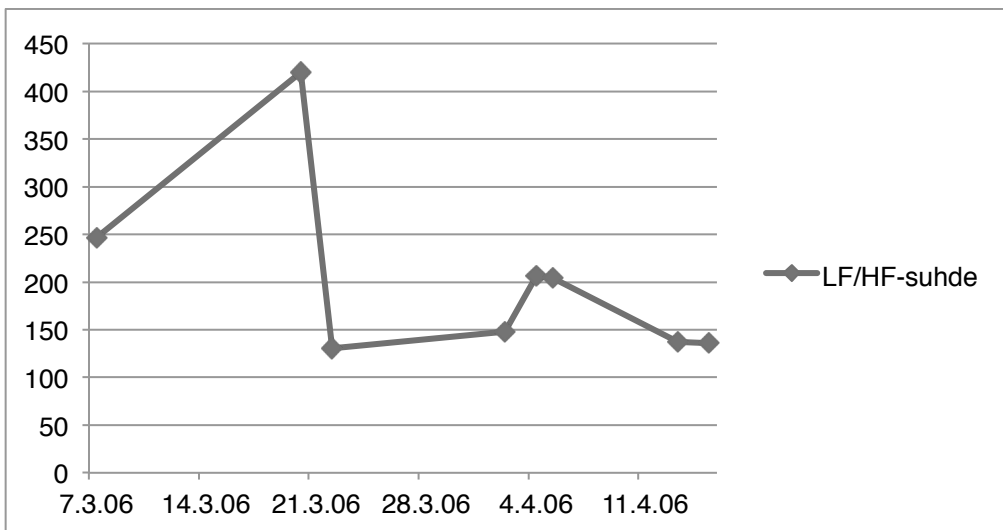
Kaavio 5. Etelänavan yömittausten HF ja LF.



Kaavio 6. Pohjoisnavan yömittausten HF ja LF.

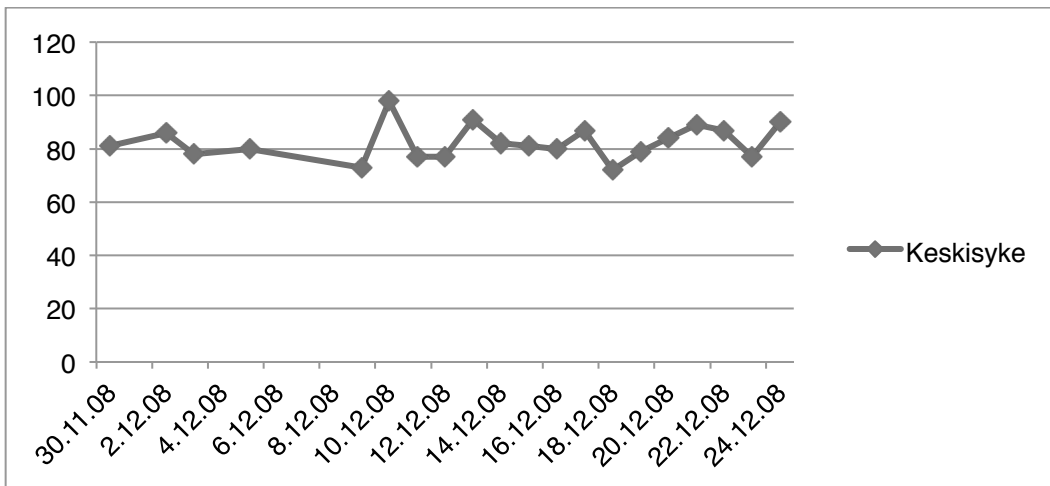


Kaavio 7. Etelänavan yömittausten LF/HF-suhde.

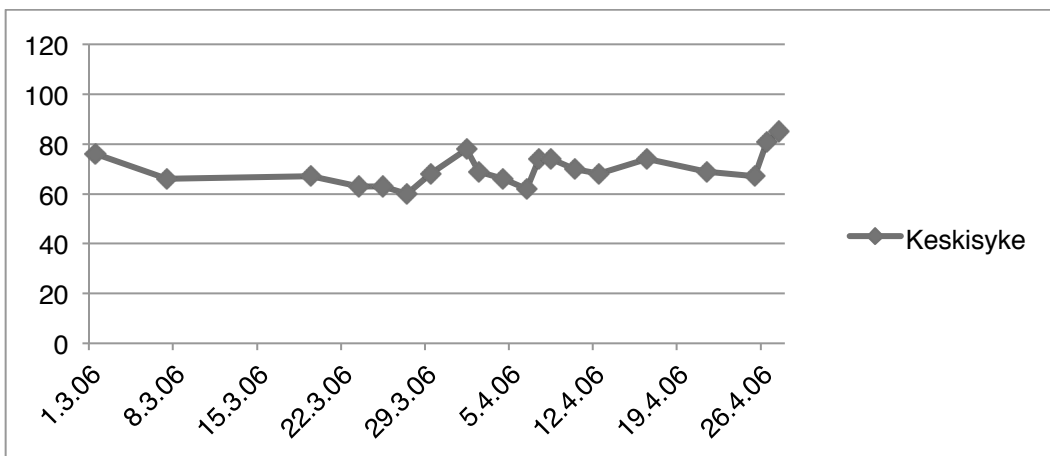


Kaavio 8. Pohjoisnavan yömittausten LF/HF-suhde.

