

Hyvin korkean ja äärimmäisen korkean ilmanalan vaikutus kehonkoostumukseen

Martti-Mikaeli Torkko

Syventävien opintojen kirjallinen työ

**Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö**

9/2013

Tampereen yliopisto
Lääketieteen yksikkö
Everest 2009 -tutkimus

TORKKO MARTTI-MIKAELI: HYVIN KORKEAN JA ÄÄRIMMÄISEN KORKEAN ILMANALAN VAIKUTUS KEHONKOOSTUMUKSEEN

Kirjallinen työ, 12 s.

Ohjaaja: professori Mika Kähönen, LL Heikki Karinen

Lokakuu 2013

Avainsanat: hypobarinen hypoksia, retkeily, kehonkoostumus

Vaikka korkeiden olosuhteiden vaikutusta kehonkoostumukseen on tutkittu useissa tutkimuksissa, on aiheesta vielä paljon selvittämättä. Tässä tutkimuksessa seurattiin yhdeksän suomalaisen miehen kehonkoostumuksen muutoksia hyvin ja äärimmäisen korkeassa ilmanalassa. Tutkittavien keski-ikä oli 37,7 vuotta (SD 5,5) ja vaihteluväli 27-45 vuotta. He osallistuivat suomalaiseen retkikuntaan, joka nousi Mt. Everestin huipulle keväällä 2009. Tutkittavat olivat yhteensä 52 vuorokautta yli 5300 metrin korkeudessa. Viisi heistä nousi huipulle (8850 m). Kehonkoostumusta seurattiin bioimpedanssiin perustuvalla kehonkoostumusmittarilla (Omron BF510) perusleirin korkeudella (5300m) viikoittain. Lisäksi määritettiin reiden ja olkavarren ympärysmittojen muutokset nousun aikana. Tutkittavien sopeutumista korkeisiin olosuhteisiin seurattiin Lake-Louise -oirekyselyllä (LLS). Tutkittavien paino tippui keskimäärin 7,3 kg nousun aikana ($p = 0,001$) ja viskeraalirasvan muutos oli -2,7% ($p=0,007$). Olkavarren ympärysmitta kasvoi merkitsevästi 0,9 cm ($p = 0,005$). Kehon rasvaprosentin ja reiden ympärysmittojen muutokset eivät olleet merkitseviä. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin aiemmissakin vuoristoretikuntia seuranneissa tutkimuksissa. Kehon massa ja koostumus muuttuvat sekä energiankulutuksen kasvaessa yli energiansaannin että hypoksian aiheuttamien mahdollisten muiden vaikutusten takia.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
1.1 Kehonkoostumus ja siihen vaikuttavat tekijät	1
1.2 Hypobarisen hypoksian vaikutus kehonkoostumukseen	1
1.3 Tutkimuksen tarkoitus	4
2 Menetelmät	4
3 Tulokset	6
4 Pohdinta.....	8
4.1 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin aiheesta.....	11
5 Yhteenveto.....	11
Liitteet	13
Lähteet.....	14

1 Johdanto

1.1 Kehonkoostumus ja siihen vaikuttavat tekijät

Ihmiskehosta nestettä on aikuisella miehellä noin 60 % ja aikuisella naisella noin 50 %. Nestetilavuudesta noin 60 % on solunsisäisessä ja loput solunulkoisessa tilassa. 20% solunulkoisesta nesteestä on veren plasmassa. 70 kg painavalla miehellä siis koko kehossa on noin 42 litraa nestettä, josta 25 litraa on solunsisäistä ja 17 litraa solunulkoista. Plasmassa tämän painoisella miehellä on kolme litraa nestettä (*Boron ja Boulpaep: Medical physiology 2009*). Rasvakudosta on henkilöstä riippuen miehellä noin 10-25% ja naisella 20-30%. Rasvakudosta on sekä ihonalaisesti että sisäelinten (perna, maksa, munuaiset jne.) ympärillä. Jälkimmäistä kutsutaan viskeraalirasvaksi. Lihavuuteen ja etenkin viskeraalirasvan määrään on liitetty lukuisia eri tauteja, esimerkiksi sydän- ja verisuonisairaudet (*Rosito ym. 2008*).

Monet eri tekijät vaikuttavat kehonkoostumukseen. Liikunnan on todettu vähentävän kehon rasvamassaa ja lisäävän veden suhteellista osuutta (*Quiterio ym. 2009*). Myös ruokavalio vaikuttaa. Tutkittaessa urheilijoita todettiin suunnitellun ruokavalion auttavan rasvattoman massan hankkimista ja ylläpitoa (*Garthe ym. 2011*). Geneettisillä tekijöillä saattaa olla vaikutusta kehonkoostumukseen ainakin välillisesti. Wangin ym. (2010) tutkimuksessa todettiin valkoisten ja mustien naisten välillä eroavaisuuksia kehon massan ja lepoenergia-aineenvaihdunnan yhteyksissä, mikä viittaa perintötekijöiden rooliin ainakin metabolian säätelyssä ja tätä kautta kehonkoostumuksessa. Tieto kehonkoostumuksen säätelystä ja siihen vaikuttavista tekijöistä on kuitenkin vielä vajavaista, ja aihe vaatii lisää tutkimusta.

1.2 Hypobarisen hypoksian vaikutus kehonkoostumukseen

Kehon kokonaisuudessa vähenee korkeassa ilmanalassa, jossa valitsee hypobarinen hypoksia. Tämä tarkoittaa alhaisen ilmanpaineen aiheuttamaa hapenpuutetta kehon kudoksissa. Hyvin korkea tai äärimmäinen korkeus asettaa kehon säätelymekanismeille erilaisen haasteen, jolloin kehon koostumuksen ja massan ylläpito osoittautuu vaikeaksi. Hyvin korkeaksi ilmanalaksi voidaan määritellä 3500-5500 metrin korkeus ja äärimmäiseksi ilmanalaksi yli 5500 metrin korkeus (*Imray*

ym. 2011).

