

**FYYSISEN KUNNON JA KEHONKOOSTUMUKSEN YHTEYDET KEHON
SYVÄLÄMPÖÖN PALOMIEHEN TYÖNOMAISESSA SUORITUKSESSA**

Ville Malila

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2018

Ohjaajat:

Vesa Linnamo

Juha Oksa

TIIVISTELMÄ

Malila, V. 2018. Fyysisen kunnan ja kehonkoostumuksen yhteydet kehon syvälämpöön palomiehen työnomaisessa suorituksessa. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian pro gradu- tutkielma. 63 s., 2 liitettä.

Fyysisesti raskainta palomiehen työtehtävistä on savusukellus- ja raivaustehtävä. Se aiheuttaa suuret vaatimukset hengitys- ja verenkiertoelimistölle ja kuormittuneisuus voi ylittää lähelle maksimaalista hapenkulutusta (VO_{2max}). Lisäksi joudutaan kantamaan ja käsittelemään raskaita taakkoja, jolloin lihaksisto ja muut liikuntaelimet joutuvat kovaan rasitukseen. Käytettävä monikerrosvaatetus ja muut suojarusteet suojaavat ulkoiselta kuumuudelta, mutta voi aiheuttaa ylikuormitusta kehon syvälämmön noustessa. Syvälämmön voimakkaasta noususta voi seurata lämpöuupumus tai jopa lämpöhalvaus. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada selville korreloiko kehon syvälämpö kuntotekijöiden ja kehonkoostumuksen kanssa savusukellus- ja raivaustehtävää kuvaavassa työnomaisessa suorituksessa. Näin yksittäinen palomies saisi mahdollisesti tietoa mitä fyysisiä ominaisuuksia kannattaisi pyrkiä parantamaan estääkseen liiallinen syvälämmön nousu oikeassa pelastustehtävässä. Poikkeuksena aiempiin tutkimuksiin, tässä tutkimuksessa esimerkiksi kestävyys- ja suorituskyvyn (VO_{2max}) yhteyttä syvälämpöön tarkasteltiin myös muita fyysisiä ominaisuuksia vaativan työnomaisen suorituksen kanssa. Lisäksi paksun vaatetuksen merkitystä syvälämpöön tarkasteltiin.

Tutkimukseen osallistui 10 tervettä ja vapaaehtoista palomiestä (28 – 47 v.). Aluksi koehenkilöille suoritettiin kehonkoostumusmittaus, josta selvitettiin kehon rasvaprosentti sekä lihaksikkeudesta kertova FFMI (fat-free mass index). Tämän jälkeen koehenkilöt suorittivat 42 minuuttia kestäneen, savusukellus- ja raivaustehtävää kuvaavan työtestiradan sekä täydessä savusukellusvarustuksessa, että kevyessä urheiluvaatetuksessa paineilmalaitetta käyttäen. Työtestien aikana koehenkilöiltä mitattiin kehon syvälämpöä peräsuolesta ja sykettä. Koehenkilöiden kestävyyskunto (VO_{2max}) mitattiin suoralla maksimaalisella polkupyöräergometristillä sekä lihasvoima ja -kestävyys neljä eri liikettä sisältäneellä lihaskuntotestillä. Kestävyyskunnan ja lihaskunnan perusteella koehenkilöille määritettiin nämä fyysiset ominaisuudet yhdistävä FireFit- indeksi. Jokaisen eri suorituskykymittauksen välillä koehenkilöillä oli vähintään neljä vuorokautta palautumisaikaa.

Tutkimuksen päätuloksena oli, että kuntotekijät ja kehonkoostumus eivät korreloineet kehon syvälämpöön täydessä savusukellusvarustuksessa suoritettussa savusukellus- ja raivaustehtävää kuvaavassa suorituksessa. Kestävyyskunnan ja lihaskunnan yhdistävä FireFit- indeksi korreloi negatiivisesti syvälämmön kanssa ($r = -0,939$, $p = 0,005$), mutta vain kevyessä vaatetuksessa tehdyssä suorituksessa eikä tuloksesta voida tämän vuoksi vetää johtopäätöksiä oikeisiin työtehtäviin. Kehon syvälämpö ennen työtestiä (lepolämpö) korreloi maksimimaalisen syvälämmön kanssa sekä täydessä savusukellusvarustuksessa ($r = 0,646$, $p = 0,044$), että kevyessä vaatetuksessa ($r = 0,743$, $p = 0,035$). Myös maksimaaliset syvälämmöt kevyessä ja täydessä varustuksessa korreloivat keskenään ($r = 0,802$, $p = 0,017$). Täydessä savusukellusvarustuksessa syvälämpö nousi testin aikana noin 40 % enemmän ($1,4 \pm 0,2$ °C vs $1,0 \pm 0,1$ °C) ja testin aikainen keskisyke oli noin 20 % suurempi (153 ± 11 bpm vs 128 ± 15 bpm) kuin kevyessä vaatetuksessa. Tutkimuksen perusteella huonompi fyysinen kunto, suurempi rasvaprosentti tai lihaksikkuus eivät ole yhteydessä voimakkaampaan syvälämmön nousuun oikeassa savusukellus- ja raivaustehtävässä. Syvälämpö työtehtävään lähettäessä on kuitenkin yhteydessä siihen, kuinka korkealle ja nopeasti syvälämpö nousee. Palomiehen tulisikin pyrkiä pitämään keho viileänä, jotta lämpöuupumuksen todennäköisyys olisi mahdollisimman pieni oikeassa tehtävässä.

Asiasanat: palomies, syvälämpö, kestävyyskunto, lihaskunto, kehonkoostumus

ABSTRACT

Malila, V. 2018. Correlations of physical fitness and body composition with core temperature in a firefighter's work-like performance. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's Thesis in Exercise Physiology. 63 p., 2 appendices.

Physically hardest firefighter's task is smoke diving. It causes high demands on the respiratory and circulatory system and the stress can reach close to maximum oxygen consumption (VO_{2max}). In addition, heavy loads must be carried and handled, whereby muscles and other movement organs get heavily stressed. The multi-layered clothing and other protective equipment are used to protect against external heat but can cause overload as the core temperature rises. A substantial rise in the core temperature might cause heat exhaustion or even heat stroke. The aim of the study was to find out does core temperature in a smoke diving job correlate with the firefighter's fitness factors and the body composition. Then, a single firefighter might get information what physical properties would be useful to improve to prevent excessive core temperature rise in a real job. Differently from previous studies, this study examined correlation between endurance performance (VO_{2max}) and core temperature in a physical performance that requires also other fitness factors like muscle strength. The importance of thick clothing to core temperature was also studied.

Ten healthy and voluntary firefighters (28-47 years) participated in the study. First subject's body composition was measured to determine fat percentage and fat-free mass index (FFMI). After that, subject performed a 42-minute work specific test track that described smoke diving job. It was performed both in a full smoke diving equipment and in a lightweight sports clothing. During the test track, core temperature was measured from the rectum and heart rate was monitored. Endurance performance (VO_{2max}) of the subjects was measured by a maximal bicycle ergometer test and muscular strength and -endurance with a muscle fitness test that contained four different maneuvers. FireFit- index, that combines endurance performance and muscle fitness was determined for the subjects. Between each different performance measurement, the subjects had a recovery time of at least four days.

The main result of the study was that fitness factors and body composition did not correlate with core temperature during the smoke diving task in full smoke dive equipment. FireFit- index correlated negatively with core temperature ($r = -0.939$, $p = 0.005$) but only when performed in light clothing. Therefore, no conclusions can be made to a real job. Core temperature before the test track (rest temperature) correlated with the maximal core temperature in full smoke diving equipment ($r = 0.646$, $p = 0.044$) and in light clothing ($r = 0.743$, $p = 0.035$). Maximum core temperatures in light clothing and in full gear correlated with each other ($r = 0.802$, $p = 0.017$). In full smoke diving equipment core temperature increased during the test track by about 40% (1.4 ± 0.2 °C vs. 1.0 ± 0.1 °C) and the mean heart rate during the test track was about 20% higher (153 ± 11 bpm vs 128 ± 15 bpm) than in light clothing. Based on this study, worse physical fitness, higher fat percentage or relative proportion of muscle mass are not correlated with greater core temperature rise in a smoke diving job. However, core temperature before the task is correlated with how high and fast the core temperature rises. Firefighter should therefore try to keep the body cool so that the likelihood of heat exhaustion is minimized in a real job.

Key words: firefighter, core temperature, endurance performance, muscle fitness, body composition

KÄYTETYT LYHENTEET

AerK	Aerobinen kynnys
AnaK	Anaerobinen kynnys
bpm	Sydämen syke, lyöntiä minuutissa (beats per minute)
FF- indeksi	FireFit- indeksi, jossa hapenottokyky mitattu suoralla menetelmällä
FFM	Kehon rasvaton massa (fat-free mass)
FFMI	Kehon rasvattoman massan indeksi (fat-free mass index)
EE	Energiankulutus (energy expenditure)
E_{\max}	Maksimaalinen hien haihtuminen (maximum evaporation)
EN 469	Palomiesten suojavaatetusta koskeva Eurooppalainen Standardi
M_{net}	Metabolinen lämmöntuotto (net metabolic heat)
MVC	Maksimaalinen tahdonalainen voima (maximum voluntary contraction)
P_{\max}	Maksimaalinen poljentateho
teorFF- indeksi	Teoreettiseen hapenottokykyyn perustuva FireFit- indeksi
teor $VO_{2\max}$	Teoreettinen maksimaalinen hapenkulutus (theoretical maximal oxygen consumption)
$VO_{2\max}$	Maksimaalinen hapenkulutus (maximal oxygen consumption)

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 PALOMIEHEN TYÖ.....	3
2.1 Määritelmiä.....	3
2.2 Fyysiset vaatimukset	4
2.3 Palomiehen suojavaatetus.....	5
3 LÄMMÖNSÄÄTELY.....	7
3.1 Lämpötasapaino.....	7
3.2 Syvälämpö	8
3.3 Hypertermia ja lämpösairaudet.....	9
3.4 Lämmönsäätelymekanismit	10
4 LIIKUNTA JA LÄMPÖKUORMITUS.....	12
4.1 Hikoilu.....	12
4.2 Liikunnan aikainen vaatetus	13
4.3 Lämpökuormituksen vaikutus suorituskykyyn.....	14
5 SYVÄLÄMPÖÖN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ RASITUKSESSA	16
5.1 Fyysinen kunto	16
5.2 Rasva- ja lihaskudos	17
5.3 Muut tekijät	17
6 KEHON SYVÄLÄMMÖN MITTAAMINEN	22
7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	24
8 MENETELMÄT.....	26

8.1	Koehenkilöt	26
8.2	Tutkimusasetelma.....	27
8.3	Tutkimusmenetelmät	27
8.3.1	Kehonkoostumus	27
8.3.2	Työtestit.....	28
8.3.3	Polkupyöraergometritesti	33
8.3.4	Lihaskuntotesti	34
8.3.5	FireFit- indeksi	35
8.4	Tilastoanalyysit.....	36
9	TULOKSET	38
9.1	Kehonkoostumus	38
9.2	Kestävyysuorituskyky.....	38
9.3	Lihaskvoima ja -kestävyys	39
9.4	FireFit- indeksi	40
9.5	Syvälämpö ja syke.....	40
9.6	Korrelaatiot.....	41
10	POHDINTA.....	46
10.1	Fyysinen kunto	46
10.2	Kehonkoostumus	47
10.3	Vaatetus	48
10.4	Syvälämpö levossa ja rasituksessa	49
10.5	Muut huomiot ja kehityskohteet.....	53
10.6	Johtopäätökset	55
	LÄHTEET	57

LIITTEET	64
LIITE 1. Tiedote tutkittaville ja suostumus tutkimukseen osallistumisesta.....	64
LIITE 2. Riskien kartoitus- ja suostumuslomake	68

1 JOHDANTO

Yksi tarkimmin säädellyistä asioista ihmisen fysiologiassa on kehon syvälämpö ja sen päivittäinen vaihtelu on vain muutaman kymmenysasteen normaalitasosta (Kurtz, 2008). Yli 75 % lihasten tuottamasta energiasta vapautuu kehosta lämpönä johtumisen, kuljettumisen, haihtumisen ja säteilyn kautta (Wendt ym., 2007). Fyysisen suorituksen aikana kehon lämmöntuotto kasvaa lihasten aktiivisuudesta johtuen (Gavin, 2003). On todettu, että kestävyysharjoittelu ja parantunut VO_{2max} aikaansaa tehokkaamman lämmön poistumisen ja syvälämmön laskun tehokkaamman ihon vasodilaation ja hikoilun kautta (Ichinose ym. 2005; Nadel ym. 1974). Hikoilu ja sen haihtuminen iholta on tehokkain lämmön poistamisen muoto kehosta suorituksen aikana, mutta vaatetus häiritsee hien haihtumista ja lämmön poistoa kehosta (Gavin ym. 2001). Nagata (1978) osoitti, että mitä suurempi määrä vaatetta ihon yllä, sitä pienempi on haihtuvan hien määrä. Vaatetuksen lisäksi ulkoinen lämpökuorma altistaa kehon syvälämmön nousulle ja laskee suorituskykyä (Gonzalez-Alonso ym. 1999). Liiallisesta syvälämmön noususta voi seurata lämpöuupumus, kun syvälämpö nousee yli 38,5 °C ja lämpöhalvaus, kun syvälämpö nousee yli 40 °C (Wendt ym. 2007). Tutkittuja kehon syvälämpöön vaikuttavia tekijöitä fyysisessä rasituksessa ovat ainakin akklimatisaatio, fyysinen kunto, ikä, sukupuoli, rasvaprosentti, kehon esiviilennys, nestehukka, nesteytys, vaatetus, ympäröivä ilmasto ja unen puute.

Palomiehen työtehtävien kirjo on laaja. Raskainta palomiehen työtehtävistä hengitys- ja verenkiertoelimistön kannalta on savusukellus ja paineilmalaitetyöskentely ja lisäksi työtehtävät sisältävät raskaiden taakkojen kantamista sekä käsittelyä (Lusa ym. 2010). Palomies käyttää savusukellustehtävissä paineilmalaitteen lisäksi paloasua, joka koostuu 3-4 kangaskerroksesta ja mahdollisesti myös kosteussuojasta (Mäkinen ym. 2007). Paloasun alla käytetään lisäksi useaa kerrosta alus- ja välivaatetusta (Ilmarinen ym. 1994). Kuumalta suojaavuus on monikerroksisessa vaatetuksessa hyvä, mutta voi aiheuttaa pitkissä pelastustehtävissä ylikuormitusta (Mäkinen ym. 1996).

Aerobisen kunnon ja syvälämmön nousun välillä on todettu olevan käänteinen yhteys vakiokuormalla tehtävässä kestävyysuorituksessa (Greenhaff 1989). Suhteellisella intensiteetillä (% VO_{2max}) tehtävässä kestävyysuorituksessa puolestaan paremman aerobisen kunnon omaavilla on havaittu suurempaa syvälämmön nousua (Mora-Rodrigues ym. 2010). On tutkittu myös, että paksu rasvakudos hidastaa lämmön johtumista kehon sisäosista periferiaan (McArdle ym. 2009, 633). Kuinka käy, kun suoritus vaatii aerobista- sekä lihaskuntoa ja hien haihtumista rajoitetaan paksulla vaatetuksella? Tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää onko kestävyyskunnolla, lihaskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä kehon syvälämmön nousuun useita fyysisiä ominaisuuksia vaativassa palomiehen työnomaisessa suorituksessa.

2 PALOMIEHEN TYÖ

Palomiehen työ sisältää paljon erilaisia työtehtäviä. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kannalta raskainta palomiehen työtehtävistä on savusukellus ja paineilmalaitetyöskentely ja lisäksi työtehtävät sisältävät raskaiden taakkojen kantamista sekä käsittelyä (Lusa ym. 2010). Palomies käyttää savusukellus- ja raivaustehtävässä paineilmalaitteen lisäksi Eurooppalaisen standardin EN 469 mukaista paloasua, joka koostuu 3 – 4 kangaskerroksesta ja mahdollisesti myös kosteussuojasta. Paloasun alla käytetään lisäksi useaa kerrosta alus- ja välivaatetusta (Mäkinen ym. 2007). Kuumalta suojaavuus on monikerroksisessa vaatetuksessa hyvä, mutta voi aiheuttaa pitkissä pelastustehtävissä ylikuormitusta (Mäkinen ym. 1996).

2.1 Määritelmiä

Sisäasiainministeriön Pelastussukellusohjeen (2007) mukaan:

Savusukellus tarkoittaa paineilmahengityslaitteiden ja asianmukaisten suojavarusteiden avulla tehtävää sammutus- ja pelastustyötä, joka edellyttää tunkeutumista palavaan ja rajattuun sisätilaan, jossa on savua. Palavan rakennuksen katolla tapahtuva työskentely paineilmahengityslaitetta käyttäen rinnastetaan savusukellukseen.

Paineilmalaitetyöskentely tarkoittaa sammutus- ja pelastustehtäviä, jotka saattavat edellyttää hengityksen suojaamista mutta eivät edellytä tunkeutumista palavaan, savuiseen rajattuun sisätilaan. Tällaisia tehtäviä ovat esim. maasto-, ajoneuvo-, roskalaatikko- ja muut näihin verrattavat palot sekä mm. nostolavan korista työskentely, opastus ja jälkiraivaus.

Kemikaalisukellus tarkoittaa välittömän vaaran alueella tehtäviä tiedustelu-, pelastus-, torjunta- tai muita vastaavia tehtäviä, jotka edellyttävät paineilmahengityslaitteen ja soveltuvan kemikaalisuojapuvun käyttöä.

Pelastussukellus tarkoittaa savu-, kemikaali- ja vesisukellusta.

2.2 Fyysiset vaatimukset

Tässä osiossa käsitellään palomiehen työn fyysisiä vaatimuksia sen vaativimpien työtehtävien mukaan. Lusan ym. (2010) mukaan kuormittavinta palomiehen työtehtävissä hengitys- ja verenkiertoelimistön kannalta on savusukellus ja paineilmalaitetyöskentely. Savusukellustehtävällä elimistön hapenkulutus on 2,4 – 3,7 l/min tai kehonpainoon suhteutettuna 31 – 44 ml/kg/min. Jos savusukellustehtävän eri vaiheita eritellään, fyysisesti raskainta on portaissa kulkeminen raskaita taakkoja kantaen. Maksimaaliseen hapenottookykyyn suhteutettuna (% VO_{2max}) savusukellustehtävällä on käytössä 26 – 85 % VO_{2max} :sta. Andersenin ym. (1978) mukaan työn kuormittuneisuus ei saisi työpäivän aikana ylittää edes lyhytkestoisesti 70 % VO_{2max} :sta. Kun Oksa ym. (2009) tutkivat kuormittuneisuutta kuumatyössä, he havaitsivat, että savusukellusta ja raivausta jäljittelevien työsuoritusten (kertasuoritteinen 20 minuuttia, toistosuoritteinen 3 x 15 minuuttia) eri osioiden 26:sta työvaiheesta 20:ssä tuo suositusraja ylitettiin. Jo 20 minuuttia kestävässä kertasuoritteisessa työsuorituksessa kuormittuneisuus nousi lähelle VO_{2max} :a ja kehon syvälämpö korkeimmillaan tasolle 39 °C. Subjektivistä kuormittuneisuutta arvioitaessa savusukellus ja raivaustehtävä myös koetaan raskaimmaksi työtehtäväksi (Lusa ym. 2010).

Palomiehen työ asettaa vaatimuksia myös lihaskunnolle ja liikuntaelimille, kun työnkuvaan kuuluu myös raskaiden taakkojen kantamista ja käsittelyä. Lusan ym. (2010) mukaan myös savusukellus ja raivaustehtävät sisältävät liikuntaelimille raskaita osuuksia, tyypillisesti muutaman minuutin kerrallaan, kun joudutaan esimerkiksi kantamaan letkukehikkoja (noin 40 kg/kpl), kantamaan ihmistä evakuointitilanteessa (k.a. 70 kg), kantamaan tikkaita (noin 30 kg) tai kantamaan ja käsittelemään erilaisia mekaanisia työkaluja (noin 7 – 25 kg). Näiden lisäksi kuormaa lisäävät palomiehen suojavarusteet (noin 10 kg) ja paineilmalaitteet (12 – 16 kg). Kun työn aikaista lihasten kuormittuneisuutta tarkastellaan maksimaalisen voimantuoton aktiivisuustasoon suhteutettuna (% MVC, Maximal Voluntary Contraction), ei se saisi suosituksen mukaan ylittää tasoa 14 % MVC (Jonsson 1982). Oksan ym. (2009) tutkimuksessa savusukellusta ja raivausta jäljittelevässä työsuorituksessa tuo suositeltu taso ylitettiin jokaisessa mitatussa kahdeksassa lihasryhmässä, joka aiheuttikin kehon eri osien lihasten väsymistä. Myös tukielimille kohdistuu suurta rasitusta palomiehen työtehtävissä. Esimerkiksi raivaustehtävissä selkärangan nikamiin kohdistuu Lusan ym. (2009) mukaan

keskimäärin 5998 – 6392 N:n dynaaminen kompressiovoima ja 1979 – 3835 N:n staattinen kompressiovoima, joka ylittää joillakin suositusylärajan 3434 N. Näin suuret kompressiovoimat lisäävät huomattavasti selän vammautumisriskiä.

Pelastussukellus edellyttää riittävää fyysistä suorituskykyä ja Sisäasiainministeriö (2007) onkin Pelastussukellusohjeen avulla asettanut edellytykset sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön, että lihasvoiman- ja kestävyuden osalta. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnon osalta VO_{2max} :n edellytys pelastussukellustehtävien hoitamiseen on vähintään 3,0 l/min ja 36 ml/kg/min. Lihasvoiman- ja kestävyuden osalta edellytykset ovat vähintään; penkkipunnerruksessa (45 kg) 18 krt/60 s, jalkakyykyssä (45 kg) 18 krt/60 s, käsinkohonnassa 5 krt ja istumaan nousussa 29 krt/60 s.