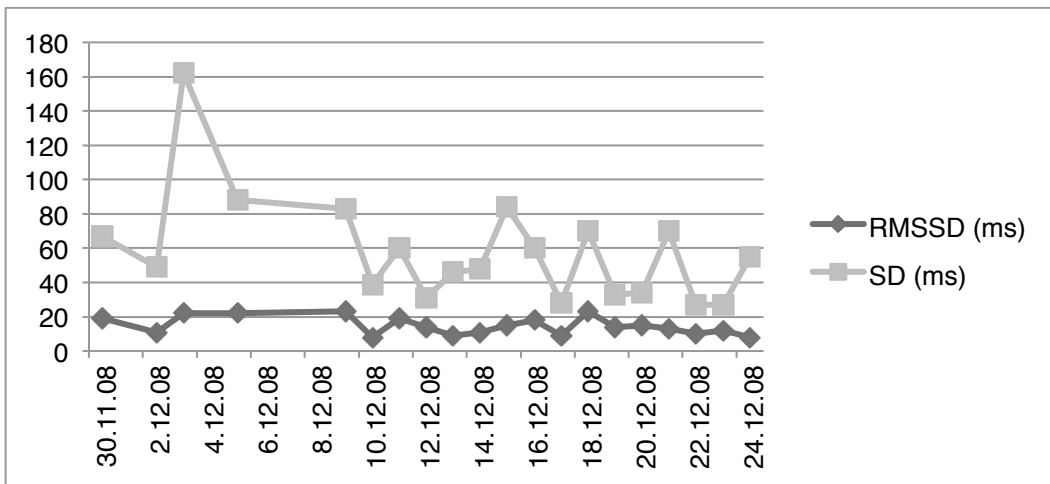
Tarkasteltaessa etelä- ja pohjoisnapahihtiöiden aamumittausten keskisykkeitä (Kaavio 9 ja 10) havaitaan etelänavalla keskisykkeen olleen yleisesti ottaen jonkin verran korkeampi. RMSSD ja SD (Kaavio 11 ja 12) olivat puolestaan etelänavalla hieman matalampia. Joskin etelänavalla SD:ssä oli hieman vaihtelua. Myös HF ja LF (Kaavio 13 ja 14) olivat etelänavalla matalammat. Sekä etelä- että pohjoisnavalla sykeväilvaihtelun trendit olivat hiihdon edetessä hiveneren laskevia sykevaihtelun vähentyen loppua kohden. LF/HF-suhde (Kaavio 15 ja 16) oli pohjoisnavalla hieman matalampi.



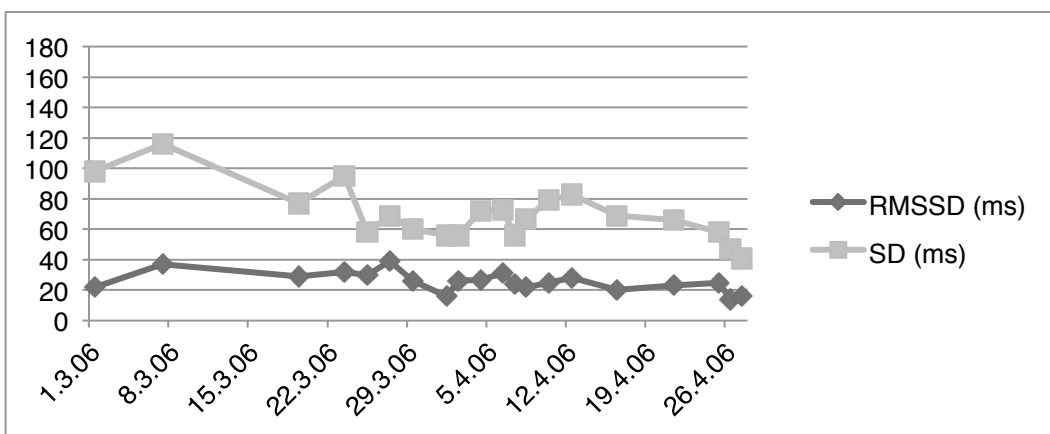
Kaavio 9. Etelänavan aamumittausten keskisyke.



