

KYLMÄALTISTUKSEN JA VAATETUKSEN VAIKUTUS AEROBISEN KUORMITUKSEN AIKANA

VAIKUTUS IHMISEN ERÄISIIN FYSIOLOGISIIN MUUTTUJIIN JA
SUBJEKTIIVISIIN TUNTEMUKSIIN

Pasi Sorvisto ja Marko Vaappo

Fysioterapian pro gradu-
tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Terveystieteiden laitos
Kesä 2001

TIIVISTELMÄ

Pasi Sorvisto, Marko Vaappo

Kylmäaltistuksen ja vaatetuksen vaikutus aerobisen kuormituksen aikana – vaikutus ihmisen eräisiin fysiologisiin muuttujiin ja subjektiivisiin tuntemuksiin, 78 sivua.

Fysioterapian pro gradu-tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Terveystieteiden laitos, kesä 2001.

Ympäristöolosuhteiden ja vaatetuksen aiheuttamien kuormitustekijöiden yhteisvaikutusta on tutkittu vähän, vaikka pohjoisilla leveysasteilla asuu ja elää runsaasti ihmisiä. Tässä tutkimuksessa tutkittiin ympäristöolosuhteiden ja vaatetuksen aiheuttamien kuormitustekijöiden vaikutusta eräisiin ihmisen fysiologisiin muuttujiin ja subjektiivisiin tuntemuksiin aerobisella kuormitustasolla. Koehenkilöiksi valittiin kahdeksan vapaaehtoista 21-36-vuotiasta tervettä miestä, jotka harrastivat kuntoliikuntaa 1-2 kertaa viikossa vähintään 60 minuutin ajan. Tutkimustapa oli 60 minuutin kävely tai hölkkä juoksumatolla 25 ja 50% VO₂max kuormitustasolla. Ilman lämpötilat olivat 20°C, 0°C ja -15°C. Mitatut muuttujat olivat hapenkulutus, ventilaatio, syke, kuormittuneisuuden kokemus ja lämpötuntemukset.

Tässä tutkimuksessa hapenkulutuksen ja ventilaation muutokset olivat yhdenmukaisia. Ne lisääntyivät keskimäärin 3,3% (p<.05) vaatetuksen painokiloa kohden. Hapenkulutus ja ventilaatio lisääntyvät merkitsevästi ympäristön lämpötilan laskiessa, sekä vaatetuksen painon ja kitkan lisääntyessä. Syketaso ei kohonnut prosentuaalisesti yhtä voimakkaasti, mutta muutos oli merkitsevä. Syketaso kohosi 25% VO₂max kuormituksessa 1% (p<.05) ja 50% VO₂max kuormituksessa 2,3% (p<.05) vaatetuksen painokiloa kohden. Kuormittuneisuuden kokemus ei noudattanut näitä fysiologisia muutoksia. Lämpötuntemusten merkitys virhelähteenä saattaa olla selittävä tekijä. Tapauksissa, joissa lämpötuntemus oli alhaisin, myös kuormittuneisuuden kokemus oli alhaisin. 25% VO₂max tasolla 0°C ja -15°C:ssa tehdyissä suorituksissa esiintyi lievää jäähtymistä ja jäähtymisen tuntemusta. Kuormittuneisuuden kokemuksessa oli näissä tilanteissa alhaisimmat arvot. 50% VO₂max kuormitustasolla kuormittuneisuuden kokemuksessa ja lämpötuntemuksissa ei esiintynyt merkitsevää eroa.

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aikaisemmin julkaistuja havaintoja lievän jäähtymisen positiivisista vaikutuksista suorituskykyyn. Em. perusteella esimerkiksi epäsuorissa fyysisen aktiivisuuden mittauksissa ja arvioinneissa tulisi huomioida ainakin ympäristön lämpötila, kuormitustaso, vaatetuksen määrä ja mahdollinen jäähtyminen, jotta arvion virhelähteet voitaisiin minimoida.

Avainsanat: kylmä, fysiologia, suorituskyky, vaatetus
cold, physiology, performance, clothing

LYHENTEET

ADP	adenosiinidifosfaatti
ATP	adenosiinitrifosfaatti
Clo	vaatekappaleen lämmöneristävyyttä kuvaava suure
CP	kreatiinifosfaatti
EMG	elektromyografia
HR	sydämen syketiheys
IEMG	integroitu elektromyografia
IREQ	insulation required: indeksi, jonka avulla arvioidaan ilman lämpötilan, keskimääräisen säteilylämpötilan, ilman liikkeen ja kosteuden sekä työn/ liikunnan tason yhteisvaikutusta ihmisen lämpötasapainoon
kcal	kilokalori
MET	metabolic equivalent: energiankulutusta kuvaava suure
MVC	maximal voluntary contraction: maksimaalinen tahdonalainen supistus
NBC	nuclear, biological, chemical = atomi, biologinen, kemiallinen
pH	happamuus
T_m	lihaksen lämpötila
T_{re}	rektumista (peräsuolesta) mitattu elimistön sisälämpötila
T_{sk}	ihon keskilämpötila
VE	ventilaatio
VO_2	hapenkulutus
VO_{2max}	maksimaalinen hapenottokyky/ hapenkulutus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	2
2. KYLMÄÄLTISTUKSEN VAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN JA SUORITUSKYKYYN.....	4
2.1 KYLMÄÄLTISTUKSEN VAIKUTUS FYYSISEEN SUORITUSKYKYYN.....	5
2.1.1 <i>Vaikutukset kestävyysominaisuuksiin</i>	12
2.1.2 <i>Vaikutukset voimantuottoon</i>	15
2.2 KYLMÄÄLTISTUKSEN PSYKKISET VAIKUTUKSET	18
3. PUKEUTUMINEN KYLMIIN YMPÄRISTÖOLOSUHTEISIIN	22
3.1 PUKEUTUMISEN MERKITYS LÄMPÖTASAPAINON KANNALTA.....	23
3.2 VAATETUKSEN SOPIVUUS FYYSISESSÄ KUORMITUKSESSA	24
3.3 VAATETUKSEN VALINTAAN VAIKUTTAVAT ULKOISET TEKIJÄT	27
4. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	33
5. MITTAUKSET JA NIIDEN PERUSTELUT	34
5.1 KOEHENKILÖT	34
5.2 KOEASETELMA JA MITTAUSMENETELMÄT	35
5.3 AINEISTON KÄSITTELY	38
6. TULOKSET	40
6.1 HAPENKULUTUS	40
6.2 VENTILAATIO	43
6.3 SYKE	45
6.4 KUORMITTUNEISUUDEN KOKEMUS JA LÄMPÖTUNTEMUKSET	47
7. POHDINTA	51
7.1 HAPENKULUTUS JA VENTILAATIO	51
7.2 SYKE	54
7.3 KUORMITTUNEISUUDEN KOKEMUS JA LÄMPÖTUNTEMUKSET	55
7.4 LÄHDEMATERIAALIN ARVIOINTI	57
7.5 MITTAREIDEN JA MITTAUSTEN LUOTETTAVUUS	58
7.6 TULOSTEN MERKITYS JA TULEVAISUUDEN HAASTEET	59
7.7 JOHTOPÄÄTÖKSET	61
LÄHTEET	62
LIITTEET	72

1. JOHDANTO

Kylmä ilmasto on eräs ihmisen elämään vaikuttava tekijä erityisesti arktisilla alueilla ja pohjoisilla leveysasteilla. Kylmissä olosuhteissa asuvat ihmiset ovat tottuneet sekä työssä että vapaa-aikanaan suojautumaan kylmää vastaan. Ihmiset pitävät kylmää itsestään selvänä asiana, eivätkä koe sitä vaaralliseksi, terveyttä vaarantavaksi tekijäksi. Tästä huolimatta esimerkiksi pohjois-suomalaisilla moottorikelkkailijoilla on todettu säännöllisesti kylmän aiheuttamia paleltumavammoja. Kylmälähtymisestä ulkotyössä on vain vähän tutkimustietoa, eikä virallisia suosituksia kylmälähtymisestä ole annettu Pohjoismaissa. (Virokannas 1996, 483.)

Ilmastollisesti Suomen sijainti on otollinen ihmisen altistua kylmälle, viimalle, sekä lämpötilanvaihteluille. Suomi kuuluu hyvin kylmän talven vyöhykkeeseen, jossa tammikuun keskilämpötila on Etelä-Suomessa -7°C ja Pohjois-Suomessa -15°C . Lämpötilan lisäksi sekä ulko- että sisätöissä tuuli ja ilman liike vaikuttavat vedon tunteeseen ja jäähtymiseen. Kylmälle voi siten altistua tilapäisesti tai jatkuvasti ulkotyötä tekevä. Kylmälähtymisen haitat näkyvät ammattitauti- ja tapaturmatilastoissa paleltuma- ja tapaturmatapauksina. Kylmän merkitys on kuitenkin suurempi tarkasteltaessa sairauksia, työtehoa ja viihtyvyyttä. Kylmätyön voidaan katsoa alkavan jo $+15^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, ellei lämpötilaa ole otettu vaatetuksessa huomioon. Lisäksi veto on ongelma useissa työpaikoissa. (Oksa 1998, 13; Kauppinen ym. 1997, 21-22.)

Kylmät olosuhteet eivät vaikuta yksin ihmiseen. Kylmyys vaikuttaa mm. asumiseen, liikenteeseen sekä teollisuuteen ja työelämään. Kylmälle altistuu Suomessa sadat tuhannet ulkotyöntekijät. Tärkeimmät kylmälle altistavat toimialat ovat maa- ja metsätalous, metalliteollisuus, pakkaus- ja varastotyöt, rakennusteollisuus, puutyö, kauppa, liikenne ja elintarviketeollisuus.

Voimakkainta kylmäältistus on ollut luontaistaloudessa, kuten poronhoidossa, maa- ja metsätaloudessa, rakennustöissä, merenkulun ammateissa ja eräissä varastotöissä. Muutokset kylmäältistumisessa ovat olleet vähäisiä viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana. Ne ovat johtuneet lähinnä selkeästä ammattikuvan muutoksesta, jonka seurauksena altistuvien määrä on pienentynyt. Näin on käynyt esimerkiksi metsurien kohdalla. Ihmiset asettavatkin nykyään suurempia vaatimuksia työtänsä sekä työolosuhteita kohtaan, joten niiden kehittäminen on suuri haaste nyky-yhteiskunnalle. (Kauppinen ym. 1997, 21-22.)

Tutkimustietoa vaatetuksen ja ympäristöolosuhteiden aiheuttamien kuormitustekijöiden vaikutuksesta fyysiseen suorituskäkyyn sekä subjektiivisiin kuormittuneisuuden kokemukseen on suhteellisen vähän. Tämän pro gradu-tutkielman tarkoituksena on tutkia tarkoituksenmukaisesti vaatetetun ihmisen hapenkulutuksen, ventilaation, syketason sekä subjektiivisten kuormittuneisuuden kokemuksen ja lämpötuntemusten muutoksia kahdella aerobisella kuormitustasolla eri lämpötiloissa. Tutkimustulosten perusteella on mahdollista soveltuvin osin parantaa esimerkiksi epäsuorien kuormittuneisuusmittareiden tarkkuutta. Tavoitteena on myös, että tutkielma soveltuu kylmäfysiologian opetusmateriaaliksi ja tästä syystä kirjallisuuskatsaus on hieman laajempi kuin itse tutkimuksen aihealue.

2. KYLMÄALTISTUKSEN VAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN JA SUORITUSKYKYYN

Ihmisen lämmönsäätelyjärjestelmä ja sopeutumismekanismit eri ympäristöolosuhteisiin ovat erittäin hienostuneesti toimiva kokonaisuus. Niiden tarkoituksenmukainen toiminta vaatii joustavaa, monipuolista ja tarkkaa säätelyä. Vasteet ovat osin rinnakkaisia ja osin päällekkäisiä. Vaihtoehtojen moninaisuus asettaa myöskin haasteita järjestelmän tarkoituksenmukaiselle toiminnalle; oikea vaste pitäisi tapahtua oikeassa paikassa ja oikeaan aikaan. Esimerkiksi vähäinen elimistön lämmön nousu ei saa aiheuttaa kaikkien lämmönluovutusmekanismien maksimaalista toimintaa. Eri vasteilla on erilainen vaikuttavuus lämpötasapainon kannalta ja vasteiden voimakkuuttakin voidaan säädellä.

Elimistön lämpötasapaino voidaan määritellä sisäisen lämmöntuotannon ja lämmönsiirtymisen (ulkoiseen ympäristöön) erotuksena. Elimistön lämpötilan muutos on positiivinen, jos lämmöntuotanto on luovutusta suurempi ja vastaavasti negatiivinen, kun lämmönluovutus on suurempaa kuin tuotanto. (Oksa 1998, 13.)

Kylmyys on kylmätuntemusta aiheuttava ympäristöolotila. Kylmätuntemus voi ilmetä viileytenä tai kylmänä ihon hermopäätteissä, jolloin hermopäätteet aktivoituvat. Kylmän tuntemukset voivat ilmetä myöskin erityyppisinä kivun ja epämiellyttävyyden tuntemuksina. (Mäkinen ym. 1999, 7.) Boutcher ym. (1995) toteavat, että viileässä ympäristössä otsan ihon lämpötila korreloi merkitsevästi kylmätuntemuksen kanssa. Vastaavasti ihon keskilämpötila korreloi kuumissa olosuhteissa merkitsevästi lämpötuntemuksen kanssa.

Doubt (1991) määrittelee kylmäaltistuksen seuraavasti: *Kylmäaltistuksella* tarkoitetaan sellaisia ympäristöolosuhteita, joissa on potentiaalista luovuttaa/menettää merkittävä määrä lämpöä mistä tahansa kehon osasta. Tämän määritelmä on tarpeellinen fyysisessä kuormituksessa silloin, kun lämmönluovutus yhdeltä tai useammalta kehon alueelta saattaa vaikuttaa suorituskykyyn.

Alastomalle ihmiselle kriittinen ilman lämpötila on 27°C. Tämä tarkoittaa sitä että tässä lämpötilassa ihminen pystyy ylläpitämään sisälämpötilansa tasaisena lepoenergiankulutuksen avulla. Alhaisemmissa ympäristön lämpötiloissa hänen täytyy joko pukeutua, mikä suojaa lämmönhukalta, tai fyysisen aktiivisuuden tai lihasvärinän avulla tuottaa lisää lämpöä. (Lange Andersen ym. 1978, 62-63.)

Kylmän aiheuttamia muutoksia ihmisessä ovat muun muassa kehon jäähtyminen, kehon fysiologiset reaktiot, toimintakyvyn muutokset, vaurion aiheuttaja ja sairauden aiheuttaja tai sairausoireiden pahentaja. Ihmisen (vähäpukeisen) lämmöntuotanto alkaa toimia 20-27°C ilmassa, vedessä toiminta alkaa 30-34°C. Toimintakyky alkaa heiketä jo +20°C ilman lämpötilassa, etenkin mikäli ihminen on vähäliikkeinen ja vähäpukeinen. Yläraajojen toimintakyky heikkenee kun ihon pintalämpötila laskee 18-13°C:een. Kylmä saattaa aiheuttaa eri tyyppisiä oireita, kuten hengenahdistusta, lihas- ja nivelsärkyä, sekä rintakipuja. Paljas iho talvisissa olosuhteissa aiheuttaa herkästi paleltumia, esimerkiksi sormiin. Lämpötilan laskiessa alle -23°C, jopa kevyt liikuntakin altistaa ihmisen vaaraan sairastua keuhkoputkien limakalvontulehdukseen. (Mäkinen ym. 1999, 7-8.)

2.1 Kylmäaltistuksen vaikutus fyysiseen suorituskykyyn

Aikaisemmissa tutkimuksissa on osoitettu, että elimistön jäähtyminen heikentää fyysistä suorituskykyä. Se kuinka paljon suorituskyky alenee riippuu lähinnä

suoritustavasta ja elimistön jäähtymisen määrästä. Suorituskyvyn heikkeneminen ilmaistaan yleensä absoluuttisena (%) tai lihaksen lämpötilan muutokseen suhteutettuna ($\%/^{\circ}\text{C } T_m$) heikkenemisenä (Oksa 1998, 14). Suoritustavat voidaan jakaa karkeasti dynaamiseen ja isometriseen suoritukseen. *Dynaamisella* suorituksella tarkoitetaan sellaista lihastoimintaa, jossa lihastoiminnan (voimien) vaikutuksesta lihaksen pituus muuttuu ja sen seurauksena saadaan aikaan liike, nivelkulman muutos. Tämä tarkoittaa mekaanista työtä. *Isometrisellä* suorituksella tarkoitetaan lihastoimintaa, jossa lihasjännityksen kasvaessa lihaksen pituus ei muutu, eikä myöskään nivelkulma muutu. Näin ollen mekaanista työtä ei tehdä. (Oksa 1998, 14; Kent 1998, 156-483.)

Fyysisessä kuormituksessa elimistön lämpötila nousee, koska vain alle 25% tuotetusta energiasta käytetään mekaaniseksi työksi. Yli 75% tuotetusta energiasta muuntuu lämmöksi ja kohottaa elimistön lämpötilaa. Tämä hyötysuhde saattaa vaihdella riippuen työskentelytavasta ja kuormittuvista lihaksista. Elimistön lämpötilan nousu on suurimmillaan ensimmäisten 30–40 minuutin aikana. Kylmissä olosuhteissa pitkäkestoisen kuormituksen jälkeen elimistön lämpötila on alhaisempi kuin termoneutraaleissa olosuhteissa. Työskenneltäessä kylmässä alhaisella kuormitustasolla elimistön lämpötila alkaa laskea tunnin kuluttua kuormituksen alkamisesta. Keskiraskaassa ja raskaassa kuormituksessa lihastyön aiheuttama lämmöntuotanto riittää ylläpitämään elimistön lämpötilaa. (Haymes & Wells 1986, 51; Shephard 1993, 267.)

Kylmässä ympäristössä energiankulutus lisääntyy useastakin syystä. Alivaatetettuna kylmissä olosuhteissa liikkumisen kuormittavuus kasvaa, koska alentunut lihasten lämpötila laskee fyysistä suorituskykyä. Raskas talvivaatetus lisää myös energiankulutusta, koska se rajoittaa liikkumista ja siten heikentää työtehoa. Vaatetuksen paino lisää kuormittuvuutta noin 3% vaatekiloa kohden. Lisäksi työkalujen ja liikkumiseen tarvittavien välineiden (esim. polkupyörä) muuttunut toiminta kylmässä voi aiheuttaa lisäkuormitusta. Pitkäaikaiseen

kylmälle altistumiseen sopeudutaan mm. lisäämällä lämmöntuotantoa, mikä myös kasvattaa energiankulutusta. Voidakseen vastata kohonneeseen energiantarpeeseen ihmisen täytyy saada energiaa enemmän. (Lange Andersen ym. 1978, 63; Anttonen & Vuori 1995, 23; Mäkinen ym.1999, 17-18.)

Erittäin kylmissä olosuhteissa lepoenergiankulutus voi kaksin- tai jopa kolminkertaistua elimistön sopeutumismekanismien johdosta. Keho pyrkii ylläpitämään elimistön lämpötilan tasaisena mm. lihasvärinän avulla. Erityisesti kylmään veteen joutuessaan ihmisen lämmöntuottomekanismit toimivat erittäin tehokkaasti. Lämmöntuottotarpeeseen vaikuttavat mm. kehon rasvapitoisuus sekä vaatetus. (McArdle ym. 1996, 156.)

Arrheniuksen lain mukaan jokaista kudosten 10°C lämpötilan laskua kohden paikallisissa kudoksissa lepoenergiankulutus ja useat entsyymaattiset reaktiot heikkenevät noin puoleen. Tämän perusteella välitön vaikutus kehon jäähtymisestä on kudosten metabolian heikkeneminen. (Zachariassen 1991, 13; Shephard 1993, 267-269.)

Fyysisen suorituskyvyn merkitys lämpötasapainon kannalta

Ihmisen hyvällä fyysisellä suorituskyvyllä on osoitettu olevan suotuisia vaikutuksia sopeutumisessa kuumiin olosuhteisiin. Kylmissä olosuhteissa samanlaisen vaikutusmekanismin olemassaolo ei ole niinkään selvä. (Haymes & Wells 1986, 58.)

Yoshida ym. (1998) mukaan urheilijoiden ja ei-urheilijoiden ihon lämpötilassa, kehon sisälämpötilassa ja ihon lämmönjohtavuudessa ei esiinny eroja. Kylmäältistuksessa urheilijoilla metabolinen lämmöntuotanto kohosi merkittävästi ja tämä korreloi positiivisesti maksimaalisen hapenottokyvyn ja negatiivisesti kehon rasvaprosentin kanssa. Ihon lämmönjohtavuus korreloi negatiivisesti kehon sisälämpötilan kanssa ja positiivisesti ihon lämpötilan

kanssa. Näiden tulosten perusteella tutkijat toteavat, että kehon lämpötilaa ylläpidetään ihon lämmönjohtavuuden heikentymisen avulla. Lisäksi urheilijoilla on tehostunut lämmöneristävyys riippumatta kehon rasvapitoisuudesta.

Savourey ja Bittel (1998) havaitsivat, että intervallityyppisen harjoittelun parantama $VO_2\max$ aiheuttaa vain pieniä muutoksia metaboliseen lämmöntuotantoon, joten $VO_2\max$ paranemisella ei ole merkittävää tukevaa vaikutusta lämmöntuotannon kannalta.