2.3 Palomiehen suojavaatetus

Yhteneväiset suojaimet, kuten suojavaatetus, suojakäsineet ja -jalkineet, palokypärä, hengityksen suojaimet ovat tärkeä osa palomiehen työturvallisuutta (Ilmarinen, ym. 1994). Palomiesten työtehtävien kirjo on laaja ja vain osassa tehtävistä tarvitaan suojaustasoltaan tulipaloihin suunniteltua paloasua, mutta sitä kuitenkin käytetään yleissuojavaatetuksena eri tehtävillä (Mäkinen, ym. 2007). Tässä osiossa käsitellään savusukellus- ja raivaustehtävällä vaadittavaa suojavaatetusta.

Palomies käyttää savusukellus- ja raivaustehtävissä paineilmalaitteen lisäksi Eurooppalaisen standardin EN 469 mukaista paloasua, joka koostuu 3 – 4 kangaskerroksesta ja mahdollisesti myös kosteussuojasta (Mäkinen ym. 2007). Ilmarisen ym. (1994) mukaan paloasun alla käytetään lisäksi useaa kerrosta alus- ja välivaatetusta, joilla jokaisella on oma tehtävänsä. Alimman alusvaatekerroksen tarkoitus on siirtää kehonlämpöä ja kosteutta ulompiin vaatekerroksiin ja pitää iho kuivana. Välivaatekerros puolestaan eristää lämpösäteilyltä sekä imee ja siirtää alusvaatteista tulevaa kosteutta. Uloin vaatekerros eli paloasu suojaa ympäristöltä, kuten kuumuudelta, tulelta, kosteudelta sekä rajoitetusti viilloilta, iskuilta ja pistoilta. Paloasun palonsuojamateriaalina käytetään yleisesti aramidi-kuitua. Jos paloasussa on kosteussulku (esim. Gore-Tex- laminaatti), sen tarkoitus on vastustaa nestemäisten

aineiden, kuten sammutusveden läpimenoa. Tulipalotilan kuumalta vesihöyryltä kosteussulkukaan ei täysin suojaa vaan se saattaa paine-eron vuoksi tunkeutua vaatteiden läpi iholle ja aiheuttaa palovammoja. Kosteussulku kuitenkin hidastaa vesihöyryn läpäisevyyttä. Kosteussulullinen paloasu suojaa myös kemikaaleilta kosteussulutonta paloasua paremmin (Ilmarinen ym. 1994).

Mäkisen ym. (2007) mukaan useasta kerroksesta koostuvan suojavaatekokonaisuus suojaa hyvin tulipalon aiheuttamalta kuumuudelta, mutta aiheuttaa fysiologialle lisävaatimuksia ja onkin monesti pitkissä työtehtävissä jopa ylikuormittava. Suojavaatetus ja henkilönsuojaimet lisäävät lämpökuormituksen lisäksi hengitys- ja verenkiertoelimistön, liikuntaelinten ja motoriikan kuormittumista. Pelkän monikerrosvaatetuksen hapenkulutusta lisäävä vaikutus voi olla peräti 10 % kevyeen vaatetukseen verrattuna ja kun otetaan huomioon kaikkien sammutusvarusteiden paino (suojavaarusteet n. 10 kg + paineilmlaite 12 – 16 kg), voi elimistö kuormittua jopa 40 % enemmän (Mäkinen ym. 2007; Lusa ym. 2009). Lämpökuormituksen kannalta suojavaarusteiden merkitys on suuri, koska varustuksen monikerroksisuus ja paksuus estävät hien höyrystymisen sekä kehon lämmönpoiston ja pelkästään varustuksen pukeminen nostaa syvälämpöä (Mäkinen ym. 1996).

3 LÄMMÖNSÄÄTELY

Yksi tarkimmin säädellyistä asioista ihmisen fysiologiassa on kehon syvälämpö ja sen päivittäinen vaihtelu on vain muutaman asteen kymmenyksen normaalista lepolämmöstä (Kurz 2008). Ympäri kehoa olevat reseptorit aistivat Kurzin (2008) mukaan lämpötilaa ja lähettävät tietoa keskushermostoa pitkin kehon tärkeimmälle lämmönsäätelyelimelle, hypotalamukselle. Jos lämpötilan raja-arvot ylittyvät, hypotalamukselta lähtee hermostoa pitkin käsky lämmönsäätelymekanismeille kehon lämmittämiseksi tai viilentämiseksi. Lämmönsäätelyn raja-arvoihin vaikuttaa fyysinen harjoittelu, ravinto, infektiot, kilpirauhasen liika- ja vajaatoiminta, lääkkeet, alkoholi, nikotiini sekä kylmä- ja kuuma-adaptaatio. Lisäksi lämmönsäätelyyn vaikuttaa muun muassa sukupuoli (Kaciuba-Uscilko & Grucza 2001), ikä (Falk & Dotan, 2008), vaatetus (Gavin 2003) ja nestehukka (Wendt ym. 2007).

3.1 Lämpötasapaino

Tasaisen kehon syvälämmön säilyttäminen on riippuvainen elimistön lämmöntuoton, ympäröivän ilman lämpötilan ja lämmönpoiston tasapainosta (Gavin 2003). Kun keho pyrkii laskemaan lämpötilaansa, se luovuttaa lämpöä johtumisen, kuljettumisen, haihtumisen ja säteilyn kautta (Wendt ym. 2007). Gavinin (2003) mukaan lämpötasapaino voidaan ilmaista yhtälönä:

$$\pm S = M - (\pm W) - E \pm K \pm C \pm R\left(\frac{W}{m^2}\right),$$

jossa: S on lämpövarasto, M on aineenvaihdunta, W on positiivinen tai negatiivinen työ, E on haihtuminen, K on johtuminen, C on kuljettuminen ja R on säteily. Tätä yhtälöä voidaan tulkita niin, että aineenvaihdunta aina kasvattaa lämpövarastoa, kun taas haihtuminen aina vähentää sitä.

Kehon normaali syvälämpö levossa on vakaa ja on aivojen toimesta säädetty noin 36,8 °C lämpötilaan (Folk ym. 1998). Kehon syvälämmön päivittäinen vaihtelu on vain noin 1 °C, kun

taas ihon lämpötila vaihtelee enemmän ihon verenkierron ja olosuhteiden mukaan (Cheung ym. 2000; Gisolfi & Mora 2000). Levossa olevan lihaksen lämpötila on 33 – 35 °C, jolloin kehon syvälämpöä siirtyy lihaksille (Nadel 1984). Kun hypothalamus havaitsee syvälämmön muutoksen normaalista suuntaan tai toiseen, käynnistyvät mekanismit joko syvälämmön nostamiseksi tai lämmönpoistoa varten (Benzinger 1969).

3.2 Syvälämpö

Ihmisillä kehonlämpö käsittää kehon syvälämmön sekä kehon pintaosien lämmön (Gisolfi & Mora 2000). Kehon syvälämpö tarkoittaa vatsa-, rinta- ja kallo-onteloiden lämpötiloja, kun taas kehon pintaosien lämpö tarkoittaa ihon, ihonalaiskudoksen ja lihasten lämpötiloja (Folk ym. 1998). McArdlen ym. (2009, 612) mukaan kehon syvälämpö nousee, jos lämmöntuotto on suurempaa kuin sen luovutus, kuten kuumassa ja kosteassa ilmassa suoritettu liikuntasuoritus. Kylmässä ilmassa puolestaan kehon syvälämpö laskee, kun lämmön luovutus kehosta on suurempaa kuin lämmöntuotto.

Kehon syvälämpö on käytännössä verenkierron lämpötila ja tarkemmin ottaen keuhkovaltimoveren lämpötila (El-Radhi & Barry 2006; Farnell ym. 2005; Rupp ym. 2004). Keuhkovaltimoveri on sydämeen palaavaa, oikean kammion läpi virtaavaa verta, joka varastoi ja kuljettaa lämpöä iholle ja muille elimille (Lim ym. 2008). Syvälämpö kuvastaa Limin ym. (1998) mukaan kuinka suurelle lämmölle solut altistuvat verenkierrossa sekä kehon onteloissa ja näin ollen syvälämmön vaihtelut vaikuttavat koko kehon tasapainotilaan. Tästä johtuen syvälämpö on tärkeä kliininen mittari kehon lämpökuormituksesta.

Mora-Rodriguesin (2012) mukaan liikuntasuorituksen aikana kehon syvälämpö nousee lepotasosta käynnistäen elimistön lämmönpoistomekanismit, joilla vältetään lämmön kumuloituminen kehoon ja saavutetaan uusi tasapainotila syvälämmössä. Tasapainotilaa ei kuitenkaan aina saavuteta, joka voi johtaa kehon liialliseen lämpenemiseen eli hypertermiaan.

3.3 Hypertermia ja lämpösairaudet

Hypertermia määritellään tilaksi, jossa kehon syvälämpö on noussut yli 38,5 °C tai, että jokin lämpösairaus on voitu osoittaa (Mora-Rodrigues 2012; Soultanakis-Aligianni 2003). Lämmöstä johtuvia, liikuntaan liittyviä sairauksia mainitaan kirjallisuudessa neljää erilaista; kehon kuivuminen, lihaskrampit, lämpöuupumus ja lämpöhalvaus (Soultanakis-Aligianni 2003; Wendt ym. 2007).

Hikoilu on ensisijainen kehon viilennysmekanismi liikunnan aikana ja jos nestettä ei saada tilalle tarpeeksi, voi se Sawkan ja Mountainin (2000) mukaan johtaa kehon kuivumiseen, joka puolestaan laskee suorituskykyä. Suorituskyvyn lasku saavutetaan jo, kun nestettä on menetetty 1 – 2 % kehon kokonaisnestemäärästä. Wendtin ym. (2007) mukaan ensimmäisenä lämmön aiheuttamista lihaskrampeista raportoi Talbot (1935) tutkimuksessaan. Myöhemmin ollaan tullut siihen tulokseen, että liikuntaan liittyvät lihaskrampit eivät ole suoraan yhteydessä kuumuuteen eikä kehon syvälämmön nousuun (Schwellnus ym 1997; Noakes 1998). Soultanakis-Aligiannin (2003) mukaan lämpöuupumus on verenpaineen laskua ja heikkoutta johtuen verenkierron kyvyttömyydestä kompensoida ihon verisuonten vasodilaatiota. Usein on uskottu, että lämpöuupumus on kevyempi muoto lämpöhalvauksesta, joka tulee johtamaan lämpöhalvaukseen, jos tilaa ei hoideta (Wendt ym. 2007). Noakesin (1998) mukaan on kuitenkin näyttöä, joka on ristiriidassa tämän uskomuksen kanssa. Esimerkiksi useimmilla ihmisillä, jotka ovat kokeneet lämpöuupumuksen, rektaalilämpö ei ole ollut juuri normaalista koholla. Bouchama ja Knochel (2002) mainitsevat tutkimuksessaan, että kun kehon syvälämpö jatkaa nousuaan yli 40 °C lämpötilan, seuraa lämpöhalvaus, joka on hengenvaarallinen tila. Lämpöhalvauksen oireita ovat kuuma, kuiva iho sekä keskushermostollisia oireita kuten sekavuus, kouristukset ja pahimmillaan kooma. Ihanteellisissa olosuhteissa huippu-urheilijoilta on kuitenkin mitattu jopa 41 °C syvälämpötiloja ilman lämpösairauksien merkkejä (McArdle ym. 2009, 624). Verenkierron suuntautuessa liikunnan aikana enenevässä määrin iholle lämmön poistamista varten, yhdessä hikoilun aiheuttaman kehon nesteen vähenemisen kanssa, aiheuttaa verivolyymin pienenemisen (Hales 1997). Tämä taas johtaa hikoilun vähenemiseen, kehon syvälämmön nousuun ja altistaa näin jopa lämpöhalvaukselle (Wendt ym. 2007).

3.4 Lämmönsäätelymekanismit

Kylmissä olosuhteissa lämpöä siirtyy kehosta ympäristöön ja tällöin keho pyrkii estämään lämpöhukkaa ja kasvattamaan lämmöntuottoa (McArdle ym. 2009, 613). Kurzin (2008) mukaan mekanismeja, joilla keho estää liiallista syvälämmön laskua ovat perifeeristen verisuonien supistuminen ja lihasvärinä. Verisuonet supistuvat lähellä ihoa, mikä vähentää lämmön siirtymistä veren mukana ihon kautta ympäristöön. Lihasvärinä taas lisää kehon lämmöntuottoa, joka lisääntyy aikuisilla noin 200 %. McArdle ym. (2009, 614) lisäävät lämmönsäätelymekanismeihin vielä hormonaalisen mekanismin, jossa kylmäaltistuksen seurauksena adrenaliini- ja noradrenaliinituotanto kiihtyvät lisäten kehon lämmöntuottoa. Pitkässä kylmäaltistuksessa myös tyroksiinin tuotanto kiihtyy kasvattaen aineenvaihduntaa ja kehon syvälämpöä.

Kun kehoa täytyy viilentää, Gisolfin ja Wengerin (1984) mukaan elimistön kyky lisätä verenvirtausta iholle on tehokas puolustusmekanismi liiallista lämmön nousua vastaan. Kun kehon syvälämpöä on siirretty veren mukana iholle, sitä pyritään luovuttamaan ympäristöön säteilyn, johtumisen, kuljettumisen ja haihtumisen kautta. Brooks ym. (1996) mukaan säteily on lämmön luovuttamista tai vastaanottamista infrapunasäteiden muodossa. Kun keho on lämpimämpi kuin sitä ympäröivä ilma, suurempi määrä lämpöä säteilee kehosta ympäristöön. Levossa ja sisätiloissa olevan alastoman ihmisen lämpösäteily kattaa jopa 60 % koko lämmönpoistosta. Johtuminen tarkoittaa McArdlen ym. (2009, 615) mukaan lämmön liikkumista molekyylistä toiseen nesteeseen, kiinteään aineeseen tai kaasun läpi. Esimerkiksi ihmisen ollessa kylmässä vedessä lämpöä johtuu tehokkaasti kehosta ympäröivään veteen. Lämmön kuljettuminen tarkoittaa lämmön siirtymistä liikkuvan kaasun tai nesteen avulla (Guyton & Hall 1996). Wendtin ym. (2007) mukaan lämmön haihtuminen kehosta tapahtuu, kun nestettä poistuu hengityksen ja ennen kaikkea hikoilun avulla. Tällöin jokaista iholta haihtuvaa millilitraa hikeä kohden poistuu 2,43 kJ lämpöä kehosta ja urheilijoilla on raportoitu hikoilumääriä, jotka ovat olleet jopa 3,5 l/h. Levossa haihtumisen osuus kehon kokonaislämmön poistumisesta on noin 25 %, mutta liikunnan aikana hien haihtuminen iholta on pääasiallinen kehon viilentämisen muoto (Gavin ym. 2001). Lämmönpoisto kehosta haihtumisen kautta on yksisuuntaista, tarkoittaen, että lämpö haihtuu vain iholta ympäröivän ilman suuntaan (Haymes ym. 1986). Tehostuneen perifeerisen verenkierron ja hien

haihtumisen lisäksi McArdlen ym. (2009, 618) mukaan lämmönpoistamismekanismeihin kuuluu myös hormonaalinen säätely. Hikoilu poistaa kehosta vettä ja elektrolyyttejä, joka laukaisee hormonaalisen mekanismin veden ja suolojen säästämiseksi. Kaksi hormonia osallistuu kyseiseen säätelyyn; aldosteroni ja vasopressiini. Aldosteroni lisää natriumin takaisinimeytymistä, kun taas antidiureettinen hormoni eli vasopressiini aiheuttaa veden takaisinimeytymistä munuaisissa.

4 LIIKUNTA JA LÄMPÖKUORMITUS

Liikunnan aikana yli 70 % luurankolihasen tuottamasta energiasta vapautuu lämpönä ja vain alle 30 % siitä muutetaan mekaaniseksi energiaksi (Sawka ym. 1998; Lim ym. 2008). Sawkan ja Wengerin (1998) mukaan lihasten tuottama metabolinen lämpö voi kasvaa jopa 10 – 20 kertaiseksi liikunnan aikana. Lämpökuormaa kerääntyy kehoon, kun lämpöä tuotetaan enemmän kuin kehon lämmönpoistomekanismit pystyvät sitä poistamaan (Lim ym. 2008). Liikuntasuorituksen kesto ja intensiteetti sekä hieman myös liikkumisen hyötysuhde vaikuttavat siihen, kuinka paljon lämpökuormaa kerääntyy kehoon liikunnan aikana (Hughson ym. 1980; Mora-Rodrigues 2012). Mora-Rodriguesin (2012) mukaan metabolisen lämmöntuoton (M_{NET}) voi arvioida mittaamalla energiankulutusta (EE) epäsuoran kalorimetrian avulla, koska suurin osa kehon käytettävissä olevasta energiasta riippuu hapenkulutuksesta. Tällöin lämmöntuoton voi laskea kaavasta:

$$M_{NET} = EE - W,$$

jossa: M_{NET} on kehon nettolämmöntuotto, EE on energiankulutus ja W on mekaaninen työmäärä. Kun kuumissa olosuhteissa suurin osa kehon lämmöstä poistuu haihtumisen kautta, lämpötasapaino säilyy vain, jos kaikki metabolinen lämmöntuotto (M_{NET}) voidaan poistaa hikoilun kautta (Mora-Rodrigues 2012).

4.1 Hikoilu

Hikoilu on erittäin tärkeä ominaisuus liikunnan aikaisessa lämmönsäätelyssä ja suorituskyvyn kannalta, koska liikkussa yli 80 % tuotetusta lämmöstä poistetaan hien haihtumisen kautta (Gisolfi & Mora 2000). Cheuvrontin ja Haymesin (2001) mukaan hiki toimii tehokkaana kehon viilentäjänä vain, jos se pääsee haihtumaan iholta. Hien haihtumisen tehokkuuteen vaikuttaa ihon ja ympäröivän ilman välillä oleva vesihöyryn paine-ero sekä ilman liikkuminen iholla. Tämä tarkoittaa, että hiki haihtuu tehokkaammin, kun ilmankosteus on matala ja ilman pääsee liikkumaan iholla. Vaikka hikoilun määrä on suurempi, kun ilmankosteus on korkea, hikoilu ei toimi tehokkaana viilentäjänä, koska hiki ei pääse haihtumaan iholta.

Ilmanvirtauksen voimakkuuden vaihtelut voi puolestaan johtaa 28 % vaihteluun hien haihtumisessa kuumissa olosuhteissa (Adams ym. 1992). Kerslaken (1972) mukaan maksimaalisen hien haihtumisen (E_{\max}) voi laskea termodynamiikan yhtälöstä:

$$E_{\max} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) = (P_{\text{SK}} - P_{\text{A}}) \cdot v^{0,5} \cdot 110 / A_{\text{D}},$$

jossa: P_{SK} on vesihöyryn paine iholla, P_{A} on ilmanpaine, v on ilman virtauksen nopeus, A_{D} on kehon pinta-ala ja 110 on lämmön haihtumiskerroin ottaen huomioon asennon pyöräillessä, jossa koko keho ei altistu ilmavirtaukselle.

4.2 Liikunnan aikainen vaatetus

Liikunnan aikana käytettävän vaatetuksen määrä ja tyyppi vaikuttavat merkittävästi lämmön poistumiseen kehosta (Maughan & Shirreffs 2004). Gavinin (2003) mukaan vaatetus on eristekerros, joka asettaa esteen lämmön siirrolle iholta ympäristöön. Tällä tarkoitetaan, että vaatetus häiritsee hien haihtumista iholta, kehon viilennys vähenee ja ihon lämpötila sekä syvälämpö nousevat. Vaatetus estää tai hidastaa ilmanvirtausta iholla, joka puolestaan on tehokkaan hien haihtumisen kannalta tärkeää (Mora-Rodrigues 2012). Kun lämmön haihtuminen on tärkein kehon viilennysmekanismi liikunnan aikana, vaatetus, joka aiheuttaa pienimmän hidasteen hien haihtumiselle voi osoittautua suorituksen kannalta tärkeäksi (Gavin 2003). Nagata (1978) on osoittanut tutkimuksessaan, että mitä paksumpi kerros ihon päällä on vaatetta, sitä vähäisempää on hien haihtuminen iholta. Lisäksi vaikka vaate, joka imee hikeä iholta, koetaan miellyttävämmäksi, sen tehokkuus kehon viilennyksessä on huomattavasti pienempi kuin silloin, jos hiki pääsee haihtumaan iholta (Gavin 2003).

Gavin ym. (2001) tutkivat vaatteiden eri kangasmateriaalien merkitystä liikunnan aikaiseen syvälämmön nousuun sekä muihin fysiologisiin muuttujiin. Tutkimuksessa koehenkilöt suorittivat liikuntasuoritteita yllään puuvillainen vaatetus, polyesteristä valmistettu urheiluvaatetus tai lähes alasti yllään sukkiensa ja kenkien lisäksi vain uimahousut. Tutkimuksessa selvisi, ettei ohuella kerroksella vaatetta tai vaatteiden materiaalilla ole

merkitystä lämmönsäätelyyn, fysiologisiin muuttujiin tai tuntemuksiin normaalilämpöisissä olosuhteissa.

Kun arvioidaan vaateen ominaisuuksia, on useita tekijöitä otettava huomioon. Vaateen eristyskykyyn vaikuttaa McArdlen ym. (2009, 621) mukaan kuusi eri tekijää:

1. Tuulen nopeus – suuri tuulen nopeus vaikuttaa eristävään ilmakerrokseen.
2. Vartalon liikkeet – raajojen liikuttelu vaikuttaa eristävään ilmakerrokseen.
3. Hormi-efekti – löysä vaatetus liikuttaa ja poistaa eristävää ilmakerrosta.
4. Palje-efekti – voimakkaat kehon liikkeet liikuttavat ja poistavat eristävää ilmakerrosta.
5. Vesihöyryn läpäisevyys – vaatetus vastustaa vesihöyryn kulkua ja näin vähentää lämmön poistumista, kun haihtuminen on vaikeutunut.
6. Läpäisevyyden tehokkuus – kuinka hyvin vaate imee itseensä hikeä pois iholta, joka vähentää haihtumista ja lämmön poistumista.