Kehon koostumuksen muutokselle vuoristo-olosuhteissa on ehdotettu eri mekanismeja. Yhtenä tärkeänä mekanismina pidetään vähentynyttä energiansaantia. Syynä voi olla ruokahalun heikkeneminen, joka on yksi vuoristotaudin (AMS) diagnostisista kriteereistä (vrt. Lake-louise oirekysely, LLS). Hypoksia aiheuttaa ruokahalun heikkenemistä ja myötävaikuttavaksi tekijäksi on ajateltu hypoksian aiheuttamaa sympaattisen hermoston yliaktiivisuutta (*Hamad ja Travis 2006, Westerterp 2001*). Ruokavalion laadulla näyttää myös olevan merkitystä. Eri ravintoaineilla on eriasteinen termogeeninen vaikutus (*Tappy 1996*) ja tämän lisäksi hiilihydraattien ja rasvojen oksidaation vaatiman hapen määrä on erilainen (*Brouwer 1957*).

Myös suolen absorptiotoiminnan muutoksilla on ajateltu mahdollisesti olevan vaikutusta energiansaantiin ja tätä kautta kehonkoostumukseen. Tutkimusnäyttö aiheesta on kuitenkin ristiriitainen, eikä korkeiden olosuhteiden vaikutusta energian imeytymiseen ole pystytty vahvasti osoittamaan (*Ward ym. 2000., Kayser ym. 1992, Westerterp ym. 2000*). Hypoksian on osoitettu vähentävän sokerien imeytymistä, mutta tällä ei vaikuta olevan merkitystä kokonaisenergiansaantiin (*Hamad ja Travis 2006*). Akuutti hypoksia näyttää aiheuttavan myös ruokailunjälkeistä ylemmän suolilievevaltimon verenkierron vähenemistä sympatikotonian välityksellä, mutta tälläkään ei vaikuta olevan merkitystä energiatasapainoon (*Loshbaugh ym. 2006*). Kroonisia keuhkosairauksia koskevissa tutkimuksissa on todettu hypoksiaan liittyvän lihasmassan katoa, mutta tämän tarkka molekulaarinen mekanismi ei ole selvillä (*Theije ym. 2011*). Immunologisilla mekanismeilla saattaa olla vaikutusta kehon ja suolen toimintaan korkeissa olosuhteissa. Raportti Himalajan retkikunnasta osoitti muutoksia suolen bakteerifloorassa ja merkkejä immunologisesta stressistä. Nämä saattavat merkitä subkliinistä tai kliinistä infektiota, joka johtaa malabsorptioon (*Kleessen ym. 2005*).

Energiankulutuksella itsellään on todettu olevan suuri vaikutus kehonkoostumukseen. Hypoksisissa olosuhteissa energiankulutus vähenee (*Westerterp ym. 2000*), mutta vuorikiipeilyn keston ajatellaan olevan tarpeeksi pitkä ja fyysisyydeltään niin raskas, että energiavajetta syntyy helposti (*Westerterp ja Kayser 2006*). Lisäksi korkealle noustessa kylmyydelle altistuminen muuttaa kehon energiatasapainoa. Kylmältistus lisää kehon lepoenergia-aineenvaihduntaa, ja tätä kautta energiankulutusta (*Hamad ja Travis 2006*).

Kehonkoostumuksen muutoksia Mt. Everest -retkikunnan aikana ovat tutkineet esimerkiksi Boyer ja Blume (1984). Heidän aineistonsa koostui sekä valkoisista länsimaalaisista (kaukaasialaisia) että nepalilaisista (sherpoja). He tutkivat kehon painon ja rasvaprosentin muutosta kaikilta sekä osalta

tutkittavista ulosteen rasvapitoisuutta ja ksyloosin absorptiota. Koehenkilöt jaettiin eri ryhmiin sen mukaan, miten korkealle he kiipesivät. Tutkimuksessa todettiin länsimaalaisilla jäsenillä merkitsevä keskimäärin 4,0 kg painonlasku ajalta, kun he olivat yli 5400 metrin korkeudessa. Käsivarren ja reiden keskiympärysmittat pienenevät länsimaalaisilla merkitsevästi 1,5 cm ($p < 0,001$) ja 2,9 cm ($p < 0,001$). Käsivarren ympärysmitta oli keskimäärin alussa 29,9 cm ($\pm 0,7$ cm) ja lopussa 28,4 cm ($\pm 0,8$ cm). Vastaavat arvot reiden ympärysmitalle olivat 53,7 cm ($\pm 0,7$ cm) ja 50,8 cm ($\pm 0,9$ cm). Käsivarsi-reisi-suhde oli alussa ja lopussa sama 0,56. Sherpoilla ei todettu kehon painon tai ympärysmittojen suhteen ($S_{\text{käsivarsi}}/S_{\text{reisi}} = 0,52$) muutosta. Absorptiotutkimuksissa todettiin rasvan imeytymisen heikentyneen 48,5 % 6300 metrissä verrattuna merenpinnan tasoon. Kuudella seitsemästä tutkitusta heikentyi ksyloosin imeytyminen 24 %:lla merkitsevästi.