Vaikutus hengityselimistöön

Kylmän ilman hengittäminen aiheuttaa hengitysteiden jäähtymistä ja kuivumista. Kylmässä erityisesti ruumiillisen rasituksen aikana hengitetään sekä nenän että suun kautta. Kylmä ilma jäädyttää ja kuivattaa nopeasti hengitysteitä. Tämän seurauksena keuhkoputket voivat supistua, sekä terveillä että sairailta ihmisillä. (Mäkinen ym. 1999, 18.) Chapman ym. (1990) totesivat kuitenkin, että hengitysvolyymeissa ei ole eroa kylmien ja lämpimien olosuhteiden välillä. Terveillä ihmisillä keskiraskas kuormitus kylmissä olosuhteissa ei aiheuta merkittävää heikkenemistä uloshengityksessä. Kaikkonen (1995) toteaa, että huolimatta olosuhteisiin sopivasta vaatetuksesta talvikestävyyslajeja harrastavilla urheilijoilla maksimaalisessa juoksumattotestissä maksimaalinen ventilaatio heikkeni merkittävästi lämpötilan ollessa alle -10°C .

Kylmältistus aiheuttaa aluksi hengitystiheyden lisääntymistä, jonka jälkeen hengitystiheys alkaa hidastua altistuksen jatkuessa. *Tidal volume* (yhden hengityssyklin aikana sisään tai ulos hengitetyn ilmamassan määrä) alkaa heiketä suhteessa metabolian tarpeisiin. Jokainen 8°C :n pudotus elimistön sisälämpötilassa aiheuttaa hiilidioksidituotannon puoliintumisen. 32°C :n yläpuolella ventilaatio on tarkoituksenmukaista hiilidioksidin poistamisessa, mutta lämpötilan laskiessa sen alle hiilidioksidia alkaa kerääntyä aiheuttaen

respiratorisen asidoosin (happamuus). Hypotermian yhteydessä esiintyy myös metabolista asidoosia. Hengitysteiden supistuminen (bronchorea) yhdistyneenä heikentyneen yskimisrefleksin kanssa aiheuttaa ilmasteiden tukkeutumisen. (Pandolf ym. 1988, 452.)

Hartung ym. (1980) ovat osoittaneet, että 60%:n VO_2 max kuormituksessa hengitettäessä sekä +24°C että -35°C ilmaa, rektaalilämpötilassa (T_{re}) ei tapahdu merkittäviä muutoksia. Näyttääkin siltä, että lisääntyvällä ventilaatiolla kylmissä olosuhteissa on minimaalinen vaikutus elimistön sisälämpötilaan. (Pandolf ym. 1988, 384.)

Vaikutus verenkiertoelimistöön

Ennen aineenvaihdunnan lisääntymistä elimistön vaste kylmälle on pintaverisuonten supistuminen (vasokonstriktio). Pään aluetta lukuun ottamatta koko kehon pintaverisuonet supistuvat. Pinnallisten kylmäreseptorien stimulaatio aiheuttaa periferisten verisuonten supistumisen. Pinnallisista kylmäreseptoreista viesti kulkeutuu hypotalamukseen ja cortexille aikaansaaden tarkoituksenmukaisen lämmönsäätelyjärjestelmän reaktiot. (McArdle ym.1996, 502.) Verisuonten supistumisen kontrolloinnista vastaa lähes täysin sympaattinen hermojärjestelmä. Pintaverisuonten supistumisen seurauksena ihon laskimojärjestelmä ei kykene varastoimaan verta ja veri ohjautuu ruumiin sisäosiin. (Guyton & Hall 1996, 912.)

Reed ym. (1989) mukaan kylmältistuksen aiheuttama ihon lämpötilan lasku aikaansaa lisääntyneen noradrenaliinimäärän vaikutuksesta verenkierron heikkenemisen ja veren happisaturaation alenemisen. Kuumissa olosuhteissa verenkierto lisääntyy ja happisaturaatio kohoaa. Tämä puolestaan johtuu todennäköisesti veren plasman adrenaliinipitoisuuden lisääntymisestä. Tutkijoiden mukaan sormenpään ihon lämpötilan muutoksella näyttääkin olevan suora yhteys happisaturaation muutoksiin. Näin ollen kyynärvarren

laskimoveren happisaturaatio voi toimia osoittimena yläraajan kudosten lämpövasteisiin.

Kylmän aiheuttaman vasokonstriktion seurauksena veri ohjautuu pinnallisista verisuonista syvemmällä oleviin verisuoniin ja näin ollen eristävän kudokset paksuus lisääntyy ja lämmönhukka pienenee (kuvio 1). Tästä syystä pinnallinen kudokset jäähtyy nopeasti ja kehon lämpötilan ja pinnallisten kudosten lämpötilan välinen erotus kasvaa. Pään alueen pintaverisuonet eivät supistu kylmässä, joten pää on keskeinen lämmönhukan alue. Arviolta 25% lämmöstä haihtuu pään kautta kylmässä. Kasvojen kautta kulkevissa verisuonissa veri jäähtyy ennen aivoihin kulkeutumistaan ja mahdollisesti aivoihin saapuva kylmempi veri stimuloi verisuonten supistumista. (Haymes & Wells 1986, 47-49.) Mannino ja Washburn (1987) ovat osoittaneet, että kasvojen kylmenemisellä on merkittävä vaikutus kardiovaskulaarisiin vasteisiin kylmässä.

Työskenneltäessä kylmissä olosuhteissa tietyllä kuormitustasolla sydämen syketiheys on alhaisempi kuin termoneutraaleissa olosuhteissa. Mikäli ihminen joutuu hypotermiaan verenpaine, syketiheys ja minuuttitilavuus laskevat lineaarisesti ja progressiivisesti. Syketiheys saattaa kohota kylmäaltistuksen alkuvaiheessa johtuen sekä lihasvärinän aiheuttamista verenkierron lisätarpeista että osin sympaattisen hermoston stimulaatiosta. Kehon lämpötilan pudotessa hypotermiatasolle sydämen rytmihäiriöt yleistyvät ja eteisvärinän todennäköisyys kasvaa. (Collins 1998, 167-168.)

Kylmän ja kylmän aiheuttaman diureesin yhteisvaikutuksesta elimistössä kiertävän veren volyymi laskee, perifeerinen vastus lisääntyy ja veren viskositeetti kasvaa. Elimistön lämpötilan laskiessa aluksi esiintyy sydämen syketiheyden kasvua, jonka jälkeen seuraa hitaasti tapahtuvaa alenemista. Sydämen toiminnan hidastuminen, muutokset pH-tasapainossa, hapen kuljetuksessa ja elektrolyyttien sekä ravintoaineiden saannissa vaikuttavat johtumisnopeuteen sydämen myokardiumissa (sydänlihas). Eteisrytmin häiriöitä esiintyy yleisesti elimistön lämpötilan laskessa alle 32°C. Hypotermisellä ihmisellä, jolla esiintyy metabolista ja respiratorista asidoosia sekä hyperkalemiaa, tila johtaa usein sydämen asystoleaan (epärytmiin). (Pandolf ym. 1988, 451-452.)

2.1.1 Vaikutukset kestävyysominaisuuksiin

Yleisellä tasolla kestävyydellä tarkoitetaan kykyä ylläpitää määrättyä aktiivisuustasoa pitkiä ajanjaksoja. Kestävyys voidaan jakaa karkeasti kahteen komponenttiin: peruskestävyyteen ja lihaskestävyyteen. *Peruskestävyydellä* (aerobinen kestävyys) tarkoitetaan kykyä jatkaa pitkäkestoista fyysistä suoritusta ja vastustaa väsymystä. Tämä on riippuvaista sekä keuhkojen, sydämen ja koko verenkiertoelimistön kyvystä toimittaa riittävästi happea työskenteleviin lihaksiin, että lihasten kyvystä ottaa happi vastaan ja hyödyntää se tehokkaasti. *Lihaskestävyydellä* tarkoitetaan lihasten kykyä työskennellä määrättyllä submaksimaalisella kuormitustasolla ja välttää väsymistä. Yleensä sitä kuvataan ajalla, jonka lihakset kykenevät työskentelemään kyseisellä submaksimaalisella kuormitustasolla. (Kent 1998, 18-338.)

Peruskestävyys

Elimistön jäähtymisellä on vaikutusta kardio-vaskulaariseen suorituskykyyn. Kun elimistön lämpötila laskee, $VO_2\max$ heikkenee sellaisissa suorituksissa, joissa

vaaditaan aerobista voimaa. Suoritus aika heikkenee suhteessa sisälämpötilan ja lihasten lämpötilan laskuun. Elimistön jäähtyessä $VO_2\max$ heikkenee lähinnä sydämen maksimaalisen syketiheyden laskiessa. Vaikka perifeerinen vasokonstriktio lisää laskimoveren paluuta, on epätodennäköistä, että maksimaalinen iskutilavuus kasvaisi. Koska maksimaalinen sydämen syketiheys alenee, myöskin maksimaalinen veren ulosvirtaus heikkenee. Veren jäähtyessä punasoluihin sitoutuneen hapen määrä vähenee verrattuna normaaliin lämpötilaan (37°C). Koska $VO_2\max$ saadaan laskemalla maksimaalinen veren ulosvirtaus kerrottuna verisolujen hapen määrällä, näiden molempien tekijöiden aleneminen alentaa myöskin $VO_2\max$:a. (Haymes & Wells 1986, 66.)

Kaikkonen (1995) toteaa, että huolimatta olosuhteisiin sopivasta vaatetuksesta talvikestävyyslajeja harrastavilla urheilijoilla maksimaalisessa juoksumattotestissä maksimaalinen $VO_2\max$ heikkeni merkitsevästi lämpötilan ollessa alle -10°C . Timmons ym. (1985) mukaan alivaatetettuna, -10°C lämpötilassa tehdyssä 60 minuutin polkupyöräergometri-kuormituksessa, hapenkulutus oli noin 10% korkeampi ja kokonaisenergiankulutus oli merkitsevästi (13%) korkeampi termoneutraaleihin olosuhteisiin verrattuna.

Pitkäkestoisessa submaksimaalisessa suorituksessa kehon ja lihasten lämpötilalla on myös merkitystä. Kun elimistön lämpötila on alle normaalin tason, elimistön metabolia kiihtyy. Elimistön ollessa jäähtyneenä, tietyllä absoluuttisella intensiteetillä suoritettu fyysinen kuormitus tehdään suhteessa korkeammalla $VO_2\max$ tasolla verrattuna normaaleihin olosuhteisiin. Koska tämä aiheuttaa lisääntyntä energian tarvetta fyysisen kuormituksen aikana, glykogeenivarastoja käytetään todennäköisesti enemmän. Tämä saattaa johtaa nopeammin uupumiseen. Elimistön lämpötilan alentuessa lihasten verenkierto heikkenee ja verenkierron heikentyessä hapen kuljetus lihaksiin heikkenee. Tästä syystä elimistön lämpötilan alennuttua anaerobisen energiantuotannon tarve kasvaa ja maitohapon tuotanto lisääntyy. (Haymes & Wells 1986, 66.)

Suoritustavalla on vaikutusta elimistön sisälämpötilaan tietyllä energiankulutuksen tasolla. Jaksottaisessa (intervalli) suorituksessa ihon pintalämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin jatkuvassa. (Gavhed ym. 1991, 29-35.)

Shiojiri ym. (1997) tutkivat lihaksen lämpötilanlaskun vaikutusta lihaksen kaasujen vaihtoon. Tulosten mukaan lihasten hapenkulutuksen väheneminen lämpötilan alentuessa johtuu joko hapensaannin hidastumisesta ja/tai oksidatiivisten reaktioiden heikkenemisestä. Jacobs ym. (1985) havaitsivat, että kylmissä olosuhteissa lihaksen energia-aineiden (ATP, glykogeeni) käyttö lisääntyy kevyessä fyysisessä kuormituksessa. Tämän oletetaan johtuvan lihasvärinän aiheuttamasta lämmöntuotannosta. Raskaammassa kuormituksessa lihasten lämmöntuotanto riittää ylläpitämään lämpötilaa ilman että lihasvärinää tarvitaan.

Lihaskestävyys

Lihaskestävyys paranee lihasten vähäisesti jäähtyessä, mutta voimakkaampi jäähtyminen heikentää lihaskestävyyttä. Kruk ym. (1991) havaitsivat, että kylmälle altistuttaessa keskiraskaassa tai raskaassa kuormituksessa suorituskyky saattaa olla jopa parempi verrattuna lämpimiin olosuhteisiin. Parkin ym. (1999) tutkivat fyysistä suorituskykyä eri lämpötiloissa tehdyssä uupumukseen johtavassa submaksimaalisessa kuormituksessa. Kylmissä olosuhteissa (+3°C) suoritus aika oli kaikkein pisin ja intramuskulaarinen laktaattitaso oli alhaisempi. Kuumissa olosuhteissa lihaksen glykogeenipitoisuus oli kuitenkin korkeampi. Välittömien energia-aineiden (ATP, ADP, CP) pitoisuuksissa ei havaittu eroavaisuuksia. Shephard & Martineau (1988) ovat todenneet, että vähäinen jäähtyminen vaikuttaa vähäisessä määrin positiivisesti aerobiseen suorituskykyyn, mutta aerobisen kunnon ja kylmän sietokyvyn välillä ei ole osoitettu olevan selkeää yhteyttä.

Kun lihaksen lämpötila laskee alle 27°C lihaskestävyys heikkenee. Tämän lihaskestävyyden heikkenemisen oletetaan johtuvan hermosolujen johtumiskyvyn heikkenemisestä ja aktivoituneiden lihassolujen määrän vähenemisestä. Myös lihaksen lämmittäminen heikentää lihaskestävyyttä. Kun ihon lämpötila kohoaa, veren virtaus ohjautuu iholle, mikä vähentää lihasten verenkiertoa ja hidastaa niissä syntyvien metabolisten kuona-aineiden poissiirtymistä. (Haymes & Wells 1986, 67-68.) Blomstrand ym. (1984) totesivat, että kylmässä tehdyssä uupumuksen johtaneessa kuormituksessa veren laktaattipitoisuus oli korkeampi kuin lämpimässä.

2.1.2 Vaikutukset voimantuottoon

Raajojen jäähtyminen vaikuttaa heikentävästi myös sellaisissa fyysisissä suorituksissa, joissa tarvitaan perusvoimaa ja maksimivoimaa. Tämä johtuu jäähtymisen aiheuttamasta lihasten ja hermosolujen heikentyneestä toiminnasta. Lihasten jäähtyminen heikentää maksimaalista vääntömomenttia dynaamisissa suorituksissa, erityisesti suurilla liikenopeuksilla. Hypyissä ja nopeuslajeissa, joissa molemmissa vaaditaan räjähtävää voimaa, suorituskyky heikkenee lihasten lämpötilan laskiessa. (Haymes & Wells 1986, 66-67.)

On olemassa useita syitä miksi lihasten jäähtyminen saattaa heikentää lihasten voimantuottoa. Vääntömomentin heikkeneminen saattaa johtua lihassolujen maksimaalisen supistumisen vaatiman ajan lisääntymisestä. On myös esitetty että aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä olevien poikkisiltojen uudelleen kiinnittyminen hidastuu lihaksen jäähtyessä. Eräs mahdollinen selitys on nesteen viskositeetin lisääntyminen. Lihaksen lämpötilan alentuessa sarkoplasman viskositeetti kasvaa, mikä puolestaan vastustaa aktiinifilamenttien ja poikkisiltojen liikettä. Myös kemialliset reaktiot heikkenevät lihaksen lämpötilan laskiessa. ATP:n käyttö vähenee lihaksen lämpötilan laskiessa voimakkaasti. (Haymes & Wells 1986, 67.)

Dynaaminen suoritus

Yleisesti voidaan todeta elimistön jäähtymisen vaikuttavan enemmän dynaamiseen kuormituksessa kuin isometriseen. Kirjallisuudessa on raportoitu melko yhteneväisesti suorituskyvyn heikkenevän dynaamisessa kuormituksessa suoritustavasta huolimatta noin 2-10 %/°C T_m (Berg 1980; Sargeant 1987). Tästä huolimatta jopa suurempiakin muutoksia on raportoitu. Berg ja Ekblom (1979) havaitsivat lihaksen lämpötilan 3,4°C laskun aiheuttavan 55 %:n heikkenemisen maksimaalisessa suoritusajassa. Tämän perusteella suorituskyvyn heikkeneminen on 16 %/°C T_m . Useissa tutkimuksissa on myöskin todettu, että mitä enemmän työskentelevän lihaskudoksen lämpötila alenee, sitä enemmän myös lihaksen suorituskyky heikkenee (Berg ja Ekblom 1979; Petrofsky ja Phillips 1986; Ferretti ym. 1992).

Oksa ym. (1997) tutkivat eri lämpötilojen vaikutusta fyysiseen suorituskykyyn ja EMG-aktiivisuuteen. Tutkijat totesivat, että lihaksen suorituskyvyn ja EMG-aktiivisuuden heikkeneminen on suhteessa lämpötilan laskuun. Suhteellisen vähäinenkin lihasten jäähtyminen on riittävä heikentämään lihaksen suorituskykyä merkittävästi.

Vincent ja Tipton (1988) osoittivat tutkimuksessaan, että kämmenen ja kynnärvarren kylmäältistus vedessä (+5°C) heikensi kämmenen fleksoreiden maksimaalista tahdonalaista supistusvoimaa (maximal voluntary grip strength). Kämmenen kylmäältistus heikensi 16% ja kynnärvarren altistus 13% supistusvoimaa. Oksa ym. (1995) havaitsivat, että 60 minuutin kylmäältistuksessa (+10°C) yläraajojen dynaamisen voimantuoton heikkeneminen oli merkittävintä suurilla supistusnopeuksilla. Lihasten jäähtyminen heikensi agonistilihasten ja lisäsi antagonistilihasten IEMG-aktiivisuutta.

Termoneutraaleissa olosuhteissa suoritettu fyysinen suoritus kohottaa elimistön lämpötilaa. Kuormituksen päätyttyä elimistön sisälämpötila palautuu normaaliksi yleensä 45-60 minuutissa. Tätä suorituksen aikaista lämmönnousua ei pystytä rajoittamaan antipyreettisillä lääkkeillä, kuten aspiriinilla. (Downey ym. 1994, 360.) Kylmissä olosuhteissa useimmiten ongelma ei ole lihasten tai elimistön lämmönnousu, vaan niiden jäähtyminen. Tästä syystä kyseeseen tulee elimistön ja lihasten lämpötilan kohottaminen normaalille tasolle.

Raajojen lämpötilan alennuttua, dynaamisella lihastyöllä voidaan palauttaa lämpötila kohti normaalia tasoa. Virokannas ja Anttonen (1994) totesivat, että raajojen alentuneita pintalämpötiloja pystytään kohottamaan dynaamisella lihastyöllä kylmissä olosuhteissa ja erityisesti käsien pintalämpötila kohoaa lihastyön vaikutuksesta. Oksa ym. (1996) totesivat, että suhteellisen vähäinen määrä kevyttä fyysistä kuormitusta riittää kohottamaan jäähtyneiden lihasten lämpötilan, suorituskyvyn ja EMG-aktiivisuuden normaalille tasolle. Lihassoiman on havaittu palautuvan passiivisessa lämmittelyssä termoneutraalille tasolle kolmessa tunnissa (Oliver ym. 1979).

Isometrinen suoritus

Berg ja Ekblom (1979) havaitsivat isometrisen voimantuoton heikkenevän 2% MVC/°C T_m (maksimaalinen tahdonalainen supistus suhteessa lihaksen lämpötilan muutokseen °C). Kirjallisuudessa on kuitenkin todettu, että lihaksen lämpötilan laskiessa alle 27°C isometrisen maksimaalisen tahdonalaisen supistuksen heikkenevän 11-19% (Oksa 1998, 15). Cornwallin (1994) mukaan näyttää myös siltä, että sukupuolella on merkitystä: naisilla lihasten lämpötilan laskun vaikutus lihasvoimaan on vähäisempi. Lihasten jäähtymisellä näyttää olevan myös suotuisia vaikutuksia. Pitkäkestoisessa isometrisessä suorituksessa kestävyys paranee ja väsyminen on hitaampaa. (Clarke ym. 1958; Clarke ja Stelmach 1966; Petrofsky 1979; Bundschuh ja Clarke 1982.)

Vaikka dynaamisessa suorituksessa voiman tuoton heikkeneminen on selkeää, isometrisessä suorituksessa vastaavat vaikutukset saavutetaan vasta alhaisemmillä lämpötiloilla. Ihon alhainen lämpötila heikentää hermosolujen johtumisnopeutta. Kun ihon lämpötila laskee alle 6°C hermosolun johtumiskykyä ei enää ole, eivätkä motoriset hermot pysty tuottamaan lihaksen supistumista. Jos pinnallisten lihasten hermojen johtumiskyky lakkaa, aktiivisten lihassolujen määrä vähenee ja isometrinen voima heikkenee. (Haymes & Wells 1986, 67.)

2.2 Kylmäaltistuksen psyykkiset vaikutukset

Ihmisen altistuessa pitkäkestoisesti kylmälle riski joutua hypotermiatilaan kasvaa, kun elimistön pintalämpötila laskee alle +20°C. Sen yläpuolella elimistön kylmätuntemus on suurimmillaan, mutta alkaa heiketä voimakkaasti sen jälkeen. Paikallinen ihon lämpötilan lasku alle +18°C tuntuu epämukavalta ja alkaa tuntua kivuliaalta lämpötilan laskiessa alle +15°C. Voimakkaasta jäähtymisestä aiheutuvan epämukavuuden, kivun ja turtumisen tunne aiheuttavat ihmisen tuntemusten epäluotettavuutta todelliseen jäähtymiseen. Täten ihmisen jäähtyminen saattaa olla suurempaa kuin subjektiiviset kylmätuntemukset antavat olettaa. Näin ollen kylmätuntemus voi olla huono tai jopa vaarallinen menetelmä arvioitaessa elimistön jäähtymistä. Altistusaika ja ympäristöolosuhteet (lämpötila, kosteus, tuuli) ovat todennäköisesti paljon luotettavampia tekijöitä arvioitaessa elimistön todellista jäähtymistä. (Hoffman & Pozos 1989, 964-969.)

