JYX JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.

Author(s): Rissanen, Sirkka; Kyröläinen, Heikki; Santtila, Matti

Title: Sotilas kylmässä : toimintakyky ja suojautuminen

Year: 2021

Version: Published version

Copyright: © Pääesikunta, Koulutusosasto, PL 919, 00131 HELSINKI

Rights: CC BY 4.0

Rights url: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Please cite the original version:

Rissanen, S., Kyröläinen, H., & Santtila, M. (2021). Sotilas kylmässä : toimintakyky ja suojautuminen. In H. Kyröläinen, K. Pihlainen, M. Santtila, & L. Torpo (Eds.), Taistelijan fyysinen toimintakyky 2020 : tieteellinen katsaus (pp. 120-132). Maanpuolustuskorkeakoulu. Julkaisusarja 3 : Työpapereita / Maanpuolustuskorkeakoulu, Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos, 6. https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-25-3185-1

12 Sotilas kylmässä: toimintakyky ja suojautuminen

Sirkka Rissanen[1], Heikki Kyröläinen[2], Matti Santtila[3]

[1] Työterveyslaitos
[2] Jyväskylän yliopisto, Liikuntatieteiden tiedekunta
[3] Maanpuolustuskorkeakoulu, Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos

12.1 Johdanto

Sotilaan lämpötasapainoon kylmässä vaikuttavat ympäristön olosuhteet (lämpötila, tuuli, kosteus), vaatetus, fyysinen aktiivisuus ja yksilölliset ominaisuudet, kuten terveys ja kehon mittasuhteet. Jäähtyminen voi olla koko kehon (sisäosien) jäähtymistä, ääreisosien ja ihon jäähtymistä, kontaktista kylmään pintaan johtuvaa paikallista jäähtymistä ja hengityselimistön jäähtymistä. Jäähtymisellä on usein negatiivinen vaikutus sotilaan toimintakykyyn ja terveyteen. Talvivaatetuksen paino ja lisääntynyt vaatekerrosten määrä lisäävät sotilaan kuormittumista, vaikka antavatkin suojaa jäähtymistä vastaan. Pitkäkestoinen taistelutilanne kylmässä kuormittaa sekä fyysisesti että henkisesti ja muuttaa vaatetuksen ja varusteiden ominaisuuksia. Muutosten seurauksena on ilmeistä, että sotilaan suorituskyky heikkenee, terveyttä vaarantavia muutoksia ilmenee sekä vaatetuksen kylmänsuojaus ja sotilaiden kylmänsieto heikentyvät.

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen lämpötilat nousevat, sademäärät kasvavat, lumipeiteaika lyhenee ja routaa on aiempaa vähemmän. Suomessa muutokset talvella ovat suurempia kuin kesällä. Tulevaisuuden muutoksista huolimatta tutkimusta tarvitaan edelleen sotilaan toimintakyvystä ja terveydestä kylmissä olosuhteissa. Suomalaisessa sotilastutkimuksissa on todettu, että sotilaan kehon pintaosien ja erityisesti ääreisosien jäähtymistä sotilastehtävien aikana tapahtuu kaikissa alle 0°C:n lämpötiloissa, ei ainoastaan ääriolosuhteissa [1]. Tuulennopeuksien voimistuminen ja sateiden runsastuminen talvella voivat altistaa sotilaan toisenlaiseen jäähtymiseen kuin kylmä lämpötila. Vaatemateriaalien ja taisteluasukokonaisuuksien kehittäminen muuttuviin olosuhteisiin on sotilaan toimintakyvyn kannalta oleellista.

12.2 Tutkimusmenetelmät

Tähän katsaukseen on kerätty kotimaista ja kansainvälistä tutkimusaineistoa vuosilta 2004–2019 (taulukko 1). Kylmään liittyvää tutkimusta on tehty erilaisissa tutkimusasetelmissa sekä useamman päivän sotilaallisissa harjoituksissa, että laboratorioissa. Pisimmät seurantajaksot ovat olleet 6–14 kuukautta ja lyhyimmät 60 minuuttia.