4.3 Lämpökuormituksen vaikutus suorituskykyyn

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että kestävyys suorituskyky heikentyy kuumissa olosuhteissa (esim. Galloway & Maughan 1997). Rajoittavin tekijä suorituskyvyn laskussa näyttäisi olevan korkea kehon syvälämpötila (Cheung & McLellan 1998; Nielsen ym. 1993). Mitä pidempään siis syvälämmön kumuloitumista voidaan estää, sitä paremmin suorituskyvyn laskua voidaan viivyttää. Esimerkiksi Nielsenin ym. (1993) tutkimuksessa koehenkilöt pystyivät kuumassa harjoittelemalla parantamaan suoritusaikaansa ennen uupumusta, vaikka uupumus saavutettiin aina samalla kehon syvälämpötilalla 39,7 °C. Gonzales-Alonson ym. (1999) tutkimuksessa kaikkien koehenkilöiden kohdalla uupumus saavutettiin 40,1 – 40,2 °C syvälämmöllä, kun taas MacDougalin ym. (1974) tutkimuksessa 39,4 °C syvälämmöllä. Eroa tutkimuksien välillä aiheuttaa syvälämmön mittaustapa, mutta yhteneväisesti koehenkilöt saavuttavat uupumuksen aina samalla kehon syvälämmöllä.

On tutkittu, että hyvän kestävyyskunnan omaavat ihmiset pystyvän suoriutumaan pidempään kuumissa olosuhteissa ja sietämään korkeita syvälämpötiloja kuin huonompikuntoiset riippumatta nesteytyksestä ja aklimatisaatiosta (Cheung & McLellan 1998). Harjoittelemattomilla uupumus näytettäisiin saavutettavan jo alhaisemmilla kehon syvälämpötiloilla, joillakin jo 38 °C tasolla, kun taas erittäin hyväkuntoisilla syvälämpö voi nousta jopa 41 °C tasolle (Latzka ym. 1998; McArdle ym. 2009, 624). Myös leptason/lähtötason lämpötilalla on merkityksensä suorituskyykyyn. Gonzales-Alonso ym. (1999) huomasi tutkimuksessaan, että syvälämmön voimakas nousu (40,1 – 40,3 °C) johtaa uupumukseen, mutta se saavutettiin sitä myöhemmin mitä alhaisempi oli syvälämpö suorituksen alussa.

Lämpökuormituksesta johtuen ihon verenkierto lisääntyy syvälämmön kasvaessa, mutta tasaantuu ja saavuttaa maksiminsa noin 38 °C syvälämpötilassa (Gonzales-Alonso ym. 1999). Verenkierron lisääntyessä iholla, sydämen syke kasvaa, mutta sydämen iskutilavuus ja minuuttitilavuus pienenevät (Rowell ym. 1966). Gonzales-Alonson ym. (2008) mukaan syvälämmön nousun aiheuttamat keskushermostolliset tekijät rajoittavat kykyä jatkaa fyysistä suoritusta kuumassa. Heidän mukaan uupuminen kuumassa tehdyssä suorituksessa johtuikin aivojen korkeasta lämpötilasta, ei niinkään verenkiertoa rajoittavista tekijöistä. Kuumassa työskennellessä lihakset ja iho joutuvat kuitenkin taistelemaan käytössä olevasta verimäärästä, lihasten voittaessa lämmön poiston kustannuksella. Jos suoritus jatkuu pitkään ja hikoilun kautta menetetään nestettä, heikentynyt verenkierto rajoittaa suorituskyykyä, kun sekä lihasten että ihon verenkierto heikkenee. Heikentynyt lihaksen verenkierto rajoittaa suorituksen tehoa ja kestoa, kun taas heikentynyt ihon verenkierto heikentää lämmön poistumistakehosta nostaa näin kehon ydinosien, kuten aivojen lämpötilaa.

Kehonosien lämpötiloilla on vaikutuksensa myös voiman- ja tehontuottoon. Lihaksen lämpötilan nostamisella normaalista on positiivinen vaikutus voiman- ja tehontuottoon (Sargeant 1987). Kuitenkin kun kehon syvälämpö nousee korkealle (hypertermia), maksimaalinen voiman- ja tehontuotto heikkenee hermo-lihas-järjestelmän väsymisen kautta (Morrison ym. 2004). Thomas ym. (2006) päättelivätkin, että lämmön liiallinen nousu kehon ydinosissa on avaintekijä vähentyneessä voimantuotossa, ei niinkään lihaksen lämpötila.

5 SYVÄLÄMPÖÖN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ RASITUKSESSA

Fyysisen rasituksen aikaiseen kehon syvälämpöön vaikuttavia tekijöitä on useita. Ainakin seuraavia tekijöitä on tutkittu; akklimatisaatio, fyysinen kunto, ikä, sukupuoli, kehonkoostumus, kehon viilennys, nestehukka, nesteytys, vaatetus, ympäröivä ilmasto ja unen puute.

5.1 Fyysinen kunto

Kehon syvälämmön ja aerobisen kunnan välistä yhteyttä on tutkittu muun muassa termoneutraalissa ympäristössä, kuumissa olosuhteissa, vakiokuormalla kuin suhteellisella intensiteetillä. Greenhaffin (1989) tutkimuksessa yhdeksän erikuntoista (VO_{2max} 43 – 64 ml/mkg/min) pyöräilivät normaalissa huoneenlämmössä vakioteholla (140 W) yhden tunnin ajan. Tutkimuksessa havaittiin, että kehon syvälämpö kuormituksen lopussa oli sitä korkeampi, mitä alhaisempi oli VO_{2max} . Mitään yhteyttä lepolämmöllä ja VO_{2max} :lla ei havaittu. Syvälämpö on siis yhteydessä suhteelliseen intensiteettiin (% VO_{2max}) normaalilämpöisissä olosuhteissa tehdyssä suorituksessa (Saltin & Hermanssen 1966). Ichinosen ym. (2005) mukaan parantuneen VO_{2max} :n ja kestävyysharjoittelun myötä kehon lämmönpoisto paranee tehostuneen ihon verenkierron ja hikoilun myötä. Hikoilu tehostuu tällöin jo alhaisemmilla syvälämmöillä. Toistuvalla harjoittelulla viileässäkin ilmassa aiheutetaan kehoon hypertermiaa, jolloin keho alkaa sopeutumaan kuumaan (lämpöadaptaatio) (Greenhaff 1989). Mora-Rodrigues ym. (2010) mukaan kuumassa ja samalla suhteellisella intensiteetillä (% VO_{2max}) työskennellessä puolestaan paremman aerobisen kunnan omaavilla on korkeampi syvälämpö kuin huonomman kunnan omaavilla (Mora-Rodrigues ym. 2010). Parempikuntoiset tekevät tällöin suuremman absoluuttisen työmäärän tuottaen näin enemmän lämpöä. Lihasvoiman ja -kestävyyden yhteyttä kehon syvälämmön nousuun ei ole tutkittu.

5.2 Rasva- ja lihaskudos

Rasvakudoksen määrällä on merkittävä vaikutus kehon syvälämmön vaihteluihin. McArdlen ym. (2009, 633) mukaan rasvakudos heikentää kehon syväosien lämmönjohtumista periferiaan eli toimii eristeenä. Ylipainoisella ihmisellä, jolla on suuri rasvaprosentti, on myös pienempi ihon pinta-ala suhteessa kehon painoon. Tällöin lämmönpoisto hikoilemalla on pienempää kuin normaalipainoisella, pienemmän rasvaprosentin ja suuremman ihon pinta-ala-paino-suhteen omaavalla. Kun otetaan vielä huomioon, että suuri rasvaprosentti lisää myös energiankulutusta lajeissa, joissa omaa kehoa täytyy kannatella, ylipainoinen ihminen antaa huomattavaa tasoitusta suorituskyvyssään normaalipainoiselle. Rasvakudoksen vaikutus syvälämmön nousuun korostuu kuumassa työskennellessä. Ylipainoisilla esiintyy kuolemaan johtavia lämpöuupumuksia 3,5 kertaa useammin kuin normaalipainoisilla (McArdle ym. 2009, 633).

Lihaskudoksen eristävyttä on tutkittu ainakin kylmissä olosuhteissa. Veicsteinas ym. (1982) totesivat lihaskudoksen toimivan eristeenä kylmissä olosuhteissa hidastaen lämmön poistumista kehon ydinosista, kun lihakset ovat levossa. Kuitenkin, kun lihas on aktiivinen suorituksen aikana tai kylmän aiheuttaman lihasvärinän aikana, lihaksen eristävyys heikkenee johtuen lisääntyneestä lihaksen verenvirtauksesta.

5.3 Muut tekijät

Ilmasto. Ympäröivällä ilmalla on vaikutuksensa syvälämmön nousuun. Lämmön poistuminen kehosta säteilyn ja kuljettumisen kautta riippuu suuresti ihon ja ympäröivän ilman lämpötilaerosta (Wendt ym. 2007). Kun iho on lämmin ja ympäröivä ilma viileä, lämpöä poistuu tehokkaasti, mutta Chevrontin ja Haymesin (2001) mukaan ilman lämpötilan ylittäessä 36 °C:n, keho alkaakin ottaa vastaan lämpöä säteilemällä ja kuljettamalla sen luovuttamisen sijaan. Tällöin hien haihtumisesta tulee pääasiallinen lämmön poistamisen muoto. Hien haihtumiseen puolestaan vaikuttaa ilman kosteus ja iholla liikkuva ilma (Chevront & Haymes 2001). Näin ollen, jos ulkoinen lämpökuorma on suurta, ilma on

kosteaa eikä ilma pääse liikkumaan iholla, lämmön säteily, kuljettuminen ja hien haihtuminen kehosta ovat vähäistä aiheuttaen syvälämmön nousua.

Akklimatisaatio. Akklimatisaatio tarkoittaa kehon fysiologista mukautumista lämpötilan muutoksiin ja lämmön sietokyvyn parantumista (McArdle ym. 2009, 630). Akklimatisaatiota saadaan aikaan niin säännöllisellä altistuksella kuumaan ilmaan kuin fyysisellä harjoittelullakin, jolloin tapahtuu adaptaatiota ja vähäisempiä negatiivisia vaikutuksia kuumassa tapahtuvissa suorituksissa (Armstrong & Maresh 1991; Greenhaff 1989). Adaptaatiovaikutuksia ovat parempi ihon verenkierto alhaisempi kehon syvälämpö suorituksessa ja levossa, alhaisempi syke suorituksessa, lisääntynyt hikoilun määrä ja herkkyys, alhaisempi natriumin menetys hiessä ja virtsassa, vähentynyt riippuvuus hiilihydraattiaineenvaihdunnasta suorituksen aikana sekä suurempi plasmavolyymi (McArdle ym. 2009, 631; Armstrong & Maresh 1991).

Nestehukka. Jos hikoilulla menetettyä nestettä ei saada korvattua nesteen nauttimisella, seurauksena on nestehukka (Wendt ym. 2007). Wendtin ym. (2007) mukaan tällöin ihon verenkierto ja hikoilu vähenevät, jolloin keho altistuu hypertermialle. Aerobinen suorituskyky laskee jo, kun nestehukka on niinkin pientä kuin 1 – 2 % kehon kokonaisnestemäärästä. McArdle ym. (2009, 625) puolestaan raportoi, että määrältään 5 % kehon painosta oleva nestehukka aiheuttaa nousua rektaalilämmössä ja sykkeessä sekä laskee hikoilua, VO_{2max} :a ja suorituskykyä. Myös lihaskestävyys huononee. Lisäksi lämpösairauksien riski kasvaa suuresti, jos nestehukan vallitessa harjoitellaan.

Nestetankkaus. Koska nestehukalla on tutkitusti negatiiviset vaikutukset suorituskykyyn, on tutkittu myös nestetankkauksen vaikutuksia kehon syvälämpöön. Jotkut tutkimukset ovat osoittaneet alhaisempia syvälämpötiloja, kun taas toisissa vastaavaa havaintoa ei ole tehty (Sawka & Montain 2000). Kuitenkin jos nestetankkauksessa käytetään veden lisänä glyserolia, kuumassa tehdyssä suorituksessa kehon syvälämmön on havaittu olevan merkittävästikin alhaisempi, virtsan erityys vähäisempi ja hien erityys suurempi (Lyons ym. 1990). Glyseroli-nestetankkauksella on havaittu pidentyneitä suoritusajoja ennen uupumusta niin normaalilämpöisissä olosuhteissa (Montner ym. 1996), kuin kuumissa olosuhteissakin

(Latzka ym. 1998), mutta ilman suurempia positiivisia lämmönsäätelyn vaikutuksia. On siis jonkinlaista näyttöä nestetankkauksen eduista lämpökuormituksessa, mutta näyttö ei ole kovin vahvaa (Wendt ym. 2007).

Vaatetus. Liikunnan aikaisen vaatetuksen määrällä ja tyypillä on suuri merkitys kehon lämmönpoistoon (Maughan & Shierreffs 2004). Hien haihtuminen iholta on tärkein lämmönpoistomekanismi liikunnan aikana ja vaatetus heikentää kyseistä tapahtumaa, jolloin keho altistuu tehokkaasti lämmön nousulle (Gavin 2003). Mitä suurempi ala ihosta on peitetty vaatteilla ja mitä paksumpi on vaatekerros, sitä vähäisempää on hien haihtuminen iholta ja nopeampaa on syvälämmön nousu (Jeong & Tokura 1989; Nagata 1978). Gavin ym. (2001) mukaan vaateen materiaalilla ei ole merkitystä kehon syvälämmön nousuun urheilusuorituksessa kohtuullisen lämpimässä ilmassa. Vaatemateriaali, joka imee hikeä iholta, koetaan usein miellyttäväksi, mutta sillä ei ole samanlaista viilennystehokkuutta kuin hien haihtumisella (Gavin 2003).

Ikä. McArdlen ym. (2009, 632) mukaan useat ikään liittyvät tekijät vaikuttavat lämmönsäätelyyn. Ikääntyminen viivästyttää hikoilun alkua ja vähentää hikoilun määrää, muun muassa koska lämpöreseptorien ja hikirauhasten toiminta on heikentynyt. Ikääntyminen muuttaa myös ihon ja sen verisuonten rakennetta ja heikentää vasodilaatio-vastetta. Vanhemmilla urheilijoilla on 25 – 40 % vähäisempi ihon verenkierto kuin nuoremmilla urheilijoilla aiheuttaen korkeamman syvälämmön. Ikääntyneet ihmiset eivät myöskään palaudu nestehukasta yhtä nopeasti kuin nuoremmat, pääosin koska janon tunne on heikompi. Falkin ja Dotanin (2008) mukaan lapset tuottavat enemmän lämpöä painoaan kohden kuin aikuiset, mikä tekee heistä vähemmän taloudellisia. Lisäksi vaikka lapsilla on myös suurempi ihon pinta-ala suhteessa kehon painoon, he hikoilevat vähemmän. Nämä seikat tekevät lapsista haavoittuvampia ja alttiimpia syvälämmön nousulle varsinkin kuumassa ilmastossa.

Sukupuoli. Kaciuba-Uscilkon ja Grucznan (2001) mukaan naiset eroavat miehistä lämmönsäätelyn osalta, koska naisilla on yleensä suurempi kehon pinta-ala – painosuhte, suurempi ihonalainen rasvamäärä ja heikompi fyysinen suorituskyky. Naisilla on myös heikompi hikoiluvaste lämpökuormituksessa kuin miehillä, mutta he pystyvät kuitenkin

säilyttämään syvälämmön samalla tasolla kuin miehet tehokkaamman hien haihtumisen avulla. Naisen kuukautiskierto vaikuttaa myös lämmönsäätelyyn. Kehon syvälämpö vaihtelee 0,3 – 0,5 °C levossa riippuen kuukautiskierron vaiheesta. Lämmönvaihtelut johtuvat lähinnä lämmönsäätelyyn vaikuttavasta keltarauhashormonista, jota erittyy kierron luteaalivaiheessa. Vaikka levossa mitattu syvälämpö on suurempaa luteaalivaiheessa, on puolestaan liikunnan aikainen hikoilu tehokkaampaa ja syvälämmön nousu vähäisempää kuin follikkelivaiheessa tai miehillä (Grucza 1990). Raskaana olevat naiset näyttäisivät Soultanakis-Aligiannin (2003) mukaan olevan hyvin suojattuja suurelta syvälämmön nousulta. He pystyvät hyvin sietämään 20 – 60 min kestoista ja kohtalaisen kuormittavaa liikuntaa ilman suurta lämmön nousua eikä sikiölle aiheudu stressiä. Riskien välttämiseksi kehon syvälämpö ei kuitenkaan saisi nousta enempää kuin 1,5 °C lepolämpötilasta tai yli 38,9 °C.

Kehon viilennys. Kuten Gonzales-Alonso ym. (1999) raportoivat, uupumus kuumasuorituksessa saavutetaan samalla syvälämmöllä riippumatta siitä, mikä on ollut syvälämpö ennen suoritusta. Uupumus saavutaan kuitenkin sitä myöhemmin, mitä alhaisempi on syvälämpö ollut ennen suoritusta. Ennen kuumassa tehtävää fyysistä suoritusta, syvälämpöä voidaan laskea kehon esiviilennyksellä. Esiviilennys voidaan suorittaa altistamalla kylmälle ilmalle, kylmäsuihkuin/kylvyin tai pukemalla kylmällä vedellä kasteltu vaate ihon päälle (Daanen ym. 2006). Syvälämmön nousua voidaan hillitä myös suorituksen aikana. Luomala ym. (2012) raportoivat muun muassa merkittävästi pidemmästä suoritusajasta (+ 21,5 ± 7,6 %) ja pienemmästä hermo-lihas-järjestelmän väsymisestä uupumukseen asti suoritettussa pyöräilyssä kuumassa ja kosteassa ilmassa, kun koehenkilöt pitivät yllään kylmäliiviä.

Uni. Harvoissa urheilulajeissa tehdään fyysisiä suorituksia univajeessa, mutta useissa ammateissa se on arkipäivää. Univajeen vaikutuksia fysiologisiin muuttujiin fyysisessä kuormituksessa on tutkittu. Sawka ym. (1984) tarkkailivat tutkimuksessaan 33h univajeen vaikutusta lämmön luovutukseen ja syvälämmön nousuun submaksimaalisessa suorituksessa verrattuna normaaliin tilaan. He raportoivat univajeen aiheuttavan vähäisempää lämmönpoiston määrää (hikoilun määrä, lämmön johtuminen) ja korkeampaa syvälämpötilaa kuin normaalitilassa tehdyssä suorituksessa. Myös suoritusajan uupumukseen johtavassa suorituksessa on havaittu merkittävästi lyhenevän univajeessa (Martin 1981). Muissa

fysiologisissa muuttujissa, kuten sykkeessä, verenpaineessa tai hapenkulutuksessa ei tapahdu muutosta submaksimaalisessa suorituksessa verrattuna normaaliin tilaan (Horne 1978). Maksimaalisessa suorituksessa puolestaan syketasot voivat olla alhaisemmat univajeessa hapenkulutuksen ollessa saman suuruista verrattuna normaalitilaan (Martin & Gaddis 1981).

Sairaudet ja lääkkeet. Myös monet sairaudet, lääke- ja dopingaineet sekä alkoholi voivat haitata ihmisen normaalia lämmönsäätelyä ja näin vaikuttaa suorituskykyyn. Pahimmillaan sairaudet ja lääkeaineet aiheuttavat vaaratilanteita varsinkin kuumatyössä (Ilmarinen ym. 1994).

6 KEHON SYVÄLÄMMÖN MITTAAMINEN

Kehon syvälämmön standardi on keuhkovaltimonveren lämpötila, mutta sen mittaaminen vaatii kirurgisia toimenpiteitä eikä näin ollen sovellu jokapäiväiseen tutkimiseen ja mittaamiseen (El-Radhi & Barry 2006; Farnell ym. 2005; Rupp ym. 2004). Kehon syvälämpöä voi kuitenkin mitata monella muulla tavalla riippuen mittauksen tarkoituksesta ja käytettävissä olevista mittausvälineistä (Lim ym. 2008). Epäsuoria kehon syvälämmön mittaamenetelmiä ovat suusta (kielen alta), tärykalvolta ja kainalosta mittaaminen, kun taas suoria mittaamenetelmiä ovat peräsuolesta, ruokatorvesta ja ruoansulatuselimistä mittaaminen (Gisolfi & Mora 2000). Epäsuoria syvälämmön mittaamenetelmiä käytetään yleisesti terveydenhuollossa, kun taas suoria mittaamenetelmiä käytetään yleisimmin urheiluun ja liikuntaan liittyvissä tutkimuksissa ja mittauksissa (Lim ym. 2008).

Epäsuorat mittaamenetelmät. Lämpötilan mittaaminen suusta on helppoa ja suun lämpötila reagoi syvälämmön muutoksiin ollen noin 0,4 °C matalammalla tasolla kuin syvälämmön standardilämpötila keuhkovaltimoverestä (Moran & Mendal 2002; Ilsley ym. 1983). Haittapuolena suusta mittaamisesta on, että mittaaminen kestää muutaman minuutin eikä näin ollen sovellu heti urheilusuorituksen jälkeiseen mittaamiseen (Folk ym. 1998; Lim ym. 2008). Lisäksi mittaustarkkuuteen voi Limin ym. (2008) mukaan vaikuttaa hengitystaajuus, pään lämpötila sekä ennen mittaamista nautittu neste ja ravinto. Lämpötilan mittaaminen kainalosta on turvallinen mittaamistapa ja soveltuu sen vuoksi myös pienille lapsille, mutta sillä on raportoitu olevan huono yhteys muiden syvälämmön mittaamenetelmien kanssa aikuisilla ja lapsilla (El-Radhi & Barry 2006). Ilman lämpötila, hiki, kosteus ja kainalokarvoituksen määrä tekevät kainalolämmön mittaamisesta epätarkkaa eikä se näin ollen sovellu tutkimuskäyttöön eikä urheiluun liittyviin mittauksiin (Cattaneo ym. 2000; Lim ym. 2008). Moran ja Mendalin (2002) mukaan lämpötilan mittaamisella tärykalvolta on epäsuorista mittaamenetelmistä suurin yhteys kehon syvälämmön kanssa. Siinä lämpötila mitataan korvan tärykalvolta, jonka verenkiertoa ruokkii sisempi kaulavaltimo. Aivojen lämmönsäätelyelimelle, hypotalamukselle saapuu veri myös samalta suonelta. Tärykalvolta mitattavan lämmön mittaamistarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin suuresti mittaustaito eikä mittausta voida suorittaa jatkuvasti ja näin ollen se ei ole hyvä syvälämmön

mittaamismenetelmä tutkimuksessa ja urheilun aikaisissa mittauksissa (Cattaneo ym. 2000; Lim ym. 2008).