Eräs sängen merkittävä ihmisen lämmönsäätelymekanismi on ympäristön lämpötilan aiheuttama käyttäytymisen muutos. Elimistön sisälämpötilan noustessa liian korkeaksi, aivojen lämmönkontrollointialueet aiheuttavat psyykkisen tunteen ylikuumenemisesta. Vastaavasti elimistön jäähtyessä kylmäsensorien antavat tästä viestejä ja sen perusteella aiheutuu kylmän

aiheuttamaa epämiellyttävyyden tunnetta. Tästä syystä ihminen pyrkii tekemään ympäristössään tarkoituksenmukaisia muutoksia saavuttaakseen jälleen mukavuuden tunteen. Tästä esimerkkinä on siirtyminen ulkoilman kylmästä sisälle lämpimään. Tämä on paljon tehokkaampi tapa kontrolloida elimistön lämpötilaa kuin useat tutkijat ovat aikaisemmin olettaneet. Itse asiassa tämä on ainut todella tehokas mekanismi erittäin kylmissä olosuhteissa. (Guyton & Hall 1996, 919.)

Kun kehon sisälämpötila alenee voimakkaasti, keskushermoston toiminnot alkavat myöskin heiketä. Lämpötila laskiessa alle 32°C ihminen tulee apaattiseksi, horroksiseksi, poissaolevaksi, ja psyykkisesti sisäänpäinkääntyneeksi. Ihminen erakoituu, tulee vähemmän sosiaalseksi ja riidanhaluiseksi. Usein hypotermisellä ihmisellä esiintyy myös erikoisia käyttäytymismalleja. Tällaisia ovat vähäinen pukeutuminen ja suojaavien toimenpiteiden unohtaminen, kuten esimerkiksi päähineen tai makuupussin käyttö, jotka voisivat olla elintärkeitä. Täydellinen keskushermoston toiminnan lakkaaminen johtaa koomaan ja tämä tapahtuu kun elimistön sisälämpötila laskee alle 28°C. (Pandolf ym. 1988, 452-453.)

Thomas ym. (1990) totesivat, että elimistön stressihormonin adrenaliinin erityis kohoaa kylmäältistuksen aikana tehdyssä kognitiivisessa testissä. Tämän adrenaliinierityksen lisääntymisen vaikutusta kognitiiviseen suorituskyykyyn ei raportoitu, joten adrenaliinin merkitystä kognitiivisen suorituskyykyyn kannalta ei voida kuitenkaan arvioida.

Myös Enanderin (1987) mukaan kylmäältistuksella on vaikutusta psykomotoriseen ja kognitiiviseen suorituskyykyyn. Kylmäältistuksessa (+5°C) sormien hienomotoriikassa havaittiin heikkenemistä. Vaativissa tehtävissä, joissa vaaditaan useiden muuttujien havainnointia ja niihin reagoitua, virhesuoritusten määrä kasvoi merkitsevästi. Geng ym. (1997) tutkivat taktillisen tuntoaistin muutoksia työskenneltäessä kylmässä, hanskat kädessä.

Tutkijat toteavat, että sekä hanskat että kämmenten ja sormien jäähtyminen vaikuttaa merkittävästi taktilliseen tuntoaistiin. Erittäin kylmässä (-25°C) virhearviointien määrä kasvoi huomattavasti tunnistettaessa samankokoisia esineitä.

Ellis (1982) havaitsi tutkimuksessaan, että yläraajojen monivalintatesteissä (serial choice reaction time) virhesuoritusten määrä kasvoi ihon keskilämpötilan laskiessa. Vastaavasti verbaalisissa valintatehtävissä suoritus parani. Näiden tulosten paranemisen tutkija olettaa johtuvan kylmän aiheuttamasta kortikaalisen toiminnan kiihtymisestä. Van Orden ym. (1990) havaitsivat 50 minuutin kylmäältistuksessa (+4°C), että kylmälle ilmalle altistuminen aktivoi keskushermostoa prosessoimaan sensorisia ärsykeitä nopeammin. Tämän voidaan tulkita tukevan tarkoituksenmukaista käyttäytymisen muutosta (nopeaa reagointia) kylmissä olosuhteissa.

Ellis ym. (1985) ja Enander (1986) havaitsivat myös äkillisen kylmäältistuksen aiheuttavan virhesuorituksen määrän lisääntymistä vaativissa monivalintatehtävissä. Hitaammin tapahtuva tai vähäisempi kylmäältistus ei aiheuttanut virhesuoritusten määrän lisääntymistä. Toisaalta keskushermoston reaktionopeus parani kylmäältistuksen johdosta.

Ihmisen kyky tunnistaa kylmää riippuu kehon tai kehonosan pintalämpötilasta. Kehon lämpötilan laskiessa ihmisellä esiintyy kylmätuntemuksen ylilyöntivaihe (phenomenon of overshooting), joka saattaa olla tunnusomainen psykologinen reaktio nopealle jäähtymiselle. Tämä tarkoittaa, että ihminen kokee elimistön jäähtymisen suurempana kuin se todellisuudessa on. Ilmiö häviää kuitenkin elimistön lämpötilan laskiessa lähelle +20°C. Ilmiön oletetaan johtuvan vasokonstriktion aiheuttamasta sensorisesta reaktiosta, mutta tämä oletamus perustuu epäsuoriin näyttöihin pintalämpötilan laskusta ja sen yhteydessä esiintyvistä bradykardiasta. (Hoffman & Pozos 1989, 964-969.)

Frank ym. (1999) totesivat tutkimuksessaan, että ihon lämpötilan muutos on enemmän yhteydessä subjektiiviseen lämpötilan kokemiseen kuin autonomisiin lämmönsäätelyjärjestelmiin. Nämä tulokset tukevat sitä ajatusta, että ihmisen käyttäytymismuutokset ovat ensisijainen sopeutumismekanismi altistuttaessa kylmälle ja välttää fysiologisesti vaativampia elimistön adrenergisiä ja metabolisia reaktioita.

3.1 Pukeutumisen merkitys lämpötasapainon kannalta

Lämmöneristävyiden kannalta alimman vaatekerroksen sekä sen ja ihon välinen ilmakerros on tärkeä. Jotta kylmissä olosuhteissa lämmöntuotanto ja lämmön luovutus olisivat tasapainossa vaatetuksen tulisi olla suojaavuudeltaan ja nesteen sitomiskyvyltään sopivaa. Käytännössä optimaalinen pukeutuminen kylmiin olosuhteisiin on vaikeaa, koska fyysisissä aktiviteeteissä kuormitustasot saattavat vaihdella runsaastikin. Mikäli vaatetus on erittäin suojaavaa ja kuormitustaso korkea elimistöön varastoituu lämpöä. (Pandolf ym. 1988, 386-387.)

Kylmäältistukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä lämpötilan lisäksi ovat ilman virtausnopeus (tuuli), kosteus ja kehon kanssa kosketuksessa oleva materiaali. Ilmavirtausten vaikutuksen kuvaamiseen käytetään viimaindeksiä (Wind Chill), minkä avulla arvioidaan paljaan ihon jäähtymistä kyseisessä lämpötilassa (Parsons 1993, 185). Haymes ym. (1982) tutkivat tuulen vaikutusta elimistön lämmönsäätelyn vasteisiin. Koehenkilöt altistettiin 90 minuuttia kestäneessä fyysisessä kuormituksessa (55-60% VO_2 max) tuulelle (4,14 m/s) lämpötilan ollessa $-20^{\circ}C$. Tutkimustulokset osoittivat, että koehenkilöiden kudosten lämmöneristävyys lisääntyi, mutta he kärsivät kuitenkin elimistön sisälämpötilan laskusta. Tutkijat toteavat, että kyseisissä olosuhteissa kuormituksen tulisi olla vähintään 10 MET, jotta lämpötasapaino olisi mahdollista ylläpitää. 1 MET vastaa istuvan, levossa olevan henkilön hapenkulutusta (1 MET=3,5 ml/kg/min VO_2) (Mälkiä 1996, 92).

Weller ym. (1997) tutkivat kylmien, kosteiden ja tuulisten olosuhteiden vaikutusta fysiologisiin vasteisiin. Kevyessä kuormituksessa kylmissä olosuhteissa elimistön sisälämpötila laski, mutta sydämen syketiheydessä ei havaittu eroa verrattuna lämpimiin olosuhteisiin. Kevyt kuormitus kylmässä aiheutti kohoamista seuraavissa tekijöissä: hapenkulutus, hengityskaasujen

vaihto, plasman adrenaliini- ja noradrenaliinipitoisuus sekä veren laktaatti ja glukoosipitoisuus. Raskaammassa kuormituksessa näitä eroja ei havaittu. Johtopäätöksenä he toteavat, että alhainen fyysinen kuormitus ei riitä vastaamaan lämmönluovutukseen kylmissä olosuhteissa, ja täten johtaa elimistön sisälämpötilan laskuun. Lisäksi metaboliassa tapahtuvat muutokset saattavat olla pitkäkestoisessa suorituksessa haitaksi.

3.2 Vaatetuksen sopivuus fyysisessä kuormituksessa

Vaatetuksen lämmöneristävyys fyysisessä kuormituksessa on kompleksinen ja muuttuva. Ei voida kuitenkaan väittää, etteikö olisi olemassa runsaasti tietoa, koska teoreettista ja empiiristä tutkimusta on tehty runsaasti. Lämmöneristävyiden muutoksia ei tunneta täysin ja muutoksia on hankala määrittää tarkasti. Vaatetuksen lämmöneristävyteen vaikuttavia tekijöitä on useita: kuivalämmöneristävyys, kosteuden kuljettuminen, kosteudenläpäisykyky, vaatetuksen aiheuttama paine, kehon liikkeiden aiheuttama pumppaus vaikutus, ilman kulkeutuminen vaatekerrosten läpi ja kulkeutuminen vaatetuksen suuaukoista, kehon asento jne. Tästä syystä lämmöneristävyiden määrittäminen tai sopivan vaatetuksen valitseminen muuttuvassa fyysisessä kuormituksessa on vaikeaa. (Parsons 1993, 103.)

Kirjallisuudessa ei ole kuvattu kovinkaan yksityiskohtaisesti vaatetetun ihmisen energiankulutusta kylmissä olosuhteissa. On esitetty, että jos vaatetuksen lämmöneristävyys ja fyysisen suorituksen aikainen metabolismi riittävät ylläpitämään elimistön lämpötilan normaalina, suorituskyky ei todennäköisesti alene (Wilmore & Costill 1994, 259). Toisaalta Nunneley (1989) toteaa, että suojaavan vaatekerroksen aiheuttama lisääntynyt vastus aiheuttaa fyysisessä kuormituksessa energiankulutuksen lisääntymistä. Esimerkiksi arktisen vaatetuksen aiheuttama hapenkulutuksen lisääntyminen kävellessä on noin 10%.

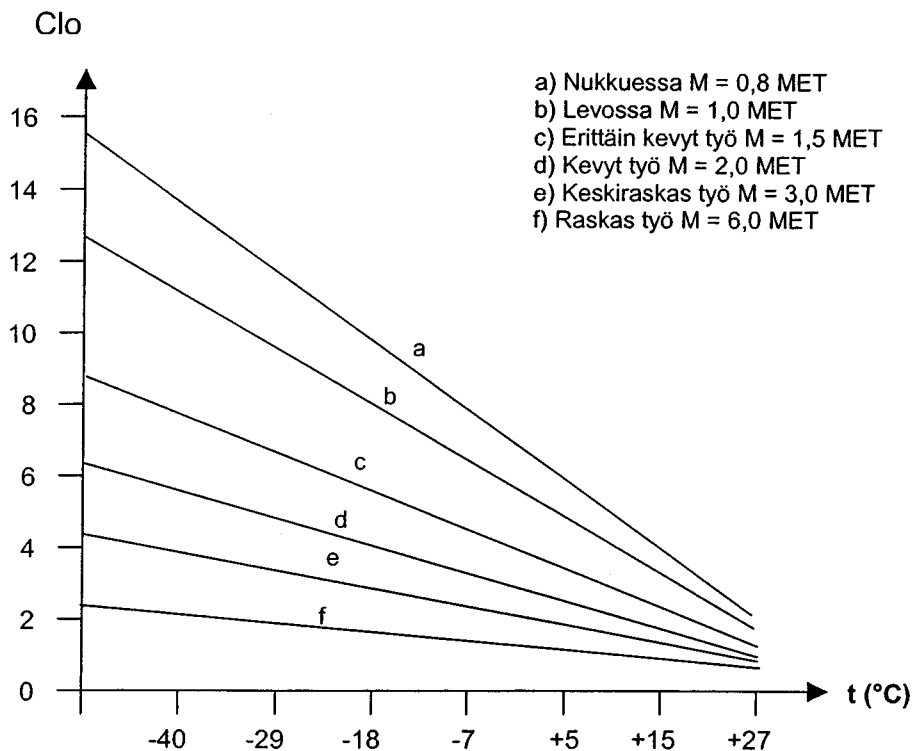
Anttosen ja Vuoren (1995) mukaan vaatetuksen paino lisää kuormittavuutta noin 3% jokaista vaatekiloa kohden. Näin ollen esimerkiksi 5 kg:n painoinen vaatetus lisää kokonaiskuormitusta noin 15% verrattuna ilman vaatetusta tehtyyn suoritukseen samoissa olosuhteissa. Myöskin vaatekerrosten määrän lisääntymisellä on kuormitusta lisäävä vaikutus. Tämä johtuu kitkan lisääntymisestä. Jos samanpainoinen vaatetus jaetaan 1-2 kerroksen sijasta 6-7 kerrokseen, lisääntyy kuormittavuus reippaassa kävelyssä 18%. Jones ym. (1986) ja Tunstall ym. (2000) ovat raportoineet, että jokainen 100 g:n lisäys kenkien painossa lisää energiankulutusta 1%:n.

Vaatetuksen tulisi sallia fyysisen suorituksen aikana ylimääräisen lämmön luovutus, kun taas levätessä vaatetuksen tulisi estää lämmönluovutusta. Perinteinen ratkaisu lämmönluovutuksen lisäämiseksi fyysisessä suorituksessa on vähentää vaatetusta tai vähentää vaatetuksen suojaavuutta esimerkiksi avaamalla takin napitusta. Vastaavasti levättäessä voidaan lisätä vaatetusta lämmönluovutuksen vähentämiseksi. Vaatetuksen kastuessa lämmöneristävyys heikkenee ja ihminen on suuremmassa vaarassa joutua hypotermiaan. Arktisilla alueilla asuvat välttävät tarpeetonta fyysistä aktiivisuutta, koska lämmönluovutus vaatetuksen johdosta on vähäisempää ja lisääntyvä lämmöntuotanto aiheuttaa hikoilua. Mikäli hiki ei pääse haihtumaan, vaatetus kastuu ja sen lämmöneristävyys heikkenee. (Lange Andersen ym. 1978, 63.)

Gavhed ym. (1991) totesivat, että vaatetetulla ihmisellä intervallityyppisessä kuormituksessa elimistön lämpötila ja lämpötuntemus ovat alhaisempia verrattuna jatkuvaan kuormitukseen. Samalla he totesivat, että vaatetetulla ihmisellä kylmissä olosuhteissa samalla energiankulutustasolla tämä ero johtuu ensisijaisesti eroavaisuuksista lämmönluovutus- ja tuotantomekanismeissa.

Vaatetuksen lämmöneristävyttä kuvaava suure on *clo*. *Clo* tarkoittaa vaatetuksen tai yksittäisen vaatekappaleen lämmöneristävyttä suhteessa koko

kehon pinta-alaan. Vaatetuksessa, jonka lämmöneristävyys on 1 clo, istumatyötä tekevä ihminen tuntee olonsa miellyttäväksi olosuhteissa, joissa ympäristön lämpötila on 21°C, ilman suhteellinen kosteus 50% ja ilman liike alhainen (n. 0,1m/s). 1 clo:n vaatetus vastaa lämmöneristävyydeltään esimerkiksi ihmisen sisävaatetuksen kokonaisuutta. (Mäkinen ym.1999, 33-37.)



Kuvio 2. Lämmöneristävyysvaatimukset kylmässä eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa (Åstrand & Rodahl 1986, 631).

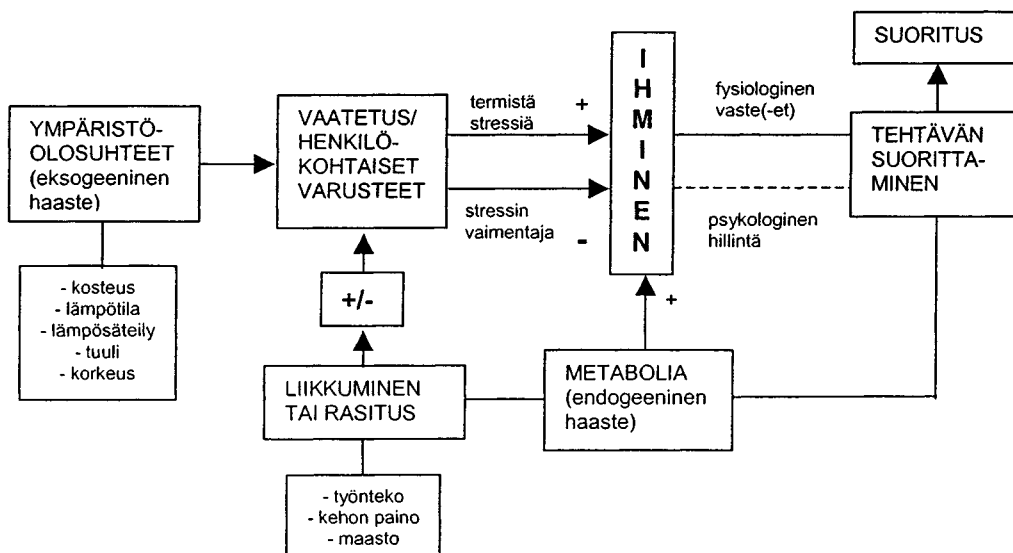
IREQ (insulation required) tarkoittaa indeksiä, jonka avulla voidaan arvioida ilman lämpötilan, keskimääräisen säteilylämpötilan, ilman liikkeen (tuulen) ja kosteuden sekä työn/liikunnan tason yhteisvaikutusta ihmisen lämpötasapainoon. *IREQ*-indeksi antaa myös arvion tarvittavasta vaatetuksen lämmöneristävydestä. *IREQ*-yhtälöä käyttämällä voidaan laskea, millaista vaatetusta ihminen tarvitsee kylmään ylläpitääkseen lämpötasapainonsa, kun

tiedetään ympäristön lämpötila, tuuli ja kuormituksen taso. (Mäkinen ym. 1999, 33-37.)

Griefahn ja Forsthoff (1997) tutkivat eri lämpötiloissa käytettyjen vaatteiden arvioitua lämmöneristävyttä ja laskennallista lämmöneristävyden tarvetta (IREQ). Raportissaan he toteavat, että valittaessa vaateetusta kuhunkin ympäristön lämpötilaan olisi syytä tutkia kunkin yksilön metabolian taso.

3.3 Vaatetuksen valintaan vaikuttavat ulkoiset tekijät

Optimaalinen pukeutuminen kylmissä olosuhteissa tapahtuvaan fyysiseen kuormitukseen on aikaisemman perusteella siis vaikeaa. Vaatetuksen valintaan vaikuttavat useat tekijät (ympäristöolosuhteet, kuormituksen kesto, intensiteetti ja tapa, yksilölliset tekijät), joiden perusteella tarkoituksenmukaiset ratkaisut tulisi tehdä. Läheskään aina ei pystytä valitsemaan suorituskyvyn kannalta optimaalista vaateetusta. Pukeutumisen valintaan liittyvää prosessia ja vaikutuksia voidaan kuvata kuvion 3 mukaisella tavalla.



Kuvio 3. Ihmisen pukeutumisen säätelyjärjestelmä fyysisessä kuormituksessa (mukaillen Pandolf 1988, 86).

Olemme aikaisemmin käsitelleet fyysisen kuormituksen aiheuttamia vasteita ja vaikutuksia sekä ihmisen elimistön että suorituskyvyn kannalta, joten käsittelemme myös ympäristötekijöitä ja vaatetuksen ominaisuuksia. Niillä on huomattavaa merkitystä lämpötasapainon kannalta riippumatta siitä, ollaanko levossa vai tehdäänkö fyysistä suoritusta.

Ympäristötekijät

Shephardin (1985) mukaan, kuormituksen intensiteetin kasvaessa hengitysilman kautta tapahtuva lämmönluovutus lisääntyy, ilman tai veden virtauksen lisääntymisestä johtuva lämmönkuljettuminen ihonpinnalta kasvaa ja suojaavan vaatekerroksen alle pääsevä kylmä ilma tai vesi lisää jäähtymistä.

Viimaindeksin (Wind Chill) avulla voidaan arvioida tuulen ja kylmän yhteisvaikutusta paljaan ihon jäähdystehtoon ja paleltumariskiin. (Mäkinen ym.1999, 38.) Lämmön siirtymistä kehoa ympäröivään liikkuvaan ilmaan kutsutaan lämmön *kuljettumiseksi*. Tämä vaatii kuitenkin lämmön johtumista ihon pinnalla olevaan ilmaan, joka sitten kulkeutuu ympäristöön. Ilman virtaus kuljettaa ihon pinnalla olevan lämpimän ilman pois ja ihon pinnalle kulkeutuu kylmempää ilmaa. Tämä taas lisää lämmön johtumista. Tämä johtumalla ja kuljettumalla tapahtuva lämmönluovutus on noin 15% kehon kokonaislämmönluovutuksesta. Kylmä tuuli ja kosteus (vesi) lisäävät lämmönluovutusta näiden mekanismien kautta. Ilman nopeuden kasvaessa sen jäädyttävä vaikutus kasvaa; tämä on Wind Chill- indeksin perusta. Vedessä ollessaan virtauksella on myös merkitystä. Ihminen luovuttaa lämpöä enemmän uidessaan kuin ollessaan liikkumattomana. (Guyton & Hall 1996, 913; McArdle ym. 1996, 504.)