Puolustusvoimien ja Työterveyslaitoksen "Sotilas kylmässä, terveys, toimintakyky, suojautuminen" -tutkimus toteutettiin vuosina 2003–2007 kolmessa sotaharjoituksessa (Aihki 03, Härmä 04 ja Otso 05), joista Härmä 04 -harjoituksessa tehtiin laajimmat mittaukset [1]. Tämän lisäksi tehtiin mittauksia laboratoriossa. Härmä 04 -harjoituksessa 30 varusmiehen kokoiselle tutkimusryhmälle tehtiin laajat alku-, väli- ja lopputestit, joissa selvitettiin fyysistä suorituskykyä ja sen muutoksia, kuormitukseen liittyviä muuttujia, vaatetukseen liittyviä ominaisuuksia sekä terveydentilaa. Lisäksi rekisteröitiin päivittäin kymmenen varusmiehen lämpötasapainoa ja kuormittumista koko harjoituksen ajan (12 vrk) tutkittaviin kiinnitettävillä mittauslaitteilla. Ravinnon- ja nesteenkulutusta, vaatetuksen toimivuutta ja kokemuksia kirjattiin päivittäin seurantakorttiin ja vaatetuskyselyyn.

Otso 05 -harjoituksessa selvitettiin tehostetun juomahuoltojärjestelmän toteuttamista ja sen vaikutuksia henkiseen sekä fyysiseen suorituskykyyn pitkäkestoisen sotaharjoituksen aikana. Tässä harjoituksessa tutkimuksen kohteena olivat yhden komppanian kaksi joukkuetta, joista kerättiin tietoa kannettavan taakan vaikutuksista sekä vaatetuksen lämpö- ja kosteustuntemuksista.

12.3 Tulokset

Lämpötasapaino

Rintamäen ym. [2] tutkimuksessa mitattiin talvella 70 varusmiehen iho- ja rektaalilämpötilaa sekä sydämen sykettä useissa jalkaväen ja tykistön harjoituksissa. Ympäristön lämpötila vaihteli 29 ja 0 °C:n välillä. Sotilastehtävät kestivät 55 minuutista 9,5 tuntiin. Rektaalilämpötila vaihteli sotilastehtävissä 36,6 ja 38,5 °C välillä (keskiarvo 37,5 °C) riippuen enemmän fyysisen aktiivisuuden tasosta kuin ympäristön lämpötilasta. Kehon iholämpötilan jäähtyminen liittyi alhaiseen fyysisen aktiivisuuden tasoon tai riittämättömään vaatetukseen. Sormien lämpötila vaihteli 3,4:sta 36,5 °C:een siten, että kylmimmät lämpötilat mitattiin paljain käsin työskentelyssä tai käsineiden kastumisen seurauksena. Aktiivisuustason ja sitä myöten rektaalilämpötilan noustessa sormien lämpötila kohosi. Käden tai kehon antropometria ei selittänyt yksilöllisiä eroa sormien tai käsien lämpötiloissa. Sormien lämpötila oli alle 13 °C (toimintakyvyn heikkeneminen) 20 % (kumulatiivinen) mittausajasta lämpötila-alueella -10–0 °C ja 69 % mittausajasta lämpötila-alueella 30–20 °C.

Amerikkalais-norjalaisessa tutkimuksessa [3] tutkittiin lämpötasapainoa 3–4 päivän hiihtomarssin aikana. Ympäristön lämpötila vaihteli -18 ja -4 °C:een välillä. Elimistön sisälämpötila oli 37,5–38,0 °C hiihtomarssin aikana, ja levossa 36,0–36,5 °C. Sormien lämpötila vaihteli keskimäärin 32 ja 35 °C välillä hiihdon aikana ja levossa se laski 15 °C:een, ollen alimmillaan 6–10 °C. Varpaiden lämpötila oli yli 30 °C hiihdon aikana ja levossa 15–20 °C. Lämpötasapaino säilyi hiihdon aikana, mutta levossa ilmeni kehon jäähtymistä epämukavuustasolle vaikuttaen haitallisesti koettuun suorituskykyyn.