Reynolds ym. (1999) tutkivat 15 henkilön energiankulutusta ja kehonkoostumusta Mt. Everest – retkikunnan aikana. Viisi tutkittavaa pysyi perusleirissä tutkimuksen ajan ja altistuivat täten hypobariselle hypoksialle ilman ylimääräistä fyysistä rasitusta. Kymmenen koehenkilöä kiipesi huipulle ja altistuivat siten korkeuden lisäksi sekä fyysiselle että psyykkiselle stressille. Energiankulutusta arvioitiin kaksoisleimattu vesi -menetelmällä. Kyseisessä menetelmässä sekoitetaan normaaliin veteen (H_2O) deuteriumia (2H) ja ^{18}O :ta. Tätä leimattua vettä annetaan tutkittavalle henkilölle, ja merkkiaineiden pitoisuudet voidaan mitata esimerkiksi virtsasta tai syljestä. Pitoisuudet mitataan merkkiaineiden hakeuduttua tasapainoon elimistössä ja tämän jälkeen halutuin välein. Menetelmä perustuu tietoon, että happi poistuu kehosta sekä hengityksen hiilidioksidissa (CO_2) että vedessä (H_2O), jota on muun muassa virtsassa ja syljessä. Deuteriumia (2H) poistuu kehosta vain veden mukana, ja tätä kautta voidaan määrittää vedessä poistunut ^{18}O . Loppu ^{18}O poistuu hengityksen hiilidioksidissa. Näin voidaan epäsuorasti laskea muodostuneen hiilidioksidin ja täten kehon kuluttaman energian määrä. (Lifson ym. 1997). Kehonkoostumuksen Reynolds ym. määrittivät mittaamalla ihopoimujen paksuutta ja raajojen sekä vartalon ympärysmittat. Paino ja muut mittaukset tehtiin tutkittavien ollessa alusvaatteissa. Kehonkoostumusmittaukset tehtiin kullekin koehenkilölle seitsemän kertaa perusleirissä. Rasvaprosentti tippui molemmilla ryhmillä tutkimuksen aikana. Kiipeävillä henkilöillä rasvan osuus kehon painosta muuttui keskiarvosta 13,1 % ($\pm 6,1$ %) 11,1 %:een ($\pm 4,8$ %). Perusleirin tutkittavilla muutos oli 21,4 %:sta ($\pm 2,1$ %) 18,2 %:een ($\pm 2,0$ %). Rasvaprosenttien muutokset eivät olleet merkitseviä kummassakaan ryhmässä ($p > 0,1$). Kehon paino oli lopuksi kiipeilijöillä 90,4 % ja perusleirissä olleilla 94,0 % lähtötilanteeseen verrattuna. Keskimääräinen energiankulutus perusleirissä olleilla oli $13,70 \pm 2,26$ MJ. Kiipeilijöillä kyseinen arvo oli $22,57 \pm 6,55$ MJ. Nämä arvot ovat 1,85-3,82 -kertaiset verrattuna ennen tutkimusta mitattuihin tutkittavien lepoenergiankulutusarvoihin.

Wagner esitti tapauselostuksessaan (2010) yhden mieshenkilön kehonkoostumuksen ja veren kuvan muutoksia kahden eri vuorikiipeilyn yhteydessä. Tutkittava oli 41-vuotias, kun hän nousi Mt. Aconcagualle (6962 m) ja 43-vuotias noustessaan Mt. Everestille (8850 m). Häneltä tutkittiin kehon massa, rasvaton massa, rasvamassa sekä rasvaprosentti. Veren kuvasta tutkittiin punasolutiheys ($\times 10^6/\mu\text{l}$), hemoglobiinipitoisuus (g/dl), hematokriitti, punasolujen keskitilavuus (MCV, fl), punasolujen keskimääräinen hemoglobiinipitoisuus (pg) ja punasolujen keskimääräinen hemoglobiinikonsentraatio (g/dl). Ennen kumpaakin nousua tehtiin mittaukset 1382 metrin korkeudessa, joka oli koehenkilön asuinkorkeus. 10 päivää Mt. Aconcagualle nousun jälkeen ja 14 päivää Mt. Everestille nousun jälkeen tehtiin uudet mittaukset. Tutkittava saavutti Mt. Aconcaguan huipun 12 päivän ja Mt. Everestin huipun 50 päivän nousun jälkeen. Mt. Aconcagualla miehen paino tippui 2,0 kg eli 3,0 % ja rasvaprosentti laski 3,4 prosenttiyksikköä. Veren kuvassa ei nähty merkittäviä muutoksia. Mt. Everestillä miehen paino tippui 4,5 kg eli 6,9 %. Rasvaprosentti laski 7,1 prosenttiyksikköä. Mt. Everestin nousun jälkeen oli miehen hemoglobiinipitoisuus noussut 12,7 % arvoon 17,7 g/dl, joka ylittää viitearvon (17,5 g/dl). Tämä oli ainoa poikkeava veriarvo.

1.3 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena on kuvata kaksi kuukautta kestävä hypobarisen hypoksian vaikutuksia kehonkoostumukseen sekä energian tarvetta Mt. Everestille nousun aikana. Tutkimuksen tuloksilla voidaan kenties valmistaa tulevia vuoristoretkikuntia ääriolosuhteisiin aiempaa paremmin.

2 Menetelmät

Tutkimusaineisto koostui yhdeksästä suomalaisesta miehestä. Keski-ikä oli 37,7 vuotta (vaihteluväli 27-45, keskihajonta 5,5 vuotta). Tutkittavat olivat lähtökohtaisesti hyväkuntoisia, liikunnallisesti aktiivisia miehiä (taulukko 1). Kukaan ei tupakoinut säännöllisesti eikä kukaan ollut vakituista lääkitystä käytössä. Kaikki asuivat merenpinnan tasolla eikä kukaan ollut oleskellut 6 kuukauteen ennen retkikuntaa yli 1000 m korkeudessa. Retkikunta lensi Katmanduun (1310 m) ja sieltä edelleen kaksi päivää myöhemmin lentäen Luklaan (2860 m). Tästä eteenpäin retkikunta nousi

kahden viikon aikana korkeuteen 5300 m, johon perustettiin perusleiri. Seuraavien viikkojen ja kuukausien aikana retkikunta rakensi leirit 6100 m (C1), 6400 m (C2) ja 7100 m (C3) korkeuksiin. Viimeinen leiri (C4, 8150 m) rakennettiin huippunousun aikana ja purettiin alas tultaessa. Muut leirit käytiin purkamassa 2-4 vrk huipulle nousun jälkeen. C4-leiristä noustiin noin kymmenessä tunnissa huipulle ja perusleiriin laskeutumiseen huipulta meni toiset kymmenen tuntia. Huippu saavutettiin 54. päivänä ja perusleiristä alkoi laskeutuminen 63. päivänä.