Ihmisen kehosta siirtyy lämpöä ympäristöön myös *johtumalla*. Lämpöä johtuu sekä kehon pinnan kanssa kosketuksissa oleviin materiaaleihin että myöskin

ilmaan. Koska ihon molekyylit ovat jatkuvasti väreilevässä liikkeessä, tämä kineettinen energia aiheuttaa myöskin ilman molekyyliden liikettä. Mikäli ihon pinnalla olevan ilman lämpötila on alhaisempi kuin ihon lämpötila, ihon molekyyliden liike lisää ilman molekyyliden liikettä. Täten energiaa siirtyy johtumalla ympäristöön. Ihmisen ollessa kylmässä vedessä lämmönluovutus johtumalla on lähes 26-kertainen verrattuna altistukseen saman lämpöiselle ilmalle. (Wilmore & Costill 1994, 242-243; Guyton & Hall 1996, 912-913.)

Kun ihminen altistuu tuulelle, ihon pinnalla oleva ilmakerros korvautuu jatkuvasti uudella, huomattavasti nopeammin kuin tuulettomissa olosuhteissa. Tämä lisää kuljettumalla ja johtumalla tapahtuvaa lämmönluovutusta. (Guyton & Hall 1996, 913.) Tuulen aiheuttama jäädyttävä vaikutus lisääntyy nopeasti tuulen nopeuden lisääntyessä nolosta 2,5 mailia tunnissa (4 m/s). Sen jälkeen tuulen nopeuden lisääntyessä jäädyttävä vaikutus lisääntyy loivemmin. Wind Chill-indeksi on käytännöllinen arvioitaessa lämpötilan ja tuulen yhteisvaikutusta (taulukko 2). (Haymes & Wells 1986, 61.)

Taulukko 2. Viimaindeksitaulukko (Wind Chill). (Shephard & Åstrand 1993, 275.)

		Ilman todellinen lämpötila, °C												
		+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
Tuuli	Lämpötilan ja tuulen yhteisvaikutus, °C													
Tyyri	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
2	9	4	-1	-6	-11	-16	-21	-26	-32	-37	-42	-47	-52	
4	5	-1	-7	-13	-19	-25	-31	-37	-43	-49	-55	-61	-67	
6	3	-4	-10	-17	-23	-30	-37	-43	-50	-56	-63	-69	-76	
8	1	-6	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-83	
10	0	-8	-15	-22	-30	-37	-44	-51	-59	-66	-73	-81	-88	
12	-2	-9	-17	-24	-32	-39	-47	-54	-62	-69	-77	-84	-92	
14	-2	-10	-18	-25	-33	-41	-48	-56	-64	-72	-79	-87	-95	
16	-3	-11	-19	-26	-34	-42	-50	-58	-65	-73	-81	-89	-97	
18	-3	-11	-19	-27	-35	-43	-51	-59	-67	-75	-83	-90	-98	
20	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68	-76	-84	-91	-99	
	Pieni paleltumisvaara				Kasvanut paleltumisvaara				Suuri paleltumisvaara					
									Pahjas iho paleltuu alle 30 sekunnissa					

Bluestein (1998) kuitenkin arvostelee Wind Chill-taulukkoa vanhanaikaiseksi ja epätarkaksi. Hänen mukaansa taulukossa oletetaan epärealistisesti ihon lämpötila tasaiseksi ja lämmönsiirtymiseen käytetyt kertoimet eroavat merkittävästi nykyisistä lämmönkuljetuksen laskelmissa käytetyistä. Näiden kahden tekijän seurauksesta kunkin tuulennopeuden aiheuttama jäähdyttävä vaikutus yliarvioidaan, mikä vastaavasti johtaa alhaisempiin Wind Chill lämpötiloihin kuin todellisuudessa.

Lämmöneristävyys ja kosteuden haihtuminen

Fyysinen kuormitus aiheuttaa elimistössä lämmön nousua, mikä stimuloi hien eritystä. Hikoilun kannalta on tärkeää, että ihoa lähinnä olevat vaatekerrokset ovat riittävän hengittäviä ja mahdollistavat hien siirtymisen ihon pinnalta ulompiin vaatekerroksiin ja sitä kautta ulkoilmaan. Riippuen elimistön lämmöntuotannosta ja suorituksen kestosta vaatetuksen kostuminen hiestä voi olla merkittävää. (Pandolf ym. 1988, 386-387.)

Korkeammilla työtehoilla lisääntynyt lämmön nousu ja hien eritystä aiheuttavat hien kertymistä, nostavat ihon lämpötilaa, aiheuttavat iholla lämmön tunnetta, sekä saavat aikaan enemmän epämiellyttävyyden tunnetta verrattuna matalampitehoiseen työskentelyyn. Kertyneen hien siirtyminen ulompiin vaatekerroksiin on riippuvainen alimman vaatekerroksen kuiturakenteesta, kehon liikkeiden aiheuttamasta pumppumekanismista vaatetuksessa sekä ympäristöolosuhteista. Puuvilla sitoo kosteutta keinokuitua paremmin, mutta muita varsinaisia eroja ei niiden välillä ole tutkimuksissa havaittu. (Bakkevig & Nielsen 1995, 927-937; Gavhed & Holmér 1996, 573.)

Lihastyön avulla aikaansaatu elimistön lämpötilannousu on riippuvainen myös vaatetuksesta. Jollei ulompi vaatekerros ole riittävän tiivis sen aukkojen kohdalta (nilkat, ranteet, kaula), kehon liike pumppaa kylmää ilmaa sen alle.

Mikäli raskaassa kuormituksessa vaatetus kostuu hiestä saturaatiopisteeseen asti, vaatetus menettää 50-60% sen lämmöneristävydestään. (Holmér & Gavhed 1991.)

Gavhed ja Holmer (1996) toteavat, että puuvillaisella vaatteella pukeutuneilla henkilöillä ihon lämpötila on hieman korkeampi kuormituksen aikana verrattuna synteettisiin vaatteisiin pukeutuneisiin. Subjektivisissa tuntemuksissa ei ollut eroavaisuuksia. Ha ym. (1996), sekä Ha ym. (1998) ovat myös havainneet kahden erilaisen alusvaatetuksen vaikuttavan kosteuteen, mikroympäristöön, ihon lämpötilaan ja metaboliseen lämmöntuotantoon aiemmin kuvatulla tavalla.

Kuormituksen loputtua tai vähetessä tulisi huomioida kostean vaatetuksen alentunut lämmöneristävyys suojauduttaessa kylmältä. Koska lämmöneristävyuden kannalta tärkeä alin vaatekerros on menettänyt lämmöneristävyyskykyään ja elimistön lämmöntuotanto on vähentynyt, kostea vaatekerros toimii lämmönluovuttajana. Veden lämmönjohtamiskyky on lähes 25-kertainen ilmaan verrattuna. Kehon lämmönluovutus vedessä on 2-4-kertainen saman lämpöiseen ilmaan verrattuna. Näin ollen lämmön tuotannon vähetessä ja lämmön luovutuksen ollessa suuri alkaa elimistö jäähtyä nopeasti ja aiheuttaa epämiellyttävyyden tunnetta. (Pandolf ym. 1988, 386-387; McArdle 1996, 505-507; Gavhed & Holmér 1996, 573.) Ozaki ym. (1998) toteavat, että mikäli mahdollista, pitkäkestoisen kylmäaltistuksen jälkeen tulisi siirtyä lämmittelemään lämpimään tilaan tai viileissä olosuhteissa käyttää suojaavaa vaatetusta riittävän pitkään.

NBC (nuclear, biological, chemical) -suoja vaatetus on ongelmallinen kylmissä olosuhteissa. Sen tehtävänä on suojata käyttäjäänsä saastuneelta ympäristöltä riippumatta ympäristön lämpötilasta, mutta vaatetuksen ominaisuudet ovat usein epäsuotuisat lämpötasapainon kannalta. Vaatetuksen permeabiliteetti (kosteuden läpäisykyky) on yleensä erittäin alhainen, joten hiki kertyy alimpiin vaatekerroksiin aiheuttaen lämpimän ja kostean mikroympäristön, mikä

puolestaan aiheuttaa epämiellyttävyyden tunnetta. Myös vaatetuksen paino ja kömpelyys aiheuttavat lisäkuormitusta. (Rissanen & Rintamäki 1997, 141-142.)

5. MITTAUKSET JA NIIDEN PERUSTELUT

Mittaukset tehtiin Oulun aluetyöterveyslaitoksen kylmälaboratoriossa keväällä 2000. Mittaukset tehtiin ns. kylmänä vuodenaikana, joten kaikki koehenkilöt olivat adaptoituneet/aklimatisoituneet kylmiin olosuhteisiin. Akklimatisaatiolla tarkoitetaan elimistön sopeutumista ympäristöolosuhteisiin (Haymes & Wells 1986, 62). Mittaukset tehtiin pääsääntöisesti aina samaan aikaan vuorokaudesta. Näin pystyttiin välttämään elimistön vuorokausirytmien aiheuttamia muutoksia elimistön lämpötilassa ja toiminnassa, ja täten vähentämään virhelähteitä.

5.1 Koehenkilöt

Koehenkilöiksi valittiin kahdeksan vapaaehtoista 21-36-vuotiasta tervettä miestä, jotka harrastavat kuntoliikuntaa 1-2 kertaa viikossa vähintään 60 minuutin ajan. Koehenkilöiden perustiedot ovat taulukossa 3. Liikuntatottumukset selvitettiin haastattelemalla ja terveydentila varmistettiin lääkärintarkastuksessa. Koehenkilöille pidettiin tiedotustilaisuus ja jaettiin kirjallinen tiedote tutkimuksen tarkoituksesta, kulusta, eettisistä näkökohdista, mahdollisista riskitekijöistä, käytettävistä varotoimista sekä tietosuojajärjestelyistä. Koehenkilöt allekirjoittivat suostumislomakkeen, jossa he lupautuivat koehenkilöiksi tähän tutkimukseen.

Taulukko 3. Koehenkilöiden perustiedot.

Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasva%	VO ₂ max (l)	HRmax
27.5±6.0	175.9±4.8	74.8±5.8	17.6±4.4	3.75±0.34	199.3±9.3

Koehenkilöitä kehoitettiin nauttimaan tutkimusjakson aikana normaalia sekaravintoa. Mittausta edeltävänä ja mittauspäivänä pyydettiin välttämään alkoholin nauttimista ja tarpeetonta liikuntaa. Mittausta edeltävät 3 tuntia pyydettiin pidättäytymään ravinnosta, kahvista ja tupakasta.

5.2 Koeasetelma ja mittausmenetelmät

Kuormitustapa oli 60 minuutin kävely tai hölkkä juoksumatolla, jonka kulma oli 1°. Tuuli oli 0,5 m/s ja ilman kosteus 60%. Ilman lämpötilat olivat 20°C, 0°C ja -15°C. Kuormitustasot olivat 25% ja 50% koehenkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä (VO₂max).

Kuormituksen kestoksi valittiin 60 minuuttia, jotta kykenemme arvioimaan luotettavammin vaatetuksen sopivuutta kussakin kuormitustilanteessa. Toisaalta pitkäkestoisessa kuormituksessa on mahdollista havaita myös mahdolliset väsymisen aiheuttamat muutokset energiankulutuksessa. Kylmäfysiologisissa tutkimuksissa käytetään varsin yleisesti 60 minuutin kuormitusta tutkittaessa elimistön vasteita aerobisella kuormitusalueella.

Kukin koehenkilö kävi mittauksissa seitsemän kertaa. Ensimmäisellä kerralla koehenkilölle annettiin tutkimukseen liittyvä sanallinen ja suullinen informaatio, koehenkilö allekirjoitti suostumuslomakkeen, kerättiin tarvittavat perustiedot, tehtiin lääkärintarkastus ja maksimaalisen hapenottokyvyn mittaus. Seuraavilla kuudella kerralla heille tehtiin tutkimusasetelman mukaiset mittaukset. Mittaukset satunnaistettiin jokaisen koehenkilön osalta.

Mitatut muuttujat

Maksimaalinen hapenottokyky: Maksimaalinen hapenottokyky ($VO_2\max$) mitattiin ensimmäisellä mittauskerralla juoksumatolla tehdyssä kolmen minuutin välein nousevassa kuormituksessa. Suoritus tehtiin termoneutraaleissa olosuhteissa (+20°C). Hengityskaasut mitattiin kuormituksen aikana hengityskaasuanalysaattorilla (Medikro 901, Medikro, Kuopio) maskia käyttäen Tuloksen perusteella määritettiin yksilöllisesti 25% ja 50%:n kuormitustasot.

Lämpötilat: Lämpötiloista mitattiin suorituksen aikana minuutin välein syvälämpötila (T_{re}) rektumista (10 cm syvyys) ja iholämpötilat (T_{sk}) 7 pisteestä (poski, rinta, selkä, kämmenselkä, etureisi, pohje ja jalkapöytä) kannettavalla dataloggerilla (1200 Squirrel meter/logger, Grant). Lämpötilat mitattiin kattavasti, jotta mittaustilanteen aikainen elimistön mahdollinen lämpeneminen tai jäähtyminen pystyttiin todentamaan.

Hengityskaasut: Hengityskaasut mitattiin kuormituksen aikana hengityskaasuanalysaattorilla (Medikro 901, Medikro, Kuopio) maskia käyttäen 0-10, 25-35 ja 50-60 minuutin kohdilla. Analysoitavia muuttujia olivat hapenkulutus ja ventilaatio. Hapenkulutuksen perusteella pystytään määrittelemään kuormituksen aikainen energiankulutus. Ventilaation mittauksella pystyttiin määrittelemään hengitystilavuuksissa tapahtuvia muutoksia.

Kuormittuneisuuden kokemus: Borgin asteikon mukainen standardoitu mittari (liite 1). Kokemukset kysyttiin kuormituksen aikana 1, 15, 35, 45, 60 minuutin kohdilla.

Lämpötuntemukset: Lämpötuntemukset mitattiin ISO-standardien mukaisella 9-portaisella mittarilla (liite 2). Tuntemukset kysyttiin kuormituksen aikana 1, 15, 35, 45, 60 minuutin kohdilla.

Syke: Sydämen syketiheys mitattiin kuormituksen aikana sykemittarilla (Polar sport tester PE 3000, Polar-Electro, Kempele). Syke mitattiin 60 sekunnin välein.

Paino: Henkilön paino mitattiin ennen suoritusta ja sen jälkeen. Vaatteiden paino mitattiin myös ennen ja jälkeen suorituksen. Tämän perusteella pystyttiin määrittelemään hikoilun ja haihtuneen kosteuden määrä.

Rasvamittaus: Ihopoimun paksuus mitattiin pihdeillä neljästä pisteestä (biceps brachii, triceps brachii, scapula ja iliaca superior) ja niiden perusteella määritettiin koehenkilön rasvaprosentti.

Pituus: Koehenkilöiden pituus mitattiin ensimmäisellä mittauskerralla.

Ikä: Koehenkilöiden ikä määriteltiin ensimmäisellä mittauskerralla

Vaatetus

Koehenkilöiden vaatetus valittiin suhteessa kuormitukseen, lämpötilaan sekä koehenkilön kokoon. Valinnassa pyrittiin kussakin tilanteessa mahdollisimman optimaaliseen ratkaisuun, tavoitteena oli *tarkoituksenmukainen vaatetus*.

Tarkoituksenmukaisella vaatetuksella tarkoitamme tässä tutkimuksessa sellaista vaatetusta, joka yllänsä koehenkilö pystyi mahdollisimman hyvin ylläpitämään lämpötasapainonsa kuormituksen aikana. Lisäksi vaatetuksen tuli sallia mahdollisimman esteettömästi tutkimusasetelman mukainen fyysinen kuormitus ja olla mahdollisimman lähellä heidän omaa arkivaatetustaan. Esimerkiksi vaatteiden kokoon kiinnitettiin huomiota. Liian kireä vaatetus haittaa liikumista

ja ilman kiertoa vaatetuksessa, kun taas liian iso painaa enemmän, lepattaa, häiritsee liikkumista sekä sallii ilman liikkumisen liian vapaasti vaatetuksen sisällä.

Vaatetuksen vaihtoehdot olivat yksi-, kaksi- ja kolmikerrosvaatetus. Kaikki vaatteet olivat puolustusvoimien käyttämiä vaatteita. Yksikerrosvaatetus oli shortsit ja t-paita. Kaksikerrosvaatetus oli aluskerrasto, maastopuku, päähine, lapaset, sukat ja nahkakengät. Kolmikerrosvaatetus oli muutoin sama kuin edellinen, mutta lisänä oli välivaatekerros, lapasten lisäksi nahkakintaat ja päässä karvalakki, korvaläpät alhaalla.

Taulukko 4. Tutkimusasetelman mukaiset lämpötilat, kuormitustasot, käytetty vaatetus ja lämmöneristävyys.

	25 % VO₂max (4,5 km/h)	50 % VO₂max (6,5 km/h)
+20°C	1-kerrosvaatetus	1-kerrosvaatetus
0°C	2-kerrosvaatetus clo=1,29	2-kerrosvaatetus clo=1,08
-15°C	3-kerrosvaatetus clo=1,89	3-kerrosvaatetus clo=1,76

5.3 Aineiston käsittely

Mittaustulosten tilastollinen käsittely tehtiin SPSS 8.0 -ohjelmalla. Hapenkulutuksen (VO₂), ventilaation (VE) ja sykkeen (HR) tasot määritettiin 5-10, 30-35 ja 55-60 minuutin kohdilla laskemalla keskiarvot (\bar{x}), keskihajonnat (sd) ja muutosten merkitsevyys (p) kyseisinä aikaväleinä. Keskiarvojen muutokset suhteutettiin vaatetuksen ja kannettavien mittauslaitteiden painon muutokseen tutkimusasetelman mukaisissa tilanteissa. Tulosten merkitsevyys analysoitiin kaksisuuntaisella t-testillä (p<.05). Tämän lisäksi laskettiin prosentuaalinen muutos suhteessa vaatetuksen painokiloa kohden.

Kuormittuneisuuden kokemuksen arvoille laskettiin kyselyajankohdan mukaiset keskiarvot (\bar{x}), keskihajonnat (sd) ja muutosten merkitsevyys ($p < .05$) analysoitiin kaksisuuntaisella t-testillä. Lämpötuntemusten arvoille laskettiin kyselyajankohdan mukaiset keskiarvot (\bar{x}), keskihajonnat (sd) ja muutosten merkitsevyys ($p < .05$) analysoitiin Wilcoxonin non-parametrisellä testillä.

6. TULOKSET

Mittaustuloksista havaitaan, että kylmäkuormitus ja vaatetuksen aiheuttama kuormitus saavat aikaan energiankulutuksen lisääntymisen ja erilaisten fysiologisten toimintojen kiihtymisen. Subjektiiivisista tuntemuksista (lämpötuntemus, kuormittuneisuus) voidaan puolestaan havaita, että subjektiivisten tuntemusten perusteella tehtävään energiankulutuksen arviointiin voi liittyä virhelähteitä kylmäkuormituksen ja vaatetuksen johdosta. Vaatetuksen ja mittauslaitteiden paino kussakin mittaustilanteessa on esitetty taulukossa 5.

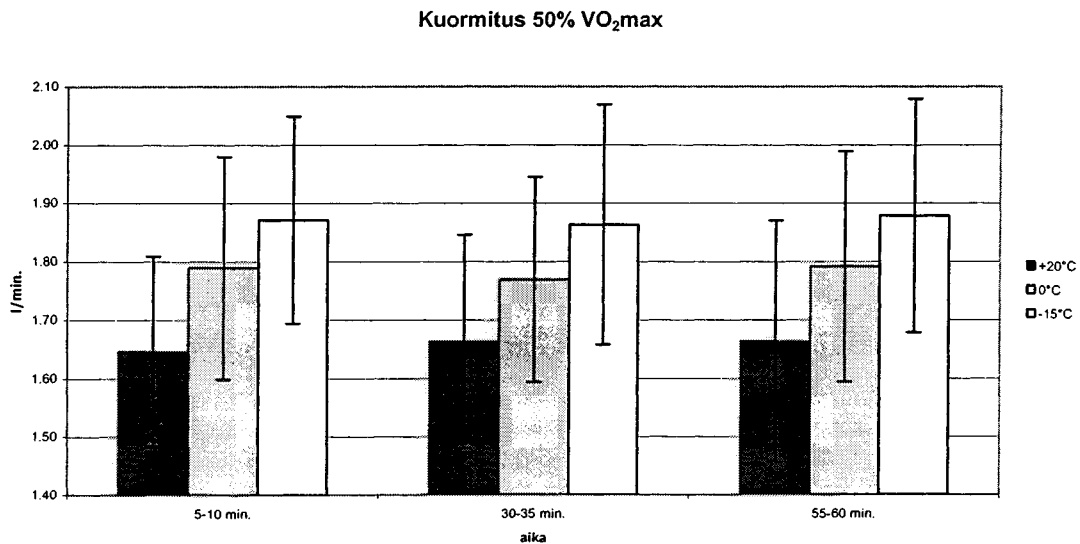
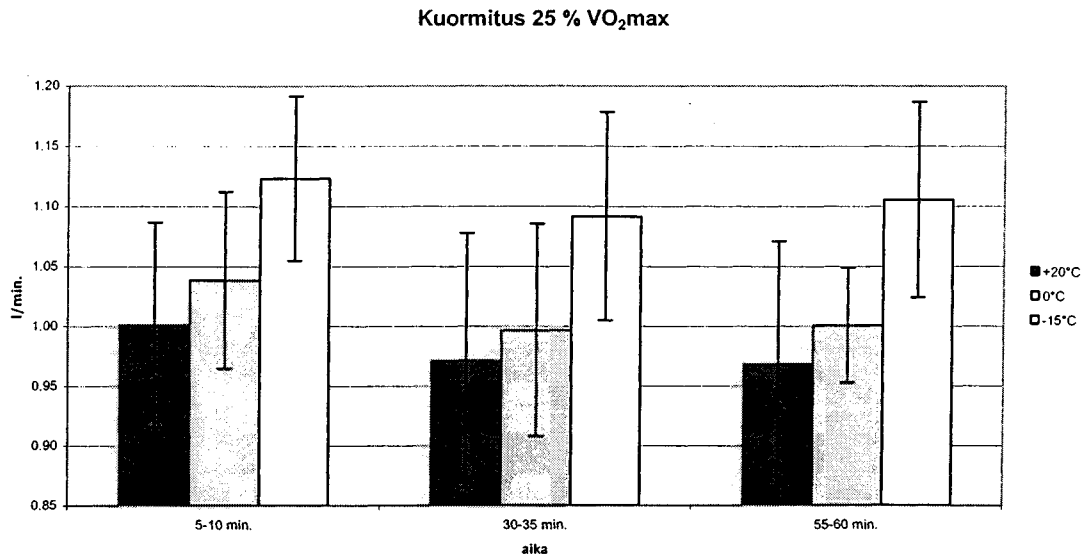
Taulukko 5. Vaatetuksen ja mittauslaitteiden painon (kg) keskiarvot (\bar{x}) sekä niiden väliset erot tutkimusasetelman mukaisissa mittaustilanteissa.