Suorat mittausmenetelmät. Limin ym. (2008) mukaan peräsuolesta mitattava rektaalilämpö on yleisin kehon syvälämmön mittaamismenetelmä laboratoriomittauksissa, koska se on tarkka ja vakaa mittausmenetelmä eikä ympäröivät olosuhteet vaikuta mittaustuloksiin. Kuitenkin, koska rektaalimittauksessa lämmönmittausanturi asetetaan noin 8 cm peräaukon sulkijalihaksen sisäpuolelle peräsuoleen, voi menetelmä olla jopa traumaattista lapsille ja aikuisillekin epämukavaa. Kun kehon syvälämpöä mitataan ruokatorvesta, mittausanturi viedään nenän tai suun kautta ruokatorveen, lähelle keuhkovaltimoa (Kolka ym. 1997). Ruokatorvesta mitattava syvälämpö on hyvin tarkka menetelmä ($\pm 0,1 - 0,2$ °C sisemmän keuhkovaltimon lämpötilasta), mutta mittausanturin asettaminen ruokatorveen nenän tai suun kautta voi olla vaikeaa ja aiheuttaa koehenkilölle epämukavuutta (El-Radhi & Barry 2006). Syvälämmön mittaaminen ruoansulatuselimistä tapahtuu nielemällä telemetrinen sensori, joka lähettää tietoa lämpötilasta johdottomasti ulkoiselle tallentimelle (Lim ym. 2008). Ruoansulatuselimistä mitattavalämpö on yhtä tarkka syvälämmön mittausmenetelmä vaikkakin reagoi hieman hitaammin syvälämmön muutoksiin kuin ruokatorvesta tapahtuma mittaus, mutta nopeammin kuin rektaalimittaus (Lee ym. 2000; Byrne & Lim 2007). Ruoansulatuselimistä mittaamisen etuina on menetelmän miellyttävyys koehenkilöille sekä mahdollisuus jatkuvaan lämmön mittaamiseen (Lim ym. 2008). Wilkinsonin ym. (2008) mukaan menetelmän haittana on vaikeus vakioida sensorin sijainti, koska ihmisillä on yksilöllinen liikkuvuusnopeus ruoansulatuselimissä. Lisäksi liian lähellä mittausta nautittu ruoka ja neste voivat vaikuttaa mittaustulokseen.

7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT

Palomiehen työtehtävät, varsinkin savusukellus- ja raivaustehtävät, aiheuttavat suuret vaatimukset hengitys- ja verenkiertoelimistölle sekä lihaksistolle. Suuren fyysisen kuormituksen lisäksi kyseisillä tehtävillä käytetään paineilmalaitteen lisäksi kuumuudelta suojaavaa monikerrosvaatetusta ja muita suojavälineitä, jotka kuitenkin lisäävät kehon lämpökuormitusta ja voivat pitkässä tehtävässä johtaa ylikuormittumiseen. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada selville kuntotekijöiden ja kehonkoostumuksen mahdolliset yhteydet kehon syvälämmön nousuun palomiehen työnomaista suoritusta kuvaavassa työtestissä. Mahdollisista yhteyksistä voitaisiin saada tietoa mitä fyysisiä ominaisuuksia yksittäisen palomiehen kannattaisi kehittää, jotta liiallinen syvälämmön nousu voitaisiin estää oikeassa pelastustehtävässä. Poikkeuksena aiempiin tutkimuksiin, tässä tutkimuksessa esimerkiksi kestävyysuorituskyvyn (VO_{2max}) yhteyttä tarkasteltiin myös muita fyysisiä ominaisuuksia vaativan työnomaisen suorituksen aikaansaamaan syvälämmön nousuun. Lisäksi paksun vaatetuksen merkitystä syvälämpöön tarkasteltiin, kun työtesti suoritetaan paksussa ja kevyessä vaatetuksessa.

Tutkimusongelmat:

- 1 Korreloiko kestävyyskunto, lihaskunto ja FireFit- indeksi työnomaisen suorituksen aikaisen kehon syvälämmön kanssa?
- 2 Korreloiko kehonkoostumus (rasvaprosentti, lihasmassa) työnomaisen suorituksen aikaisen kehon syvälämmön kanssa?
- 3 Mikä on vaatetuksen rooli työtestin aikaisen syvälämmön ja fyysisten ominaisuuksien yhteydessä?

Hypoteesit:

- 1 Paremman kestävyyskunnan omaavilla havaitaan käänteinen yhteys syvälämmön kanssa, koska työtestin suoritus aika on vakioitu. Syvälämpö on sitä matalampi, mitä korkeampi koehenkilön VO_{2max} on (Greenhaff 1989). Kestävyyskunnan ja lihaskunnan yhdistävä FireFit-indeksi korreloi paremmin syvälämmön kanssa kuin pelkkä kestävyyskunto, koska palomiehen työ aiheuttaa vaatimuksia myös lihasvoimalle ja -kestävyydelle (Lusa ym. 2010).
- 2 Kehon rasvaprosentti tulee korreloimaan syvälämmön kanssa. Mitä suurempi on koehenkilön rasvaprosentti, sitä korkeammalle syvälämpö nousee, koska rasvakudos toimii eristeenä lämmön poistumiselle (McArdle ym. 2009, 633). Lihasmassalla ei ole samanlaista yhteyttä syvälämpöön, koska aktiivisen lihaksen eristävyys heikkenee kiihtyneen verenvirtauksen ansiosta (Veicsteinas ym. 1982)
- 3 Paksumpi vaatetus aiheuttaa korkeamman syvälämmön työtestissä, koska haihtuvan hien määrä on pienempi ja häiritsee näin lämmönpoistoa kehosta (Nagata 1978). Kehon rasvaprosentin merkitys syvälämmön nousussa tulee paremmin esiin kevyessä vaatetuksessa suoritettussa työtestissä, koska vaatetus häiritsee lämmön poistumista (Gavin 2003), kuten rasvakudoskin, eikä rasvakudoksen määrän merkitys näin ollen näy paksun vaatetuksen kanssa tehdyssä suorituksessa niin selkeästi. Parempi kestävyyskunto näkyy työtestissä alhaisempana syvälämpönä tehostuneen ihon verenkierron ja hikoilun myötä (Ichinosen ym. 2005), mutta korrelaatio on heikompi paksussa vaatetuksessa, koska hien haihtuminen iholta on häiriintynyt paksun vaatekerroksen takia. Paremman lihaskunnan ja FireFit- indeksin voi olettaa näkyvän alhaisempana syvälämpönä paksussa vaatetuksessa, koska ylimääräinen paino aiheuttaa lisävaatimuksia lihasvoimalle ja -kestävyydelle.

8 MENETELMÄT

8.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä toimivat 10 kpl Pirkanmaan pelastuslaitoksen palomiehiä (ikä: $35,1 \pm 5,5$ v; pituus: $176,9 \pm 6,6$ cm; paino: $82,3 \pm 7,6$ kg) (Taulukko 1). Koehenkilöiden rekrytointivaiheessa heille ilmoitettiin kirjallisesti tutkimuksen tausta, tarkoitus, tavoite, mittausten protokolla, koehenkilön oikeudet, mahdolliset riskit sekä mihin tutkimustietoa käytetään. Samat asiat kerrattiin vielä suullisesti ennen mittauksia. Tutkimukseen osallistuminen oli koehenkilöille vapaaehtoista ja heille kerrottiin, että heillä on oikeus keskeyttää osallistumisensa tutkimukseen missä vaiheessa tahansa. Koehenkilöiden terveys kartoitettiin Riskien arviointi- ja suostumuslomakkeella ja he allekirjoittivat lisäksi Tiedote tutkittaville ja suostumus tutkimukseen osallistumisesta -lomakkeen, kun he olivat perehtyneet tutkimuksen sisältöön ja sisäistäneet sen (LIITE 1 & 2). Tutkimuksen koehenkilöiden nimiä ja henkilötietoja ei julkaista missään vaiheessa tutkimusta. Eettinen lausunto tutkimusta varten saatiin Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden kuvaus.

Koehenkilöt n=10	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)
Keskiarvo ja -hajonta	$35,1 \pm 5,5$	$176,9 \pm 6,6$	$82,3 \pm 7,6$
min	28	169	69,9
max	47	190	92,6

8.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin kuuden viikon aikana joulukuun 2016 ja tammikuun 2017 välisenä aikana Pirkanmaan pelastuslaitoksen tiloissa. Mittaukset koostuivat kahdesta vaiheesta. Ensimmäinen vaihe koostui kehonkoostumusmittauksista ja savusukellustehtävää kuvaavasta työtestistä, jonka koehenkilöt suorittivat kahteen kertaan eri varusteita käyttäen. Toisessa vaiheessa koehenkilöille suoritettiin suorituskykymittaukset kestävyyskunnan sekä lihasvoiman -ja kestävyuden määrittämiseksi. Jokaisen eri suorituskykymittauksen välillä koehenkilöillä oli vähintään neljä vuorokautta palautumisaikaa.

8.3 Tutkimusmenetelmät

8.3.1 Kehonkoostumus

Aluksi koehenkilöille suoritettiin kehonkoostumusmittaus Tanita BC-418 MA-bioimpedanssilaitteella (Tanita Corporation of America, Inc., Arlington Heights, Illinois, USA). Mittaukset suoritettiin aamupäivällä niin, että koehenkilöt olivat syöneet aamupalan 2 – 4 h ennen mittausta. Aamupalan määrää ja laatua sekä nesteytystä ei vakioitu. Mittauksesta saatiin selville koehenkilöiden paino ja kehon rasvaprosentti. Näiden tietojen sekä pituuden avulla voitiin laskea kehon FFMI (fat-free mass index). Kun FFM (fat-free mass) tarkoittaa kehon rasvattoman massan määrää, FFMI suhteuttaa rasvattoman massan määrän henkilön pituuteen (kg/m^2) ja kertoo henkilön lihaksikkeudesta (Vestbo ym. 2006; Kouri ym. 1995). FFMI laskettiin seuraavasti:

$$\text{FFM (kg)} = \text{paino (kg)} \times (1 - \text{rasva\%/100}) \text{ (Wang ym. 1994),}$$

$$\text{FFMI (kg}/\text{m}^2) = \text{FFM (kg)}/\text{pituuden neliö (m}^2) \text{ (Schutz ym. 2002).}$$

8.3.2 Työtestit

Kehonkoostumusmittauksen jälkeen koehenkilöt suorittivat pitkän, työnomaisia suoritteita sisältävän työtestin täydessä savusukellusvarustuksessa sekä kevyessä urheiluvaatetuksessa. Suoritusjärjestys työtesteihin arvottiin ja ne suoritettiin yksitellen. Työtestin suorituksen aikana koehenkilöltä mitattiin kehon syvälämpöä ja sykettä. Työtesti piti sisällään savusukellustestiradan (ns. Oulun malli), edestakaisen kävelyn saunalle, kuntopyörällä polkemisen saunassa sekä uudelleen suoritettavan savusukellustestiradan (ns. Oulun malli). Testiradan suorituksen kesto oli 42 minuuttia. Työtestin jokaiseen osioon oli vakioitu suoritus aika (KUVA 1 & Taulukko 2). Kun suoritus aika oli kulunut, alkoi heti seuraava työtestin osio. Jos koehenkilö suoritti osion loppuun vakioutua aikaa nopeammin, niin jäljelle jäänyt aika käytettiin seisaaltaan palautumiseen ennen seuraavan osion alkua.



KUVA 1. Työtestiradan suoritusjärjestys ja aikarajat.

TAULUKKO 2. Oulun mallin savusukellustestiradan suoritusohjeet. (Sisäasiainministeriö 2007).

Tehtävä	Välineet	Ohje	Aika
Käveleminen ilman letkurullia ja niitä kantaen	2 kpl 76 mm:n letkurullaa (16,6 kg/kpl)	Ensin kävely ilman letkurullia 100 m, jonka jälkeen kävely letkurullia kantaen 100 m	4 min
Portaissa liikkuminen	Portaan korkeus 18-22 cm	Portaissa noustaan ja laskeudutaan niin, että nousua tulee yhteensä 20 m	3,5 min
Kuorma-auton renkaan moukarointi	Vanteeton kuorma-auton rengas (n. 47 kg), moukari (pään paino 6 kg)	Rengasta siirretään moukaroimalla 3 m	2 min
Esteiden alitus ja ylitys	8 m pitkä rata, jossa 3 aitaa korkeudella 60 cm	Ensimmäinen aita alitetaan, toinen ylitetään ja kolmas alitetaan. Rata kuljetaan takaisin samassa järjestyksessä. Yhteensä kolme kierrosta.	3 min
Letkun rullaus	25 m pitkä letku, jonka leveys 42 mm	Letku rullataan niin, että toinen liitin pysyy paikallaan	2 min
yhteensä 14,5 min			

Protokolla. Työtesti alkoi taulukon 3 mukaisella savusukellustestiradalla, joka sisälsi savusukellustehtävää jäljitteleviä työsuoritteita (Sisäasiainministeriö 2007). Savusukellustestiradan jälkeen käveltiin 87 metrin matka saunalle. Yhdensuuntainen kävelymatka saunalle sisälsi 7 metriä porrastousta. Seuraava osio suoritettiin saunassa, jossa

poljettiin saunan lattialle asetellulla Daum Medical 8i- polkupyöraergometrilla (Daum Electronic GmbH, Fürth, Saksa) 7 minuutin ajan teholla 140 W. Saunan lämpötila oli työttestien ajan 58 – 62 °C ja ilmankosteus 16 – 21 %, 150 cm:n korkeudelta saunan lattiasta mitattuna. Tämän jälkeen seurasi kävely takaisin savusukellustestiradalle samaa reittiä kuin saunalle mennessä sekä savusukellustestirata uudelleen suoritettuna.

Mittaukset. Työttestien aikana koehenkilöiltä mitattiin sykettä Polar M400- sykemittarilla (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) sekä kehon syvälämpöä rektaalisti ACR Smart Reader Plus- mittauslaitteella (ACR Systems Inc., Surrey, Kanada). Kehon syväosien lepolämpö mitattiin jo ennen työttesti- suoritukseen vaadittavien varusteiden pukemista. Syvälämpöä mittaava anturi asetettiin peräsuoleen 8 cm peräaukon sulkijalihaksen sisäpuolelle (Lim ym. 2008).

Varusteet. Työttestit suoritettiin paineilmalaitetta käyttäen. Suoritusten pituudesta johtuen paineilmalaitteissa käytettiin kahta 6,8 litran komposiitista valmistettua paineilmapulloa (täyttöpaine 300 bar), jolla taattiin ilman riittävyys koko testin ajan (KUVA 2). Työttesti 1:ssä asusteena käytettiin Eurooppalaisen standardin EN 469 mukaista palopukua, jossa ei ollut kosteussulkua (KUVA 2) (Mäkinen ym. 2007). Palopuvun alla käytettiin useampaa kerrosta alus- ja välivaatetusta (KUVA 3) (Ilmarinen ym. 1994). Alusvaatteina käytettiin lyhyitä alushousuja, virka-asun lyhythihaista paitaa (38 % puuvilla, 62 % polyester) ja sukkia. Väliasuna käytettiin virka-asun pitkälahkeisia housuja ja pitkähihaista paitaa (38 % puuvilla, 62 % polyester). Lisäksi käytettiin palokypärää, jonka alla kypärämyssyä ja palopuvun huppua (KUVA 4); palokäsineitä, joiden alla puuvillakäsineet (KUVA 5) sekä kumipäälysteisiä palojalkineita, joiden sisällä saapassukkia (KUVAT 2 & 3) (Sisäasiainministeriö 2007). Työttesti 2:ssa varusteina käytettiin paineilmalaitteen ja palokypärän lisäksi kevyttä urheiluvaatetusta eli alushousuja, sukkia, lyhythihaista paitaa, lyhytlahkeisia housuja sekä lenkkitosuja (KUVA 6). Molempien työttestien ajan testipaikalla oli ensiapuvalmius.



KUVA 2. Paineilmalaite, palopuku, palojalkineet, sammutuskäsineet ja palokypäri.



KUVA 3. Alus- ja välivaatetukset.



KUVA 4. Palokypärän alla käytettiin kypärämyssyä ja palopuvun huppua.



KUVA 5. Palokäsine ja sen alla käytetty puuvillakäsine.



KUVA 6. Työtesti 2:n varustus.

8.3.3 Polkupyöräergometritesti

Polkupyöräergometritesti suoritettiin maksimaalisena suorana testinä ja sillä oli tarkoitus selvittää koehenkilöiden maksimaalinen hapenotto-kyky (VO_{2max}). Polkupyöräergometrinä käytettiin Ergoline Ergoselect- testiergometripyörää (Ergoline GmbH, Bitz, Saksa), jota ohjattiin FireFit- testausjärjestelmällä (Aino Active Oy, Helsinki, Suomi). Ennen testiä koehenkilöt suorittivat 10 min omatoimisen lämmittelyn kuntopyörällä. Testi suoritettiin nousevatehoisena, kolmen minuutin kuormitusportain ja aina uupumukseen asti. Kuormitusportaan korotuksena käytettiin 50 % koehenkilön painosta. Kun kynnsarvoja (AerK, AnK) ei ollut tarvetta selvittää, testi pyrittiin pitämään suhteellisen lyhyenä. Yoonin ym. (2007) mukaan terveillä, kohtalaisesti tai paljon harjoitelleilla VO_{2max} -testi tulisi kestää 8 – 10 minuuttia. Myös Astorino ym. (2004) mukaan optimaalinen VO_{2max} -testin kesto tulisi olla 7 – 10 minuuttia. Kun kaikkien koehenkilöiden suorituskyky tiedettiin suhteellisen

tarkasti aikaisempien submaksimaalisten ja maksimaalisten polkupyöraergometritestien perusteella, testiprotokolla pystyttiin suunnittelemaan niin, ettei testi venyisi tarpeettoman pitkäksi. Kun tiedetään, että rajoittavin tekijä suorituskyvyn laskussa näyttäisi olevan korkea kehon syvälämpötila (Cheung & McLellan 1998; Nielsen ym. 1993), pyrittiin tämä tekijä myös minimoimaan testin kestossa.

Mittaukset. Polkupyöraestän aikainen maksimaalinen hapenotto- ja hengityskapasiteetti (VO_{2max}) mitattiin käyttämällä BD Oxycon mobile- hengityskaasuanalysaattoria (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, New Jersey, USA). Ennen jokaista testiä hengityskaasuanalysaattorille suoritettiin tarvittavat kalibroinnit virtausanturille sekä happi- ja hiilidioksidiantureille. Jokaista koehenkilöä varten hengitysmaski ja virtausanturi oli pesty ja desinfioitu. Jokaisen mittauspäivän aluksi vallitseva ilmanpaine, ilman lämpötila ja -kosteus asetettiin mittauslaitteistolle. Testin aikana mitattiin hengityskaasujen lisäksi sykettä ja verenpainetta.

Testin perusteella määritettiin myös koehenkilön maksimaalinen poljentateho (W) laskemalla viimeisen kolmen minuutin painotettu keskiarvo (Keskinen ym. 2007, 68). Maksimaalisen poljentatehon perusteella laskettiin sitten teoreettinen hapenotto- ja hengityskapasiteetti ($teorVO_{2max}$) (Adams 1990).

$$teorVO_{2max} \text{ (ml/min)} = P \times 12 + 300,$$

jossa P on poljentateho (W) ja luku 300 on hapenkulutuksen lepokomponentti (ml/min).

8.3.4 Lihaskuntotesti

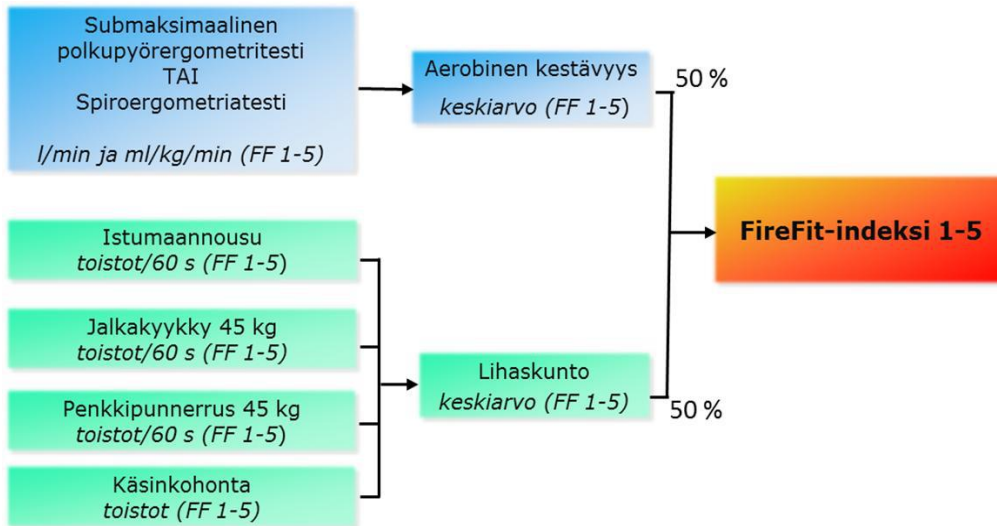
Lihaskuntotestin tarkoitus oli mitata koehenkilöiden lihasvoimaa ja -kestävyyttä. Lihaskuntotestinä käytettiin Sisäasiainministeriön (2007) Pelastussukellusohjeen mukaista testiä (Taulukko 3).

TAULUKKO 3. Lihaskuntotestin sisältämät suoritukset (Sisäasianministeriö 2007).

Testi	krt	Heikko	Tyydyttävä	Hyvä	Erinomainen
Makuulta istumaan (krt/60 s)		≤ 20	21 - 28	29 - 40	≥ 41
Penkkipunnerrus, 45 kg (krt/60 s)		≤ 9	10 - 17	18 - 29	≥ 30
Jalkakyykky, 45 kg (krt/60 s)		≤ 9	10 - 17	18 - 26	≥ 27
Käsinkohonta (krt)		≤ 2	3 - 4	5 - 9	≥ 10

8.3.5 FireFit- indeksi

Sisäasianministeriön (2016) mukaan työn vaatimaa fyysistä toimintakykyä arvioidaan FireFit-menetelmään kuuluvaa kuntoarviota, FireFit- indeksiä, käyttäen. FireFit- indeksi muodostuu hengitys- ja verenkiertoelimistöä mittaavasta polkupyöräergometritestistä sekä lihasvoimaa ja -kestävyyttä mittaavasta lihaskuntotestistä. Aerobisen kestävyysindeksi lasketaan keskiarvona polkupyöräergometritestin VO_{2max} (l/min) ja VO_{2max} (ml/min/kg) arvoista. Lihaskunto-osion indeksi puolestaan lasketaan lihaskuntotestin sisältämien neljän suorituksen keskiarvona. Aerobista kestävyyttä ja lihaskuntoa painotetaan samalla painoarvolla (50 %) FireFit- indeksiä muodostaessa (KUVA 7). FireFit- indeksin kunto-osioiden luokitukset määritetään taulukon perusteella (Taulukko 4).