Koehenkilö	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasvaprosentti (%)	VO ₂ max (ml/min/kg)
1	44	175	66	13,3	60
2	34	185	83	16,0	61
3	36	172	93	22,4	50
4	41	187	82	15,4	52
5	45	185	74	17,7	56
6	27	184	74	11,7	61
7	40	170	65	18,3	54
8	36	171	73	17,8	60
9	36	178	91	29,6	50
	37,7 (SD 5,5)	179 (SD 6,8)	77,9 (SD 10,0)	18,0 (SD 5,3)	56 (SD 4,7)

Taulukko 1. Koehenkilöiden ikä, pituus, paino, rasvaprosentti ja VO₂(max). Alimmalla rivillä keskiarvo ja -hajonta.

Perusleirissä retkikunnan annettiin akklimatisoitua pari päivää, ennen kuin varsinainen nousu alkoi. Retkikunnan jäsenten akklimatisoitumista seurattiin päivittäin Lake-Louise -oirekyselyllä (liite 1). Kyseisessä kyselyssä kiinnitetään huomiota vuoristotautiin liitettyihin oireisiin ja arvioidaan näiden vaikeusastetta. Tällaisia oireita ovat muun muassa päänsärky, väsymys, heikotus, univaikeudet, turvotukset ja tajunnan tason lasku.

Leposyke ja happisaturaatio (SpO₂) mitattiin sormenpäähän asetettavalla happisaturaatiomittarilla (Nonin Medical, Onyx 9500, Plymouth MN, USA). Tutkittava käveli 3-5 minuuttia ja pyrki pitämään sykkeensä 150 lyöntiä/min tienoilla koko ajan. Lämpötila vaihteli kävellessä -15 °C ja +20 °C välillä. Kävely päättyi teltaan jossa lämpötila oli +5- +20 °C. Välittömästi pysähdyttyään tutkittava asettui istumaan, ja happisaturaatio mitattiin oikeasta etusormesta neljä kertaa 5 s välein. Ensimmäinen mittausarvo tallennettiin heti tutkittavan pysähdyttyä, toinen 5 s, kolmas 10 s ja neljäs 15 s kuluttua. Näiden keskiarvo tallennettiin analysoitavaan dataan.

Kehonkoostumus määritettiin käyttäen bioelektriseen impedanssiin perustuvaa mittaria (Omron

BF510, Omron Healthcare Co. Ltd., Kioto, Japani). Perustason mittaukset tehtiin Katmandussa 1300 metrin korkeudella ennen ja jälkeen nousun. Mittaukset tehtiin vakioituna vuorokauden aikana, noin kaksi-kolme tuntia aamupalan jälkeen. Mittauksia tehtiin perustasomääritysten jälkeen nousun aikana viikon välein perusleirissä 5300 metrin korkeudella yhteensä kahdeksan kertaa. Tutkittavien reiden sekä olkavarren ympärysmitat mitattiin Suomessa ennen ja jälkeen Mt. Everestille nousun.

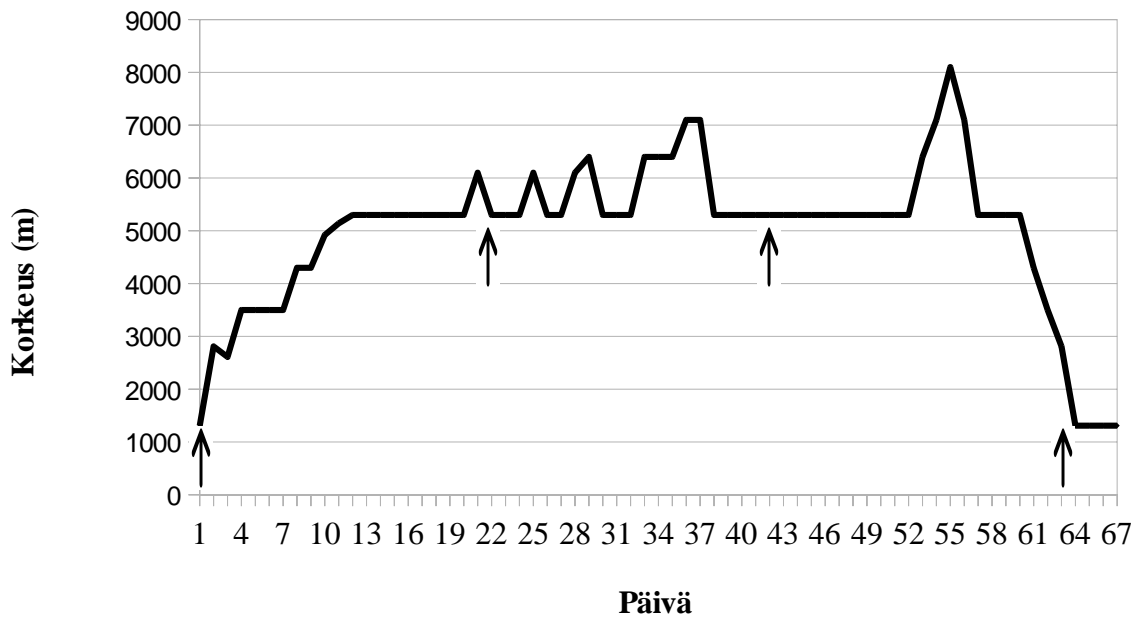
Retkikunta ei käyttänyt kiipeilyssä ulkopuolisia avustajia. Tämä tarkoittaa, että tutkittavat kantoivat itse kaikki tarvitsemansa välineet (650kg) nousun aikana. Normaalisti Mt. Everest -retkikunta ylittää Khumbun jäätikön kaksi tai kolme kertaa. Everest 2009 –retkikunnalle tuli henkilöstä riippuen 9-12 jäätikön ylitystä. Khumbun jäätikkö nousee 4900 metrillä 7600 metriin noin 17 kilometrin matkalla. Tutkittavien energiantarpeeksi arvioitiin lepotilassa tai vähäisessä fyysisessä aktiivisuudessa perusleirissä oleskeltaessa noin 2500 kcal/d ja kiivettäessä perusleirin yläpuolella 4900 kcal/d perustuen aiemmista retkikunnista saatuun dataan. Käytännössä perusleirin yläpuolella kukin tutkittava söi ruokahalun mukaan. Ylijäänyt ruoka jaettiin seurueen kesken, mikäli jollekin jäi vielä nälkä. Energiankulutusta arvioitiin myös Everest 2009 –retkikunnassa sykevälivaihtelun mittaamiseen perustuvalla menetelmällä (hyvinvointianalyysi, HVA, Firstbeat, Jyväskylä, Suomi).