Kuormitus 25 % VO ₂ max.	T ₁ = 20°C	T ₂ = 0°C	T ₃ = -15°C	Ero T ₂ -T ₁	Ero T ₃ -T ₁	EroT ₃ -T ₂
	2.51±.20	5.07±.41	6.38±.39	2.55±.30	3.87±.35	1.32±.15

Kuormitus 50 % VO ₂ max.	T ₁ = 20°C	T ₂ = 0°C	T ₃ = -15°C	Ero T ₂ -T ₁	Ero T ₃ -T ₁	EroT ₃ -T ₂
	2.46±.11	5.11±.39	6.35±.40	2.65±.36	3.89±.38	1.24±.10

6.1 Hapenkulutus

Tarkoituksenmukaisesti vaetetun ihmisen hapenkulutus lisääntyy vaatetuksen ja kylmäkuormituksen lisääntyessä aerobisella tasolla tehdyssä kuormituksessa. Absoluuttiset hapenkulutuksen keskiarvot on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Hapenkulutuksen keskiarvot (l/min.) eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa 60 minuutin aerobisessa kuormituksessa.

Kuormitustasolla 25 % VO₂max ainoastaan +20°C ja 0°C tehtyjen kuormitusten välillä ei havaittu merkitsevää hapenkulutuksen lisääntymistä. Kuormitustasolla 50 % VO₂max *hapenkulutus lisääntyi* lähes lineaarisesti suhteessa vaatetuksen painon lisääntymiseen ja ilman lämpötilan muutoksiin ja muutokset olivat merkitseviä. Tutkimuksen kannalta keskeisin ero oli +20°C ja -15°C tehtyjen suoritusten välillä (taulukko 6). Verrattuna +20°C:ssa tehtyihin kuormituksiin

-15°C:ssa tehdyissä kuormituksissa hapenkulutus lisääntyi molemmilla kuormitustasoilla noin 3,3% vaatetuksen painokiloa kohti. Eräs mielenkiintoinen tulos havaittiin kuitenkin 0°C ja -15°C tehtyjen kuormitusten välillä, nimittäin hapenkulutus lisääntyi noin 7,1% vaatetuksen painokiloa kohti.

Taulukko 6. Hapenkulutuksen absoluuttinen (l/min) ja suhteellinen (%) muutos vaatetuksen ja mittauslaitteiden painokiloa kohden.

Absoluuttinen muutos (l/min/kg)

Kuormitus	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	l/min/kg	p	l/min/kg	p	l/min/kg	p
25 % VO₂max						
5-10 min.	0.015±.029		0.032±.011	p<.001	0.064±.045	p=.005
30-35 min.	0.010±.021		0.031±.011	p<.001	0.072±.044	p=.002
55-60 min.	0.013±.020		0.035±.013	p<.001	0.080±.055	p=.005

Kuormitus	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	l/min/kg	p	l/min/kg	p	l/min/kg	p
50 % VO₂max						
5-10 min.	0.054±.028	p=.001	0.058±.031	p=.001	0.066±.080	
30-35 min.	0.040±.036	p=.017	0.051±.024	p=.001	0.076±.024	p<.001
55-60 min.	0.048±.029	p=.002	0.055±.021	p<.001	0.070±.034	p=.001

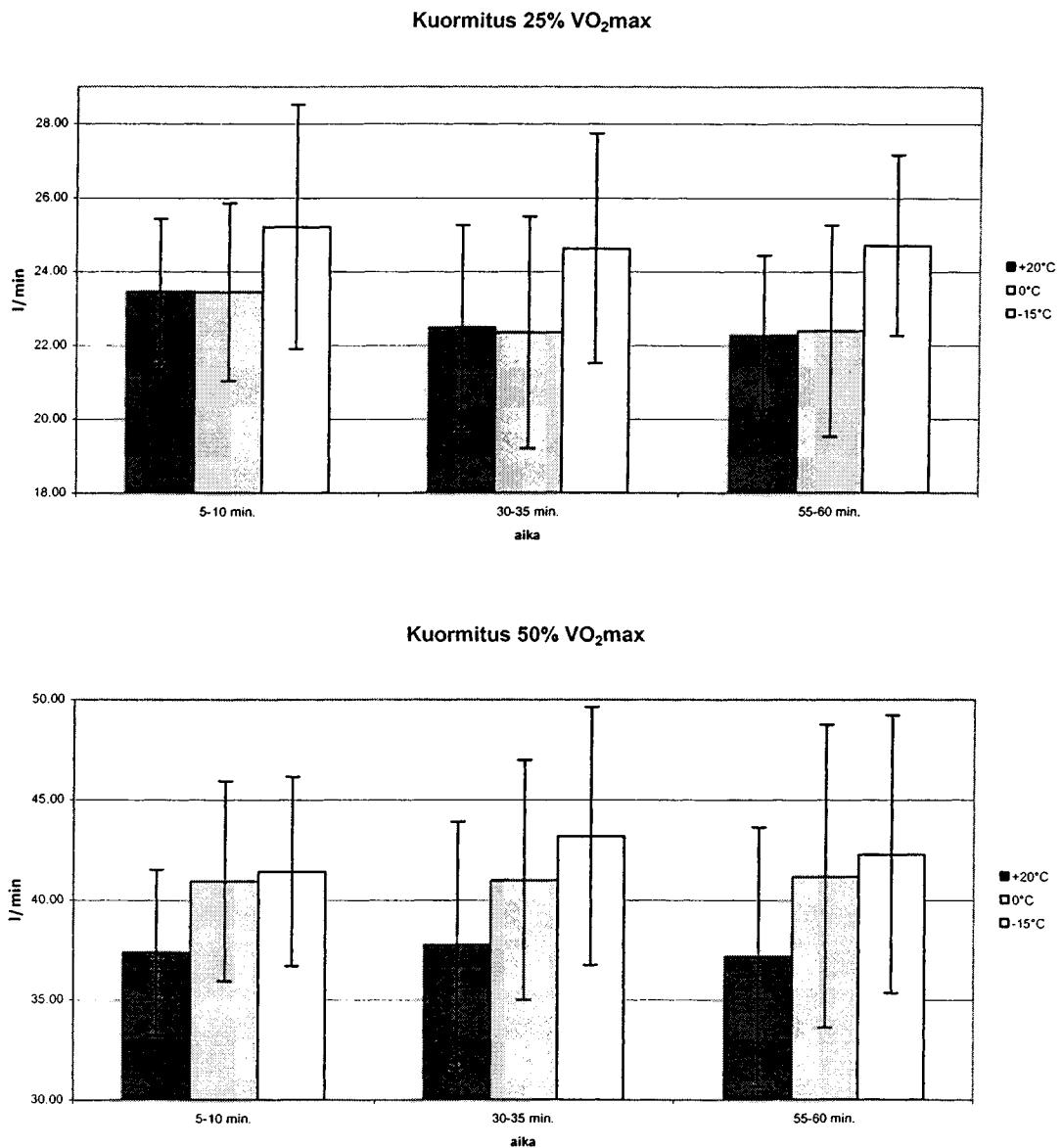
Suhteellinen muutos (%/kg)

Kuormitus	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
25 % VO₂max			
5-10 min.	1.5	3.2	6.2
30-35 min.	1.0	3.2	7.2
55-60 min.	1.3	3.7	7.9

Kuormitus	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
50 % VO₂max			
5-10 min.	3.3	3.5	3.7
30-35 min.	2.4	3.1	4.3
55-60 min.	2.9	3.3	3.9

6.2 Ventilaatio

Tarkoituksenmukaisesti vaatetun ihmisen ventilaatio lisääntyy vaatetuksen ja kylmäkuormituksen lisääntyessä aerobisella tasolla tehdyssä kuormituksessa. Absoluuttiset ventilaation keskiarvot on esitetty kuviossa 5.



Kuvio 5. Ventilaation keskiarvot (l/min) eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa 60 minuutin aerobisessa kuormituksessa.

Tutkimuksen kannalta keskeisin ero havaittiin +20°C ja -15°C tehtyjen suoritusten välillä (taulukko 7). 25% VO₂max kuormituksessa ventilaatio lisääntyi 2,4% vaatetuksen painokiloa kohti ja 50% VO₂max kuormituksessa noin 3,3%. Kevyemmässä kuormituksessa +20°C ja 0°C välillä sekä raskaammassa 0°C ja -15°C välillä ei havaittu merkitsevää eroa, kaikissa muissa tapauksissa erot olivat merkitseviä. Mielenkiintoinen tulos on se, että 0°C ja -15°C välillä ventilaatio lisääntyi 7,1% vaatetuksen painokiloa kohden.

Taulukko 7. Ventilaation absoluuttinen (l/min) ja suhteellinen (%) muutos vaatetuksen ja mittauslaitteiden painokiloa kohden.

Absoluuttinen muutos (l/min/kg)

Kuormitus 25 % VO ₂ max	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	l/min/kg	p	l/min/kg	p	l/min/kg	p
5-10 min.	-0.01±.77		0.45±.32	p=.006	1.34±1.04	p=.008
30-35 min.	-0.05±.89		0.55±.54	p=.023	1.73±.92	p=.001
55-60 min.	0.05±1.05		0.63±.35	p=.001	1.76±1.66	p=.020

Kuormitus 50 % VO ₂ max	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	l/min/kg	p	l/min/kg	p	l/min/kg	p
5-10 min.	1.35±1.02	p=.007	1.04±.81	p=.008	0.39±1.79	
30-35 min.	1.21±.54	p<.001	1.39±.89	p=.003	1.77±2.30	
55-60 min.	1.51±.89	p=.002	1.32±.86	p=.003	0.89±2.02	

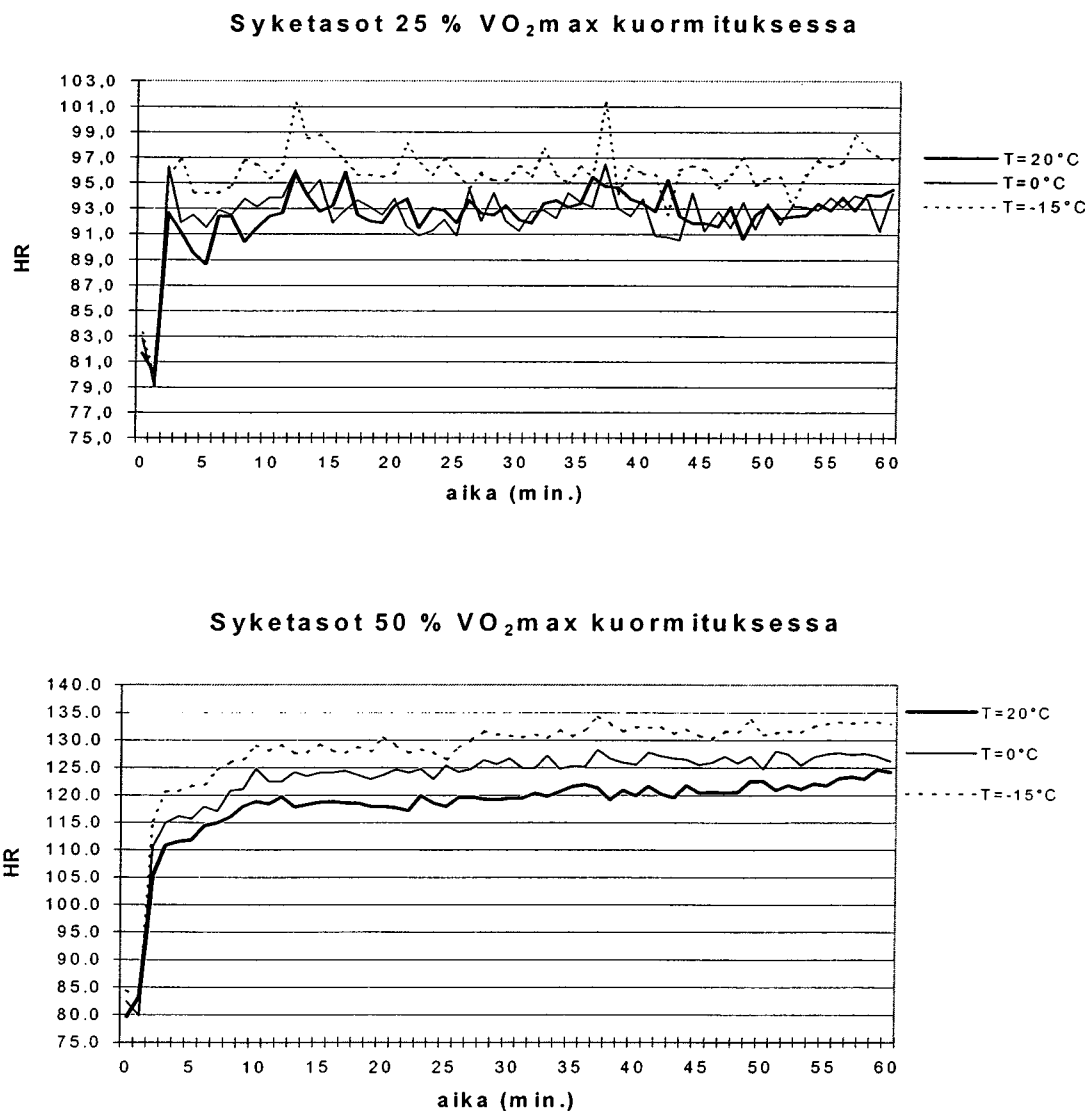
Suhteellinen muutos (%/kg)

Kuormitus 25 % VO ₂ max	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
5-10 min.	0	1.9	5.7
30-35 min.	-0.2	2.5	7.7
55-60 min.	0.2	2.8	7.9

Kuormitus 50 % VO ₂ max	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
5-10 min.	3.6	2.8	1.0
30-35 min.	3.2	3.7	4.3
55-60 min.	4.1	3.5	2.2

6.3 Syke

Tarkoituksenmukaisesti vaatetetun ihmisen syketaso kohoaa vaatetuksen ja kylmäkuormituksen lisääntyessä aerobisella tasolla tehdyssä kuormituksessa. Absoluuttiset syketason keskiarvot on esitetty kuviossa 6. Molemmilla kuormitustasoilla syketason erot ovat selkeästi havaittavat.



Kuvio 6. Syketasojen keskiarvot eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa 60 minuutin aerobisessa kuormituksessa.

25% VO₂max kuormitustasolla +20°C ja 0°C välillä ei havaita eroa, mutta +20°C ja -15°C välillä syketasojen ero on noin 3 lyöntiä/min. Jälkimmäinen oli tilastollisesti merkitsevä ja ero on 1,0% vaatetuksen painokiloa kohti. 50% VO₂max kuormitustasolla +20°C ja 0°C välillä syketasojen ero on noin 5 lyöntiä/min ja +20°C ja -15°C välillä noin 10 lyöntiä/min. Jälkimmäinen oli tilastollisesti merkitsevä ja ero on 2,3% vaatetuksen painokiloa kohti. Syketason muutokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Syketason absoluuttinen (lyöntiä/min) ja suhteellinen (%) muutos vaatetuksen ja mittauslaitteiden painokiloa kohden.

Absoluuttinen muutos (r/min/kg)

Kuormitus 25 % VO ₂ max	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	r/min/kg	p	r/min/kg	p	r/min/kg	p
5-10 min.	0.56±2.24		0.96±.98	p=.027	1.75±4.85	
30-35 min.	0.20±3.03		0.76±.71	p=.019	2.20±4.37	
55-60 min.	-0.23±3.08		0.90±1.21		3.12±5.17	

Kuormitus 50 % VO ₂ max	20°C - 0°C		20°C - -15°C		0°C - -15°	
	r/min/kg	p	r/min/kg	p	r/min/kg	p
5-10 min.	1.47±4.34		2.36±2.39	p=.026	4.28±4.97	p=.045
30-35 min.	1.83±3.46		2.69±2.57	p=.021	4.52±6.10	
55-60 min.	1.33±3.16		2.45±2.76	p=.040	4.86±7.24	

Suhteellinen muutos (%/kg)

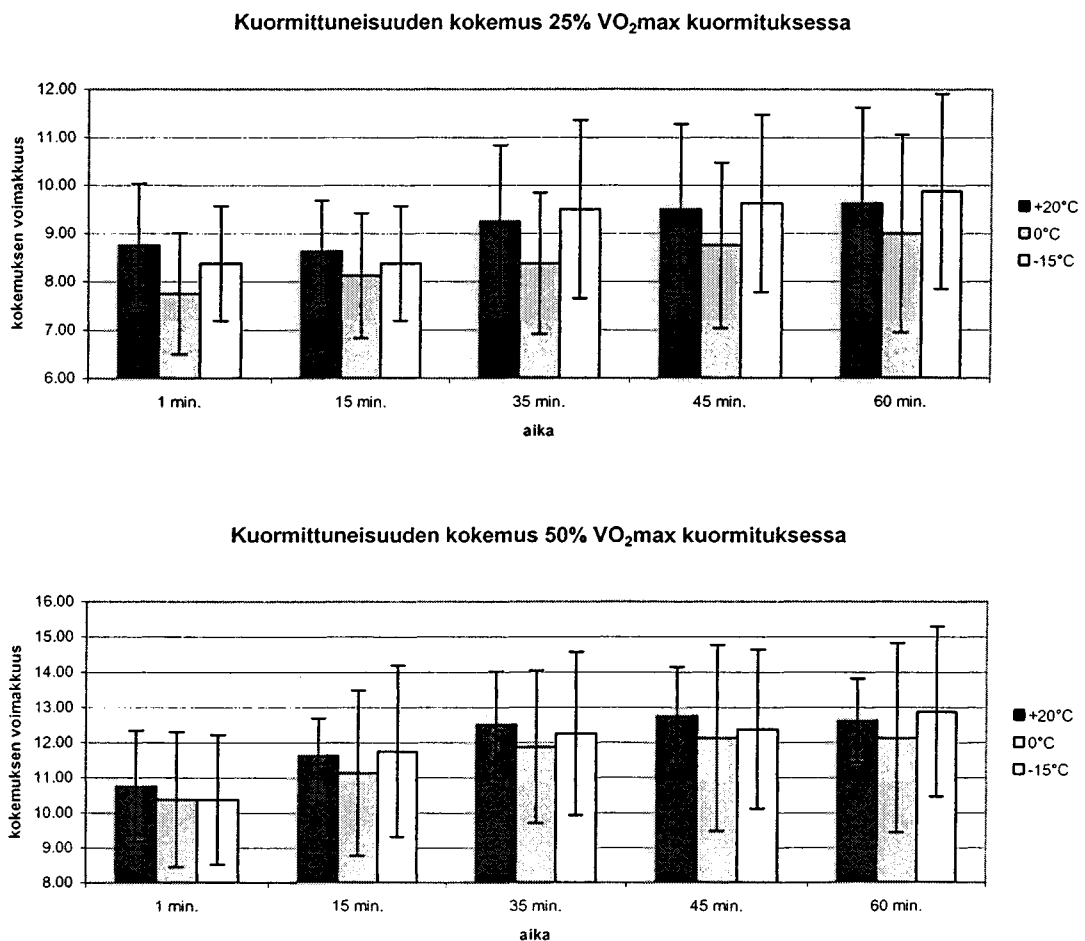
Kuormitus 25 % VO ₂ max	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
5-10 min.	0.7	1.1	1.9
30-35 min.	0.2	0.9	2.5
55-60 min.	-0.1	1.0	3.5

Kuormitus 50 % VO ₂ max	20°C - 0°C	20°C - -15°C	0°C - -15°
	%/kg	%/kg	%/kg
5-10 min.	1.6	2.3	3.7
30-35 min.	1.8	2.5	3.7
55-60 min.	1.2	2.2	4.2

Tutkimuksen kannalta keskeisin tulos on se, että syketaso kohoaa suhteellisesti enemmän mitä kylmemmässä ympäristössä työskennellään. Tosin syketason suhteellinen muutos ei ollut yhtä suuri kuin hapenkulutuksen ja ventilaation kohdalla, mutta muutoksen suunta oli sama.