KUVA 7. Pelastajien fyysisen toimintakyvyn indeksi, FireFit-indeksi (Kuva muunneltu lähteestä Lusa ym. 2015).

TAULUKKO 4. FireFit-indeksin luokituksissa käytettävät raja-arvot (Lusa ym. 2015).

	1	2	3	4	5
	Pelastussukellusraja				
VO ₂ max (l/min)	≤ 2,49	2,5-2,99	3,0-3,99	4,0-4,8	≥ 4,81
VO ₂ max (ml/kg/min)	≤ 29,99	30,0-35,99	36,0-49,99	50,0-57,99	≥ 58,0
Penkkipunnerrus 45kg (krt/min)	≤ 9	10-17	18-29	30-44	≥ 45
Makuulta istumaan (krt/min)	≤ 20	21-28	29-40	41-51	≥ 52
Jalkakyykky 45 kg (krt/min)	≤ 9	10-17	18-26	27-33	≥ 34
Käsinkohonta (krt)	≤ 2	3-4	5-9	10-14	≥ 15

8.4 Tilastoanalyysit

Tutkimuksen tilastolliseen tarkasteluun käytettiin IBM SPSS 24.0- ohjelmistoa (IBM Corporation, Armonk, New York, USA). Aluksi aineiston normaalijakautuneisuus selvitettiin

käyttämällä Shapiro-Wilk- testiä. Testin tulokseksi saatiin, että aineisto ei ollut normaalisti jakautunut. Seuraavaksi selvitettiin mahdolliset korrelaatiot koko aineistolle. Koska aineisto ei ollut normaalisti jakautunut, korrelaatioiden selvittämiseen käytettiin Spearmanin korrelaatiotestiä. Tuloksia pidettiin tilastollisesti merkitsevinä, jos $p \leq 0.05$ ja erittäin merkitsevinä, jos $p \leq 0.01$. Aineiston analysointiin käytettiin myös Microsoft Excel 2016-ohjelmistoa keskiarvojen ja keskihajontojen laskemiseen sekä kuvioiden ja taulukoiden tekemiseen.

9 TULOKSET

9.1 Kehonkoostumus

Kehonkoostumusmittausten tuloksena koehenkilöiden painot olivat välillä 69,9 – 92,6 kg ja kehon rasvaprosentit 9,1 – 28 %. Koehenkilöiden laskennalliset FFMI:t (fat-free mass index) olivat välillä 20,97 – 23,48 kg/m².

TAULUKKO 5. Koehenkilöiden kehonkoostumusmittausten tulokset.

	rasva (%)	FFMI (kg/m ²)
keskiarvo ja -hajonta	15,6 ± 5,0	22,1 ± 0,9
min	9,1	21,0
max	28,0	23,5

9.2 Kestävyysuorituskyky

Koehenkilöiden mitatut hapenottokyvyt (VO_{2max}) olivat välillä 37,9 – 48,4 ml/kg/min. Laskennalliset teoreettiset hapenottokyvyt (teorVO_{2max}) olivat välillä 38,9 – 62,8 ml/kg/min. Koehenkilöiden maksimaaliset poljentatehot (P_{max}) puolestaan olivat välillä 275 – 386 W ja 2,97 – 4,89 W/kg. Kaikki kymmenen koehenkilöä suorittivat polkupyöraergometritestin, mutta kolmelle koehenkilölle ei saatu mitattua hapenottokykyn arvoja hengityskaasuanalysointilaitteen toimintaongelmista johtuen. Muut kestävyysuorituskyvyn arvot saatiin kuitenkin määriteltä kaikille koehenkilöille.

TAULUKKO 6. Koehenkilöiden kestävyysuorituskyky- tulokset.

	VO_{2max} (ml/kg/min) n=7	teorVO_{2max} (ml/kg/min) n=10	P_{max} (W) n=10	P_{max} (W/kg) n=10
keskiarvo ja - hajonta	43,2 ± 3,4	50,1 ± 6,8	318 ± 40	3,87 ± 0,55
min	37,9	38,9	275	2,97
max	48,4	62,8	386	4,89

9.3 Lihasvoima ja -kestävyys

Lihasvoimaa ja -kestävyyttä mittaavassa lihaskuntotestissä koehenkilöiden tulokset olivat penkkipunnerruksessa välillä 28 – 65 toistoa/min, makuulta istumaan välillä 37 – 61 toistoa/min, jalkakyykyssä välillä 26 – 53 toistoa/min ja käsinkohonnassa 9 – 35 toistoa. Tulosten perusteella määritetyt lihaskuntoluokat olivat välillä 3 – 5.

TAULUKKO 7. Koehenkilöiden lihaskunnot.

n=10	keskiarvo ja -hajonta	min	max
Penkkipunnerrus 45kg (krt/min)	41,2 ± 12,7	28	65
Makuulta istumaan (krt/min)	50,7 ± 7,2	37	61
Jalkakyyky 45 kg (krt/min)	37,9 ± 8,3	26	53
Käsinkohonta (krt)	19,1 ± 8,6	9	35
Lihaskuntoluokka (1-5)	4,58 ± 0,6	3	5

9.4 FireFit- indeksi

Mitattujen hapenotto- ja hapenottokykyjen (VO_{2max}) perustella määritetyt FireFit- indeksit olivat välillä 3 – 4 ($n = 7$) ja laskennalliseen hapenotto- ja hapenottokykyihin ($teorVO_{2max}$) perustuvat teorFireFit- indeksit olivat välillä 3 – 4,75 ($n = 10$).

TAULUKKO 8. Koehenkilöiden FireFit- indeksit.

	keskiarvo ja -hajonta	min	max
FF-indeksi (1-5) n=7	$3,7 \pm 0,3$	3,0	4,0
teorFF-indeksi (1-5) n=10	$4,1 \pm 0,5$	3,0	4,8

9.5 Syvälämpö ja syke

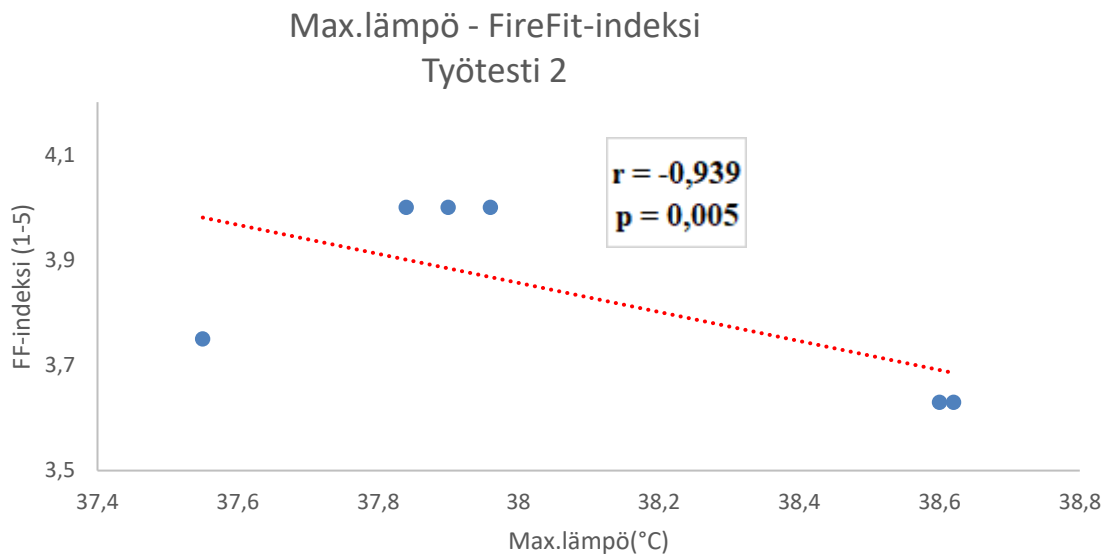
Työtesti 1 suoritettiin täydessä savusukellusvarustuksessa ja siinä koehenkilöiden korkeimmat syvälämmön arvot olivat välillä 38,1 – 39,2 °C ja testin aikaiset syvälämmön nousut puolestaan välillä 1,1 – 1,7 °C. Kaikki 10 koehenkilöä suoritti Työtesti 1:n. Kevyessä urheiluvaatetuksessa suoritettuna Työtesti 2:n korkeimmat syvälämmön arvot olivat välillä 37,6 – 38,6 °C ja testin aikaiset syvälämmön nousut puolestaan välillä 0,7 – 1,2 °C. Työtesti 2:n suoritti kymmenestä koehenkilöstä kahdeksan. Koehenkilöiden keskisyke oli Työtesti 1:ssä keskimäärin 153 ± 11 bpm, kun Työtesti 2:ssa se oli 128 ± 15 bpm.

TAULUKKO 9. Työtestien aikaiset kehon syvälämmöt ja sykkeet.

	max syvälämpöjen keskiarvo ja - hajonta (°C)	syvälämpöjen nousun keskiarvo ja -hajonta (°C)	max sykkeiden keskiarvo ja - hajonta (bpm)	keskisykkeiden keskiarvo ja - hajonta (bpm)
Työtesti 1 n=10	38,7 ± 0,3	1,4 ± 0,2	185 ± 8	153 ± 11
Työtesti 2 n=8	38,2 ± 0,4	1,0 ± 0,1	161 ± 13	128 ± 15

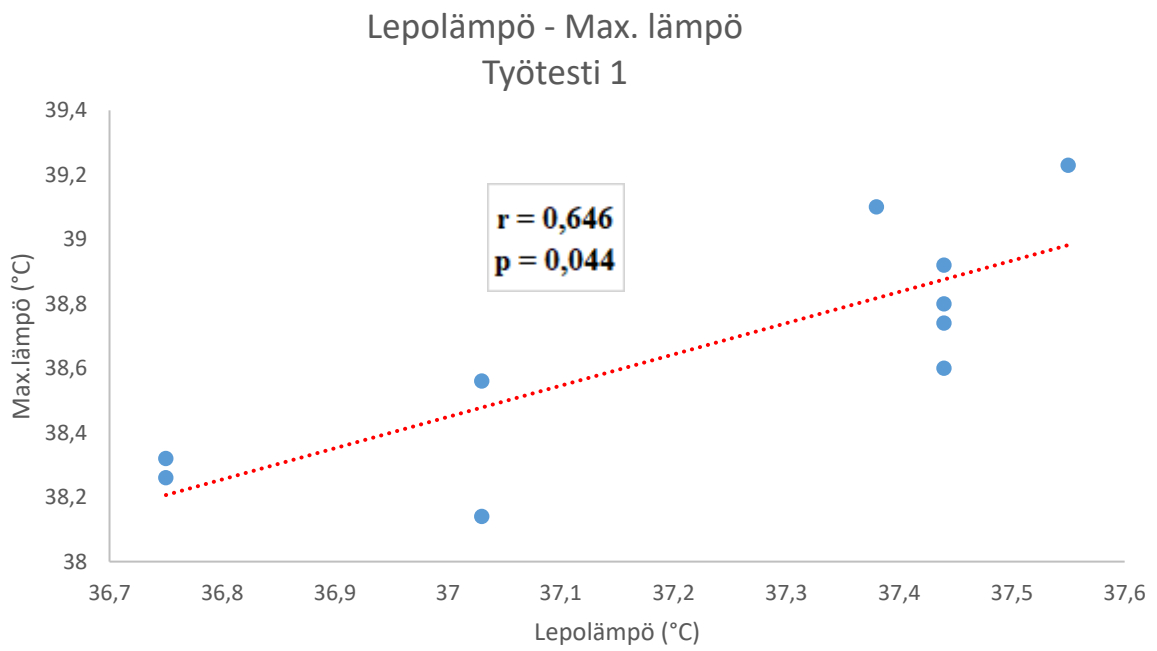
9.6 Korrelaatiot

Tuloksista selvisi, että tilastollisesti merkitsevää korrelaatioita kehonkoostumuksen ja kehon syvälämmön välillä ei löytynyt. Ainoa korrelaatio kuntotekijöihin liittyen löytyi FireFit-indeksin ja syvälämmön väliltä Työtesti 2:ssa eli kevyessä varustuksessa suoritettussa työtestissä. Tässä tapauksessa korrelaatio oli käänteinen ja erittäin merkitsevä ($r = -0,939$, $p = 0,005$) (KUVA 8). Tuloksia pidettiin tilastollisesti merkitsevinä, jos $p \leq 0,05$ ja erittäin merkitsevinä, jos $p \leq 0,01$. Kolmelle koehenkilölle ei saatu mitattua VO_{2max} - arvoja eikä kaksi koehenkilöä suorittanut Työtesti 2:a. Näistä kahdesta vain toiselle saatiin mitattua VO_{2max} , jolloin otanta jäi tässä analyysissä kuuteen (6) koehenkilöön.

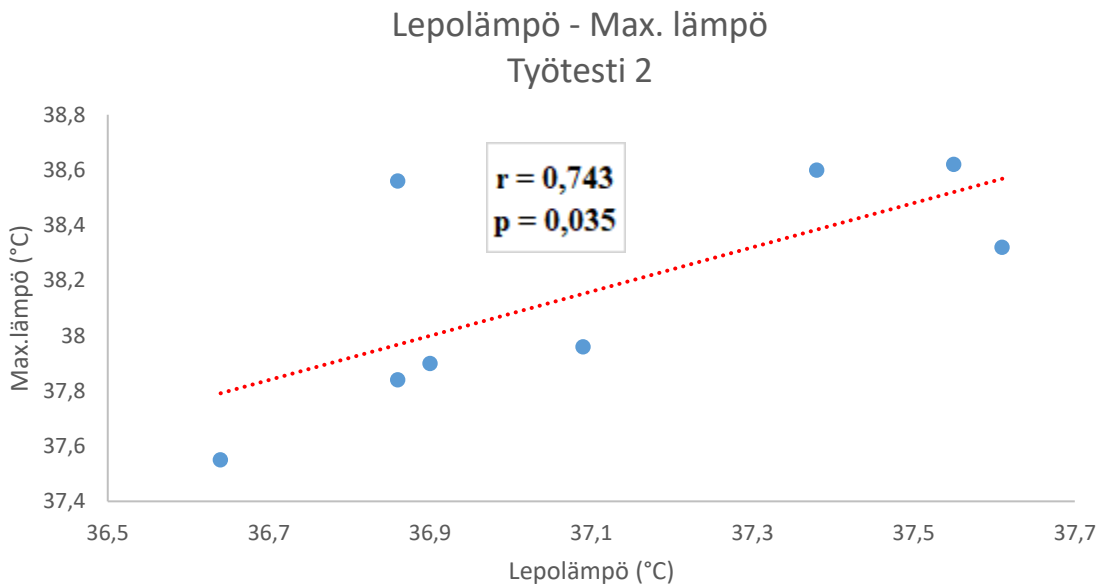


KUVA 8. Maksimaalisen syvälämmön ja FireFit- indeksin korrelaatio Työtesti 2:ssa (n = 6).

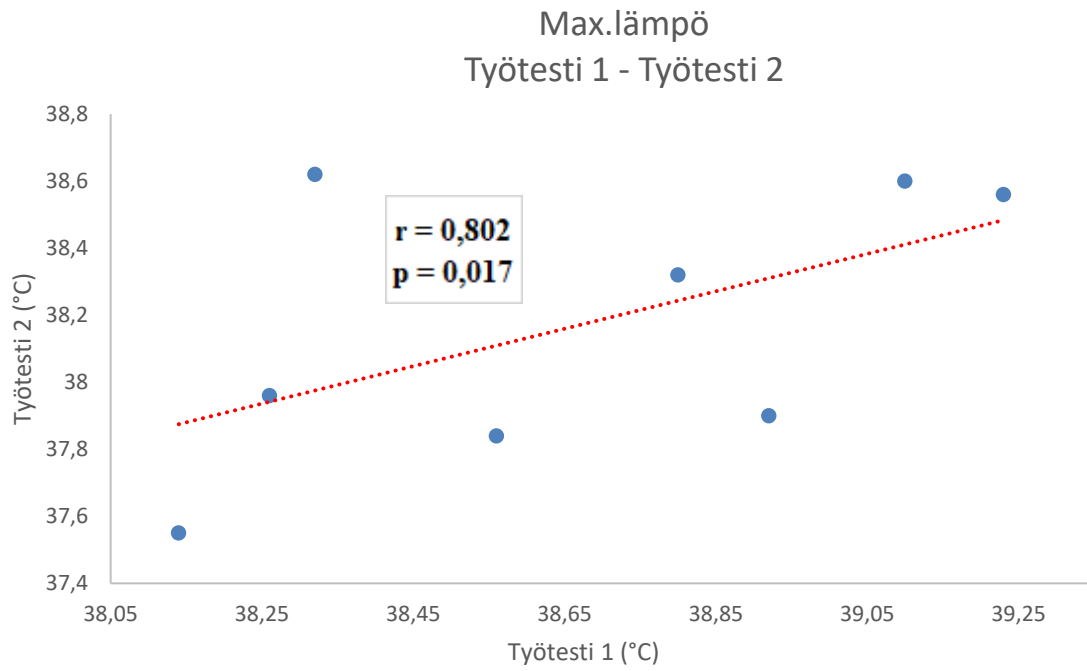
Muita, tilastollisesti merkitseviä tuloksia kuitenkin löytyi. Kehon syvälämpö ennen työtestiä (lepolämpö) korreloi maksimimaalisen syvälämmön kanssa Työtesti 1:ssä ($r = 0,646$, $p = 0,044$) (KUVA 9). Samanlainen tulos löytyi myös Työtesti 2:n kohdalta lepolämmön ja maksimaalisen syvälämmön korreloidessa keskenään ($r = 0,743$, $p = 0,035$) (KUVA 10). Molempien työtestien aikana mitatut syvälämmön maksimaaliset arvot korreloivat myös keskenään ($r = 0,802$, $p = 0,017$) (KUVA 11).



KUVA 9. Lepolämmön ja maksimaalisen syvälämmön korrelaatio Työtesti 1:ssä (n = 10).

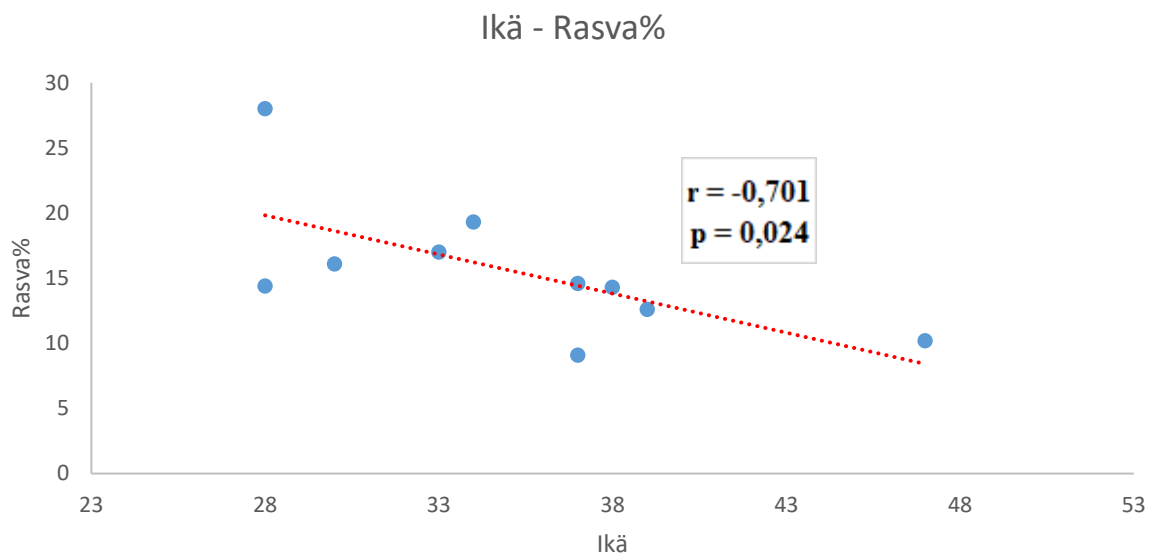


KUVA 10. Lepolämmön ja maksimaalisen syvälämmön korrelaatio Työtesti 2:ssa (n = 8).

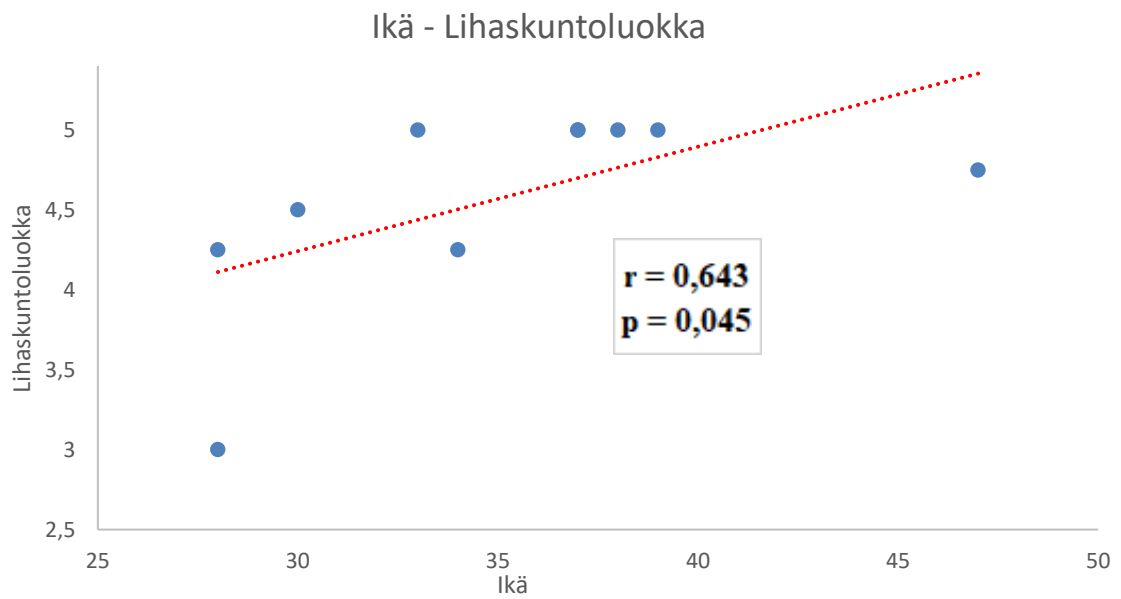


KUVA 11. Maksimaalisen syvälämmön korrelaatio työtestien välillä (n = 8).