Analyysejä varten jaettiin aika hyvin korkeissa tai äärimmäisissä olosuhteissa nousun ajalta laaditun päiväkirjan mukaisesti kolmeen osaan. Lähtöpiste päivä 0 (d0), toinen mittauspiste päivä 22 (d22), kolmas mittauspiste päivä 42 (d42) ja päätepiste päivä 63 (d63), joka oli viimeinen päivä perusleirissä ennen laskeutumista. Jokaisella mittauskerralla määritettiin kehon massa, rasvaprosentti, lihasmassa, BMI, reiden ja olkavarren ympärysmitat sekä viskeraalinen rasva. Tutkimusdata analysoitiin tilasto-ohjelmalla (SPSS 16.0). Merkitsevyydet laskettiin parillisten otosten t-testillä tai Wilcoxonin testillä. $P < 0.05$ pidettiin tilastollisen merkitsevyyden rajana.

3 Tulokset

Retkikunnan jäsenistä seitsemän osallistui huippuuritykseen viiden päästessä huipulle. Kaksi keskeytti nousun 7800 ja 8500 m korkeuksissa. Loput kaksi olivat perusleirissä. Tutkittavat oleskelivat yli 5300 metrin korkeudessa yhteensä 52 vuorokautta. Analyyseissä d0-d11 ovat alle 5300 metrin korkeudesta, koska jo tuosta alkoi retkikunnan osalta fyysinen rasitus. Fyysinen

kuormitus osaltaan vaikuttaa kehonkoostumukseen. Alkumittaukset on suoritettu Suomessa.



Kuvaaja 1. Retkikunnan korkeus merenpinnasta nousun edetessä. Analyysipisteet d0, d22, d42 ja d63 merkitty nuolella.

Tutkittavien paino tippui keskimäärin 7,3 kg Suomessa mitatusta alkupainosta perusleiristä poistumiseen ($p = 0,001$). Kehon rasvaprosentti nousi 1,6 % ($p = 0,085$) ja lihasmassan muutos oli -0,5 % ($p = 0,320$), mutta nämä muutokset eivät olleet merkitseviä. Viskeraalirasvan suhteellinen osuus koko kehon massasta muuttui -2,7 % ($p = 0,007$). BMI tippui keskimäärin 2,7 yksikköä ($p = 0,008$). Reiden ympärismitta kasvoi 0,8 cm, mutta muutos ei ollut merkitsevä ($p = 0,232$). Käsivarren ympärismitta sen sijaan kasvoi merkitsevästi 0,9 cm [95 % +0,4-(+1,5) cm] ($p = 0,005$).

Aikavälillä d22-d42 kehon paino tippui tutkittavilla 3,0 kg ($p = 0,001$). Rasvamassa nousi 2,6 % ($p = 0,001$) ja lihasmassa tippui 1,5 % ($p = 0,000$). Viskeraalirasvan muutos oli -2,6 % ($p = 0,009$) ja BMI:n -2,7 % ($p = 0,008$). Tällä ajanjaksolla tutkittavien oleskelukorkeus vaihteli 5140 metristä 7100 metriin, joten tässä oltiin jo hyvin korkeissa olosuhteissa.

Aikavälillä d42-d63 keskipainon muutos oli -1,4 kg ($p = 0,024$). Rasvamassa muuttui -0,2 % ($p = 0,727$) ja lihasmassa +0,4 % ($p = 0,349$). Viskeraalirasvan suhteellinen osuus laski 1,0 % ($p = 0,317$) ja BMI -1,9 yksikköä ($p = 0,056$). Tänä aikana tutkittavat olivat 5300-8850 metrin korkeudessa eli hyvin tai äärimmäisen korkeissa olosuhteissa.

	Massa (kg)	Rasvapros. (%)	Viskeraalirasva (%)	Painoindeksi
Muutos	-7,3 kg	+1,6 %	-2,7 %	-2,7
P-arvo	0,001	0,085	0,007	0,008

Kehonkoostumuksen keskimääräiset muutokset retkikunnan aikana. Rasvaprosentti on taulukon muuttujista ainoa, joka ei muuttunut merkitsevästi ($P=0,085$).

Everest 2009 -retkikunnan Firstbeat-analyyseissä Khumbun jäätikön ylityksen aikana koehenkilöiden energiankulutus saattoi olla keskimäärin 270 kcal/h jopa 16 h ajan. Yhteensä tämä tekee yksittäiseen ylitykseen 4350 kcal. Hetkellinen kulutus saattoi olla reilusti isompi, jopa noin 750 kcal/h nousun alussa. Koehenkilöllä 4 kulutuksen keskiarvo Khumbun jäätikön ylityksen aikana oli 310 kcal/h 9,5 h ajan ja kokonaisuudessaan 2960 kcal. Hetkellisesti saavutettiin arvo 700 kcal/h.

Tutkittavilla ei pääosin LLS-kyselyn mukaan ollut vuoristotautia. Koehenkilöllä 5 oli päivinä 13 ja 15 lievän vuoristotaudin oireita (LLS= 4 pistettä) kuten myös tutkittavalla 7 päivinä 7, 9 ja 30.

Leposaturaation (SpO_2 (lepo)) keskiarvo nousun ensimmäisenä päivänä (d0) oli 95% (95% vaihteluväli 93-97%). Tämän jälkeen arvot peruleirissä (5300 m) muuttuivat seuraavasti: d11 (heti perusleiriin saavuttua) SpO_2 81% (72-86%), d14 85% (80-88%), d25 SpO_2 85% (84-87%), d34 86% (84-88%) ja d42 87% (86-88%).