6.4 Kuormittuneisuuden kokemus ja lämpötuntemukset

Kuormittuneisuuden kokemusten erot olivat molemmilla kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa tehtyjen kuormitusten välillä vähäiset. Kuormittuneisuuden kokemuksen keskiarvot on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Kuormittuneisuuden kokemuksen keskiarvot eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa 60 minuutin aerobisessa kuormituksessa.

Molemmilla kuormitustasoilla kaikkein keveimmäksi kuormitus koettiin 0°C:ssa. Taulukosta 9 voidaan havaita, että 25% VO₂max kuormituksessa esiintyi merkitseviä eroja kuormittuneisuuden kokemuksessa ja 50% VO₂max kuormituksessa tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu.

Taulukko 9. Kuormittuneisuuden kokemusten keskiarvot ja tilastollinen merkitsevyys.

Kuormitus 25% VO₂max

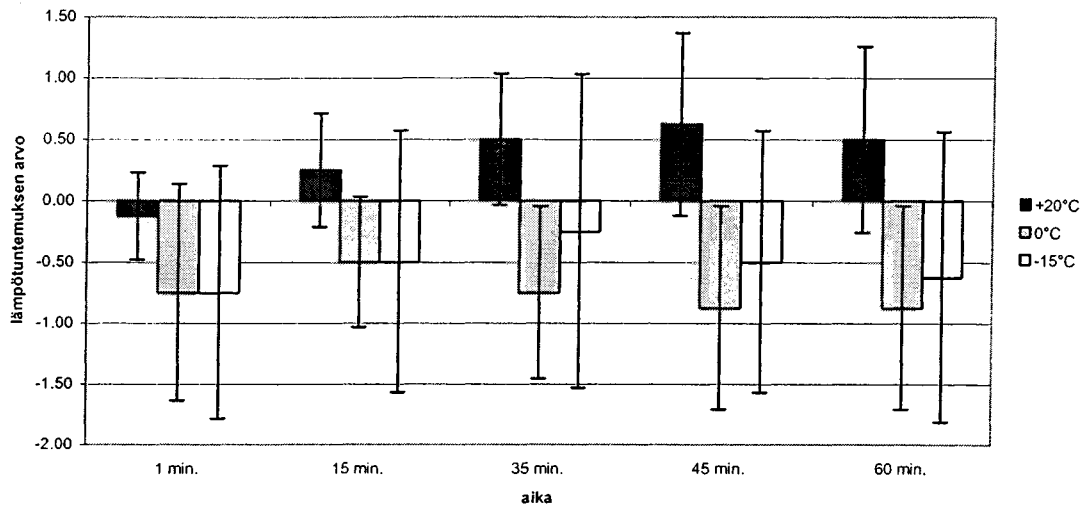
Aika (min.)	Kuormittuneisuus			Merkitsevyys (p)		
	T ₁ =20°C	T ₂ =0°C	T ₃ =-15°C	T ₁ -T ₂	T ₁ -T ₃	T ₂ -T ₃
1	8,75	7,75	8,38	p=.021		p=.051
15	8,63	8,13	8,38			
35	9,25	8,38	9,50	p=.023		
45	9,50	8,75	9,63			
60	9,63	9,00	9,88			p=.043

Kuormitus 50% VO₂max

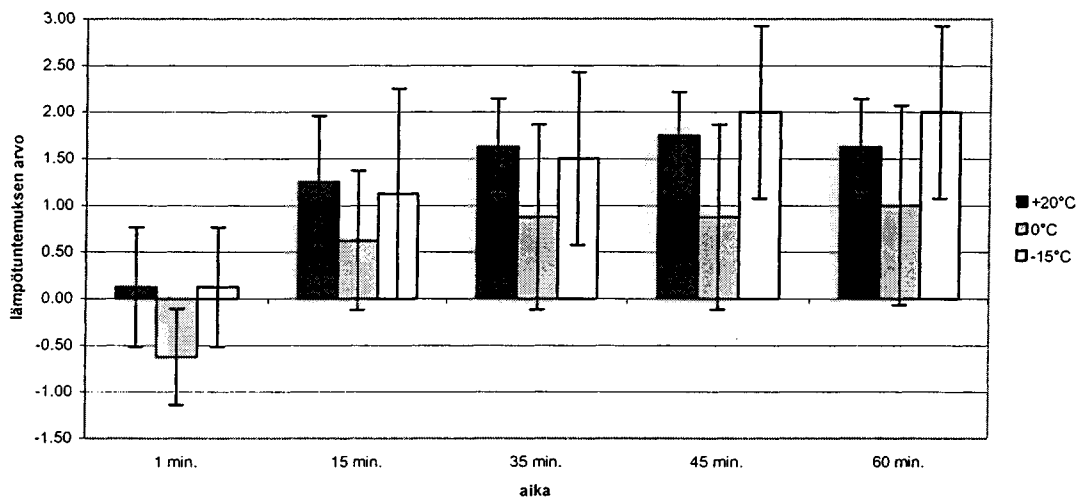
Aika (min.)	Kuormittuneisuus			Merkitsevyys (p)		
	T ₁ =20°C	T ₂ =0°C	T ₃ =-15°C	T ₁ -T ₂	T ₁ -T ₃	T ₂ -T ₃
1	10,75	10,38	10,38			
15	11,63	11,13	11,75			
35	12,50	11,88	12,25			
45	12,75	12,13	12,38			
60	12,63	12,13	12,88			

Lämpötuntemuksen keskiarvot on esitetty kuviossa 8. Kuvioista voidaan havaita, että molemmilla kuormitustasoilla kaikkein alhaisimmat lämpötuntemuksen arvot esiintyivät 0°C ja -15°C:ssa tehdyissä kuormituksissa. Erot kuormitustasojen välillä näkyvät siten, että 25% VO₂max kuormituksessa 0°C ja -15°C:ssa koehenkilöt kokivat hieman jäähtyvänsä kun taas 50% VO₂max kuormituksen aikana he kokivat lämpenevänsä.

Lämpötuntemus 25% VO₂max kuormituksessa



Lämpötuntemus 50% VO₂max kuormituksessa



Kuvio 8. Lämpötuntemuksen keskiarvot eri kuormitustasoilla ja eri lämpötiloissa 60 minuutin aerobisessa kuormituksessa.

Taulukossa 10 on esitetty tuntemusten keskiarvot ja niiden välinen tilastollinen merkitsevyys. Taulukosta voidaan havaita, että 25% VO₂max kuormitustasolla esiintyi tilastollisesti merkitseviä eroja lämpötuntemusten arvoissa ja 50% VO₂max merkitseviä eroja ei havaittu.

Taulukko 10. Lämpötuntemusten keskiarvot ja tilastollinen merkitsevyys.

Kuormitus 25% VO₂max

Aika (min.)	Lämpötuntemus			Merkitsevyys (p)		
	T ₁ =20°C	T ₂ =0°C	T ₃ =-15°C	T ₁ -T ₂	T ₁ -T ₃	T ₂ -T ₃
1	-0,13	-0,75	-0,75			
15	0,25	-0,50	-0,50	p=.014		
35	0,50	-0,75	-0,25	p=.015		
45	0,63	-0,88	-0,50	p=.016	p=.014	
60	0,50	-0,88	-0,63	p=.016	p=.030	

Kuormitus 50% VO₂max

Aika (min.)	Lämpötuntemus			Merkitsevyys (p)		
	T ₁ =20°C	T ₂ =0°C	T ₃ =-15°C	T ₁ -T ₂	T ₁ -T ₃	T ₂ -T ₃
1	0,13	-0,63	0,13			
15	1,25	0,63	1,13			
35	1,63	0,88	1,50			
45	1,75	0,88	2,00			
60	1,63	1,00	2,00			

7. POHDINTA

Valtaosa aikaisemmista kylmäältistukseen liittyvistä ihmisen energiankulutuksen tutkimuksista on kirjallisuuden mukaan tehty joko ali- tai ylivaatetuilla koehenkilöillä. Tarkoituksenmukaisesti vaatetetun ihmisen energiankulutusta eri lämpötiloissa ja eri kuormitustasoilla on tutkittu huomattavasti vähemmän. Ehkä kaikkein merkittävimmät tutkimukset ja niiden soveltamiseen liittyvä työ on Suomessa tehty puolustusvoimien toimesta. Sotilasvaatetuksen kehittämiseen onkin panostettu runsaasti vaateteollisuuden tuotekehityksen ohessa.

Sotilaat altistuvat maastossa monenlaisille kuormitustekijöille, joten energiankulutuksen ja energiatasapainon määrittäminen on vaikeaa. Samoin on lämpötasapainon suhteen. Koska sotilaat joutuvat talviolosuhteissa työskentelemään erittäin raskaissa olosuhteissa ja samalla suojautumaan jäähtymiseltä, aikaisemmin kuvailtu pukeutumisen problemaattisuus konkretisoituu. Sotilaat eivät kuitenkaan ole ainoita, jotka hyötyvät uudesta tutkimustiedosta. Esimerkiksi matkailun parissa on herännyt huomattavaa kiinnostusta kylmätutkimuksen tulosten soveltamiseen. Energiankulutuksen ja lämpötasapainon muutoksia käsittelevälle toiminnalliselle tutkimukselle on siis jatkossakin tarvetta.

7.1 Hapenkulutus ja ventilaatio

Tässä tutkimuksessa hapenkulutuksen ja ventilaation muutokset olivat yhdenmukaisia. Tutkimustulokset osoittavat, että hapenkulutus ja ventilaatio lisääntyivät merkittävästi ympäristön lämpötilan laskiessa, sekä vaatetuksen painon ja kitkan lisääntyessä. On kuitenkin todettava, että fyysisen kuormituksen tasolla ja vaatetuksen optimaalisella soveltuvuudella kyseisiin

olosuhteisiin on vaikutusta hapenkulutuksen ja ventilaation lisääntymisen määrään. Hapenkulutuksen ja ventilaation lisääntyminen oli riippuvainen kuormitustasosta, vaatetuksen sopivuudesta kulloisiinkin olosuhteisiin sekä kylmäaltistuksen tasosta.

Anttosen ja Vuoren (1995) mukaan vaatetuksen paino lisää kuormittavuutta noin 3% jokaista vaatekiloa kohden. Tässä tutkimuksessa 50% VO_2 max tasolla tehdyssä kuormituksessa hapenkulutus ja ventilaatio lisääntyivät noin 3,3% vaatetuksen painokiloa kohden. 25% VO_2 max kuormituksessa 20°C ja -15°C välillä hapenkulutuksen ja ventilaation kasvu oli samaa tasoa kuin raskaammassa kuormituksessa. 0°C:ssa tehdyssä suorituksessa vaatetus oli liian vähäinen ja elimistö jäähtyi. Tuloksista voidaan havaita, että verrattuna 20°C:ssa tehtyyn kuormitukseen, 0°C:ssa elimistö kulutti vähemmän happea suhteessa vaatetuksen painon lisääntymiseen. Näin ollen jäähtyminen vaikutti positiivisesti suorituskykyyn. Myös Shephard & Martineau (1988), Kruk ym. (1991) ja Parkin ym. (1999) ovat todenneet, että vähäinen jäähtyminen vaikuttaa positiivisesti aerobiseen suorituskykyyn. Vastaavasti Timmons (1985) ja Haymes & Wells (1986) ovat raportoineet vastakkaisia tuloksia.

Kuormitustason merkitys korostuu em. perusteella. 50% VO_2 max kuormituksessa elimistö ei jäähtynyt, eikä hapenkulutuksen lisääntyminen juurikaan poikennut keskiarvosta, vaikka suorituksessa käytettiin samaa vaatetusta kuin kevyemmällä kuormitustasolla. Elimistön lämmöntuotanto riitti kompensoimaan lämmönluovutusta raskaammassa kuormituksessa, kun taas kevyemmässä ei. Mikäli kuormituksen aikana elimistöön kohdistuu kylmä- tai kuumakuormitusta, voi olla hyvinkin vaikeaa ennustaa hapenkulutuksen muutoksia aerobisella kuormitustasolla pelkästään vaatetuksen painon lisääntymisen perusteella.

Lämpötasapainon kannalta optimaalisen vaatetuksen löytäminen kylmiin olosuhteisiin on periaatteellisella tasolla helppoa, mikäli kuormitus on tasainen

ja ympäristöolosuhteet ovat vakiot. Kuitenkin kullekin vakiokuormitustasolle optimaalisen vaatetuksen valitseminen voi olla hyvinkin hankalaa mm. siksi, että vaatetuksen lisääminen tai vähentäminen tapahtuu yleensä vaatekerrosten määrää muuttamalla. Vaatetuksen lämmöneristävyys muuttuu tässä mielessä portaittaisesti.

On kuitenkin huomioitava, että vaatetuksen lämmöneristävyys muuttuu liikkeiden (suorituksen) intensiteetin mukaan, koska vaatetuksen aiheuttama paine, kehon liikkeiden aiheuttama pumppaus vaikutus, ilman kulkeutuminen vaatekerrosten läpi ja ilman kulkeutuminen vaatetuksen suuaukoista ovat riippuvaisia liikkumisen intensiteetistä. (Parsons 1993, 103.) Toinen keskeinen ongelma on se, että ennen suoritusta ja suorituksen alkuvaiheessa vaatetuksen lämmöneristävyyden tulisi olla riittävää estääkseen elimistön jäähtymisen. Vastaavasti suorituksen jatkuessa lihastoiminnan tuottama lämpö pitäisi pystyä luovuttamaan ympäristöön, joten vaatetus ei tällöin voi olla liian eristävä.

Muuttuvassa kuormituksessa ja muuttuvissa ympäristöolosuhteissa ongelmat ovat huomattavasti vaikeammat, koska välillä vaatetuksen tulisi olla suojaavampaa ja välillä sallia enemmän lämmönluovutusta (Parsons 1993, 103). Vaatetuksen lämmöneristävyyden hienosäätöä voidaan tehdä esimerkiksi avaamalla vaatetusta ja siten lisäämällä jäähdyttävän ilman virtausta. Suorituksen aikana voi myös lisätä tai vähentää vaatetusta. (Lange Andersen ym. 1978, 63.) Näin ihmiset käytännössä toimivatkin omassa arkielämässään. Optimaaliseen tulokseen päästäkseen voi joissain tapauksissa olla helpompaa säätää kuormitustasoa ympäristön lämpötilan ja valitun vaatetuksen mukaan. Virokannas (1996) toteaaakin, että työskenneltäessä kylmissä olosuhteissa oikein mitoitettu kuormitus on tehokas tapa ylläpitää tarkoituksenmukaista lämpötilaa.

7.2 Syke

Syketaso kohosi myöskin vaatetuksen lisääntyessä ja ilman kylmetessä, mutta prosentuaalinen muutos on vähäisempi kuin hapenkulutuksen ja ventilaation. Syitä tähän eroon emme pysty tutkimusaineiston perusteella määrittelemään tarkasti. Collinsin (1998) mukaan työskennellessä kylmissä olosuhteissa tietyllä kuormitustasolla sydämen syketiheys on alhaisempi kuin termoneutraaleissa olosuhteissa. Ihmisen joutuessa hypotermiaan verenpaine, syketiheys ja minuuttitilavuus laskevat lineaarisesti ja progressiivisesti. Toisaalta syketiheys saattaa kohota kylmälähtötyön alkuvaiheessa johtuen sekä lihasvärinän aiheuttamista verenkierron lisätarpeista että osin sympaattisen hermoston stimulaatiosta.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin tarkoituksenmukaisen vaatetuksen avulla ylläpitämään kehon lämpötasapaino, eikä merkittävää tai merkitsevää kehon sisälämpötilan (T_{re}) laskua esiintynyt mittausten aikana. Erot elimistön sisälämpötilassa eri mittausten välillä olivat maksimissaan noin 1,6% (liite 3), mikä mahtuu yksilöllisen sisälämpötilan vaihtelun toleranssiin. Selittävänä tekijänä saattaakin olla lievä iholämpötilan (T_{sk}) lasku (liite 4), jota esiintyi 0°C ja -15°C tehdyissä kuormituksissa. Reed ym. (1989) mukaan kylmälähtötyön aiheuttama ihon lämpötilan lasku aikaansaa lisääntyneen noradrenaliinimäärän vaikutuksesta verenkierron heikkenemisen ja veren happisaturaation alenemisen. Mannino ja Washburn (1987) ovat osoittaneet, että erityisesti kasvojen kylmenemisellä on merkittävä vaikutus kardiovaskulaarisiin vasteisiin kylmässä. Tarkempaa kardiovaskulaarista perustelua havaitulle erolle sykkeen ja hapenkulutuksen tai ventilaation lisääntymisen välillä emme tutkimustulosten valossa pysty kuitenkaan esittämään.

Syketasoissa voidaan kuitenkin havaita selkeät erot, jotka ovat saman suuntaiset kuin hapenkulutuksella ja ventilaatiolla. Tämän perusteella voidaan

todeta, että jos hapenkulutuksen taso tiedetään termoneutraaleissa olosuhteissa, syketason kautta voidaan epäsuorasti arvioida hapenkulutuksen muutoksen suuntaa. Tällä on erityistä merkitystä toimintatutkimuksissa, joissa sykettä mittaamalla pyritään arvioimaan energiankulutuksen tasoa suorituksen aikana. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että aerobisilla kuormitustasoilla syketaso näyttää muuttuvan eri suhteessa kuin hapenkulutus, joten tarkkojen arvioiden tekeminen muodostuu hankalaksi. Vastaavanlaisia tuloksia ei tietojemme mukaan ole raportoitu. Tämän tutkimuksen tulosten valossa voidaan todeta, että arvioita ei voida määritellä kovinkaan tarkkaan ja tästä syystä syketason ja hapenkulutuksen välistä suhdetta tulisi jatkossa tutkia enemmän.

Mielenkiintoisina yksityiskohtina voidaan havaita 25% VO_2 max tasolla tehdyssä kuormituksessa 11 minuutin ja 36 minuutin kohdalla syketasossa piikit. Tämä voi selittyä sillä, että noina ajankohtina hengityskaasuanalysaattorin maski otettiin pois ja sen jälkeen kysyttiin kuormittuneisuuden kokeminen ja lämpötuntemukset. Todennäköisesti nämä häiriötekijät kohottivat hetkellisesti syketasoa. Alemmalla kuormitustasolla syketasot olivat niin alhaiset, että tämä on myös helpompaa havaita. Raskaammalla kuormitustasolla sykepiikit eivät olleet yhtä selkeästi havaittavissa.

7.3 Kuormittuneisuuden kokemus ja lämpötuntemukset

Tuloksista voidaan yleisesti todeta, että Borgin asteikon mukainen *kuormittuneisuuden kokeminen* näyttää noudattavan mittarista annettuja ohjeellisia sykearvoja; Borgin asteikolla annettu arvo on noin 1/10 syketasosta. Mielenkiintoista on kuitenkin havaita, että molemmilla kuormitustasoilla kuormittuneisuuden kokemus on 0°C:ssa alhaisempi kuin syketaso tai kahdessa muussa lämpötilassa saadut kuormittuneisuuden arvot antaisivat olettaa. Kyseiset arvot olivat selkeästi alhaisemmat kuin muissa suorituksissa. Kun

kuormittuneisuuden kokemusta tarkastellaan yhdessä lämpötuntemusten kanssa, voidaan havaita, että kyseisissä suorituksissa lämpötuntemusten arvot ovat myös kaikkein alhaisimmat. Tämän perusteella voitaisiin olettaa, että jäähtymisen tuntemuksella saattaa olla yhteyttä oletettua alhaisempaan kuormittuneisuuden kokemukseen. Tämän väitteen paikkaansa pitävyyden osoittaminen vaatii kuitenkin lisää tutkimuksia.

Käytännössä eroilla kuormittuneisuuden kokemisessa eri lämpötiloissa ei liene kuitenkaan keskeistä merkitystä, sillä erot olivat vähäiset. Kun huomioidaan se, että kyseessä on itsearviointiin, omiin tuntemuksiin perustuva mittari, voidaan virhemarginaali huomioiden todeta Borgin asteikon olevan käyttökelpoinen ja riittävän luotettava mittari aerobisissa pitkäkestoisissa suorituksissa. On kuitenkin perusteltua mitata myös lämpötuntemukset kuormittuneisuuden kokemusta mitattaessa, jotta mahdolliset virhelähteet voitaisiin tunnistaa ja ainakin osin eliminoida.

Lämpötuntemusten arvojen voidaan todeta noudattavan pääosin elimistön lämpösisällön (liite 5) mukaisia arvoja. Korkeimmaksi lämpötila koettiin 50% VO_2max kuormitustasolla 20°C:ssa tehdyssä suorituksessa. Kyseisessä suorituksessa iho- ja syvälämpötilojen perusteella laskettu kehon lämpösisältö oli myös suurin. Eniten jäähtymistä koettiin 25% VO_2max kuormitustasolla 0°C ja -15°C lämpötiloissa tehdyissä kuormituksissa, joissa kehon lämpösisältö ja iholämpötilat olivat myös alhaisimmat. 0°C:ssa jäähtyminen oli suurinta ja tämä voidaan havaita sekä lämpötuntemuksista, elimistön lämpösisällöstä (liite 5) että iholämpötiloista T_{sk} (liite 4). Elimistön sisälämpötilassa T_{re} (liite 3) ei kuitenkaan havaita merkittävää eroa suoritusten välillä. Tämän perusteella voidaan esittää olettamus, että kuormituksen aikainen lämpötuntemus saattaa perustua enemmän pinnallisten lämpöreseptoreiden tuottamaan informaatioon.