Carlssonin ym. [4] tutkimuksessa 14 kuukauden koulutus, johon sisältyi talviharjoittelua, aiheutti käsien ja jalkojen alentunutta tunto-, lämpö- ja tärinäaistimusta. Seurantajakson aikana lämpötila oli alle nollan asteen 42 päivänä, josta pisin yhtäjaksoinen oleskelu kylmässä kesti 14,5 vuorokautta. Jakson alin lämpötila oli -30 °C. Valkosormisuuden, kylmäkivun ja epämukavuuden yleisyys lisääntyi harjoituksen aikana. Käsien verenkiertoon talviharjoittelulla ei kuitenkaan osoitettu olevan vaikutusta.

Norjalaistutkimuksessa [5] tutkittiin elokuun ja tammikuun varusmiessaapumiserän sormien lämpenemistä käden kylmävesialtistuksen jälkeen. Näissä havaittiin kolme lämpenemismallia, joita olivat nopea, keskinopea ja hidas lämpeneminen. Sotilaista 10 %:lla sormien lämpeneminen oli hidasta, ja heillä käsien lämpötila oli alhainen jo ennen kylmäaltistusta. Ruotsalaistutkimuksessa [6] yksilöiden erot käsien lämpenemisvasteissa [5] vaikuttivat kylmävammojen esiintyvyyteen kylmässä 15 kuukauden

koulutuksen aikana. Sotilailla, joilla oli kylmäaltistuksesta hitaasti lämpenevät kädet, kylmävammoja oli enemmän. Norjalaiskadeteilla tehdyssä tutkimuksessa kylmän aiheuttama verisuonten laajeneminen oli yleisempää sormissa (61 %) kuin varpaissa (6 %) [7]. Varpaiden lämpötilat olivat alemmat kuin sormien lämpötilat. Sormien tai käsien lämpövasteita ei siksi tulisi käyttää ennustamaan varpaiden ja jalkaterien lämpövasteita sekä päinvastoin.

Härmä 04-harjoituksessa [1] iholämpötiloja mitattiin kymmeneltä varusmieheltä 12 vuorokauden ajan. Taistelutehtävien aikana paikallisista iholämpötiloista laskettu keskiarvo (Tsk) vaihteli 28,8:sta 31,3°C:een. Keskimäärin alle 30°C:een lämpötila voi vaikuttaa heikentävästi sotilaiden toimintakykyyn, mutta vasta alle 28°C:een Tsk:n tasoa pidetään vakavampana raja-arvona suorituskyvyn heikentymiselle. Tämä raja-arvo alitettiin harjoituksen aikana lyhytkestoisesti (alle 10 % kokonaisajasta), vaikka ympäristön lämpötila oli lähellä 0°C:tta. Tuuli (yli 2,5 m/s) ja vaatteiden kastuminen (lauha ja satoi 4 mm/vrk) saattoivat lisätä kehon jäähtymistä. Tsk korreloi negatiivisesti yksilön painoindeksin (r = -0,725, p<0,05) ja ihonalaisen rasvan määrään. Sormien lämpötila oli eri tehtävien aikana keskimäärin alle 24°C ja oli alimmillaan puolustustaisteluammunnoissa noin 16°C. Hetkellisesti sormien lämpötila oli alle 10°C. Jalat olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta suhteellisen lämpimät (27–32°C). Yksilölliset erot olivat kuitenkin suuria. Kyselyjen mukaan eniten palelevat kehon osat olivat sormet ja kädet (66 %), varpaat ja jalkaterä (36 %), kasvot ja korvat (7 %) sekä vartalo (10 %).