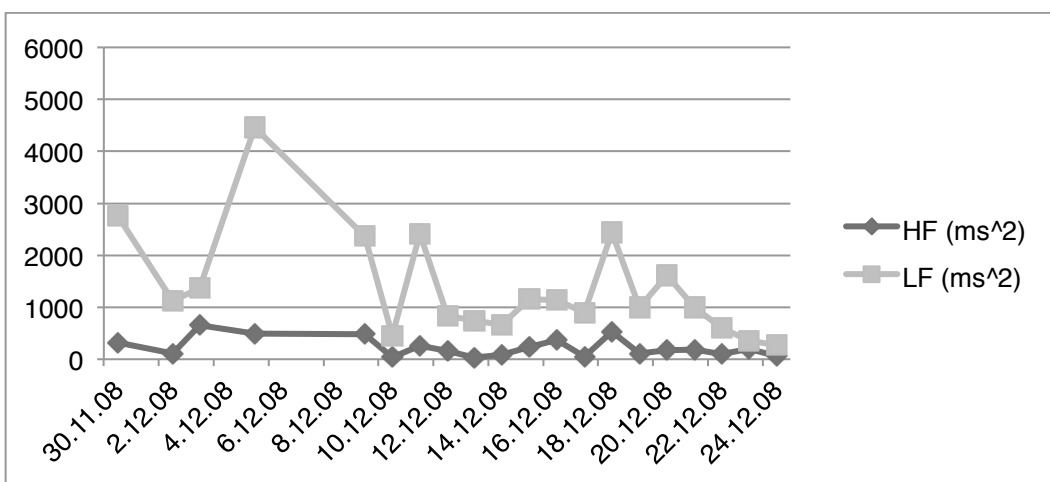
Kaavio 10. Pohjoisnavan aamumittausten keskisyke.



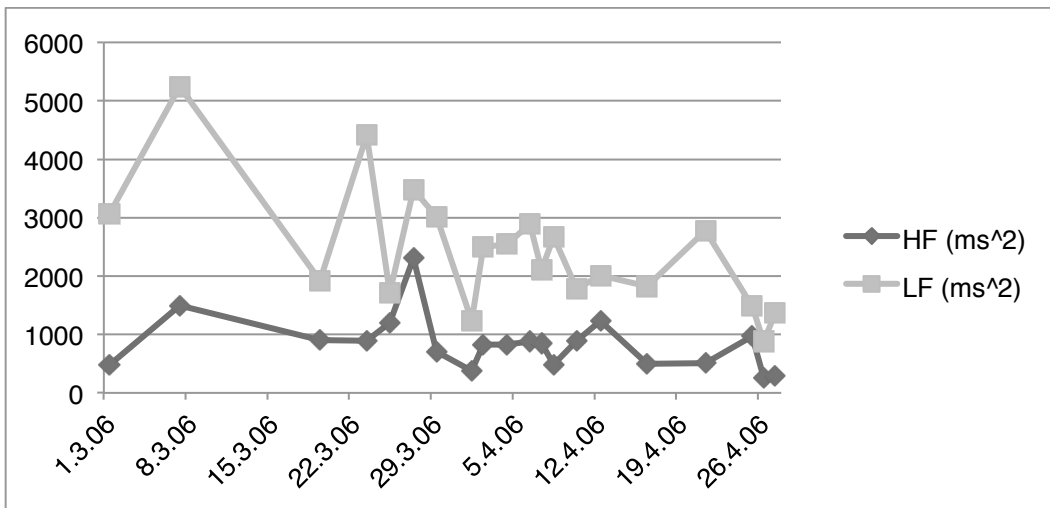
Kaavio 11. Etelänavan aamumittausten SD ja RMSSD.



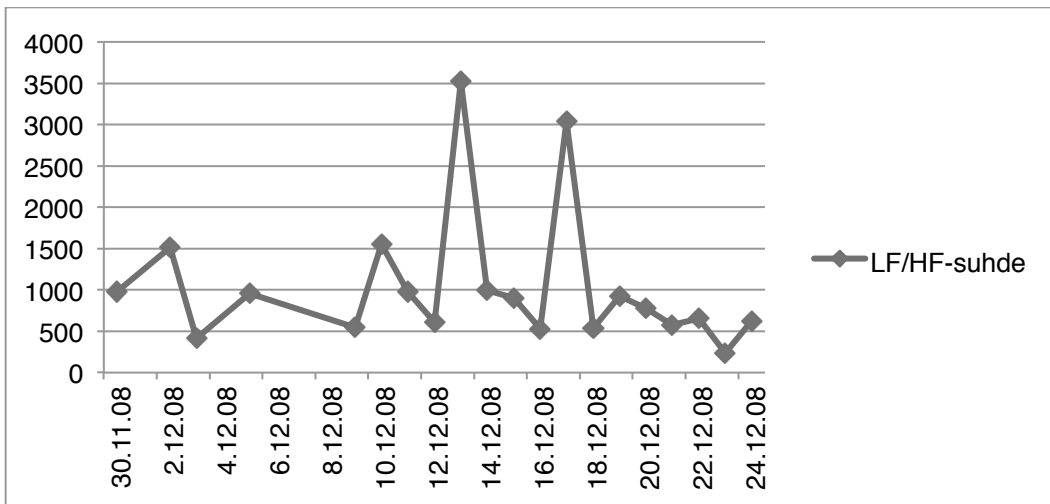
Kaavio 12. Pohjoisnavan aamumittausten SD ja RMSSD.