Frank ym. (1999) ovat todenneet, että nimenomaan ihon lämpötilan muutos on enemmän yhteydessä subjektiiviseen lämpötilan kokemiseen kuin autonomisiin

lämmönsäätelyjärjestelmiin. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat Frankin havaintoja jäähtymisen kokemisen suhteen. Lämpötuntemuksen mittaamiseen liittyy virhelähteitä, joita on vaikea eliminoida ilman että kehon eri osien lämpötilat mitataan absoluuttisesti. Tässä tutkimuksessa kävi selkeästi ilmi, että vaatetus, joka oli sopiva raskaammalla kuormitustasolla, ei ollut riittävä lämmöneristävyydeltään alhaisemmalla kuormitustasolla. Absoluuttisen mittaamisen avulla voidaan määritellä mahdollinen lämmön kertyminen tai poistuminen elimistöstä.

Hoffman & Pozos (1989) ovat todenneet, että subjektiiviset tuntemukset eivät välttämättä ole kovinkaan luotettava menetelmä arvioida elimistön jäähtymistä. Ihmisen kyky tunnistaa kylmää riippuu kehon tai kehonosan pintalämpötilasta. Ihmisen jäähtyminen saattaa olla suurempaa kuin subjektiiviset kylmätuntemukset antavat olettaa. Toisaalta nopeaan kehon tai kehonosan jäähtymiseen liittyy kylmätuntemuksen ylilyöntivaihe (overshooting) eli ihminen kokee elimistön jäähtymisen suurempana kuin se todellisuudessa on. Näin ollen kylmätuntemus voi olla huono tai voimakkaassa jäähtymisessä jopa vaarallinen menetelmä arvioida elimistön jäähtymistä.

Jäähtymisen kokemuksella saattaa olla merkitystä kuormittuneisuuden kokemuksen virhelähteenä. Toisaalta lämpötuntemuksen arviointiin liittyy virhelähteitä, joita on vaikea eliminoida ilman kehon eri osien lämpötilojen mittaamista. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että nämä virhelähteet on huomioitava erityisesti silloin, kun tehdään itsearviointiin perustuvia kuormittuneisuuden tai energiankulutuksen mittauksia.

7.4 Lähdemateriaalin arviointi

Viimeisen 10 vuoden aikana julkaistut kylmäaltistusta koskevat tutkimusraportit käsittelevät pääosin akklimatisoitumista, voimantuotto-ominaisuuksien

muutoksia, metabolista adaptoitumista, vaikutuksia verenkiertoelimistöön (esim. vasokonstriktio), lihasvärinää, aineenvaihduntaa sekä vaatetuksen ominaisuuksia. Vähäisemmälle huomiolle ovat jääneet kylmän aiheuttamat psyykkiset vaikutukset, energiankulutus vaetetulla ihmisellä, sensomotoriset vaikutukset, sekä vaikutukset eri sairauksissa.

Lähdemateriaaliin tutustuessamme kiinnitimme erityishuomiota tutkimusasetelmaan, käytettyihin tutkimusmenetelmiin, mittareihin, tutkimustulosten tulkintaan sekä niistä tehtyihin johtopäätöksiin. Pyrimme huomioimaan lähdemateriaalin valinnassa myös vastakkaiset tutkimustulokset ja kriittiset argumentit. Havaitimme, että osa tutkimuksista keskittyi niin suppeille aihealueille, että niiden merkitys tämän työn tavoitteiden kannalta oli vähäinen.

Olemme kuitenkin pyrkineet rakentamaan mahdollisimman johdonmukaisen kokonaisuuden lähdemateriaalin pohjalta. Pyrimme löytämään sisällöllisesti keskeisimmät aihealueet ja rakentamaan kokonaisvaltaisen kuvan ihmisestä kylmissä olosuhteissa. Kuvatut ilmiöt ja mekanismit ovat osin päällekkäisiä ja toisiinsa sisään rakentuneita, joten tämä aiheutti ongelmia niiden ryhmittelyssä ja jäsentelyssä.

7.5 Mittareiden ja mittausten luotettavuus

Tutkimuksessa käytettiin yleisesti tunnettuja ja laajalti käytössä olevia mittareita. Ennen mittaussarjan aloittamista mittarit huollettiin tarvittaessa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Jokaista mittauskertaa varten mittareiden kunto tarkastettiin ja ne kalibroitiin laitevalmistajan ja tutkimusprotokollan mukaisesti. Tällä tavalla varmistettiin mittareiden toimivuus ja luotettavuus mittaustilanteissa. Mittarit osoittautuivat tämän tutkimuksen suorittamiseen luotettaviksi ja tarpeisiin soveltuviksi. Mittaustapahtuman esivalmistelut, itse mittaustapahtuma sekä tulosten kirjaaminen ja laitteiden puhdistus tehtiin

jokaisella kerralla saman protokollan mukaan (Liite 6). Protokolla laadittiin pilottimittauksista saatujen kokemusten perusteella. Protokolla osoittautui toimivaksi ja luotettavaksi mittaustapahtumien vakioinnissa, ja sitä kautta myöskin laadun varmennuksessa.

Tutkimuksen kulku sujui pääosin suunnitelmien mukaan. Jouduimme tekemään ainoastaan pieniä muutoksia suunnitelmiin kylmälaboratorion suuren käyttökapasiteetin vuoksi. Koko mittaussarjan kulkua seurasimme mittauskalenterilla, missä näkyi myös jokaisen koehenkilön ohjelma. Mittausten järjestys satunnaistettiin, jotta vältettäisiin systemaattista virhettä.

Tutkimus toteutettiin suunnitelman mukaisesti ns. kylmänä vuodenaikana, joten kaikki koehenkilöt olivat adaptoituneet/akklimatisoituneet kylmiin olosuhteisiin. Shephardin (1985) mukaan akklimatisoituminen kylmälle tapahtuu ensisijaisesti insulatiivisen mekanismin kautta, mutta pitkäkestoinen altistus aiheuttaa myös humoraalisia muutoksia kuten noradrenaliini- ja tyroksiinitason kohoamista. Tästä syystä valitsimme mittausten ajankohdaksi kylmän vuodenajan, jolloin kaikki koehenkilöt olivat akklimatisoituneet kylmiin olosuhteisiin. Koehenkilöt testattiin pääsääntöisesti aina samaan aikaan vuorokaudesta, jolloin pystyttiin välttämään elimistön vuorokausirytmien aiheuttamia muutoksia elimistön lämpötilassa ja toiminnassa, ja näin ollen vähentämään virhelähteitä.

7.6 Tulosten merkitys ja tulevaisuuden haasteet

Kylmää ja kylmäältistumista käsitteleviä tutkimuksia on runsaasti ja niistä saatuja tuloksia on sovellettu lähinnä puolustusvoimien ja retkikuntien vaatetuksen kehittämisessä, NBC-suojavaatetuksen sekä siviileille tarkoitetun talvivaatetuksen kehittämisessä vaateteollisuuden parissa. Elintarvike- ja rakennusteollisuuden parissa on viimeisten vuosien aikana pyritty vähentämään kylmäältistuksesta aiheutuvia riskitekijöitä ja hyödynnetty tutkimustuloksia juuri

työturvallisuuden kehittämiseksi. Vähäisempää huomiota kylmäaltistuksen aiheuttamiin riskitekijöihin on kiinnitetty terveydenhuollossa, yleisemmin työturvallisuuden kehittämistyössä sekä vapaa-ajansektoreilla, kuten matkailussa.

Tässä työssä on pyritty tarkastelemaan kylmäaltistuksen ja vaatetuksen aiheuttamia käytännön vaikutuksia ihmisen fyysiseen suorituskykyyn. Tulevaisuuden haasteena onkin juuri tutkimustiedon soveltamisessa käytäntöön, erityisesti työterveyshuollon tarpeisiin, työturvallisuuden kehittämiseen ja kylmäaltistuksen aiheuttamien vaaratekijöiden vähentämiseen vapaa-ajan aktiviteeteissä. Koska kylmä koskettaa suurta osaa suomalaisista, on perusteltua tuottaa tutkimustiedon lisäksi myös koulutusmateriaalia. Tämän Pro gradu-tutkielman eräs mahdollinen funktio on myös toimia koulutusmateriaalina, erityisesti työterveyshuollossa työskenteleville terveydenhuollon ammattilaisille.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että olisi tärkeää tutkia vaatetetun ihmisen energiankulutuksen muutoksia eri lämpötiloissa, eri kuormitustapojen ja -tasojen sekä muiden ympäristöstä aiheutuvien kuormitustekijöiden suhteen. Esimerkiksi pyöräiltäessä kylmissä olosuhteissa vaatetuksen massan lisääntymisen vaikutus energiankulutukseen lienee suhteellisen vähäinen, koska työskentely painovoimaa vastaan on vähäisempää kuin kävelyssä. Pyöräilyssä vaatetuksen kitkan sekä pyörän renkaiden jäykkyyden lisääntyminen (vierintävastus) alhaisessa lämpötilassa lisäävät energian tarvetta. Toisaalta pyöräiltäessä lihastyö on paikallista (alaraajat), joten inaktiiviset alueet (vartalo ja yläraajat) eivät tuota lämpöä ja kylmäaltistuksessa jäähtyminen on todennäköisempää näillä alueilla. Esimerkiksi hiihdossa, jossa suurin osa kehon lihasmassasta työskentelee aktiivisesti, lämmöntuotanto jakautuu huomattavasti tasaisemmin. Se, mitä nämä erot vaikuttavat energiankulutukseen, on tulevaisuuden tutkimuksen haaste.

7.7 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa hapenkulutuksen ja ventilaation muutokset olivat yhdenmukaisia. Ne lisääntyivät keskimäärin 3,3% vaatetuksen painokiloa kohden. Hapenkulutus ja ventilaatio lisääntyvät merkitsevästi ympäristön lämpötilan laskiessa, sekä vaatetuksen painon ja kitkan lisääntyessä. Syketaso ei kohonnut prosentuaalisesti yhtä voimakkaasti, mutta muutos oli merkitsevä. Syketaso kohosi 25% VO₂max kuormituksessa 1% ja 50% VO₂max kuormituksessa 2,3% (vaatetuksen painokiloa kohden. Kuormittuneisuuden kokemus ei noudattanut näitä fysiologisia muutoksia. Lämpötuntemusten merkitys virhelähteenä saattaa olla selittävä tekijä. Tapauksissa, joissa lämpötuntemus oli alhaisin, myös kuormittuneisuuden kokemus oli alhaisin. 25% VO₂max tasolla 0°C ja -15°C:ssa tehdyissä suorituksissa esiintyi lievää jäähtymistä ja jäähtymisen tuntemusta. Kuormittuneisuuden kokemuksessa oli näissä tilanteissa alhaisimmat arvot. 50% VO₂max kuormitustasolla kuormittuneisuuden kokemuksessa ja lämpötuntemuksissa ei esiintynyt merkitsevää eroa.

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aikaisemmin julkaistuja havaintoja lievän jäähtymisen positiivisista vaikutuksista suorituskykyyn. Em. perusteella esimerkiksi epäsuorissa fyysisen aktiivisuuden mittauksissa ja arvioinneissa tulisi huomioida ainakin ympäristön lämpötila, kuormitustaso, vaatetuksen määrä ja mahdollinen jäähtyminen, jotta arvion virhelähteet voitaisiin minimoida.

LÄHTEET

Anttonen H, Vuori E: Sotilasvaatetus ja sen kehittäminen. Vaasa: Ykkös-Offset Oy, 1995.

Bakkevig M, Nielsen R: The Impact of Activity Level on Sweat Accumulation and Thermal Comfort Using Different Underwear. *Ergonomics* vol.38 (5): 926-939, 1995.

Berg U: Human Power at Subnormal Body Temperatures. *Acta Physiologica Scandinavica (Suppl)* 478: 1-39,1980.

Berg U, Ekblom B: Physical Performance and Peak Aerobic Power at Different Body Temperatures. *Journal of Applied Physiology* vol. 46: 885-889, 1979.

Blomstrand E, Bergh U, Essen-Gustavsson B, Ekblom B: Influence of Low Muscle Metabolism During Intense Dynamic Exercise. *Acta Physiologica Scandinavica (Stockholm)* vol. 120 (2): 229-236, 1984.

Bluestein M: An Evaluation of the Wind Chill Factor: its development and applicability. *Journal of Biomechanical Engineering* vol. 120 (2): 255-258, 1998.

Boutcher SH, Maw GJ, Taylor NAS: Forehead Skin Temperature and Thermal Sensation During Exercise in Cold and Thermoneutral Environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 66 (11): 1058-1062, 1995.

Bundschuh EL, Clarke DH: Muscle Response to Maximal Fatiguing Exercise in Cold Water. *American Corrective Therapy Journal* vol. 36 (3): 82-87, 1982.

Chapman KR, Allen LJ, Romet TT: Pulmonary Function in Normal Subjects Following Exercise at Cold Ambient Temperatures. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 60 (3): 228-232, 1990.

Clarke DH, Stelmach GE: Muscular Fatigue and Recovery Curve Parameters at Various Temperatures. *Research Quarterly* vol. 37 (4): 468-479, 1966.

Clarke RSJ, Hellon RF, Lind AR: The Duration of Sustained Contractions of the Human Forearm at Different muscle Temperatures. *Journal of Physiology* vol. 143: 454-473, 1958.

Collins KJ: Cold stress and cardiovascular reactions. *Teoksessa Problems with cold work* (Ed. Holmér I, Kuklane K). *Arbete och hälsa, vetenskaplig skriftserie* (18). Solna, Sverige 1998.

Cornwall M: Effect of temperature on muscle force and rate of muscle force production in men and women. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* vol. 20: 74-80, 1994.

Daanen HAM, Ducharme MB: Finger Cold-Induced Vasodilatation During Mild Hypothermia, Hyperthermia and at Thermoneutrality. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 70 (12): 1206-1210, 1999.

Daanen HA, Van de Linde FJ, Romet TT, Ducharme MB: The Effect of Body Temperature on the Hunting Response on the Middle Finger Skin Temperature. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 76 (6): 538-543, 1997.

Doubt TJ: Physiology of Exercise in the Cold (Review). *Sports Medicine* vol. 11 (6): 367-381, 1991.

Downey JA, Myers SJ, Gonzales EG, Lieberman JS: The Physiological Basis of Rehabilitation Medicine. Second edition. Stoneham, USA: Butterworth-Heinemann, 1994.

Ellis HD: The Effects of Cold on The Performance of Serial Choice Reaction Time and Various Discrete Tasks. *Human Factors* vol. 24 (5): 589-598, 1982.

Ellis HD, Wilcock SE, Zaman SA: Cold and Performance: Effects of Information Load, Analgesics, and the Rate of Cooling. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 56 (3): 233-237, 1985.

Enander A : Sensory Reactions and Performance in Moderate Cold. *Arbete och Hälsa. Vetenskaplig Skriftserie* 1986: 32. Arbetarskyddsstyrelsen, Solna.

Enander A: Effects of Moderate Cold on Performance of Psychomotor and Cognitive Tasks. *Ergonomics* vol. 30 (10): 1431-1445, 1987.

Ferretti G, Ishii M, Moia C, Cerretelli P: Effects of Temperature on the Maximal Instantaneous Muscle Power of Humans. *European Journal of Applied Physiology* vol. 64: 112-116, 1992.

Frank SM, Raja SN, Bulcao CF, Goldstein DS: Relative Contribution of Core and Cutaneous Temperatures to Thermal Comfort and Autonomic Responses in Humans. *Journal of Applied Physiology* vol. 86 (5): 1588-1593, 1999.

Gavhed D, Holmér I: Physiological and Subjective Responses to Thermal Transients of Exercising Subjects Dressed in Cold-Protective Clothing. *European Journal of Applied Physiology* vol. 73: 573-581, 1996.

Gavhead DCE, Nielsen R, Holmér I: Thermoregulatory and Subjective Responses of Clothed Men in the Cold During Continuous and Intermittent Exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 63 (1): 29-35, 1991.

Geng Q, Kuklane K, Holmér I: Tactile Sensivity of Gloved Hands in the Cold Operation. *Applied Human Science* vol. 16 (6): 229-236, 1997.

Griefahn B, Forsthoff A: Technical note. Comparison Between Estimated Worn Clothing Insulation and Required Calculated Clothing Insulation in Moderately Cold Environments ($0 \text{ degree C} \leq t_a \leq +15 \text{ degrees C}$). *Applied Ergonomics* vol. 28 (4): 295-299, 1997.

Guyton A, Hall J: *Text Book of Medical Physiology*. Ninth Edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1996.

Ha M, Tokura H, Tanaka Y, Holmér I: Effects of Two Kinds of Underwear on Thermophysiological Responses and Clothing Microclimate During 30 min Walking and 60 min Recovery in the Cold. *Applied Human Science* vol. 15 (1): 33-39, 1996.

Ha M, Tokura H, Gotoh J, Holmér I: Effects of Two Kinds of Underwear on Metabolic Heat Production During 60 min Recovery After 30 min Severe Exercise in the Cold. *Applied Human Science* vol. 17 (5): 173-179, 1998.

Hartung G, Myhre L, Nunneley S: Physiological Effects of Cold Air Inhalation During Exercise. *Aviation, Space & Environmental Medicine* vol. 51: 591-594, 1980.

Haymes EM, Dickinson AL, Malville N, Ross RW: Effects of Wind on the Thermal and Metabolic Responses to Exercise in the Cold. *Medicine and Science in Sports and Exercise* vol. 14 (1): 41-45, 1982.

Haymes EM, Wells CL: *Environment and Human Performance*. Champaign IL: Human Kinetics Publishers Inc., 1986.

Hoffman RG, Pozos RS: Experimental Hypothermia and Cold Perception. *Aviation, Space & Environmental Medicine* vol. 60: 964-969, 1989.

Holmér I, Gavhed DCE: Resultant Clothing Insulation During Exercise in the Cold. *Arctic Medical Research* vol. 50 (suppl. 6): 94-98, 1991.

Jacobs I, Romet TT, Kerrigan-Brown D: Muscle Glycogen Depletion During Exercise at 9°C and 21°C. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 54 (1): 35-39, 1985.

Jones B, Knapik J, Daniels W, Toner M: The energy cost of women walking and running in shoes and boots. *Ergonomics* vol. 29: 439-443, 1986.

Kaikkonen H: Kylmän ympäristön vaikutus fyysiseen suorituskäyttöön kestävyysjuoksussa. Pro Gradu-työ. Jyväskylän yliopisto, 1995.

Kent M: *Oxford Dictionary of Sports Science & Medicine. Second Edition.* New York: Oxford University Press Inc., 1998. 18-483.

Kruk B, Pekkarinen H, Manninen K, Hänninen O: Comparison in Men of Physiological Responses to Exercise of Increasing Intensity at Low and Moderate Ambient Temperatures. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 62 (5): 353-357, 1991.

Lange Andersen K, Masironi R, Rutenfranz J, Seliger V: *Habitual Physical Activity and Health.* WHO Regional Publications, European Series No.6 Regional Office for Europe. Copenhagen, 1978. 62-67.

Mannino JA, Washburn RA: Cardiovascular Responses to Moderate Facial Cooling in Men and Women. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 58 (1): 29-33, 1987.

McArdle WD, Katch FI, Katch VL: Exercise Physiology; Energy, Nutrition, and Human Performance. Fourth Edition. USA: Lea & Febiger, 1996.

Mäkinen T, Hassi J, Tervaskanto-Mäentausta T, Maunu M-L: Suomalaisen kylmäopas; Rati riti ralla- tuli talvi halla. Helsinki: Työterveyslaitos, 1999.

Mälkiä E: MET Based Questionnaire for the Study of Physical Activity. Teoksessa Utvalda Artiklar från det Tredje Nordiska Forskningssymposiet i Fysioterapi. Jyväskylä: Painoporras Oy, 1996.

Nunneley SA: Heat Stress in Protective Clothing. Scandinavian Journal of Work, Environment, and Health vol. 15 (suppl. 1): 52-57, 1989.

Oksa J, Rintamäki H, Mäkinen T, Hassi J, Rusko H: Cooling-Induced Changes in Muscular Performance and EMG Activity of Agonist and Antagonist Muscles. Aviation, Space, and Environmental Medicine vol. 66 (1): 26-31 1995.

Oksa J, Rintamäki H, Rissanen S: Recovery of Muscular Performance by Rewarming Exercise in the Cold. Human Movement Sciences vol. 15 (4): 591-603, 1996.

Oksa J, Rintamäki H, Rissanen S: Muscle Performance and Electromyogram Activity of the Lower Leg Muscles With Different Levels of Cold Exposure. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology vol. 75 (6): 484-490, 1997.

Oksa J: Cooling and Neuromuscular Performance in Man. Studies in Sport, Physical Education and Health 53. University of Jyväskylä, 1998.

Oliver RA, Johnson DJ, Wheelhouse WW, Griffin PP: Isometric muscle contraction response during recovery from reduced intramuscular temperature. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation vol. 60: 126-129, 1979.

Ozaki H, Enomoto-Koshimizu H, Tochiyama Y, Nakamura K: Thermal Responses From Repeated Exposure to Severe Cold With Intermittent Warmer Temperatures. *Applied Human Science* vol. 17 (5): 195-205, 1998.

Pandolf K, Sawka M, Gonzalez R: *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Benchmark Pres, 1988.

Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA: Effect of Ambient Temperature on Human Skeletal Muscle Metabolism During Fatiguing Submaximal Exercise. *Journal of Applied Physiology* vol. 86 (3): 902-908, 1999.

Parsons KC: *The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*. Basingstoke, Great Britain: Burgess Science Press, 1993.

Petrofsky JS: Frequency and Amplitude Analysis of the EMG Analysis During Exercise on the Bicycle Ergometer. *European Journal of Applied Physiology* vol. 41: 1-15, 1979.

Petrofsky JS, Phillips CA: The physiology of static exercise. *Exercise & Sports Sciences Reviews* vol. 14: 1-44, 1986.

Reed HL, Pepper S, Armstrong D, Von Tersch J, Lewis SB: Oxygen Saturation of Brachial Venous Blood Correlates With Fingertip Temperatures Between 11 and 39°C. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 60: 1068-1071, 1989.