Koehenkilöiden iän ja rasvaprosentin välillä oli käänteinen korrelaatio ($r = -0,701$, $p = 0,024$) (KUVA 12). Myös koehenkilöiden ikä ja lihaskuntoluokka korreloivat keskenään ($r = 0,643$, $p = 0,045$) (KUVA 13).



KUVA 12. Koehenkilöiden iän ja kehon rasvaprosentin välinen korrelaatio (n = 10).



KUVA 13. Koehenkilöiden iän ja lihaskuntoluokan välinen korrelaatio (n = 10).

10 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää korreloiko kestävyyskunto, lihaskunto ja kehonkoostumus kehon syvälämmön kanssa fyysisesti vaativaa savusukellustehtävää kuvaavan työtestin aikana. Kuntotekijät ja kehonkoostumus eivät tämän tutkimuksen perusteella ole yhteydessä kehon syvälämpöön täydessä savusukellusvarustuksessa tehtävässä työsuorituksessa. FireFit- indeksi korreloi negatiivisesti syvälämmön kanssa ($r = -0,939$, $p = 0,005$), mutta vain kevyessä vaatetuksessa tehdyssä suorituksessa eikä tuloksesta voida tämän vuoksi vetää johtopäätöksiä oikeisiin työtehtäviin. Eri tutkimuksissa on todettu, että kestävyyskunnolla ja syvälämmöllä on yhteys esimerkiksi niin, että vakiokuormalla tehdyssä suorituksessa huonompikuntoisella (alhaisempi VO_{2max}) syvälämpö nousee korkeammaksi kuin parempikuntoisella (Greenhaff 1989). Tutkimuskysymyksiä ja hypoteesien ulkopuolelta tutkimuksen selkein löydös oli, että lepolämpö ja maksimaalinen syvälämpö korreloivat positiivisesti keskenään.

10.1 Fyysinen kunto

Ensimmäisenä hypoteesina oli, että kestävyyskunnan (VO_{2max}) ja syvälämmön välillä havaitaan käänteinen korrelaatio. Lisäksi hypoteesissa mainittiin, että kestävyyskunnan ja lihaskunnan yhdistävän FireFit- indeksin ja syvälämmön välillä olisi vielä vahvempi käänteinen korrelaatio, koska työ, jota työtesti kuvaa, aiheuttaa vaatimuksia sekä kestävyydelle että lihasvoimalle (Lusa ym. 2010). Kestävyyskunto ei tulosten perusteella korreloi syvälämmön kanssa eikä näin tue hypoteesia. Hypoteesissa viitatus Greenhaffin (1989) tutkimuksen tulos on kuitenkin saatu puhtaassa kestävyys suorituksessa, normaalissa huoneenlämmössä ja kevyessä urheiluvaatetuksessa, toisin kuin tässä tutkimuksessa. Ainoa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio fyysisen kunnan tekijöiden ja kehon syvälämmön välillä löytyi FireFit- indeksin ja syvälämmön väliltä Työtesti 2:ssa ($r = -0,939$, $p = 0,005$, $n = 6$). Tulokset tukivat siis vain osittain hypoteesia. FireFit- indeksi on palomiehen fyysisen toimintakyvyn indeksi ja siinä yhdistyy kestävyys suorituskyky ja lihaskunto yhdeksi numeroarvoksi (1 – 5). Palomiehen fyysisesti raskasta työtehtävää kuvaavassa suorituksessa kehon syvälämpö nousee siis korkeammalle henkilöllä, jolla on huonompi FireFit- indeksi.

Työtesti 2 suoritettiin kuitenkin kevyessä vaatetuksessa ja tulos kuvaa vain itse työtesti-suorituksen aiheuttaman syvälämmön nousun yhteyttä fyysiseen kuntoon eikä siitä voida vetää johtopäätöksiä oikeisiin työtehtäviin, jotka suoritetaan paksussa ja painavammassa savusukellusvarustuksessa. Kun kolmelle koehenkilölle ei saatu mitattua VO_{2max} - arvoja eikä kaksi koehenkilöä suorittanut Työtesti 2:a, jäi otanta kuuteen (6) koehenkilöön FireFit-indeksiin ja Työtesti 2:n välisessä analyysissä ja vaikuttaa tuloksen luotettavuuteen.

Vastaavaa korrelaatioita täydessä savusukellusvarustuksessa suoritettussa Työtesti 1:ssä ei löytynyt. Kestävyysharjoittelun myötä kehon lämmönpoisto paranee tehostuneen ihon verenkierron ja hikoilun myötä, mutta vaatetus on eristekerros, joka asettaa esteen lämmön siirrolle iholta ympäristöön, kehon viilennys vähenee ja ihon lämpötila sekä syvälämpö nousevat (Ichinose ym. 2005; Gavin 2003). Kun täydessä savusukellusvarustuksessa käytetään paksua monikerrosvaatetusta ja tiedetään, että mitä paksumpi kerros ihon päällä on vaatetta, sitä vähäisempää on hien haihtuminen iholta, on parempikuntoisen etu tehostuneesta lämmönpoistosta todennäköisesti tämän vuoksi menetetty (Nagata 1978). Eri tutkimuksissa on saatu myös samankaltaisia tuloksia. Paremman kestävyyskunnan (VO_{2max}) omaavilla syvälämmön nousu on samankaltaista, kuin huonomman kestävyyskunnan omaavilla suojavaatetuksessa suoritettussa kuormituksessa, joskin parempikuntoiset sietävät korkeampia syvälämpöjä paremmin (Windle & Davies 1996; Cheung & McLellan 1998).

10.2 Kehonkoostumus

Kirjallisuuden mukaan rasvakudos heikentää kehon ydinosien lämmön johtumista periferiaan eli toimii eristeenä ja vaikutus syvälämmön nousuun korostuu kuumassa työskennellessä (McArdle ym. 2009, 633). Tämän tiedon pohjalta tutkimuksen toisena hypoteesina oli, että suuremman rasvaprosentin omaavilla kehon syvälämpö nousisi työtesteissä korkeammalle. Vaikka koehenkilöiden rasvaprosenteissa oli suurtakin eroa (9,1 – 28 %), tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota rasvaprosentin ja syvälämmön väliltä ei kuitenkaan löytynyt ja näin ollen tulokset eivät tukeneet hypoteesia. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, vaatetus ja varsinkin paksu vaatetus toimii eristeenä lämmön poistumiselle kehosta. Vaatetus toimii siis samankaltaisesti kuin rasvakudoskin ja tämä on mahdollisesti yksi syy miksi rasvaprosentit

eivät korreloineet syvälämmön kanssa paksussa savusukellusvarustuksessa. Koska korrelaatiota ei löytynyt edes kevyessä vaatetuksessa voi toinen syy löytyä suorituksen taloudellisuudesta ja tekniikoista, koska työtestien suoritusnopeutta askel askeleelta eikä suoritustekniikoita voinut täysin vakioida. Jos suuren rasvaprosentin omaava henkilö suorittaa työtestien osiot rauhallisesti ja hyvillä suoritustekniikoilla, ei hänen syvälämpönsä nouse niin voimakkaasti vaikka paksu rasvakerros hidastaisikin lämmön johtumista.

Kehonkoostumusmittauksen tuloksista ja pituudesta laskettiin jokaiselle koehenkilölle myös lihasmassan suhteellista määrää kuvaava rasvattoman massan indeksi (FFMI, fat-free mass index), joka suhteuttaa rasvattoman massan määrän henkilön pituuteen (kg/m^2) (Vestbo ym. 2006). Toisessa hypoteesissa mainittiin myös, että suhteellinen lihasmassan määrä ei vaikuta syvälämpöön, koska lihaksen eristävyys on heikkoa liikunnan aikana johtuen lisääntyneestä lihaksen verenvirtauksesta (Veicsteinas ym. 1982). Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita ei löytynyt ja tulokset näin ollen tukivat hypoteesia.

10.3 Vaatetus

Koehenkilöt suorittivat työtestit kahteen kertaan; Työtesti 1 suoritettiin täydessä savusukellusvarustuksessa ja Työtesti 2 kevyessä urheiluvaatetuksessa. Tällä pyrittiin selvittämään vaatetuksen merkitystä syvälämpöön ja kuormittuneisuuteen. Kolmas hypoteesi oli, että syvälämpö nousee korkeammalle täydessä savusukellusvarustuksessa suoritettussa Työtesti 1:ssä, koska paksu vaatetus häiritsee lämmön poistumista (Nagata 1978). Tulokset tukivat hypoteesia. Koehenkilöiden maksimi-syvälämpöjen keskiarvo oli paksussa vaatetuksessa $38,7 \pm 0,3$ °C, kun kevyessä vaatetuksessa vastaavat arvot olivat $38,2 \pm 0,4$ °C. 42 minuuttia kestäneiden työtestien aikainen kehon syvälämmön nousu oli keskiarvoisesti noin 40 % enemmän paksussa vaatetuksessa kuin kevyessä vaatetuksessa. Suurempi lämpökuormitus näkyi myös sykkeissä. Työtestien aikaisten keskisykkeiden keskiarvot olivat noin 20 % suuremmat paksussa vaatetuksessa kuin kevyessä vaatetuksessa. Kirjallisuudenkin mukaan monikerrosvaatetus voi lisätä hapenkulutusta peräti 10 % kevyeen vaatetukseen verrattuna ja pelkkä varusteiden pukeminen nostaa syvälämpöä (Mäkinen ym. 2007; Mäkinen ym. 1996).

Kehon rasvaprosentin merkitys tulee kolmannen hypoteesin mukaan paremmin esiin kevyessä kuin paksussa vaatetuksessa suoritettussa työttestissä, koska vaatetus häiritsee lämmön poistumista kehosta kuten rasvakudoskin, eikä rasvaprosentin merkitys näy paksussa vaatetuksessa tehdyssä suorituksessa (Gavin 2003). Näin toki tapahtui, mutta korrelaatioiden merkitsevyydet olivat hyvin mitättömiä. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kehon rasvaprosentin suuruudella ei ole merkitystä syvälämpöön palomiehen työnomaisessa suorituksessa, oli ihon päällä sitten paksu tai kevyt vaatetus.

Olettamuksena oli hypoteesin mukaan myös, että parempi lihaskunto ja FireFit- indeksi näkyisi alhaisempana syvälämpönä varsinkin täydessä savusukellusvarustuksessa suoritettussa Työtesti 1:ssä, koska painavampi varustus aiheuttaisi lisävaatumuksia lihasvoimalle ja -kestävyydelle. Jos paremman lihasvoima ja -kestävyydystason omaava liikkuu vakiopainoisissa varusteissa ja liikuttaa vakiopainoisia suoritusvälineitä lihaskuntoakin vaativassa suorituksessa, käyttää hän pienempää osaa voimakapasiteetistaan eikä näin kuormittuisi niin paljoa kuin huonomman lihaskunnan omaava. Tämän voisi olettaa näkyvän myös pienempänä syvälämpönä. Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita ei kuitenkaan löytynyt ja FireFit- indeksikin korreloi syvälämmön kanssa vain kevyessä vaatetuksessa. Lisäksi hypoteesissa mainittiin, että kestävyyskunto korreloisi syvälämmön kanssa varsinkin kevyessä vaatetuksessa suoritettussa työttestissä, koska paksussa vaatetuksessa hien haihtuminen ja sitä kautta lämmönpoisto on häiriintynyt eikä parempikuntoinen saa etua tehokkaammasta lämmönpoistokyvystä (Ichinosen ym. 2005). Tulokset eivät tukeneet myöskään tätä hypoteesia. Syy siihen, että tulokset eivät tukeneet hypoteeseja saattaa johtua suorituksen taloudellisuudesta ja psykologisista tekijöistä, jotka vaikuttavat suorituskykyyn ja työtahtiin (Eglin 2007).

10.4 Syvälämpö levossa ja rasituksessa

Kuten kirjallisuudessa on mainittu, kehon syväosien lepolämpö on tarkoin säädelty elimistön toimesta noin 37 °C: een ja sen päivittäinen vaihtelu on vain noin muutaman asteen kymmenyksen (Kurz 2008). Tässä tutkimuksessa lepolämmöllä tarkoitetaan syvälämpöä, joka on mitattu ennen työttesti- suoritusta ja siinä vaadittavien varusteiden pukemista. Eri päivinä

mitattujen lepolämpöjen vaihtelut eri koehenkilöillä olivat 0 – 0,51 °C. Päivittäisestä vaihtelusta johtuen eri päivinä mitatuista lepolämmöistä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Koehenkilöiden keskinäisessä vertailussa lepolämpö vaihteli noin asteen verran olleen 36,64 – 37,61°C. Yksilöiden väliset erot lepolämmöissä näyttäisivät siis olevan suurempia kuin yksilön päivittäinen lepolämmön vaihtelu.

Vaikka työn tavoitteena oli selvittää mahdolliset yhteydet kuntotekijöiden ja kehonkoostumuksen sekä suorituksen aikaisen syvälämmön välillä, löytyi analysointivaiheessa muitakin tuloksia. Yksi selkeä löydös oli, että ennen suoritusta mitattu lepolämpö korreloi suorituksen aikaisen maksimaalisen syvälämmön kanssa molemmissa työtesteissä. Tämä tulos tukee myös aikaisempaa tutkimustietoa. Gonzales-Alonso ym. (1999) huomasivat tutkimuksessaan, että syvälämmön voimakas nousu (40,1 – 40,3 °C) johtaa uupumukseen, mutta se saavutettiin sitä myöhemmin mitä alhaisempi oli syvälämpö suorituksen alussa.

Tämän tutkimuksen mukaan ennen suoritusta mitattu lepolämpö korreloi siis suorituksen aikaisen maksimaalisen syvälämmön kanssa oli ihon päällä monikerrosvaatetus tai kevyt urheiluvaatetus. Mitä korkeampi lepolämpö siis on, sitä korkeammalle se näyttäisi nousevan raskaassa suorituksessa. Kun lämpöuupumus saavutetaan aina samalla syvälämmöllä, tämä tutkimustulos tarkoittaa, että korkeammalla lepolämmöllä lämpöuupumus saavutetaan nopeammin. Tämä on tärkeä löydös, jos ajatellaan jaksamista ja suoriutumista pitkistä ja fyysisesti kuormittavasta työtehtävästä, jossa kehon syväosien lämpötila nousee lihastyön, kehon lämmönpoistoa estävän varustuksen ja mahdollisesti ulkoisen lämpökuorman takia. Mitä pidempään syvälämmön kumuloitumista voidaan estää, sitä paremmin suorituskyvyn laskua ja uupumista voidaan viivyttää, koska suurin suorituskykyä rajoittava tekijä on korkea kehon syvälämpö (Cheung & McLellan 1998; Nielsen ym. 1993). Hieman mittaustavasta riippuen eri tutkimuksissa uupumus saavutetaan yleensä 39,4 – 40,3 °C syvälämpötiloilla, mutta samalla mittaustavalla se saavutetaan kuitenkin samalla syvälämmöllä. Hengenvaarallinen lämpöhalvaus voi seurata tätä korkeammilla syvälämmöillä (MacDougalin ym. 1974; Gonzales-Alonson ym. 1999). Jotta pelastajasta ei tulisi pelastettavaa, olisi tällaista syvälämmön nousua viimeiseen asti vältettävä.

Jos lepolämmön saa pidettyä alhaisena ennen raskasta savusukellustehtävää, todennäköisyydet lämpöuupumiseen pienenee. Ihmisen lepolämpöön ja lämmönsäätelyyn vaikuttaa kuitenkin hyvin moni asia, kuten aiemmin tässä työssä on mainittu (kts. kappale 3). Niihin vaikuttaa ainakin fyysinen harjoittelu, ravinto, nestetasapaino, sairaudet, lääkeaineet, alkoholi, nikotiini, ympäröivä ilmasto, sukupuoli, ikä ja vaatetus. Kaikkiin näihin ei pystytä vaikuttamaan, mutta osaan voidaan. Jos palomies tulee töihin niin, että on ennen työvuoroa nukkunut riittävästi, välttänyt raskasta fyysistä rasitusta ja alkoholia, on terve, on nauttinut ja nauttii riittävästi nestettä eikä käytä nikotiinituotteita, on valmistautuminen mahdolliseen lämpörasitukseen mennyt oikein ja lämpöuupumisen riskejä on pienennetty. Ilmatoon, sukupuoleen, ikään ja työvaatetukseen on kuitenkin hankala vaikuttaa. Jos oleskellaan sisätiloissa, huoneilman viileyteen kuitenkin voidaan vaikuttaa. Varsinkin kesäaikaan ilmastointi ja erilaiset, varsinkin ihoa kohti suunnatut tuulettimet voisivat pitää kehon lepolämmön alhaisena.

Palomiehellä on määrätty virka-asu, jota pidetään asemapalveluksessa ja sammutusasun alla sitä vaativilla hälytystehtävillä. Tämän virka-asun tulisi olla mahdollisimman suotuisa kehon lämmönpoistolle. Ottamatta kantaa nykyisen virka-asun ominaisuuksiin, vaatetuksen positiivisia lämmönpoistoon liittyviä ominaisuuksia ovat McArdlen ym. (2009) mukaan muun muassa, että vaate on tarvittavan löysä, jotta eristävä ilmakerros pääsee liikkumaan ja poistumaan sekä hyvin vesihöyryä läpäisevä ja kosteutta pois iholta imevä, jotta haihtuminen ja lämmönpoisto ovat tehokkaampaa. Lisäksi voidaan ajatella, että joustava materiaali vastustaisi raajojen liikkeitä vähemmän ja tekisi liikkeistä rennompia, joka puolestaan vähentäisi lihasten energiankulutusta ja sitä kautta myös lämmöntuottoa. Ainakin osassa pelastuslaitoksista virka-asuun kuuluu housuina vain pitkälahkeiset mallit. Kesällä, kun ilma on lämmin, lyhytlahkeiset housut olisivat paremmat kehon viileämpänä pitämisen kannalta. Ihoa enemmän paljastavat lyhytlahkeiset housut mahdollistavat tehokkaamman kehon lämmönpoiston, kun ilmavirta pääsee esteettä iholle.

Kun alhaisempi kehon lepolämpö tarkoittaa pitkässä ja raskaassa suorituksessa myöhäisempää suorituskyvyn laskua ja lämpöuupumusta, niin tutkimusten mukaan kehon esiviilennyksellä näihin asioihin voidaan tehokkaasti vaikuttaa. Syvälämpöä voidaan siis laskea kehon esiviilennyksellä ennen kuumassa tehtävää fyysistä suoritusta esimerkiksi altistamalla

kylmälle ilmalle, kylmäsuihkuin/kylvyin tai pukemalla kylmällä vedellä kasteltu vaate ihon päälle (Daanen ym. 2006). Kun syvälämpöä on laskettu alemmaksi, on sillä suurempi reservi nousta. Näin ollen suorituskyvyn lasku sekä lämpöuupumus viivästyvät, kun muistetaan, että lämpöuupumus saavutetaan samalla syvälämmöllä huolimatta siitä, mitä se on ollut ennen kuormitusta. Käytännössä palomiehillä kehon esiviilennys edellä mainituilla tavoilla juuri ennen raskasta hälytystehtävää on kuitenkin hankala toteuttaa, koska siihen ei yksinkertaisesti ole aikaa. Esiviilennyksellä tapahtuvan syvälämmön laskemisen sijaan on siis keskityttävä vain siihen, että syvälämpö olisi edes normaalilla tasolla ennen lämpökuormitusta. Suorituksen aikaiseen syvälämpöön olisi kuitenkin mahdollista vaikuttaa jopa palomiehen työssä. Luomalan ym. (2012) mukaan kylmäliivin avulla suoritusaikaa voidaan pidentää merkittävästi ja vähentää hermo-lihasjärjestelmän väsymistä uupumukseen asti tehdyssä suoritustussa. Käytännön palomiehen työssä kylmäliivi voisi olla toteuttamiskelpoinen ratkaisu. Sen pukeminen tuskin viivyttäisi hälytykselle lähtöä ja sillä voisi mahdollisesti viivyttää tai estää syvälämmön nouseminen lämpöuupumuksen tasolle.

Palomiehen työssä joutuu sen luonteen vuoksi suorittamaan fyysisesti raskaita työtehtäviä usein univajeessa. Kyseessä on päivystysluonteinen työ, jossa hälytystehtävälle on lähdettävä kelloon katsomatta ja väsymyksestä huolimatta. Tutkimusten mukaan univaje aiheuttaa muun muassa heikompa lämmönpoistoa ja myös merkittävästi lyhyempää suoritusaikaa uupumukseen johtavassa suorituksessa (Sawka ym. 1984; Martin 1981). Tämän takia on tärkeää, että töihin tullaan riittävästi levänneenä. Pääsääntöisesti pelastuslaitoksissa palomiehet työskentelevät niin sanotussa vuorokausirytmässä, jossa 24 tunnin työvuoroa seuraa 72 tunnin vapaa. Jos työvuoro aiheuttaa univajetta, mahdollistaa 72 tunnin vapaa hyvin siitä palautumisen. On kuitenkin pelastuslaitoksia, joissa on käytössä eri työaikamallit. Näissä työaikamalleissa univajeesta palautumiseen ei välttämättä jää aikaa, jos esimerkiksi kahden yövuoron väliin jää vain lyhyt vapaa päiväaikaan univajeesta palautumiseen. Tästä puolestaan voi aiheutua riskejä työntekijälle ja mahdollisesti pelastettavalle raskaassa pelastustehtävässä, kun lämpöuupumus iskeekin univajeessa nopeammin kuin levänneenä.