4 Pohdinta

Tutkittavien paino putosi koko ajan tutkimuksen edetessä. Vaikka kehon rasvaprosentin ja lihasmassan suhteellisten osuuksien suhteen muutokselle ei saatu merkitsevyyttä, kummankin absoluuttinen arvo laski kehon massan tippuessa keskimäärin 7,3kg ($p=0,001$). Tämä voi johtua monesta eri osatekijästä – esimerkiksi energiankulutuksesta, hypoksiasta ja sympaattisen hermoston yliaktiivisuudesta. Lihaskudoksen ylläpito saattaa olla hypobarisessa hypoksiassa, kuten vuoristoretkikunnilla, keholle haasteellista, sillä keuhkosairauksiinkin liittyvän hypoksian on osoitettu johtavan lihasmassan vähenemiseen (*Theije ym. 2011*).

Erittäin tärkeä tekijä tässä tutkimuksessa on fyysisen rasituksen määrä. Tämä retkikunta toimi ilman ulkopuolisia kantajia, joten tutkittavat joutuivat tekemään enemmän työtä kuin suurimmassa osassa aiemmin julkaistuja tutkimuksia. Normaalisti avustettujen retkikuntien jäsenet ylittävät Khumbun jäätikön 2-3 kertaa, mutta tämä retkikunta ylitti sen tutkittavasta riippuen 9-12 kertaa. Koska jokainen ylitys on raskas, tarkoittaa tämä myös erittäin isoa lisärasitetta yksilölle. Fyysinen rasitus kenties auttaa ylläpitämään lihasmassaa, mutta lisää energiankulutusta lisäten näin ravinnon tarvetta. Tämä johtaa painon putoamiseen, mikäli energiavajetta ei korjata ruoalla. Vuoristo-olosuhteissa tämä ei ole äärimmäisessä rasituksessa ja mahdollisten vuoristotaudin oireiden vallitessa aina mahdollista, joten paino putoaa väijäämättä. Tilastollisissa analyyseissä vertailtaessa sekä reiden että olkavarren ympärysmittaa kasvoi olkavarren ympärysmitta keskimäärin 0,9 cm ja tämä muutos oli merkitsevä ($p = 0,005$). Tämä lienee selitettävissä nimenomaan fyysisellä rasituksella, vaikka paino tutkittavilla tippuikin reilusti koko nousun aikana. Reiden ympärysmitta ei muuttunut merkitsevästi. Tämä ero olkavarren ja reiden muutosten välillä voi johtua lähtökohtaisesta rasvakudoksen jakautumisesta tutkittavien kehossa.

Akklimatisoituminen korkeisiin olosuhteisiin pitää ottaa huomioon ajateltaessa kehon koostumusta. Tutkittavien adaptoitumista vuoristo-oloihin oli seurattu muun muassa Lake-Louisen vuoristotaudin pisteystaulukolla. Tutkittavilla oli pääosin hyvin lieviä oireita (pisteitä 0-1). Tutkittavilla 5 ja 7 oli lyhyitä, muutaman päivän jaksoja 5300-6100 metrin korkeuksissa, jolloin oirekuva täytti lievän vuoristotaudin kriteerit. Nämä oirejaksot saattavat hieman vaikuttaa kehon massan tippumiseen, sillä yksi vuoristotaudin oireista on heikentynyt ruokahalu, joka taas vaikuttaa suoraan energiatasapainon kautta kehon massaan ja koostumukseen.

Happisaturaatiomittauksista yhteenvetona voidaan todeta, että heti perusleiriin saavuttua arvot olivat matalimmat, mutta nousivat muutamassa päivässä kyseiselle korkeudelle tyyppiselle akklimatisoituneen kiipeilijän tasolle 85%:iin (Karinen *ym.* 2010). Lisääntyneen akklimatisaation myötä saturaatioarvot nousivat enää vähän 86-87%:iin 5300 m korkeudessa retkikunnan loppua kohti.

Psyykkisten tekijöiden merkitys lienee myös merkittävä vuoristoretkikunnalla. Tämän retkikunnan osalta projekti vei yli kaksi kuukautta pois kotoa. Monella tutkittavista oli perhettä ja tuttavat kaukana Suomessa nousun aikana. Yhteydenpitomahdollisuudet kotiin ja tuttaviin ääriolosuhteissa ovat usein rajalliset. Näin koti-ikävä saattoi vaivata, mikä yhdistettynä muutenkin jo psyykkisesti stressaavaan nousuun saattaa aiheuttaa somaattista oireilua esimerkiksi ruokahaluttomuuden

muodossa. Myös mahdolliset vastoinkäymiset retkikunnan edetessä altistavat tutkittavia stressille, joka voi johtaa lisääntyneeseen sympatikotoniaan.

Tutkimuksen heikkoutena on, kuten muissakin vuoristoretkikuntia koskevissa tutkimuksissa, tutkittavien henkilöiden vähäinen lukumäärä. Useiden tarkasteltujen muuttujien muutokset eivät olleet merkitseviä. Näin ollen tilastollinen voima ja tulosten yleistettävyyys jäävät melko vähäisiksi. Tämä on kuitenkin käytännön sanelemaa ottaen huomioon, että Mt. Everestille nousevien henkilöiden pitää olla jo valmiiksi melko kokeneita vuorikiipeilijöitä, eikä yhteen retkikuntaan ole mahdollista sisällyttää paljoa tämän enempää ihmisiä.

Mittausvirhettä eri mittausten välillä vähensi se, että ne tehtiin aina 2-3 tuntia aamupalan jälkeen, jolloin kehon nesteytyksen pitäisi olla melko vakio. Koehenkilöt olivat aina alusvaatteisillaan. Myös happisaturaatiomittaukset tehtiin standardoidusti metodeissa kuvatulla tavalla.

Retkikunnan käyttämästä ravinnosta ei ole tarkkaa päiväkirjaa, mikä osaltaan aiheuttaa virhettä analyysiin. Tiedossa oli tutkittaville varattu ravintomäärä sekä perusleirissä että sen yläpuolella, mutta miten kukin käytännössä söi, ei ole tiedossa. Yksilöiden välillä ja päiväkohtaisesti on saattanut olla isojakin eroja energiansaannissa. Aiemmissa tutkimuksissa on myös esitetty olevan merkitystä sillä, syödäänkö korkealla hiilihdraatti- vai rasvapitoista ruokaa. Näiden ravintoaineiden osapitoisuuksista ei tässä tutkimuksessa ole dataa.