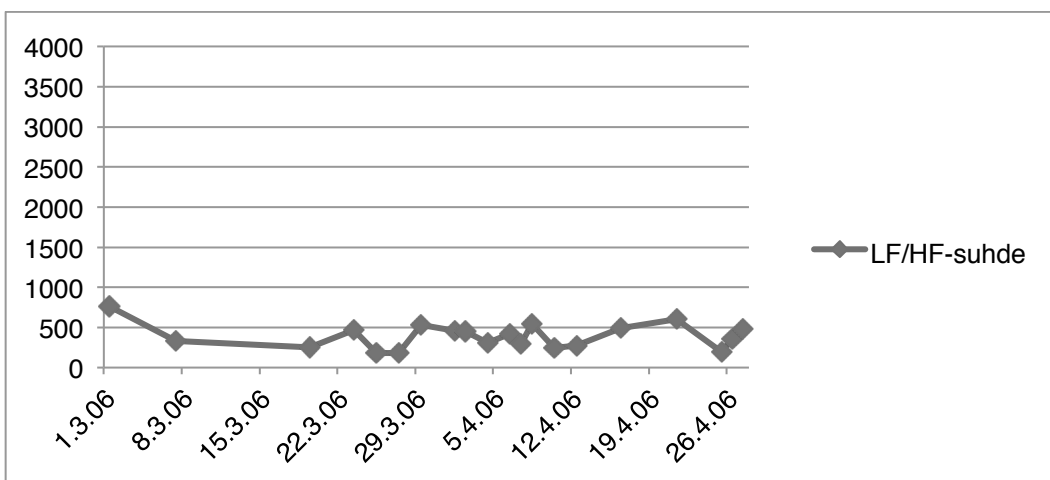
Kaavio 13. Etelänavan aamumittausten HF ja LF.



Kaavio 14. Pohjoisnavan aamumittausten HF ja LF.



Kaavio 15. Etelänavan aamumittausten LF/HF-suhde.

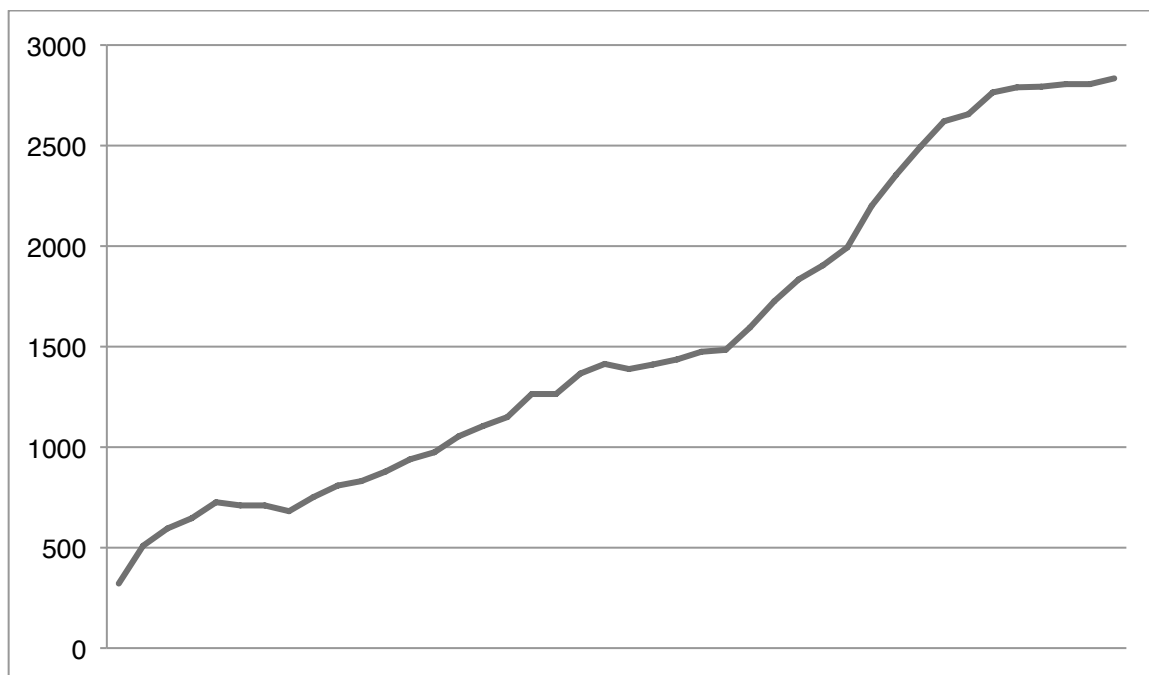


Kaavio 16. Pohjoisnavan aamumittausten LF/HF-suhde.