10.5 Muut huomiot ja kehityskohteet

Koehenkilöiksi valikoitiin sekä kestävyyskunnoltaan, että lihasvoima ja -kestävyysominaisuuksiltaan eri tasoisia palomiehiä aiempien polkupyöraergometri- ja lihaskuntotestien perusteella. Palomiehet ovat fyysiseltä kunnoltaan kuitenkin suhteellisen homogeeninen joukko, koska fyysisestä kunnosta täytyy ammatin vaatimusten vuoksi pitää huolta ja kaikki ovatkin hyvässä kunnossa. Näin ollen tähänkin tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden kestävyys- sekä lihasvoima- ja -kestävyysominaisuudet olivat suhteellisen suppealla alueella. Mitatut painoon suhteutetut VO_{2max} - arvot olivat välillä 37,9 – 48,4 ml/kg/min. Maksimaalisesta poljentatehosta lasketut teoreettiset VO_{2max} - arvot olivat kuitenkin välillä 38,9 – 62,8 ml/kg/min. Eroavaisuus mitatuissa ja laskennallisissa VO_{2max} - arvoissa johtuu siitä, että VO_{2max} :a ei saatu mitattua kolmelle koehenkilölle hengityskaasuanalysattorin toimintaongelmista johtuen. Kaikki koehenkilöt kuitenkin suorittivat polkupyöraergometritestin ja saivat teoreettiset VO_{2max} - arvot. Sekä mitattuja, että teoreettisia arvoja käytettiin tilastoanalyysissä ja korrelaatioiden etsinnässä erikseen. Näiden kolmen joukossa, joille ei saatu mitattua VO_{2max} - arvoa, oli kuitenkin kaksi parasta kestävyyskunnan omaavaa teoreettisen VO_{2max} :n mukaan. Jos kaikille kymmenelle koehenkilölle olisi saatu mitatut VO_{2max} - arvot, olisi se saattanut mahdollistaa uusien korrelaatioiden löytymisen ja ainakin parantanut tulosten luotettavuutta suuremman otannan kautta.

Lihaskuntotestissä saatiin suuriakin eroja koehenkilöiden välille eri liikkeissä. Penkkipunnerruksessa tulokset olivat välillä 28 – 65 krt/min, istumaan nousussa 37 – 61 krt/min, jalkakyykyssä 26 – 53 krt/min ja käsinkohonnassa 9 – 35 krt. Jokaiselle koehenkilölle kuitenkin määritettiin kaikkien lihaskuntotestin liikkeiden tulosten perusteella yksi lihaskuntoluokka (1 – 5) Pelastussukellusohjeen mukaisesti (Sisäasiainministeriö 2007). Tällöin erot koehenkilöiden lihaskuntojen välillä tiivistyi välille 3 – 5. Tilastoanalyysissä käytettiin lihaskunnan osalta vain määriteltäviä lihaskuntoluokkia. Tuloksia olisi voinut analysoida myös jokaisen lihaskuntoliikkeen osalta toistoina tai liikekohtaisina lihaskuntoluokkina, jolloin olisi ollut mahdollista löytää uusia korrelaatioita. Lisäksi tässä työssä olisi voinut mitata myös maksimivoimaa (MVC) ja käyttää tuloksia tilastoanalyysissä.

Työtestien suoritusnopeus pyrittiin vakioimaan, jotta voitaisiin selkeästi verrata koehenkilöiden kuntotekijöiden ja kehonkoostumuksen vaikutusta syvälämpöön. Savusukellus- ja pelastustehtävä on suurelta osin pari- tai ryhmätyöskentelyä, jolloin suoritustahti on suunnilleen vakio suorittajien kesken. Työtestien suoritusnopeus pyrittiin vakioimaan jakamalla testirata 13:a osioon, joissa jokaisessa oli erilliset aikarajat. Jos koehenkilö suoritti yksittäisen osion aikarajaa nopeammin, lepäsi hän seisaaltaan aikarajan umpeutumiseen asti ennen kuin siirtyi seuraavaan osioon. Tämä tarkoittaa sitä, että suoritustahti ei tarkalleen ole vakio. Ongelmana tämän kaltaisessa toiminnallisessa ja erilaisia osioita sisältävässä testiradassa on, että kävelynopeutta ja muita suoritusnopeuksia ei tarkasti voida vakioida. Koehenkilöille kuitenkin painotettiin, että aikarajat eivät ole erityisen tiukkoja eikä radalla tarvitse kiirehtiä vaan aikarajoista selviää rennosti kävelemällä. Tästä huolimatta osa koehenkilöistä silmin nähden ja tarpeettomasti kiirehti läpi testiradan, jolloin heille jäi eri osioissa reilustikin aikaa ennen seuraavan osion alkua. Vaikka nopeasti etenemällä aikaa jää palautua seuraavaan osioon, ei suuremmalla työteholla tuotettu suurempi kehon syvälämpö pääse poistumaan eikä keho viilenemään monikerrosvaatetuksen vuoksi (Työtesti 1) vaan nousee nopeammin kuin rauhallisesti suorittamalla.

Koehenkilöt, jotka turhaan kiirehtivät, näyttivät myös tarpeettomasti ”hosuvan” eli työskennellen epätaloudellisesti huonoilla suoritustekniikoilla testiradan eri osioita. Tutkijan huomio oli se, että koehenkilöllä, joka eteni rauhallisesti ja hyvillä suoritustekniikoilla helpon näköisesti, ei syvälämpö noussut niin korkealle kuin kiirehtivällä ja huonommilla suoritustekniikoilla etenevällä, vaikka kuntotekijät ja kehonkoostumus olisivatkin olleet epäedullisemmat. Vaikka edellä mainittu huomio ei olekaan varsinaisen mittaustulos, oli tämä niin selkeästi havaittavissa oleva syvälämpöön vaikuttava tekijä, että voidaan sitä pitää ainakin päähuomiona. Kun kuntotekijät eikä kehonkoostumus näyttäisi korreloivan syvälämmön kanssa oikeisiin työtehtäviin verrattavissa olevassa täyden varustuksen työnomaisessa suorituksessa, on tämän kaltaiset huomiot otettava vakavasti. Jos pitkällä savusukellus- ja pelastustehtävällä, esimerkiksi tunneliin tai korkeisiin rakennuksiin, pelastaja turhaan kiirehtii, hätiköi tai muutoin työskentelee epätaloudellisesti, voi helposti seurata lämpöuupumus ennen kuin tehtävä on suoritettu loppuun, jolloin pelastajasta voi tulla pelastettava.

Epätaloudellinen työskentely saattaa olla yksi tekijä, jonka vuoksi kuntotekijät eivät korreloi syvälämmön kanssa (Eglin 2007). Jos kaikki työskentelisivät yhtä taloudellisesti ja hyvillä suoritustekniikoilla, asia saattaisi olla toinen. Jokaisella meistä on kuitenkin kuntotekijöiden lisäksi esimerkiksi erilainen ruumiinrakenne, ruumiinosien liikkuvuus, motoriikka ja mielenhallinta haastavissa tilanteissa, jotka saattavat vaikuttaa suoritustekniikoihin, suorituksen taloudellisuuteen ja lämmöntuottoon.

Tutkimukseen värvättyjen koehenkilöiden määrä olisi voinut olla myös suurempi, jolloin tutkimustuloksien voisi katsoa olevan luotettavampia ja yleistettävämpiä. Nyt koehenkilöiden määrä oli 10 ja joissakin analyyseissä se typistyi pienemmäksi hengityskaasuanalysaattorin toimintaongelmien vuoksi sekä siksi, että kaksi koehenkilöä eivät suorittaneet toista työtettä. Koehenkilöiden kuntotekijöissä olisi voinut myös olla suurempia eroavaisuuksia. Nyt kaikki koehenkilöt olivat suhteellisen hyväkuntoisia ammattipalomiehiä. Vaikka tutkimuksessa olikin paljon hyvää ja saatiin selkeitä tuloksia aikaan niin lisätutkittavaa riittää.

10.6 Johtopäätökset

Yhteenvedona voidaan todeta, että fyysinen kunto ja kehonkoostumus eivät ole yhteydessä kehon syvälämpöön palomiehen työnomaisessa suorituksessa. Tutkimus osoittaisi siis, että huonompi kestävyyskunto ja lihaskunto (yhdessä ja erikseen), suurempi rasvaprosentti tai lihaksikkuus eivät ole yhteydessä voimakkaampaan syvälämmön nousuun savusukellus- ja raivaustehtävässä. Vaikka esimerkiksi kuntotekijät eivät ole yhteydessä syvälämpöön, on muistettava, että paremman kestävyyskunnan omaavat sietävät korkeita syvälämpöjä paremmin kuin huonompikuntoinen (Cheung & McLellan 1998). Kestävyyskunnan ja lihaskunnan yhdistävä FireFit- indeksi näyttäisi tulosten perusteella korreloivan syvälämmön kanssa kevyessä vaatetuksessa, mutta tuloksesta ei voida vetää johtopäätöksiä paksussa savusukellusvarustuksessa suoritettaviin oikeisiin työtehtäviin.

Täysi savusukellusvarustus suojaa palomiestä ulkoiselta kuumuudelta, mutta aiheuttaa suurta ylimääräistä kuormitusta elimistölle työtehtävän aikana. Paksun monikerrosvaatetuksen kehon lämmönpoistoa estävä vaikutus sekä ylimääräinen paino aiheuttavat 40 % suuremman

syvälämmön nousun 42 minuuttia kestävästä työtehtävänä aikana kuin kevyt urheiluvaatetus. Lisäksi keskisyke on 20 % ja maksimisyke 15 % korkeampia kuin kevyessä vaatetuksessa.

Lepolämpö näyttäisi korreloivat suorituksen aikaisen maksimaalisen syvälämmön kanssa, oli ihon päällä ohut tai paksu kerros vaatetta. Kehon syvälämpö nousee siis sitä korkeammalle, mitä korkeammalla syvälämpö on ollut ennen suoritusta. Tämä saattaa aiheuttaa pitkässä ja raskaassa suorituksessa ennen aikaista lämpöuupumista. Jotta tämän voisi välttää, olisi lepolämpö siis pyrittävä pitämään matalalla.

LÄHTEET

- Adams, G.M. 1990. Exercise Physiology: Laboratory Manual. 3th Edition. McGraw-Hill.
- Adams, W.C., Mark, G.W., Langhans, G.L. & Nadel, E.R. 1992. Effects of varied air velocity on sweating and evaporative rates during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 73(6):2668-2674.
- Andersen, K.L., Masironi, R., Rutenfranz, J. & Seliger, V. 1978. Habitual physical activity and health. WHO Regional Publications European Series No. 6.
- Armstrong, L.E. & Maresh, C.M. 1991. The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Medicine*, 12:302-312.
- Astorino, T.A., Rietschel, J.C., Tam, P.A., Taylor, K., Johnson, S.M., Freedman, T.P., Sakarya, C.E. 2004. Reinvestigation of optimal duration of VO_{2max} testing. *Journal of Exercise Physiology*, 7(6):1-8.
- Benzinger, T.H. 1969. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiological Reviews*, 49:671-759.
- Bouchama, A. & Knochel, J.P. 2002. Heat Stroke. *The New England Journal of Medicine*, 346:1978-1988.
- Brooks, G.A., Fahey, T.D. & White, T.P. 1996. Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. Mayfield Publishing Company.
- Byrne, C. & Lim, C.L. 2007. The ingestible telemetric body core temperature sensor: a review of validity and exercise applications. *British Journal of Sports Medicine*, 41:126-133.
- Cattaneo, C.G., Frank, S.M., Hesel, T.W., El-Rahmany, H.K., Kim, L.J. & Tran, K.M. 2000. The accuracy and precision of body temperature monitoring methods during regional and general anesthesia. *Anesthesia and Analgesia*, 90:938-945.
- Cheung, S.S. & McLellan, T.M. 1998. Heat acclimation, aerobic fitness and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 84:1731-1739.
- Cheung, S.S., McLellan, T.M. & Tenaglia, S. 2000. The thermophysiology of uncompensable heat stress. *Sports Med*, 29:329-359.
- Cheuvront, S.N. & Haymes, E.M. 2001. Thermoregulation and marathon running. *Sports Medical*, 31:743-762.

- Daanen, H.A., van Es, E.M. & de Graaf, J.L. 2006. Heat strain and gross efficiency during endurance exercise after lower, upper or whole body precooling in the heat. *International Journal of Sports Medicine*, 27(5):379-388.
- Eglin, C.M. 2007. Physiological responses to fire-fighting: thermal and metabolic considerations. *Journal of the Human-Environmental System*, 10(1):7-18.
- El-Radhi, A.S. & Barry, W. 2006. Thermometry in pediatric practise. *Archives of Disease in Childhood*, 91:351-356.
- Falk, B. & Dotan, R. 2008. Children's thermoregulation during exercise in the heat – a revisit. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(2):420-427.
- Farnell, S., Maxwell, L., Tan, S. & Rhodes, A. 2005. Temperature measurement: comparison of non-invasive methods used in adult critical care. *Journal of Clinical Nursing*, 14:632-639.
- Folk, G.E., Riedesel, M.L. & Thrift, D.L. 1998. *Principles of Interactive Environmental Physiology*. Austin and Winfield Publishers.
- Galloway, S.D.R. & Maughan, R.J. 1997. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29:1240-1249.
- Gavin, T.P. 2003. Clothing and thermoregulation during exercise. *Sports Medicine*, Nov;33(13):941-947.
- Gavin, T.P., Babington, J.P., Harms, C.A., Ardelt, M.E., Tanner, D.A. & Stager, J.M. 2001. Clothing fabric does not affect thermoregulation during exercise in moderate heat. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 33(12): 2124-2130.
- Gisolfi, C.V. & Mora, F. 2000. *The Hot Brain: Survival, Temperature and The Human Body*. MIT Press, 2000:1-13, 94-119-, 157-163, 171-174, 191-215.
- Gisolfi, C.V. & Wenger, C.B. 1984. Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exercise Sport Science Review*, 12:339.
- Gleeson, M. 1998. Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19:96-99.
- Gonzales-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S.L., Jensen, F.B., Hyldig, T. & Nielsen, B. 1999. *Journal of Applied Physiology*, 86(3):1032-1039.
- Greenhaff, P.L. 1989. Cardiovascular fitness and thermoregulation during prolonged exercise in man. *Br J Sports Med*, 23(2):109-114.

- Grucza, R. 1990. Efficiency of thermoregulatory system in man under endogenous and exogenous heat loads. *Acta Physiologica Polonica*, 41:123-145.
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. 1996. *Textbook of medical physiology*. Saunders Company.
- Hales, J.R.S. 1997. Hyperthermia and heat illness. Pathophysiological implications for avoidance and treatment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 813:534-544.
- Haymes, E.M. & Wells, C.L. 1986. *Environment and human performance*. Human Kinetics Publishers.
- Horne, J.A. 1978. A review of the biological effects of total sleep deprivation in man. *Biological Psychology*, 7:55-102.
- Hughson, R.L., Green, H.J., Houston, M.E., Thomson, J.A., McLean, R.D. & Sutton, J.R. 1980. Heat injuries in Canadian mass participation runs. *Canadian Medical Association Journal*, 122:1141-1144.
- Ichinose, T., Okazaki, K., Masuki, S., Mitono, H., Chen, M., Endoh, H. & Nose, H. 2005. Ten-day endurance training attenuates the hyperosmotic suppression of cutaneous vasodilation during exercise but not sweating. *Journal of Applied Physiology*, Jul;99(1):237-243.
- Ilmarinen, R., Järvenpää, M., Korhonen, O., Lindholm, H., Lindqvist-Virkamäki, S., Louhevaara, V. & Mäkinen, H. 1994. *Palomies kuumassa – kuormittuminen, lämpösairaudet, työvaatetus*. Työterveyslaitos. Koulutusjulkaisu 13.
- Ilsley, A.H., Rutten, A.J. & Runciman, W.B. 1983. An evaluation of body temperature measurement. *Anaesthesia and Intensive Care*, 11:31-39.
- Jeong, W.S. & Tokura, H. 1989. Effects of wearing two different types of clothing on body temperature during and after exercise. *International Journal of Biometeorology*, 33:77-81.
- Jonsson, B. 1982. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constraint work. *Journal of Human Ergology*, 64:691-695.
- Kaciuba-Uscilko, H. & Grucza, R. 2001. Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, Nov;4:533-535.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja. 2. uudistettu painos*. Liikuntatieteellinen Seura.
- Kolka, M.A., Levine, L. & Stephenson, L.A. 1997. Use of ingestible telemetry sensor to

- measure core temperature under chemical protective clothing. *Journal of Thermal Biology*, 22:343-349.
- Kouri, E.M., Pope, H.G. Jr, Katz, D.L. & Paul O. 1995. Fat-Free Mass Index in Users and Nonusers of Anabolic-Androgenic Steroids. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 5(4):223-228.
- Kurtz, A. 2008. Physiology of thermoregulation. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, Dec;22(4):627-644.
- Latzka, W.A., Sawka, M.N., Montain, S.J., Skrinar, G.S., Fielding, R.A., Matott, R.P. & Pandorf, K.B. 1998. Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 84:1858-1864.
- Lee, S.M., Williams, W.J. & Schneider, S.M. 2000. Core temperature measurement during supine exercise: esophageal, rectal and intestinal temperatures. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71(9):939-945.
- Lim, C.L., Byrne, C. & Lee, J.K.W. 2008. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals Academy of Medicine*, 37(4):347-353.
- Luomala, M.J., Oksa, J., Salmi, J.A., Linnamo, V., Holmér, I., Smolander, J. & Duguè, B. 2012. Adding a cooling vest during cycling improves performance in warm and humid conditions. *Journal of Thermal Biology*, 37(1):47-55.
- Lusa, S., Wikström, M., Punakallio, A., Lindholm, H. & Luukkonen, R. 2010. FireFit – Pelastajien hyvä fyysisen toimintakyvyn arviointikäytäntö Kehittämishanke (2. vaihe). Työterveyslaitos. Loppuraportti. https://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/FireFit2_vaihe_loppuraportti.pdf.
- Lyons, T.P., Riedesel, M.L., Meuli, L.E. & Chick, T.W. 1990. Effects of glycerol-induced hyperhydration prior to exercise in the heat on sweating and core temperature. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(4):477-483.
- MacDougal, J.D., Reddan, W.G., Layton, C.R. & Dempsey, J.A. 1974. Effects of metabolic hyperthermia on performance. during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36:538-544.
- Martin, B.J. 1981. Effect of sleep deprivation on tolerance of prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 47:345-354.
- Martin, B.J. & Gaddis, G.M. 1981. Exercise after sleep deprivation. *Medicine & Science in*

- Sports & Exercise, 13:220-223.
- Maughan, R.J. & Shirreffs, S.M. 2004. Exercise in the heat: challenges and opportunities. *Journal of Sports Sciences*, 22:917-927.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2009. Exercise physiology: nutrition, energy and human performance. 7th Edition. Lippincott Williams & Wilkins.
- Montner, P., Stark, D.M., Riedesel, M.L., Murata, G., Robergs, R., Timms, M. & Chick, T.W. 1996. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *International Journal of Sports Medicine*, 17(1):27-33.
- Mora-Rodrigues, R. 2012. Influence of aerobic fitness on thermoregulation during exercise in the heat. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(2):79-87.
- Mora-Rodriguez, R., Del Coso, J., Hamouti, N., Estevez, E. & Ortega, J.F. 2010. Aerobically trained individuals have greater increases in rectal temperature than untrained ones during exercise in the heat at similar relative intensities. *European Journal of Applied Physiology*, Mar;109(5):973-981.
- Moran, D.S. & Mendal, L. 2002. Core temperature measurement: methods and current insights. *Sports Medical*, 32:879-885.
- Morrison, S., Sleivert, G.G. & Cheung, S.S. 2004. Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric force production. *Journal of Applied Physiology*, 91:729.
- Mäkinen, H., Ilmarinen, R., Griefahn, B. & Künemund, C. 1996. Physiological comparison of fire fighter turnout suits with and without a microporous membrane in the heat. *American Society for Testing and Materials*, 5:396-407.
- Mäkinen, H., Ilmarinen, R., Punakallio, A., Lindholm, H., Kervinen, H. & Mäki, S. 2007. Palomiehen täsmäsuojaus ja sen fysiologiset vaikutukset. Työterveyslaitos. Loppuraportti.
- Nadel, E.R. 1984. Temperature regulation and hyperthermia during exercise. *Clinics in Chest Medicine*, 5:13-20.
- Nagata, H. 1978. Evaporative heat loss and clothing. *Journal of Human Ergology*, 7:169-175.
- Nielsen, B., Hales, J.R.S., Strange, S., Christensen, N.J., Warberg, J. & Saltin, B. 1993. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *The Journal of Physiology*, 460:467-485.
- Noakes, T.D. 1998. Fluid and electrolyte disturbances in heat illness. *International Journal of Sports Medicine*, 19:146-149.

- Oksa, J., Rissanen, S., Mäkinen, T., Takatalo, K., Hyrkäs, H., Lusa, S., Lindholm, H. & Rintamäki, H. 2009. Lihasen toimintakyvyn turvaaminen kuumatyössä: kuormituksen, väsymyksen ja työstä palautumisen arviointi. Työterveyslaitos. Palosuojelurahaston loppuraportti. http://pelastustieto.fi/wp-content/uploads/2015/06/PSR_loppuraportti_2009_palautuminen.pdf.
- Rowell, L.B., Bruce, H.J., Conn, R.D. & Kusumi, F. 1966. Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *The Journal of Clinical Investigation*, 45:1801-1816.
- Rupp, M.E., Heermann, J. & Uphoff, M.E. 2004. Need for a reliable system to measure body temperature. *American Journal of Infection Control*, 32:184.
- Saltin, B. & Hermanssen, L. 1966. Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise. *Journal of Applied Physiology*, Nov;21(6):1757-1762.
- Schutz, Y., Kyle, U.U.G. & Pichard, C. 2002. Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98 y. *International Journal of Obesity*, 26:953-960.
- Sargeant, A.J. 1987. Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Journal of Applied Physiology*, 56:693.
- Sawka, M.N. & Montain, S.J. 2000. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72:564-572.
- Sawka, M.N. & Wenger, C.B. 1998. Physiologic response to acute exercise heat stress. Benchmark Press, 1998:97-151.
- Schwellnus, M.P., Derman, E.W. & Noakes, T.D. 1997. Aetiology of skeletal muscle "cramps" during exercise: a novel hypothesis. *Journal of Sports Science*, 15:277-285.
- Sisäasiainministeriö. 2007. Pelastussukellusohje. Sisäasiainministeriön julkaisuja 48/2007. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79329/smjulkaisu_482007.pdf?sequence=1.
- Sisäministeriö. 2016. Ohje pelastushenkilöstön toimintakyvyn arvioinnista ja kehittämisestä. Sisäministeriön julkaisu 4/2016. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75317/Ohje%20fyysisen%20toimintakyvyn%20arvioinnista%20yhdistetty.pdf?sequence=1>.
- Soultanakis-Aligianni, H.N. 2003. Thermoregulation during exercise in pregnancy. *Clinical Obstetrics and Gynecology*, 46(2):442-455.
- Talbot, J.H. 1935. Heat cramps. *Medicine*, 14:323-376.