Fyysisen rasituksen aiheuttamaa virhettä tässä tutkimuksessa lisäsi se, että retkikunta siirtyi kävellen Luklasta (2860 m) perusleiriin (5300 m) aikana. Tämä sisältyy analyyseissä ensimmäiseen kolmannekseen, ja aivan alkuvaiheessa ei hyvin korkeiden olosuhteiden vaikutusta vielä ole taustalla. Paino kuitenkin tippui jo reiluhkosti tutkittavilla tuona aikana luultavasti lähinnä kuormituksen takia. Lisäksi tämä retkikunta, kuten jo aiemmin mainittiin, teki Khumbun jäätikön ylityksiä keskimääräistä retkikuntaa enemmän. Firstbeat-analyyseistä otettujen esimerkkien tuloksia tarkastellessa voidaan nähdä kyseisen suorituksen vaativan paljon energiaa. Näin ollen Khumbun jäätikön ylitysten lukumäärä on nostanut retkikunnan fyysistä kokonaisrasitetta, mikä on vaikuttanut kehonkoostumuksen muutoksiin.

4.1 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin aiheesta

Tässä tutkimuksessa tutkittavien kehon massa tippui merkitsevästi. Tämä on samassa linjassa aiempien tutkimusten kanssa (Boyer ja Blume 1984, Westerterp-Plantenga ym. 1999, MacDonald ym. 2009, Westerterp ja Kayser 2006, Reynolds ym. 1999). Tässä työssä ei kuitenkaan saatu merkitsevyyttä rasva- ja lihasmassan muutoksille, vaan näiden suhteellinen osuus kehon massasta säilyi. Reynolds ym. (1999) totesivat tutkimuksessaan, että retkikunnan jäsenillä säästyli lihasmassaa ja pudotettu paino oli pääosin rasvaa. MacDonald ym. (2009) eivät kuitenkaan saaneet vastaavaa tulosta, vaan heidän tutkimuksessaan tippui sekä lihas-, rasva- että vesimassa.

Everest 2009 -retkikunnan tutkittavilla reiden ympärysmitta ei muuttunut mutta käsivarren ympäryskasvoi merkitsevästi 0,9cm. Tämä eroaa Boyerin ja Blumen (1984) tuloksista, joissa sekä reiden että käsivarren ympärysmittat pienenevät.

Useissa aiemmissä tutkimuksissa on todettu sekä korkeassa ilmanalassa että hypoksisissa olosuhteissa energiansaannin vähentyvän ja tämän sekä kokonaisuudessaan negatiivisen energiatasapainon johtavan kehon massan putoamiseen (Westerterp-Plantenga ym. 1999, MacDonald ym. 2009, Reynolds ym. 1999). Tässä tutkimuksessa retkikunnan syömistä ruoista ei ole tarkkaa päiväkirjaa, mutta fyysisen aktiivisuuden määrä oli niin iso, että tämä lienee ollut osatekijänä vaikuttamassa.

Westerterp ja Kayser (2006) ehdottavat, että hypoksiolla on merkittävä rooli kehonkoostumuksen säätelyssä. Myös MacDonald ym. (2009) toteaa, että hyvin korkeassa ilmanalassa on muitakin vaikuttavia tekijöitä kuin energiatasapainon epäsuhta. Näihin tämä tutkimus ei kykene ottamaan kantaa, sillä tarkkaa tietoa ei energiatasapainosta ole. Joka tapauksessa tämän tutkimuksen tulokset kehonkoostumuksen muutoksista ovat pääosin linjassa aiempien tutkimusten kanssa.

5 Yhteenveto

Korkealle noustessa kehon massa tippuu sekä fyysisen kuormittavuuden että ilmeisesti muidenkin osatekijöiden vaikutuksesta. Näiden osatekijöiden – mm. hypobarisen hypoksian – osuutta kehonkoostumuksen muutoksiin tulisi tutkia itsenäisinä elementteinä, kuten aiemmin on jo

yrityttykin. Tämä tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaiset kuin aiemmissa tutkimuksissa - kehon massa ja viskeraalirasvan määrä tippuvat. Syynä todennäköisesti ovat sekä fyysinen rasitus että hypoksia. Jatkotutkimukset isommalla koehenkilöaineistolla ja hallituissa koeolosuhteissa saattaisivat valottaa enemmän kehonkoostumuksen muutoksista ja näihin vaikuttavista tekijöistä.

Liitteet

VUORISTOTAUDIN OIREKYSELY JA SEURANTAKAAVAKE Mt Everest 2009

Perustuu Lake Louise AMS kyselykaavakkeeseen

Nimi: _____	m / f	Ikä	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Aiemmat tiedot vuoristotaudista: AMS/HAPE/HACE?									
Onko sinulla _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Käytätkö lääkkeitä? Diamox muut _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Aikaisemmin saavutettu korkein paikka? Milloin? _____									
Päiväys	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Korkeus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
leposyke	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
SpO2 lepo	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
SpO2 rasitus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Laktaatti lepo	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Laktaatti rasitus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Juotu neste	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Virtsamäärä	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Oireet aamulla tai riittävän levon jälkeen:									
1. Päänsärky									
ei päänsärkyä	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Lievä päänsärky	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Kova päänsärky	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
Vakava päänsärky	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
2. Ruuansulatuselimistö									
Ei oireita									
Huono ruokahalu tai pahoinvointi	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Kohtalain. pahoinvointi/oksentelu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Voimakas pahoinv./oksent.	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
3. Väsymys/heikotus									
Ei väsymystä tai heikotusta									
Lievää väsymystä/heikkoutta	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Kohtalaista väsymystä/heikkoutta	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Voimakas väsymys/heikkous	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
4. Huimaus									
Ei huimausta									
Lievä huimaus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Kohtalainen huimaus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Vaikea huimaus	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
5. Univaikeus									
Uni yhtä hyvää kuin ennenkin									
Uni ei yhtä hyvää kuin tavallisesti	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Heräsi usein, nukkui huonosti	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Ei nukkunut lainkaan	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
Kliiniset oireet:									
6. Mielialan ja henkisen kunnon muutos									
Ei muutosta									
Poissaoleva/raukea	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Sekava	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Tylsä/puolitajuton	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
7. Kömpelyys (kantapää-varvas-kävely)									
Ei vaikeuksia									
Korjausliikkeitä	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Ei pysy linjalla	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
Kaatuu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
Ei kykene seisomaan	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	3 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	4 pist
8. Turvotuksia									
Ei turvotuksia									
Turvotuksia yhdessä kohdassa	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	0 pist
Kahdessa tai useammassa paikassa	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	1 pist
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	2 pist
Pisteet yhteensä _____									