Kylmän vaikutus suorituskykyyn

Härmä 04-harjoituksessa [1] selvitettiin kylmässä suoritetun maastoharjoituksen vaikutusta sotilaan suorituskykyyn, kuormittumiseen, väsymiseen ja palautumiseen hengitys- ja verenkiertoelimistön, liikuntaelimistön, sekä kehon koostumuksen ja hormonitoiminnan mittauksilla. Varusmiesten keskimääräinen maksimaalinen hapenottokyky oli ennen harjoitusta 45,1 ml/kg/min. Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta ei muuttunut merkitsevästi harjoituksen aikana aerobisella, anaerobisella tai maksimaalisella kuormitusalueella. Sen sijaan sykevaste oli kullakin kuormitusalueella alhaisempi (p<0,05). Kenttäharjoitus ei aiheuttanut systemaattista muutosta lihasten maksimaalisessa lihasvoimantuotossa. Harjoituksen puolivälissä (taisteluharjoituksen lopussa) havaittiin sormien maksimaalisen kiertovoiman (peukalon ja kahden sormen ote ja kierto) ja jalkojen voimantuoton heikentymistä. Voimantuotto palautui lähtötasolle taisteluharjoitusta seuraavan ampumaleirin aikana. Seerumin kreatiinikinaasi- ja testosteronitasot osoittivat myös kuormituksen olleen suurinta harjoituksen alkupuolella, kun taas seerumin interleukiini-6- ja kilpirauhashormonitasot (vapaa T4) viittasivat kumuloituvaan rasitukseen.

Kahdentoista vuorokauden maastoharjoituksen aikana varusmiesten keskimääräinen kehon paino laski 71,4 kg:sta 70,1 kg:aan ja rasvaprosentti 14,0 %:sta 12,8 %:iin (p<0,05). Painon ja rasvaprosentin muutoksista laskettuna he menettivät harjoituksen

aikana keskimäärin 857 g rasvaa (443 g muuta painonpudotusta), joka energiamäärältään vastaa 7713 kcal (32,3 MJ). [1]

Castellanin ym. [3] kaksiosaisessa tutkimuksessa seurattiin kolmen ja neljän päivän ajan päivittäisen hiihtomarssin (6–10 t/vrk) aikaista sydämen sykettä, energiankulutusta ja lämpövasteita. Syke oli hiihtomarssin aikana keskimäärin 120–130 lyöntiä minuutissa, vastaten noin 65 % iänmukaisesta maksimisykkeestä. Sotilaiden energiankulutus oli kolmen päivän harjoituksessa 6821 kcal/vrk ja neljän päivän harjoituksessa 6 304 kcal/vrk. Tutkimuksen mukaan 3–4 päivän hiihtomarssin aiheuttama sydän- ja verenkiertoelimistön kuormitus kylmässä oli kohtalainen (noin 45 % VO_2max). Varusteet ja vaatetus olivat olosuhteisiin ja rasitukseen nähden sopivat.

Käden toimintakyky

Castellani ym. [8] tutkivat kyynärvarren, kasvojen ja näiden yhtäaikaisen lämmittämisen merkitystä sorminäppäryyteen kylmässä ja tuulessa. Sekä kyynärvarren että kyynärvarren ja kasvojen yhtäaikainen lämmittäminen nostivat käsien ja sormien lämpötilaa siten, että sorminäppäryyden heikkeneminen kylmässä oli vähäisempää verrattuna lämmittämättömään tilanteeseen. Samoin jo jäähtyneen sormen uudelleen lämmitys onnistui paikallisesti joko kyynärvartta tai kasvoja lämmittämällä.

Rissasen ym. [9] tutkimuksessa selvittiin suojavarustuksen (biologinen ja/tai kemiallinen suojautuminen) vaikutusta ensihoitotoimenpiteisiin kylmässä ja lämpimässä. Koko kehon suojavarustus ja etenkin käsineet heikensivät ensihoitotehtävien suorittamista 16–34 %:lla, ja kylmän aiheuttama lisäheikennys oli 5–35 %. Ensihoitotehtäviä tulisi harjoitella suojavarustuksessa ja varautua 20–40 %:n suorituskyvyn heikkenemiseen.