Tutkittavan massa, rasvaprocentti ja maksimaalinen aerobinen kapasiteetti mitattiin uudelleen kaksi viikkoa etelä- ja pohjoisnapavaelluksien jälkeen. Ennen ja jälkeen vaellusten tehtyjen mittausten tulokset ovat taulukossa 7. Etelänapavaelluksen jälkeen tutkittavan paino oli 74,6 kg, rasvaprocentti 16,8 % ja maksimaalinen aerobinen kapasiteetti 56 ml/kg/min. Pohjoisnapavaelluksen jälkeen vastaavat arvot olivat 76 kg, 23 % ja 52 ml/kg/min. Näistä arvioitu päivittäinen energiankulutus oli etelänavalla 27,5 MJ, mikä oli 3,7 MJ enemmän kuin päivittäinen energiansaanti etelänavalla. Pohjoisnavalla arvioitu energiankulutus oli 24,6 MJ, mikä oli 0,94 MJ enemmän kuin päivittäinen energiansaanti pohjoisnavalla. Kaaviossa 17 on esitetty korkeus merenpinnasta suhteessa edettyyn matkaan etelänavalla.

Taulukko 7. Ennen ja 2 viikkoa hiihtovaellusten jälkeen tehdyt antropometriset- ja kestävyysmittaukset.

Muuttuja	Etelänapa ennen	Etelänapa jälkeen	Pohjoisnapa ennen	Pohjoisnapa jälkeen
Massa (kg)	79,0	74,6	77,5	76,1
Rasvaprocentti (%)	21	17	22	23
Max aerobinen kapasiteetti (ml/kg/min)	58	56	47	52



Kaavio 17. Korkeus merenpinnasta suhteessa edettyyn matkaan (x-akseli) etelänavalla.

4 Pohdinta

Tutkittavan sykevälivaihtelu oli yleisesti ottaen pienempää etelänavalla. Vertailtaessa koko vaelluksen aikaisten aamu- ja yömittausten RMSSD-arvoja, näyttivät nämä olevan pienempiä etelänavalla, mikä viittaisi parasympaattisen hermoston moduloivan vaikutuksen olleen vähäisempää ja fyysisen rasituksen suurempaa vaelluksen aikana. Myös HF näytti olevan pienempää koko matkan yö- ja aamumittauksissa. Tämä voisi sopia siihen, että parasympaattinen vaikutus oli etelänavalla vähäisempää. LF/HF-suhteesta on vaikea vetää päätelmiä, koska on kritisoitu ettei LF/HF-suhdetta voida edes käyttää arvioimaan sympato-vagaalista tasapainoa, joten sen merkitys lienee vähäisempi arvioitaessa vaellusten rasittavuuseroja (Billman 2013).

Verrattaessa alkumatkojen aamuja toisiinsa, RMSSD:ssä ja HF-komponentissa vaikuttaisi olevan eroa viitaten jo alkumatkan olleen fyysisesti kuormittavampi etelänavalla. Samansuuntainen löydös oli myös alkumatkojen öiden osalta. Etelänapavaelluksen alkumatka oli tasaista nousua ja päivämatkat olivat pidempiä kuin pohjoisnavalla, minkä takia kuormitus oli heti lähtövaiheessa todennäköisesti suurempaa. Loppumatkasta erot RMSSD:ssä, HF- ja LF-komponenteissa olivat suuremmat kuin alkumatkasta. Tämä viittaisi fyysisen kuormituksen eron olleen loppumatkasta alkumatkaa suurempaa. Merkitseviä eroja LF/HF-suhteissa ei ollut. Myöskään keskihajonnan osalta ei loppumatkan öiden aikana saatu merkitseviä eroja.

Pohjoisnapahiihdon alkumatka sisälsi vesistöjen ja raihojen ylityksiä ja sen voidaan ajatella näin ollen olleen fyysisesti rankempi kuin loppumatkan. Etelänapahiihdon aikana rasitus jakaantui tasaisemmin, joskin alkumatkasta oli runsaammin nousua merenpinnan tasolta. Suurin osa etelänapavaelluksesta tapahtui korkeassa ilmanalassa, jonka hypobaarisena ja hypoksisena ympäristönä tiedetään itsessään vähentävän parasympaattista ja lisäävän sympaattista aktivaatiota (Zuzewicz, Biernat et al. 1999, Sevre, Bendz et al. 2001). Korkean ilmanalan vaikutus sykevälivaihteluihin voi siis vähentää saatujen tulosten luotettavuutta. Kuitenkin suurin osa vaelluksesta tapahtui alle 1500 metrissä ja toisaalta elimistö tottuu viikkojen kuluessa korkean ilmanalan aiheuttamaan lisärasitukseen, joten voidaan ajatella ettei pelkästään korkeampi ilmanala selitä saatuja tuloksia. Molemmilla vaelluksilla matkan aikana kasvanut ja kumuloitunut fyysinen kuormitus vaikuttaisi myös vähentäneen sykevälivaihtelua hieman verrattaessa alku- ja loppumatkoja toisiinsa.