Merkitse ruksi kysymysten kohdalle joka päivä aamupäivällä arvioiden edellistä vuorokautta ja sen hetkistä tilannetta

Laske lopuksi kunkin päivän pystysarakkeiden antamat pisteet yhteen.

0-3 pistettä ei vuoristotautia, 4-6 pistettä lievä vuoristotauti, 6-8 kohtalainen ja yli 8 pistettä vakava vuoristotauti

Pääsitkö huipulle? Jos et, niin miksi nousu keskeytyi? Saavutettu korkeus _____

Muita havaintoja ja tuntemuksia (jatka tarv. kääntöpuolelle) _____

Copyright Heikki Karinen, luvaton käyttö kielletty

Lähteet

- Boron WF, Boulpaep EL. *Medical physiology*. 2. painos. Philadelphia: Saunders Elsevier 2009. Tekstiviite: (Boron ja Boulpaep: *Medical physiology* 2009).
- Boyer ja Blume. *Weight loss and changes in body composition at high altitude*. *J Appl Physiol* 1984;57(5):1580-5.
- Brouwer E. *On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidized in metabolism of men and animals, from gaseous exchange (oxygen intake and carbonic acid output) and urine-N*. *Acta Physiol Pharmacol Neerlandica* 1957; 6:795–802.
- Garthe I, Raastad T, Sundgot-Borgen J. *Long-term effect of nutritional counselling on desired gain in body mass and lean body mass in elite athletes*. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011;36(4):547-54.
- Hamad N, Travis SP. *Weight loss at altitude: pathophysiology and practical implications*. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 2006;18(1):5-10.
- Imray C, Booth A, Wright A, Bradwell A. *Acute altitude illnesses*. *BMJ* 343:d4943, 2011.
- Karinen H, Mustonen K, Tikkanen H. *Liikkuminen ja sopeutuminen ohuessa ilmanalassa*. *Liikunta ja tie* 6/2004.
- Karinen H, Peltonen J, Kähönen M, Tikkanen H. *Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent*. *High Alt Med Biol* 2010; 4:325-332
- Kayser B, Acheson K, Decombaz J, Fern E, Cerretelli P. *Protein absorption and energy digestibility at high altitude*. *J Appl Physiol* 1992;73:2425–2431.
- Kleessen B, Schroedl W, Stueck M, Richter A, Rieck O, Krueger M. *Microbial and immunological responses relative to high-altitude exposure in mountaineers*. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1313–1318.
- Lifson N, Gordon GB, McClintock R. *Measurement of total carbon dioxide production by means of $^{2}D_2^{18}O$* . *Obes Res* 1997;5(1):78-84.
- Loshbaugh JE, oepky JA, Greene ER. *Effects of acute hypobaric hypoxia on resting and postprandial superior mesenteric artery blood flow*. *High Alt Med Biol* 2006;7(1):47-53.
- Macdonald JH, Oliver S, Hillyer K, Sanders S, Smith Z, Williams C, Yates D, Ginnever H, Scanlon E, Roberts E, Murphy D, Lawley J, Chichester E. *Body composition at high altitude: a randomized placebo-controlled trial of dietary carbohydrate supplementation*. *Am J Clin Nutr* 2009;90(5):1193-202.
- Quiterio AL, Carnero E, Silva. ym. *Weekly training hours are associated with molecular and cellular body composition levels in adolescent athletes*. *J Sports Med Phys Fitness* 2009;49(1):54-63.
- Reynolds RD, Lickteig J, Deuster PA. ym. *Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest*. *J Nutr* 1999;

129:1307-1314.

Rosito GA, Massaro JM, Hoffmann U, Ruberg FL, Mahabadi AA, Vasan RS, O'Donnell CJ, Fox CS. Pericardial fat, visceral abdominal fat, cardiovascular disease risk factors, and vascular calcification in a community-based sample: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2008;117(5):605-13.

Tappy L. Thermic effect of food and sympathetic nervous system activity in humans. *Reprod Nutr Dev* 1996;36(4):391-7.

de Theije C, Costes F, Langen RC ym. Hypoxia and muscle maintenance regulation: implications for chronic respiratory disease. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2011;14(6):548-53.

Wagner DR. Body composition and hematological changes following ascents of Mt. Aconcagua and Mt. Everest. *Aviat Space Environ Med* 2010;81(11):1045-8.

Wang X, You T, Lenchik L, Nicklas BJ. Resting energy expenditure changes with weight loss: racial differences. *Obesity* 2010;18(1):86-91.

Ward MP, Milledge JS, West JB. *High altitude medicine and physiology*. 3. painos. Lontoo: Chapman and Hall 2000. Tekstiviite: Ward ym. 2000.

Westerterp KR, Meijer EP, Rubbens M, Robach P, Richalet JP. Operation Everest III: water and energy balance. *Pflugers Arch* 2000;439(4):483-8.

Westerterp, KR. Energy and water balance at high altitude. *News Physiol Sci* 2001;16:134-7.

Westerterp KR, Kayser B. Body mass regulation at altitude. *Eur J Gastroen Hepat* 2006;18(1):1-3.

Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR, Rubbens M, Verwegen CR, Richelet JP, Gardette B. Appetite at "high altitude" [Operation Everest III (Comex-'97)]: a simulated ascent of Mount Everest. *J Appl Physiol* 1999;87(1):391-9.