Oksa ym. [10] tutkivat harjoituslämpötilan vaikutusta uusien sotilastehtävien oppimiseen kylmässä. Tutkimuksessa oli kolme ryhmää, joista yksi ryhmä harjoitteli kuusi kertaa lämpimässä (19 °C), toinen ryhmä kolme kertaa lämpimässä ja kolme kertaa kylmässä (-15 °C) ja kolmas ryhmä harjoitteli kuusi kertaa kylmässä. Uuden tehtävän suoritusaika kylmässä parani, kun harjoittelua tehtiin ensin lämpimässä. Tämän jälkeen harjoittelu kylmässä paransi suoritusta 6–28 % verrattuna vain lämpimässä harjoitteluun. Kylmässä harjoittelu oli myös tehokkaampaa kuin vain harjoittelu lämpimässä.

Paleltumat

Ruotsalaisessa pitkäkestoisessa seurantatutkimuksessa kymmenen sotilasta raportoi kylmävaurioista, joista kahdella ilmeni vaurioita käsissä, kahdella jaloissa, neljällä käsissä ja jaloissa sekä kahdella kasvoissa [4]. Lämpötila vaihteli harjoituksen aikana -30:n ja 0 °C:n välillä.

Härmä 04-harjoituksessa [1] kartoitettiin kyselyllä palveluksessa syntyneitä paleltumia. Sotilaista kolme prosenttia ilmoitti saaneensa vähintään rakkula-asteisen paleltuman ennen harjoitusta. Taisteluharjoitusviikolla ilmaantuneista uusista rakkula-asteisista pa-

leltumista raportoi kaksi prosenttia ja ampumaharjoitusviikolla 0,3 %. Paleltumat eivät johtaneet palvelushelpotuksiin tai hoitokontakteihin.

Kuormitus ja energiankulutus talviolosuhteissa

Otso 05-harjoituksessa selvitettiin varusteiden painoja eri sotilastehtävissä ja kannettavan taakan koettua kuormitusta sotilaiden toimintakykyyn [1]. Keskimääräinen kannetun taakan paino oli taisteluharjoituksessa 40,8 % ja ampumaharjoituksessa 33,5 % sotilaan kehon painosta. Taakan painon lisääminen yli 27 % kantajan kehon painosta lyhentää kantoaikaa huomattavasti [11]. Tutkimus suoritettiin talviaikaan, jolloin kylmänsuojavaatetuksen osuus (keskimäärin 11,4 kg) kokonaistaakasta oli huomattava. Varusteiden kuormitus kohdistui erityisesti niska-hartiaseutuun.

Oksan ym. [12] tutkimuksessa kuormittuneisuuden taso vaihteli maastosta, etenemisnopeudesta ja vuodenajasta riippuen 2–44 % maksimaalisesta lihasaktiivisuudesta, 51–73 % maksimisykkeestä ja 21–58 % maksimaalisesta hapenkulutuksesta. Talvi lisäsi verenkiertoelimistön kuormittuneisuutta kaikissa maasto-olosuhteissa 3–14 %, lukuun ottamatta etenemistä suolla, jossa kuormittuneisuus oli sama kesällä ja talvella. Talven vaikutus lihasaktiivisuuteen oli 2–12 % ja hapenkulutukseen 3–10 %. Kuormittavimmat maastot sekä objektiivisesti mitattuna että subjektiivisesti koettuna olivat vaikeakulkuinen metsä-, suo- ja mäkimaasto. Talviolosuhteissa erityisesti lihaksistoon kohdistuva kuormittuneisuus kasvaa verrattuna kesäolosuhteisiin. Talvella paksumpi vaatetus ja kengät lisäävät kuormittuneisuutta. johtuen painon lisääntymisestä, useammasta vaatekerroksesta ja myös kitkasta näiden välillä. Energiankulutus talvivaatetuksessa kasvaa noin 3 % lisättyä vaatekilogrammaa kohti verrattuna kesävaatetukseen [13, 14]. Richmondin ym. [15] kattavassa katsauksessa on esitetty maastokerroinsuosituksia sekä lumessa että lumikengillä kävelyyn. Lumen syvyys lisäsi merkittävästi energiankulutusta. Kylmän ilman vaikutus energiankulutukseen jää vaatetuksen takia epäselväksi.