Molempien vaellusten aikana tutkittavan paino putosi, mikä tarkoittaa ettei energiansaanti ollut riittävää runsasenergisestä ravinnosta huolimatta. Tämä löydös on linjassa aiempien napavaellusta

koskevien tutkimusten kanssa (Stroud, Ritz et al. 1997, Frykman, Harman et al. 2003, Helge, Lundby et al. 2003). Tutkimushenkilön arvioitu energiankulutus oli etelänavalla selvästi suurempaa (27,5 MJ/vrk vs. 24,6 MJ/vrk). Ravinnosta saatu energiamäärä ei vastannut tätä arvioitua kulutusta kummankaan retkikunnan aikana. Etelänavalla ravinnosta saatava energiamäärä oli hieman suurempaa kuin pohjoisnavalla. Suurin osa painonpudotuksesta tuli menetetyistä rasvakudoksesta, koska on oletettavaa ettei lihaksisto surkastunut tutkittavan ollessa jatkuvasti liikkeellä. Tämä havainto viittaisi etelänapahiihdon energiankulutuksen ja näin ollen fyysisen rasituksen olleen pohjoisnapahiihtoa suurempaa.

Maksimaalinen aerobinen kapasiteetti pieneni etelänapavaelluksen aikana hieman, mutta puolestaan nousi pohjoisnavalla. Muutos pohjoisnavalla sopii aiempaan havaintoon, jonka mukaan aerobinen kapasiteetti parani pohjoisnapavaelluksen aikana (Frykman, Harman et al. 2003). Etelänavalla muutos oli varsin pieni eikä sillä ole välttämättä käytännön merkitystä. Toisaalta tutkittava oli etelänapahiihdon aikaan paremmassa fyysisessä kunnossa, jolloin nousuvaraa aerobisessa kapasiteetissa ei mahdollisesti juuri ollut.

Etelänapahiihdon kokonaismatka oli pidempi kuin pohjoisnavalla ja se kuljettiin lyhyemmässä ajassa. Kuljetut päivämatkan olivat siis pidempiä. Toisaalta ahkioiden paino oli merkittävästi suurempi pohjoisnavalla (140 kg vs. 105 kg). Etelänapahiihdon aikana pidettiin myös vähemmän lepopäiviä (2 vs. 5), joiden aikana tutkittava enimmäkseen lepäsi ja palautui rasituksesta. Vähäisempi lepopäivien määrä onkin voinut itsessään lisätä etelänapahiihdon rasittavuutta verrattuna pohjoisnapaan. Sykevälivaihteluanalyysin ja energiankulutuksen valossa näyttäisi kuitenkin siltä, että etelänapahiihto oli tutkittavalle henkilölle fyysisesti rankempi ponnistus. Tulosten luotettavuutta heikentää kuitenkin tutkimusaineiston rajattu määrä, yksi tutkittava henkilö. Lisäksi keskisyketaso oli kategorisesti suurempi etelänavalla eri vuorokaudenaikoina ja sekä alku että loppumatkasta. Koska korkeampi syketaajuus laskee itsessään sykevälivaihtelua, heikentää tämä havainto tulosten luotettavuutta.

Kuten missä tahansa tapaustutkimuksessa, saatuja tuloksia ei välttämättä voida yleistää koskemaan muita naparetkeilijöitä tai -retkikuntia. Todennäköisesti tuloksissa voi olla huomattaviakin vaihteluita eri yksilöiden välillä. Sykevälivaihteluiden vertaamista yleisellä tasolla voidaan kuitenkin pitää relevanttina, koska tutkittava henkilö pysyi samana ja ikänsä oli kutakuinkin sama molempien vaellusten aikana. Ennen etelänapavaellusta mitattu maksimaalinen aerobinen kapasiteetti oli kuitenkin selvästi parempi kuin vastaavassa mittauksessa ennen pohjoisnapavaellusta (47 ml/kg/min vs. 58 ml/kg/min), joten ainakin tutkittavan maksimaalinen

aerobinen suorituskyky oli parempi ennen etelänapavaellusta. Myös subjektiivisesti arvioituna tutkittava koki etelänapahiihdon olleen sekä fyysisesti että psyykkisesti haastavampi (Kari Suomela, henkilökohtainen tiedonanto).

5 Yhteenveto

Sekä pohjois- että etelänapavaellukset ovat fyysisesti äärimmäisen rankkoja ponnistuksia. Tässä tapaustutkimuksessa tutkittavan sykevälivaihtelu oli pienempää etelänavalla viitaten etelänapavaelluksen olleen hänelle fyysisesti vaativampi suoritus. Myös arvioitu suurempi energiankulutus etelänavalla tukee tätä näkemystä. Molempien vaellusten aikana tutkittavan paino putosi sopien riittämättömään energiansaantiin. Sekoittavat tekijät vaikeuttavat kuitenkin tulosten arviointia. Jatkotutkimukset isommalla aineistolla voisivat valottaa lisää napavaellusten fyysisiä rasittavuuseroja ja tähän vaikuttavia tekijöitä.