Rissanen S, Rintamäki H: Thermal Responses and Physiological Strain in Men Wearing Impermeable and Semipermeable Protective Clothing in the Cold. *Ergonomics* vol. 40 (2): 141-150, 1997.

Sargeant AJ: Effect of Muscle Temperature on Leg Extension Force and Short-Term Power Output in Humans. *European Journal of Applied Physiology* vol. 56: 693-698, 1987.

Savourey G, Bittel J: Thermoregulatory Changes in the Cold Induced by Physical Training in Humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* vol. 78 (59): 379-384, 1998.

Shephard RJ: Adaptation to Exercise in the Cold. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* vol. 2 (1): 59-71, 1985.

Shephard RJ: Metabolic Adaptations to Exercise in the Cold (Review). *Sports Medicine* vol. 16 (4): 266-289, 1993.

Shephard RJ, Martineau L: *Activite Physique et Adaptation Aux Environnements Froids. (Physical activity and adapting to cold environments).* *Cinesiologie* vol. 27 (121): 251-259, 1988.

Shephard RJ, Åstrand P-O (edit.): *Endurance in Sport.* Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1993.

Shiojiri T, Shibasaki M, Aoki K, Kondo N, Koga S: Effects of Reduced Muscle Temperature on the Oxygen Uptake Kinetics at the Start of Exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* vol. 159 (4): 327-333, 1997.

Thomas JR, Ahlers ST, House JF, Schrot J, Van Orden KF, Winsborough MM, Hesslink RL(Jr), Lewis SB: Adrenergic Responses to Cognitive Activity in a Cold Environment. *Journal of Applied Physiology* vol. 68 (3): 962-966, 1990.

Timmons BA, Araujo J, Thomas TR: Fat Utilization Enhanced by Exercise in a Cold Environment. *Medicine and Science in Sports and Exercise* vol. 17 (6): 673-678, 1985.

Tunstall H, Mullineaux DR, Bartlett RM, Winter EM: Effect of Boot Mass on Psychophysiological Responses to Treadmill Walking. 5th Annual Congress of the European College of Sport Science. 754, Jyväskylä 2000.

Van Orden KF, Ahlers ST, Thomas JR, House JF, Schrot J: Moderate Cold Exposure Shortens Evoked Potential Latencies in Humans. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 61 (7): 636-639, 1990.

Vincent MJ, Tipton MJ: The Effects of Cold Immersion and Hand Protection on Grip Strength. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol. 59 (8): 738-741, 1988.

Virokannas H: Thermal Responses to Light, Moderate and Heavy Daily Outdoor Work in Cold Weather. *European Journal of Applied Physiology* vol. 72: 483-489, 1996.

Virokannas H, Anttonen H: Body Heat Balance Reflected by Skin Temperature on the Hand in Light and Heavy Work in Cold Condition. *Arch Complex Environ Studies* vol. 5: 91-95, 1994.

Weller AS, Millard CE, Stroud MA, Greenhaff PL, Macdonald IA: Physiological Responses to a Cold, Wet, and Windy Environment During Prolonged Intermittent Walking. *American Journal of Physiology* vol. 272 (1 Pt 2): 226-233, 1997.

Wilmore JH, Costill DL: *Physiology of Sport and Exercise*. USA: Bang Printing, 1994.

Yoshida T, Nagashima K, Nakai S, Yorimoto A, Kawabata T, Morimoto T: Nonshivering Thermoregulatory Responses in Trained Athletes: effects of physical fitness and body fat. *Japanese Journal of Physiology* vol. 48 (2): 143-148, 1998.

Zachariassen KE: Hypothermia and Cellular Physiology. Arctic Medical Research vol. 50 (suppl. 6): 13-17, 1991.

Åstrand P-O, Rodal K: Textbook of work physiology. Physiological base of exercise. Third edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1986. 371-645.

KOETTU KUORMITTUNEISUUS

Mikä luku mielestänne parhaiten vastaa juuri tällä hetkellä tuntemaanne kuormittumista?

Koetun kuormittuneisuuden asteikko

6

7 **ERITTÄIN KEVYT**

8

9 **HYVIN KEVYT**

10

11 **KEVYT**

12

13 **HIEMAN RASITTAVA**

14

15 **RASITTAVA**

16

17 **HYVIN RASITTAVA**

18

19 **ERITTÄIN RASITTAVA**

20

LÄMPÖTUNTEMUS

+4 ERITTÄIN KUUMA

+3 KUUMA

+2 LÄMMIN

+1 HIEMAN LÄMMIN

0 NEUTRAALI

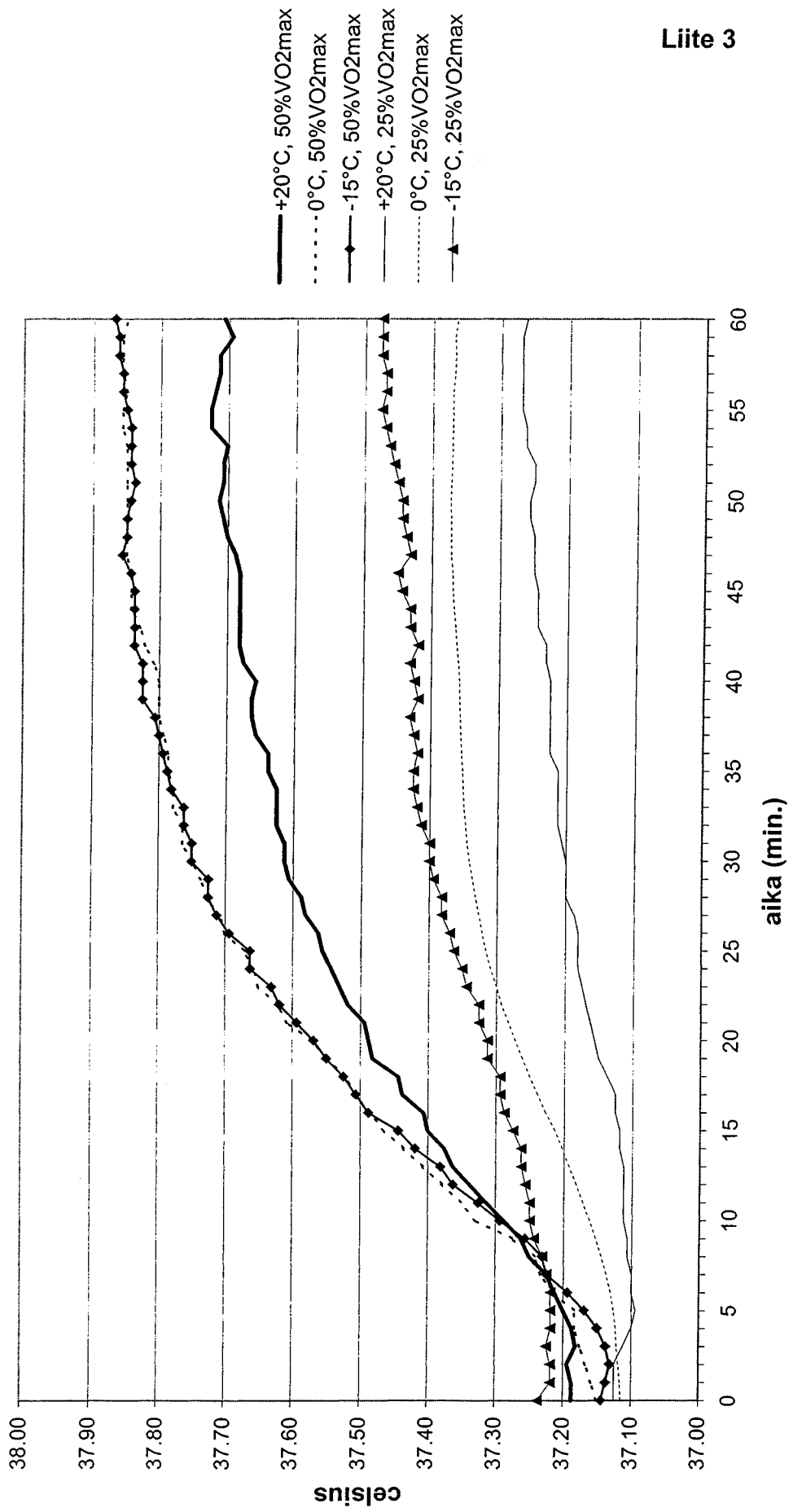
-1 HIEMAN VIILEÄ

-2 VIILEÄ

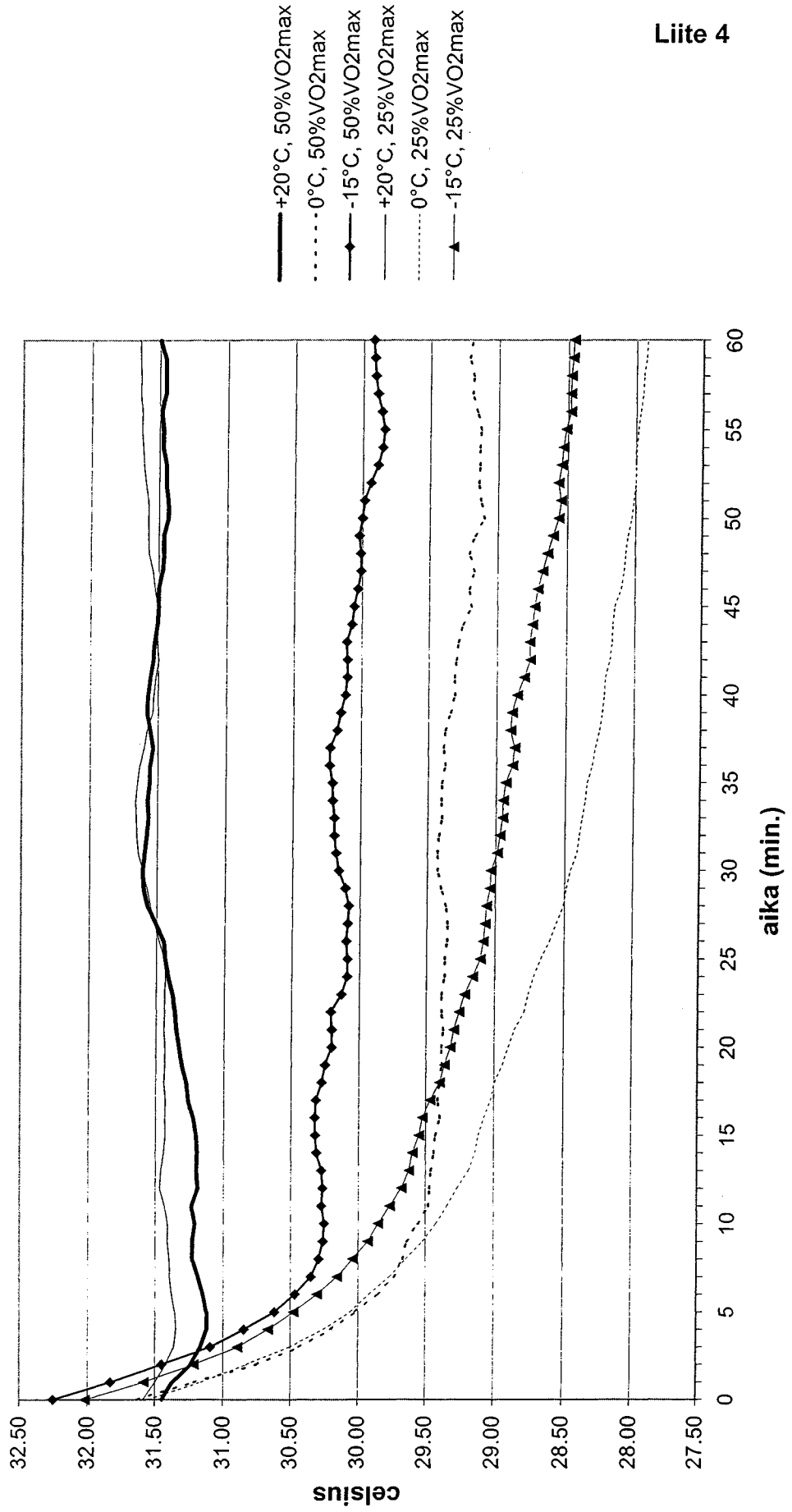
-3 KYLMÄ

-4 ERITTÄIN KYLMÄ

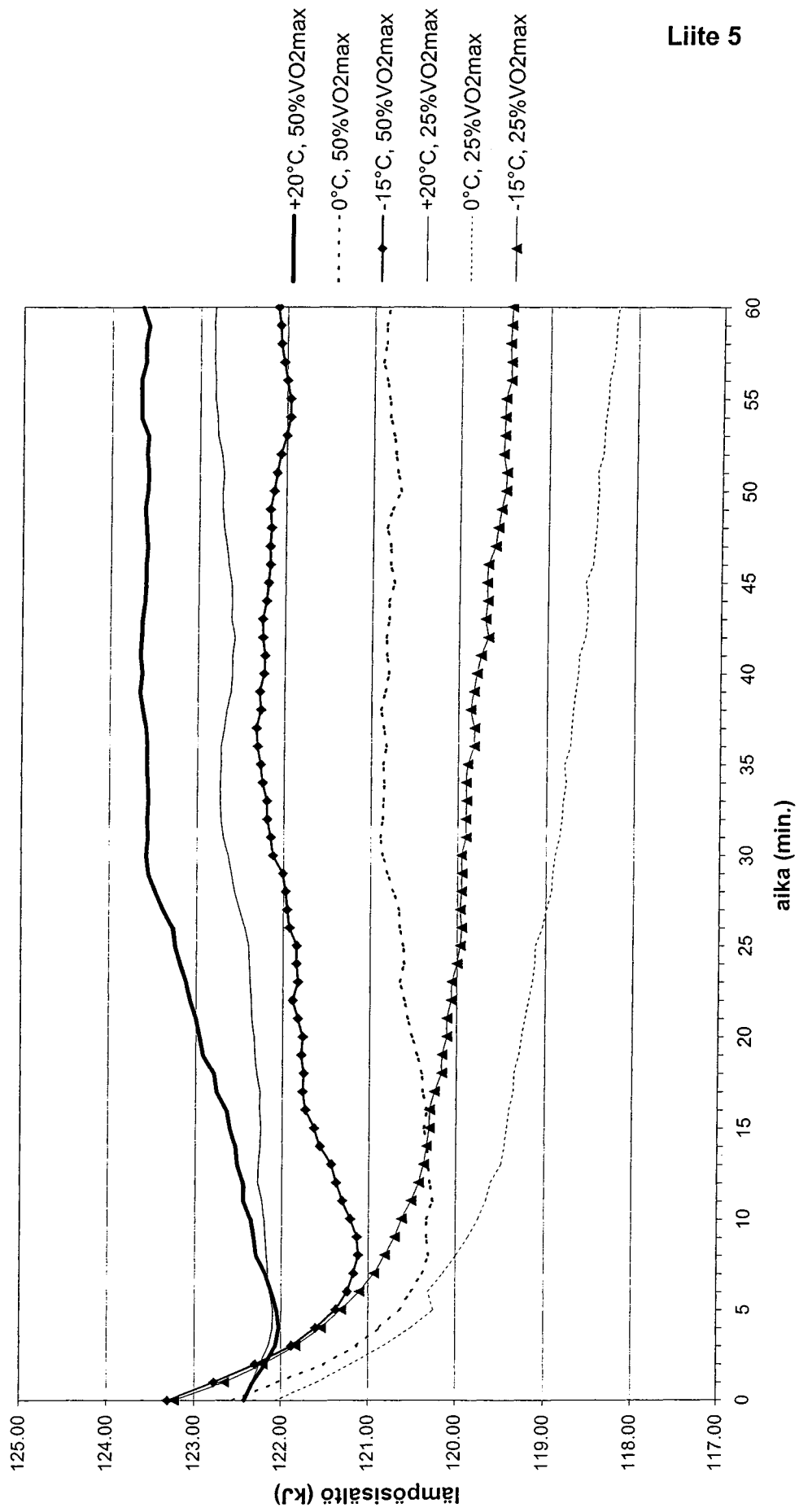
T_{re} 60 minuutin kuormituksessa



T_{sk} 60 minuutin kuormituksessa



Lämpösisältö 60 minuutin kuormituksessa



Mittausprotokolla: ”Kylmäaltistuksen ja vaatetuksen vaikutus aerobisen kuormituksen aikana.”

Esivalmistelut:

- Ergospirometri siirretään oikeaan paikkaan ja virta tunnin päällä, kalibrointi vähintään 30 min. ennen mittausta.
- Kammion lämpötilan tarkastus.
- Koehenkilön taustatietoihin perehtyminen.
- Koehenkilön vaatteet esille valmiiksi (tutkimusasetelman mukaan).
- Vaatteiden punnitus ja kirjaaminen.
- EMG-laitteen asetusten asettaminen, tarvittavat elektrodit ja johdot esille sekä laitteen toimintakunnon tarkastus.
- Sykemittarien asetusten asettaminen (2 kelloa) ja laitteiden toimintakunnon tarkastus.
- Squirrelin muistin tyhjennys, pattereiden tarkastus, johtojen/antureiden esille otto ja tarkastus.
- Teipit, partaterät, desinfiointitarpeet, kynät ja sekundaattori valmiiksi.
- Hengityslakujen ja Y-kappaleen tarkastus ja omille paikoilleen.
- Testauslomakkeet omille paikoilleen, lämpöuntemuksen ja kuormittuneisuuden asteikot valmiiksi esille kammioon.
- Squirrelille pöytä kammioon.

Koehenkilön tullessa sisään:

- Ohjataan pukuhuoneeseen ja annetaan rektaalianturi, ohjataan anturin asentaminen ja pyydetään tulemaan pikkuhoususillaan antureiden asennukseen ja esimittauksiin.
- Varmistetaan taustatiedot: pituus, ikä, terveys, muuta tarpeellista.
- Punnitetaan tarvittavilta osin vielä vaatekappaleet: kengät tms.
- Punnitetaan koehenkilön alastonpaino.
- EMG- ja lämpöantureiden paikat ajetaan karvattomiksi ja desinfioidaan.
- Asennetaan sykemittari, erityisesti lähetin.

Antureiden asentaminen:

- Asennetaan lämpöanturit yksi kerrallaan numerojärjestyksessä ihon pinnalle. Järjestys: 1) rektaali 2) poski 3) rinta 4) selkä 5) kyynärvarsi 6) etureisi 7) pohje 8) jalkapöytä. Huomioi teippivarmistukset.
- Asennetaan EMG-anturit: 1) m. rectus femoris 2) m. biceps femoris 3) m. tibialis anterior 4) m. gastrocnemius
- Merkkaa antureiden paikat tussilla.
- Varmista esivahvistimien kiinnitys teipillä.
- Johdot otetaan ulos vyötäröaukosta, joten yhdistetään johdot sen mukaisesti. Niputetaan johdot yhteen. Huomioi, etteivät johdot saa kiristää!
- Huomioi, että johdot tulevat ulos vyötäröaukosta.
- Koehenkilön tulee kokeilla reiluin liikeradoin, ettei mikään johto tms. kiristä.

Pukeutuminen: (tapahtuu esivalmisteluhuoneessa)

- Ensin alusvaateetus päälle varoen antureita. Vyötärön kohdalta johdot ulos.
- Kiinnitetään EMG-mittalaite vyötärölle kantolaukulla ja käynnistetään.
- Puetaan loput vaatteet tutkimusasetelman mukaisesti.
- Koehenkilön tulee kokeilla reiluin liikeradoin, ettei mikään johto tms. kiristä.
- Kiinnitetään johdot mittalaitteisiin, tarvittaessa niputetaan johdot.
- Punnitaan paino vaetetettuna ja piuhoitettuna.
- Siirtymäinen kammioihin.

Etuhuoneessa:

- Varmistetaan koehenkilöltä, että hän tietää, mitä seuraavan reilun tunnin aikana tapahtuu ja että hän on valmis suoritusta varten.
- Varmistetaan koehenkilöltä henkilötiedot ja tulostetaan ergospirometrimittausta varten.
- Käynnistetään lämpömittari (Squirrel).

Kammiossa:

- Koehenkilö menee juoksumatolle ja asennetaan ergospirometrin suokappale suuhun, nipsu nenaan ja sykemittarit käyntiin.
- Käynnistetään ergospirometrimittaus 30 sek. sykemittareiden käynnistyttyä.
- Laitetaan matto pyörimään 30 sek. kuluttua ergospirometrimittauksen alettua ja koehenkilö aloittaa suorituksensa.
- Käynnistetään sekundaattori.

	0 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.	35 min.	40 min.	45 min.	50 min.	55 min.	60 min.
-mittalaitteet käyntiin		-1. sykemittari pois	-ergospiromittaus loppu	-kuormittav., lämpötuntem.		-ergospiromittaus alkaa					-ergospiromittaus alkaa		
-ergospiromittaus alkaa		-pura jos ehdit	-tulosta tulokset					-ergospiromittaus loppu tulokset					-tulosta tulokset
-kuormittavuus ja lämpötuntem. (1. min.)								-kuormittav., lämpötuntem.					-kuormittav., lämpötuntem.

Suorituksen jälkeen:

- Sammuuta ergospirometri, sykemittari, lämpötilamittari.
- Koehenkilö punnitaan vaateetuna ja sen jälkeen jokainen vaatekappale punnitaan erikseen.
- Sammuuta EMG ja irrota anturit varovaisesti, puhdista ja desinifoi. Koehenkilö puhdistaa rektaalianturin.
- Punnitaan alastonpaino. Koehenkilö on vapaa pukeutumaan ja poisiähtöön.
- Puretaan mittaustulokset: syke, EMG, Squirrel
- Puhdista ergospirometri ja muut mittalaitteet. Laita ne omille paikoilleen.
- Tallenna tiedot levykkeelle ja arkistoi tulokset kansioon.