Nestevaje

Talvella sotilaan voi olla vaikea huolehtia riittävästä nesteen saannista. Elimistön kuivuminen vaikuttaa ruokahaluttomuuteen ja johtaa pitkittyessään ennenaikaiseen väsymykseen ja toimintakyvyn heikkenemiseen. Otso 05-sotaharjoituksessa [1] selvitettiin tehostetun juomahuoltojärjestelmän toteuttamista ja sen vaikutuksia varusmiesten henkiseen ja fyysiseen suorituskykyyn. Komppanian joukkueista toinen toimi koeryhmänä ja toinen verrokkiryhmänä. Verrokit joivat oman tuntemuksensa ja juoman saatavuuden mukaisesti. Koeryhmälle jaettiin nestettä 2 litraa/vrk 2 dl:n annospakkauksissa. Koeryhmä joi keskimäärin 2,2±0,05 litraa ja verrokkiryhmä 1,3±0,05 litraa harjoituksen aikana. Jaettujen annospakkauksien lisäksi koeryhmässä juotiin vaihteleva määrä (0,2–0,7 l/vrk) muita saatavilla olevia nesteitä. Päivittäiseen kyselyyn perustuen sotilaiden mieliala ja motivaatio olivat merkitsevästi parempia nesteytysryhmässä kuin verrokkiryhmässä. Fyysinen

suorituskyky koettiin koeryhmässä paremmaksi ja tehtävien fyysinen ja henkinen rasittavuus koettiin kevyemmäksi eri harjoitusvaiheiden aikana verrattuna verrokkiryhmään.

Cheuvrontin ym. [16] tutkimuksessa selvitettiin nestevajauksen (3 % painon lasku) vaikutusta kestävyysharjoitteluun kylmässä (2°C) ja lämpimässä (20°C) (vaatetuksenä shortsit ja t-paita). Nestevajaus kylmässä ei vaikuttanut iho- tai rektaalilämpötilaan, mutta syke oli korkeampi kuin hyvin nesteytettynä. Iholämpötilat olivat alemmat kylmässä kuin lämpimässä sekä nesteyttynä että nestevajeen aikana. Nestevajauksen heikentävä vaikutus suorituskykyyn oli 8 % lämpimässä ja 3 % kylmässä. Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin, että nestevajaus (3 % painosta) heikentää fyysisiä kestävyysominaisuuksia lämpimässä (20°C), mutta ei kylmässä (2°C). Syyt tähän voivat liittyä eroavaisuuksiin sydämen ja verenkiertoelimistön (mm. sydämen minuuttitilavuuden) ja hapenkulutuksen mekanismeissa lämpimässä ja kylmässä.