6 Lähdeluettelo

"Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology." (1996) Circulation **93**(5): 1043-1065.

Aubert, A. E., B. Seps and F. Beckers (2003). "Heart rate variability in athletes." Sports Med **33**(12): 889-919.

Billman, G. E. (2013). "The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance." Front Physiol **4**: 26.

Bonaduce, D., M. Petretta, V. Cavallaro, C. Apicella, A. Ianniciello, M. Romano, R. Breglio and F. Marciano (1998). "Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes." Med Sci Sports Exerc **30**(5): 691-696.

Borresen, J. and M. I. Lambert (2008). "Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status." Sports Med **38**(8): 633-646.

Bourrilhon, C., M. Philippe, M. Chennaoui, P. Van Beers, R. Lepers, C. Dussault, C. Y. Guezennec and D. Gomez-Merino (2009). "Energy expenditure during an ultraendurance alpine climbing race." Wilderness Environ Med **20**(3): 225-233.

Farrace, S., M. Ferrara, C. De Angelis, R. Trezza, P. Cenni, A. Peri, M. Casagrande and L. De Gennaro (2003). "Reduced sympathetic outflow and adrenal secretory activity during a 40-day stay in the Antarctic." Int J Psychophysiol **49**(1): 17-27.

Fleiss, J. L., J. T. Bigger, Jr. and L. M. Rolnitzky (1992). "The correlation between heart period variability and mean period length." Stat Med **11**(1): 125-129.

Friedl, K. E., R. J. Moore, R. W. Hoyt, L. J. Marchitelli, L. E. Martinez-Lopez and E. W. Askew (2000). "Endocrine markers of semistarvation in healthy lean men in a multistressor environment." J Appl Physiol (1985) **88**(5): 1820-1830.

Frykman, P. N., E. A. Harman, P. K. Opstad, R. W. Hoyt, J. P. DeLany and K. E. Friedl (2003). "Effects of a 3-month endurance event on physical performance and body composition: the G2 trans-Greenland expedition." Wilderness Environ Med **14**(4): 240-248.

Gagnon, D. D., T. Pullinen, H. Karinen, H. Rintamaki and H. Kyrolainen (2011). "Recovery of hormonal, blood lipid, and hematological profiles from a North Pole expedition." Aviat Space Environ Med **82**(12): 1110-1117.

Harinath, K., A. S. Malhotra, K. Pal, R. Prasad, R. Kumar and R. C. Sawhney (2005). "Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica." Wilderness Environ Med **16**(2): 81-91.

Hautala, A., M. P. Tulppo, T. H. Makikallio, R. Laukkanen, S. Nissila and H. V. Huikuri (2001). "Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise." Clin Physiol **21**(2): 238-245.

Hedelin, R., G. Kentta, U. Wiklund, P. Bjerle and K. Henriksson-Larsen (2000). "Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability." Med Sci Sports Exerc **32**(8): 1480-1484.

Hedelin, R., U. Wiklund, P. Bjerle and K. Henriksson-Larsen (2000). "Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete." Med Sci Sports Exerc **32**(9): 1531-1533.

Helge, J. W., C. Lundby, D. L. Christensen, J. Langfort, L. Messonnier, M. Zacho, J. L. Andersen and B. Saltin (2003). "Skiing across the Greenland icecap: divergent effects on limb muscle adaptations and substrate oxidation." J Exp Biol **206**(Pt 6): 1075-1083.

Huikuri, H. V., J.; Niemelä M.; Airaksinen (1995). "Sydämen sykevälivaihtelun mittaaminen ja merkitys." Duodecim **111**: 307-314.

Huikuri, H. V., M. K. Linnaluoto, T. Seppanen, K. E. Airaksinen, K. M. Kessler, J. T. Takkunen and R. J. Myerburg (1992). "Circadian rhythm of heart rate variability in survivors of cardiac arrest." Am J Cardiol **70**(6): 610-615.

Huikuri, H. V., M. J. Niemela, S. Ojala, A. Rantala, M. J. Ikaheimo and K. E. Airaksinen (1994). "Circadian rhythms of frequency domain measures of heart rate variability in healthy subjects and patients with coronary artery disease. Effects of arousal and upright posture." Circulation **90**(1): 121-126.

Hynynen, E., A. Uusitalo, N. Konttinen and H. Rusko (2006). "Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes." Med Sci Sports Exerc **38**(2): 313-317.

Janssen, M. J., J. de Bie, C. A. Swenne and J. Oudhof (1993). "Supine and standing sympathovagal balance in athletes and controls." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **67**(2): 164-167.

Jeukendrup, A. E. and G. A. Wallis (2005). "Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements." Int J Sports Med **26 Suppl 1**: S28-37.

Kaikkonen, P., A. Nummela and H. Rusko (2007). "Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises." Eur J Appl Physiol **102**(1): 79-86.