- Thomas, M.M., Cheung, S.S., Elder, G.C. & Sleivert, G.G. 2006. Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *Journal of Applied Physiology*, 100(4):1361-1369.
- Veicsteinas, A., Ferretti, G. & Rennie, D.W. 1982. Superficial shell insulation in resting and exercising men in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 52:1557-1564.
- Vestbo, J., Prescott, E., Almdal, D., Dahl, M., Nordestgaard, B., Andersen, T., Sørensen, T.I.A. & Lange, B. 2006. Body Mass, Fat-Free Body Mass, and Prognosis in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease from a Random Population Sample. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Jan;173(1):79-83.
- Wang, J., Thornton, J.C., Russel, M., Burastero, S., Heymsfield, S. & Pierson, R.N. Jr. 1994. Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparisons of anthropometric measurements. *American Journal of Clinical Nutrition*, Jul;60(1):23-28.
- Wendt, D. Luc, van Loon, L.J.C. & Marken Lichtenbelt, W.D. 2007. Thermoregulation during exercise in the heat. *Sports Med*, Aug;37(8):669-682.
- Wilkinson, D.M., Carter, J.M., Richmond, V.L., Blacker, S.D. & Rayson, M.P. 2008. The effect of cool water ingestion on gastrointestinal pill temperature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40:523-528. *Environmental Ergonomics-recent progress and new frontiers*.
- Windle, C.M. & Davies, N.J. 1996. The effect of fitness on performance in a hot environment wearing normal clothing and when wearing protective clothing. *Environmental Ergonomics Recent Progress and New Frontiers*. Freund Publishing House Ltd., 1996:209-212.
- Yoon, B., Kravitz, L. & Robergs, R. 2007. VO_{2max} , Protocol Duration, and the VO_2 Plateau. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7):1186-1192.

LIITTEET

LIITE 1. Tiedote tutkittaville ja suostumus tutkimukseen osallistumisesta

Jyväskylän yliopisto Liikuntabiologian laitos

**Fyysisen kunnon ja kehonkoostumuksen yhteydet kehon syvälämpöön palomiehen
työnomaisessa suorituksessa**

TIEDOTE TUTKITTAVILLE JA SUOSTUMUS TUTKIMUKSEEN OSALLISTUMISESTA

1 Tutkijoiden yhteystiedot

Vastuullinen tutkija:

Professori Vesa Linnamo, LitT,
Liikuntabiologian laitos (VIV)
PL 35
40014 Jyväskylän yliopisto
p. 040 504 4800
vesa.linnamo@jyu.fi

Muut tutkijat:

Ville Malila, opiskelija
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
p. 044 259 3466
ville.mm@hotmail.com

Juha Oksa, vanhempi tutkija
LitT, dos
Työterveyslaitos
Aapistie 1, 90220, Oulu
p. 046 851 5730
juha.oksa@ttl.fi

2 Tutkimuksen taustatiedot

Tutkimus tehdään Pirkanmaan pelastuslaitoksella, Tampereen keskuspaloasemalla. Tutkimus on Ville Malilan Pro gradu- tutkielma, jonka ohjaajina toimivat professori Vesa Linnamo ja vanhempi tutkija Juha Oksa. Tutkimuksen mittaukset on tarkoitus tehdä vuoden 2017 tammikuun ja maaliskuun välisenä aikana.

3 Tutkimusaineiston säilyttäminen

Tutkimuksen tutkijat vastaavat tutkimusaineiston turvallisesta säilyttämisestä siten, etteivät tiedot tutkimuksesta ja yksittäisistä tutkittavista joudu ulkopuolisten käsiin. Eettisen toimikunnan lausuntoa haettaessa on täytetty rekisteriseloste. Sähköisessä muodossa oleva aineisto on tallennettu Jyväskylän yliopiston salasanalla suojatulle palvelimelle. Koehenkilöiden tietoja sisältävät ATK-aineistot arkistoidaan lukittuun kaappiin liikuntabiologian laitoksen tiloissa.

4 Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys

Projektin tarkoituksena on selvittää, onko kestävyyskunnolla, lihaskunnolla ja kehonkoostumuksella yhteyttä kehon syvälämmön nousuun kestävyyttä ja lihasvoimaa vaativassa palomiehen työnomaisessa suorituksessa. Koehenkilöille tehdään aluksi kehonkoostumusmittaus, josta saadaan selville kehon rasvan ja lihasmassan määrä. Sitten he suorittavat suoran maksimaalisen kestävyystestin polkupyöräergometrilla, josta mitataan hengityskaasumuuttajat ja syke. Lisäksi he tekevät lihaskuntotestin. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittavat suorittavat pitkän (45-60min) ja fyysisesti raskaan submaksimaalisen suorituksen palomiehen savusukellusvarustuksessa vakiokuormalla, jonka aikana mitataan sykettä ja rektaalilämpöä. Kuormituksessa on mukana myös ulkoista lämpökuormaa. Koko työnomainen suoritus toistetaan vielä samanlaisena, mutta paloasun sijaan kevyessä vaatetuksessa. Tavoitteena on saada selville mihin fyysisiin ominaisuuksiin palomiehen kannattaisi panostaa, jotta välttyttäisiin suurelta kehon syvälämmön nousulta työsuorituksen aikana eikä suorituskyky laskisi liikaa.

5 Menettelyt, joiden kohteeksi tutkittavat joutuvat

Tutkittavilta tehdään kehonkoostumusmittaus, josta saadaan paino, rasva% ja lihasmassaindeksi. Tutkimuksessa poljetaan polkupyöräergometrilla maksimaalinen testi mitaten hengityskaasumuuttujia ja sykettä. Testi tehdään portaittain uupumukseen asti, jossa yhden portaan kesto on 4min. Lihaskuntotestissä mitataan koko vartalon lihasvoimaa ja -kestävyyttä neljällä eri lihaskuntoliikkeellä. Työnomaisessa suorituksessa koehenkilöt altistuvat kehon syvälämmön nousulle fyysisen aktiivisuuden ja ulkoisen lämpökuorman johdosta. Suoritus sisältää liikkumista kävellen tasaisella ja portaissa ilman kantamuksia ja kantamuksien kanssa, lekalla traktorin renkaan hakkaamista, esteiden ylitystä ja alitusta, paloletkun rullaamista ja polkemista kuntopyörää kuumassa saunassa. Suoritus tehdään eri päivinä sekä täydessä savusukellusvarustuksessa että kevyessä urheiluvaatetuksessa ja sen aikana mitataan rektaalilämpöä ja sykettä. Yhteen suoritukseen kuluu aikaa noin 50min. Tutkittavien terveys kartoitetaan Riskien kartoitus- ja suostumuslomakkeella. Lisäksi tutkittavat haastatellaan ennen testiä ja heille tehdään lepoverenpaineen mittaus. Testejä ei tehdä, jos viimeisen kolmen viikon aikana

on ollut kuumeinen tai lääkettä vaatinut flunssa, ripuli/oksennustauti tai työstä poissaoloa vaatinut muu infektio. Testeistä poissuljetaan myös korkean riskin testattavat; henkilöt, joilla on yksi tai useampi sydän- tai keuhkosairauteen viittaava oire (Riskien kartoitus- ja suostumuslomakkeen kohta II: 1-3) tai joilla on sydän- tai verenkiertoelinten (kohta III: 1-12), hengityselinten (kohta III: 13-15) tai aineenvaihdunnan (kohta III: 16-19) sairaus.

Testien suorittamista harkitaan henkilöillä, jotka ovat kohtalaisen riskin testattavia; kaikki 45-vuotiaat ja sitä vanhemmat miehet ja 55-vuotiaat tai sitä vanhemmat naiset sekä kaikki henkilöt, joilla on 2 tai useampi riskitekijä (Riskien kartoitus- ja suostumuslomakkeen kohta I) ja jotka ovat oireettomia (kohta II: 1-3). Harkinnassa otetaan huomioon riskitekijöiden määrä (kohta I) ja tieto testattavan aikaisemmasta toimintakyvystä.

Testi keskeytetään, jos koehenkilöllä; rintakipua, voimakasta väsymistä, hengenahdistusta, pahoinvointia, päänsärkyä, huimausta, sekavuutta, kovaa pohjekipua, systolinen verenpaine laskee >10mmHg, verenpaine nousee voimakkaasti >260/115, sykkeen epäsäännöllisyyttä tai testattava haluaa lopettaa testin.

Testattavat kuuluvat Pirkanmaan pelastuslaitoksen henkilöstöön ja pelastuslaitos kuuluu Tampereen kaupungin organisaatioon. Kaupungin henkilöstö on vakuutettu työajalla tai työmatkalla tapahtuvien tapaturmien varalta. Testit tehdään työajalla. Testien aikana paikalla on ensihoitovalmius (pelastuslaitoksen henkilöstö ja välineistö).

6 Tutkimuksen hyödyt ja haitat tutkittaville

Koehenkilönä Te saatte tietoa omasta kuormitustilastanne sekä siihen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimustuloksia voidaan käyttää henkilökohtaiseen opastukseen sekä saatte tietoa omista tuloksista verrattuna muun koehenkilöryhmän keskiarvoihin. Tutkittavat perehdytetään tutkimusmenetelmiin ennen suostumuslomakkeen allekirjoittamista, joten oikeuksiensa lisäksi he ovat selvillä tutkimukseen liittyvistä vaiheista ja riskeistä. Tutkimuksessa käytettävät menetelmät ovat terveille henkilöille turvallisia. Tutkimuksen aikana tutkittavia ohjeistetaan pientenkin riskien välttämiseksi. Tutkimuksessa polkupyöräergometritesti tehdään uupumukseen saakka, jolloin mittauksien jälkeen tutkittava voit tuntea itsesi jonkin aikaa tavallista väsyneemmäksi. Työnomaisessa suorituksessa, esimerkiksi portaiden nousussa, on myös kaatumisen mahdollisuus, joka voi johtaa loukkaantumiseen. Tutkijat hallitsevat tutkimuksessa käytettävät menetelmät, joten mittauksiin liittyvät riskit ja niiden todennäköisyys on olematon. Testeissä käytetään vain Jyväskylän yliopiston Liikuntabiologian laitoksen turvallisuushyväksymiä laitteita.

7 Miten ja mihin tutkimustuloksia aiotaan käyttää

Tuloksia tullaan käyttämään Pro gradu- tutkielmassa ja mahdollisesti yhdessä kansainvälisessä artikkelissa, mutta näistä julkaisuista ei yksittäisiä tutkittavia pysty tunnistamaan. Tutkimusaineisto arkistoidaan liikuntabiologian laitokselle. Aineistoa voidaan hyödyntää myös tulevaisuudessa tutkimuksissa. Tuloksista tullaan informoimaan Pirkanmaan pelastuslaitosta ja Työterveyslaitosta ja tutkimuksesta saatua tietoa tullaan hyväksikäyttämään pelastuslaitoksen toiminnassa.

8 Tutkittavien oikeudet

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Tutkittavilla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mittauksista ja keskeyttää testit ilman, että siitä aiheutuu mitään seuraamuksia.

Tutkimuksen järjestelyt ja tulosten raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan ja tutkijaryhmän käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Tutkittavilla on oikeus saada lisätietoa tutkimuksesta tutkijaryhmän jäseniltä missä vaiheessa tahansa.

9 Vakuutukset

Jyväskylän yliopiston henkilökunta ja toiminta on vakuutettu. Vakuutus sisältää potilasvakuutuksen, toiminnanvastuuvakuutuksen ja vapaaehtoisen tapaturmavakuutuksen. Tutkimuksissa tutkittavat (koehenkilöt) on vakuutettu tutkimuksen ajan tapaturmien ja sairaskohtausten varalta työnantajan puolesta, koska mittaukset suoritetaan työajalla ja osana ammatillisia harjoituksia ja testejä.

ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa ja niihin välittömästi liittyvillä matkoilla. Tapaturman lisäksi korvataan vakuutetun erityisen ja yksittäisen voimaponnistuksen ja liikkeen välittömästi aiheuttama lihaksen tai jänteen venähdysvamma, johon on annettu lääkärinhoitoa 14 vuorokauden kuluessa vammautumisen. Korvausta maksetaan enintään kuuden viikon ajan venähdysvamman syntymisestä. Voimaponnistuksen ja liikkeen aiheuttaman venähdysvamman hoitokuluina ei korvata magneettitutkimusta eikä leikkaustoimenpiteitä. Tutkimuksen koehenkilöt ovat vakuutettu tapaturmien ja sairaskohtausten varalta myös työnantajan puolesta, koska mittaukset suoritetaan työajalla ja osana ammatillisia harjoituksia ja testejä.

Mittauksissa on varauduttu välittömään ensiapuun tapatumien ja sairaskohtausten varalta.

Jokaisessa mittauksen osiossa on ensiapuvälineet ja ensiaputaitoista pelastuslaitoksen henkilökuntaa läsnä.

10 Tutkittavan suostumus

Olen perehtynyt tämän tutkimuksen tarkoitukseen ja sisältöön, tutkittaville aiheutuviin mahdollisiin haittoihin sekä tutkittavien oikeuksiin ja vakuutusturvaan. Suostun osallistumaan mittauksiin ja toimenpiteisiin annettujen ohjeiden mukaisesti. En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena. Voin halutessani peruuttaa tai keskeyttää osallistumiseni tai kieltäytyä mittauksista missä vaiheessa tahansa. Tutkimustuloksiani saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. julkaisuihin) sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

Päiväys Tutkittavan allekirjoitus

Päiväys Tutkijan allekirjoitus

LIITE 2. Riskien kartoitus- ja suostumuslomake

Riskien kartoitus- ja suostumuslomake

Pelastussukeltajan fyysisen toimintakyvyn testaaminen

Nimi: _____

Suostumus (kun testaaaja ei ole terveydenhuoltohenkilöstöön kuuluva):

Tunnen fyysisen toimintakyvyn testien suoritustavan ja turvamääräykset. Suostun siihen, että minulta kysytään kuntotestien turvallisuuden varmistamiseksi terveydentilaani liittyviä kysymyksiä.

Tunnen fyysisen toimintakyvyn testien suoritustavan ja turvamääräykset. En suostu siihen, että minulta kysytään kuntotestien turvallisuuden varmistamiseksi terveydentilaani liittyviä kysymyksiä, vaan haluan työterveyshuollon arvioivan terveydelliset edellytykseni hoitaa tehtäviäni. Siirrytään allekirjoituskohtaan ja välitetään tieto esimiehelle.

Testauksen turvallisuuden varmistamiseksi testattava vastaa seuraaviin kysymyksiin:

I RISKITEKIJÄT:

Ei Kyllä En tiedä/
En osaa sanoa

1. Onko läheisellä sukulaisellasi (vanhemmat, omat sisarukset) ollut ennen 65-ikävuottaan tai onko omilla lapsillasi ollut sydänveritulppa, sydämen sepelvaltimoiden toimenpide tai sydänperäinen äkkikuolema?

2. Tupakoitko nykyisin tai oletko lopettanut tupakoinnin viimeisen 6 kuukauden sisällä?

3. Onko systolinen verenpaineesi (yläverenpaine) ollut > 140 mmHg tai diastolinen verenpaineesi (aläverenpaine) > 90 mmHg vähintään kahdella mittauskerralla mitattuna? Tai onko sinulla lääkehoidossa oleva kohonnut verenpaine?

4. Onko kokonaiskolesterolisi tai ns. paha kolesterolitasosi (LDL) ollut koholla tai ns. hyvä kolesteroli (HDL) ollut liian matala tai käytätkö kolesterolia alentavaa lääkitystä?

(Jos tiedät laboratoriotulokset, rajat ovat kokonaiskolesteroli yli 5,2 mmol/l, LDL yli 3,4 mmol/l ja HDL alle 1,02 mmol/l)

5. Onko paastoverensokerisi ollut koholla ainakin kahdella eri mittauskerralla mitattuna?

(Jos tiedät laboratoriotulokset, kohonneeksi katsotaan yli 6,2 mmol/l).

6. Kehon painoindeksini (paino jaettuna pituuden neliöllä) on > 30 tai vyötärönympärykseni on > 102 cm (miehet), tai > 88 (naiset).

(Asiantuntijoiden mielipiteet vaihtelevat lihavuuden riskirajoista. Myös käytännön kliinistä arviointia voidaan käyttää lihavuuden arvioinnissa.)

7. Harrastan liikuntaa vähemmän kuin 3 kertaa viikossa enintään 30 minuuttia kerralla?

II OIREET:

Onko sinulla ollut seuraavia oireita viimeisen 6 kuukauden aikana?:

Oire	Ei	Kyllä	En osaa sanoa
1. Rintakipua levossa tai fyysisessä rasituksessa, rintakipua rintalastan seudussa, rasitukseen liittyvää poikkeavaa hengenahdistusta tai päänsärkyä?			
2. Huimausoireita tai rytmihäiriötuntemuksia?			
3. Fyysiseen rasitukseen liittyvää poikkeavaa uupumusta?			
4. Liikkumista haittaavaa liikuntaelinten kipua (esim. selkä- tai muuta nivelkipua)?			

III SAIRAUDET

Onko sinulla nyt tai onko joskus ollut jokin/joitakin seuraavista sairauksista (ympyröi)?:

- | | | | |
|---|---|-------------------------|-----------------------------|
| 01 sepelvaltimotauti | 02 sydäninfarkti | 03 kohonnut verenpaine | 04 sydänlappävika |
| 05 aivohalvaus | 06 aivoverenkierron häiriötä | 07 sydämen rytmihäiriö | 08 sydämentahdistin |
| 09 kävelykipua pohkeissa | 10 sydänlihassairaus | 11 syvä laskimotukos | 12 muu verisuonisairaus |
| 13 kr. keuhkoputkentulehdus, 14 astma
keuhkoahauma tai -laajentuma | | 15 muu keuhkosairaus | |
| 16 kilpirauh. toimintahäiriö | 17 diabetes | 18 munuaisten sairaus | 19 maksan sairaus |
| 20 nivelrikko, -kuluma | 21 nivelreuma | 22 kr. selkäsairaus | 23 leikkaus äskettäin |
| 24 tapaturma äskettäin | 25 matala veren kalium-
magnesiumpitoisuus | 26 kohonnut silmänpaine | 27 näön tai kuulon heikkous |
| 28 räsitukseen liittyvä allergiaoireilu | 29 anemia | 30 mahahaava | |

Onko sinulla muita sairauksia tai oireita tai käytätkö säännöllisesti jotain lääkitystä?

Mitä?

Ei

Kyllä

10. Onko sinulla viimeisen kolmen viikon aikana ollut kuumeinen tai lääkettä vaatinut flunssa tai ripuli/oksennustauti tai työstä poissaoloa vaatinut muu infektio?

Olen lukenut huolellisesti kysymykset ja vastannut niihin parhaan tietämykseni mukaan. Esittämiini kysymyksiin olen saanut minua tyydyttävän vastauksen.

_____ paikka

_____ pvm

_____ allekirjoitus

Testauksen liittyvien riskien arviointi

1. Esitietojen ja haastattelun perusteella (esim. käyttämällä ohessa olevaa lomakemallia) arvioidaan testaukseen liittyvät riskitekijät (kohta I), oireet (kohta II) ja sairaudet (kohta III).
2. Yllä mainittujen tietojen perusteella testattava luokitellaan johonkin alla esitetyn riskiluokituksen ryhmään.

Matalan riskin testattavat:

- alle 45-vuotiaat miehet, joilla on enintään yksi riskitekijä (kohta I) ja jotka ovat oireettomia (kohta II: 1-3)
- alle 55-vuotiaat naiset, joilla on enintään yksi riskitekijä (kohta I) ja jotka ovat oireettomia (kohta II: 1-3)

Kohtalaisen riskin testattavat:

- kaikki 45-vuotiaat ja sitä vanhemmat miehet ja 55-vuotiaat tai sitä vanhemmat naiset
- kaikki henkilöt, joilla on 2 tai useampi riskitekijä (kohta I) ja jotka ovat oireettomia (kohta II: 1-3)

Korkean riskin testattavat:

- henkilöt, joilla on yksi tai useampi sydän- tai keuhkosairauteen viittaava oire (kohta II: 1-3) tai joilla on sydän- tai verenkiertoelinten (kohta III: 1-12), hengityselinten (kohta III: 13-15) tai aineenvaihdunnan (kohta III: 16-19) sairaus.
3. Edellisissä kohdissa arvioitujen tietojen ja käytettäväksi aiotun testin perusteella määritellään se, onko lääkärin konsultaatio tai läsnäolo tarpeen testin aikana (ks. taulukko 1). Erityistä varovaisuutta tulee käyttää tehtäessä testiä, joka oletusarvoisesti on testattavalle maksimaalinen tai jos testattavan aikaisemmasta toimintakyvystä ei ole tietoa.

Testaustavasta riippumatta ensiapuvalmius on oltava aina olemassa.

Taulukko 1. Suositus lääkärin läsnäolosta kuntotestissä (ACSM 2006 pohjalta).

	Matala riski	Kohtalainen riski	Korkea riski
Submaksimaalinen testi	ei tarpeen	ei tarpeen	suositellaan
Maksimaalinen testi	ei tarpeen	suositellaan	suositellaan

Testejä ei tehdä, jos viimeisen kolmen viikon aikana on ollut kuumeinen tai lääkehoitoa vaatinut flunssa tai ripuli/oksennustauti tai työstä poissaoloa vaatinut muu infektio. Myös muut sairaudet (kohta III: 20-30) ja liikuntaelinten oireet (kohta II: 4) on huomioitava arvioitaessa testien turvallisuutta.