Vaatetus

Sotaharjoituksissa (Härmä 04 ja Otso 05) tutkittiin vaatetuksen riittävyyttä ja vertailtiin eri aikakausien vaatekokonaisuuksien ominaisuuksia [1, 17]. M05-malli tuli tuolloin yleisempään käyttöön. Tutkimuksessa määritetyn käyttöalueen mukaan M05 antaa riittävän suojan kevyessä työssä (<115 W/m²) pitkäaikaiselle kylmäaltistukselle, alhaisimmillaan -13°C:een asti, tyynessä ilmassa ilman pakkaspukua. Pakkaspukua käytettäessä suojaus riittää -22°C:een asti. Vaatetusjärjestelmä ilman pakkaspukua riittää keskiraskaassa työssä (<165 W/m²) suojaamaan sotilasta -28 asteeseen saakka. Vaatetus M05 antaa riittävän suojan raskaassa työssä äärikylmissä olosuhteissa. Välivaatetuksen käyttö pitkäaikaisessa altistuksessa ja kevyessä työssä (115 W/m²) on tarpeellista kylmemmissä olosuhteissa kuin -5°C:tta. Lievä hikoilu laskee M05-vaatetuksen lämmöneristävyyttä noin seitsemällä prosentilla, mikä vaikuttaa vaatetuksen käyttöalueeseen nostaen käyttölämpötilaa kolmella asteella. Vaatetusjärjestelmän käyttöalueeseen vaikuttaa erityisesti tuulen voimakkuus. Voimakkaan tuulen (8 m/s) aiheuttama lämmöneristävyyden lasku nostaa vaatetusjärjestelmän optimaalista käyttölämpötilaa keskimäärin 19°C:lla. Vaatetuksen M05 lämmöneristävyys säilyi vaikeissa olosuhteissa ja fyysisessä rasituksessa paremmin kuin vanhemmalla asukokonaisuudella. Päivittäisen vaatetuskyselyn mukaan 52 % varusmiehistä piti M05 -vaatetusta riittävän lämpimänä. Kyselyssä ilmeni myös, että varusmiesten vaatteet kastuivat päivittäin hikoilusta. Jos varusmiehet pääsivät yöpymään lämmitettyyn telttaan ainakin joksikin aikaa, vaatteita saatiin hyvin kuivatettua. Teltan lämmitystavasta johtuen yöpymisen aikana pää oli kehon kylmin osa.

Härmä 04-harjoitus [1] toi esille, että kokonaiskuvan kannalta täsmällinen tieto vaatetuksesta tulisi jakaa käskytysketjun välityksellä harjoituksen alusta alkaen. Täten tieto saavuttaa jokaisen varusmiehen. Harjoituksessa jaettiin heikosti tietoa pukeutumisesta ja selviytymisestä kylmässä. Kylmyys vaikuttaa heikentävästi joukon johtamiseen. Vaikutus kasvaa, mitä lähemmäksi suoritusporrasta mennään tai mitä vähemmän johtajat ovat saaneet koulutusta kylmäaltistukseen liittyen.

Vesihöyryä heikosti läpäisevä suojavarustus, kuten biologinen ja/tai kemiallinen suoja-asu, voi kylmässä johtaa elimistön liialliseen lämpenemiseen, voimakkaaseen hikoiluun ja toimintakyvyn heikkenemiseen, erityisesti raskaassa fyysisä kuormituksessa [18]. Sotilastehtävissä maasto-olosuhteissa [19] kehon ydinlämpötila nousi yli 38 asteen raskaassa kuormituksessa, vaikka ympäristön lämpötila oli -33 °C. Toisaalta kehon lämpötila, erityisesti kädet, jäähtyvät nopeasti kylmässä passiivisen toiminnan (mm. istuminen, paikallaan seisominen) aikana.

12.4 Pohdinta

Lämpötasapaino

Sotilaalla lämpötasapaino on riippuvainen fyysisen aktiivisuuden tasosta, eikä niinkään ympäristön lämpötilasta. Levossa ja etenkin fyysisen aktiivisuuden jälkeen kehon ydinlämpötila voi laskea, mutta hypotermiaa eli alilämpöisyyttä (ydinlämpötila laskee alle 35 °C:een) ei tutkimuksissa raportoitu. Muun muassa vaatetuksen kastuminen, väsymys, loukkaantuminen, nestehukka ja energiavaje ovat tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa kylmässä ympäristössä kehon sisäosien lämpötilan laskun. Terveellä sotilaalla, joka on aktiivinen ja pukeutuu olosuhteiden vaatimusten mukaisesti, ei todennäköisesti ilmene alijäähtymistä. Sotilaiden fyysisen kunnon taso ei ollut yhteydessä iholämpötilaan, eikä koettuihin kylmä- tai kylmäkiputuntemuksiin. [1-3]