Karinen, H. M., A. Uusitalo, H. Vaha-Ypya, M. Kahonen, J. E. Peltonen, P. K. Stein, J. Viik and H. O. Tikkanen (2012). "Heart rate variability changes at 2400 m altitude predicts acute mountain sickness on further ascent at 3000-4300 m altitudes." Front Physiol **3**: 336.

Kiviniemi, A. M., A. J. Hautala, H. Kinnunen and M. P. Tulppo (2007). "Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements." Eur J Appl Physiol **101**(6): 743-751.

Kleiger, R. E., J. P. Miller, J. T. Bigger, Jr. and A. J. Moss (1987). "Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction." Am J Cardiol **59**(4): 256-262.

Koskinen, T., M. Kahonen, A. Jula, N. Mattsson, T. Laitinen, L. Keltikangas-Jarvinen, J. Viikari, I. Valimäki, T. Ronnemaa and O. T. Raitakari (2009). "Metabolic syndrome and short-term heart rate variability in young adults. The cardiovascular risk in young Finns study." Diabet Med **26**(4): 354-361.

Kyrolainen, H., J. Karinkanta, M. Santtila, H. Koski, M. Mantysaari and T. Pullinen (2008). "Hormonal responses during a prolonged military field exercise with variable exercise intensity." Eur J Appl Physiol **102**(5): 539-546.

Laitio, T. S. H. K. T. M. M. J. J. (2001). "Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo?" FINNANEST **34**: 249-255.

Makikallio, T. H. (1998). Analysis of heart rate dynamics by methods derived from nonlinear mathematics, Oulun yliopisto.

Melanson, E. L. (2000). "Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity." Med Sci Sports Exerc **32**(11): 1894-1901.

Nienstedt, W. H., O.; Arstila, A.; Björkqvist, S-E. (1999). Ihmisen fysiologia ja anatomia. Porvoo, Werner Söderström Osakeyhtiö.

Rajendra Acharya, U., K. Paul Joseph, N. Kannathal, C. M. Lim and J. S. Suri (2006). "Heart rate variability: a review." Med Biol Eng Comput **44**(12): 1031-1051.

Seiler, S., O. Haugen and E. Kuffel (2007). "Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects." Med Sci Sports Exerc **39**(8): 1366-1373.

Sevre, K., B. Bendz, E. Hango, A. R. Nakstad, A. Hauge, J. I. Kasin, J. D. Lefrandt, A. J. Smit, I. Eide and M. Rostrup (2001). "Reduced autonomic activity during stepwise exposure to high altitude." Acta Physiol Scand **173**(4): 409-417.

Somers, V. K., M. E. Dyken, A. L. Mark and F. M. Abboud (1993). "Sympathetic-nerve activity during sleep in normal subjects." N Engl J Med **328**(5): 303-307.

Sovijärvi A.; Ahonen A.; Hartiala J., L. E., Savolainen S., Turjanmaa V., Vanninen E. (2003). Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Hämeenlinna, Kustannus Oy Duodecim.

Stroud, M. A., P. Ritz, W. A. Coward, M. B. Sawyer, D. Constantin-Teodosiu, P. L. Greenhaff and I. A. Macdonald (1997). "Energy expenditure using isotope-labelled water (2H218O), exercise performance, skeletal muscle enzyme activities and plasma biochemical parameters in humans during 95 days of endurance exercise with inadequate energy intake." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **76**(3): 243-252.

Suomela, K. (2006). Pohjoisnapa - Jäinen haaste, Poppicok.

- Suomela, K. (2009). Etelänapa: Tuulinen tavoite, Poppicok.
- Torkko, M. (2013). "Hyvin korkean ja äärimmäisen korkean ilmanalan vaikutus kehonkoostumukseen."
- Tulen, J. H., F. Boomsma and A. J. Man in 't Veld (1999). "Cardiovascular control and plasma catecholamines during rest and mental stress: effects of posture." Clin Sci (Lond) **96**(6): 567-576.
- Uusitalo, A. L., T. Laitinen, S. B. Vaisanen, E. Lansimies and R. Rauramaa (2004). "Physical training and heart rate and blood pressure variability: a 5-yr randomized trial." Am J Physiol Heart Circ Physiol **286**(5): H1821-1826.
- Uusitalo, A. L., A. J. Uusitalo and H. K. Rusko (2000). "Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete." Int J Sports Med **21**(1): 45-53.
- Van Hoogenhuyze, D., N. Weinstein, G. J. Martin, J. S. Weiss, J. W. Schaad, X. N. Sahyouni, D. Fintel, W. J. Remme and D. H. Singer (1991). "Reproducibility and relation to mean heart rate of heart rate variability in normal subjects and in patients with congestive heart failure secondary to coronary artery disease." Am J Cardiol **68**(17): 1668-1676.
- Wood, R., B. Maraj, C. M. Lee and R. Reyes (2002). "Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults." Age Ageing **31**(2): 131-135.
- Zuzewicz, K., B. Biernat, G. Kempa and K. Kwarecki (1999). "Heart rate variability in exposure to high altitude hypoxia of short duration." Int J Occup Saf Ergon **5**(3): 337-346.