Jäähtymiselle alttiimpia kehon osia ovat sormet, kädet, varpaat ja jalkaterät, joiden jäähtyminen aiheuttaa epämukavuutta ja suorituskyvyn laskua. Jäähtymistä voidaan ennaltaehkäistä jalkineilla ja käsineillä, joissa on hyvä lämmöneristävyys, metallipintojen eristämisellä, aineenvaihdunnallisen lämmöntuotannon turvaamisella sekä ylläpitämällä keskikehon ja kyynärvarren hyvää lämpötasapainoa joko vaatetuksella tai lämmitysjärjestelmää käyttämällä. Käsineiden paksuus ja tarttumaotteen tuntoaistimuksen puute heikentävät sorminäppäryyttä, jota mahdollinen sormien ja käsien jäähtyminen voimistaa. Ulkoiset lämmitysjärjestelmät voivat vähentää tai poistaa kokonaan ääreisosien jäähtymistä, mutta vaativat vielä kehitystyötä soveltuakseen maastoharjoituksiin. [2-3, 8]

Tutkimuksissa raportoidut sormien ja käsien kylmäkipu sekä valkosormisuus ja paleltumat osoittavat, että käsien liiallinen jäähtyminen on edelleen todellinen riski sotilaan toimintakyvylle, ja siihen ei välttämättä suhtauduta koulutuksessa riittävällä vakavuudella. Jäähtymiseen ja paleltumien ennaltaehkäisyyn ja hoitoon tulisi maastoharjoituksissa kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. Taistelijan reaaliaikaisten fysiologisten vasteiden monitorointi, yhdistettynä ympäristön olosuhteisiin voi tulevaisuudessa edistää taistelijan toimintakykyä ottaen huomioon yksilölliset tarpeet erilaisissa sotilastehtävissä. [1-2, 4-7]

Toimintakyky

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että varusmiesten fyysisen toimintakyvyn taso oli riittävä selviytymiseen sotaharjoituksen kuormituksesta. Alle kahden viikon sotaharjoitus vähensi sotilaiden kehon painoa ja ihonalaisen rasvakudoksen määrää. Lyhyessä harjoituksessa kehon koostumuksen muutokset aiheuttavat enemmänkin epämiellyttävyyden tuntemuksia kuin toimintakykymuutoksia. Tätä olettamusta tukevat saadut kuormitus- ja suorituskykytulokset. Harjoitusten kuormitus oli keskimäärin alhainen, eikä sotilaiden toimintakyvyssä havaittu heikentymistä. Pidempiaikaisesti jatkuessaan kehon koostumuksen muutokset voivat kuitenkin vaikuttaa myös joukkojen suorituskykyyn. Kesään verrattuna talviharjoituksissa joukkojen toimintakyky heikkenee sitä enemmän, mitä liikkuvammasta joukosta on kysymys. Lumisessa maastossa energiankulutus kasvaa verrattuna kesäolosuhteisiin [1, 3, 12, 15].

Sotaharjoituksissa toteutetut tutkimukset vahvistavat, että sotilaat eivät saa riittävästi nestettä maastoharjoituksen aikana [1]. Ohjatussa nesteytysryhmässä varusmiehet joivat keskimäärin 2,2 litraa päivittäin, mikä on yleinen suositus vuorokausikulutukselle kevyessä ja keskiraskaassa työssä. Nesteytysryhmän mieliala ja motivaatio sekä henkinen ja fyysinen suorituskyky olivat kyselyn mukaan parempia kuin verrokkiryhmällä, joka joi 1,3 l/vrk. Kylmätuntemukset olivat hieman lievemmät nesteytysryhmässä. Laboratoriotutkimuksissa on todettu, että kolmen prosentin kehon painon väheneminen ei heikennä sotilaiden kestävyysominaisuuksia raskaassa (jäähdytys 2 °C:ssa, kevyt vaatetus) [16] tai keskiraskaassa kuormituksessa (4 °C, 4 % painon lasku) [20]. Nestevaje ei muuta metabolista lämmöntuottoa, iholämpötilaa, syvälämpötilaa, ääreisosien lämmönhukkaa, eikä nosta lämmönsäätelyn tai sydän- ja verisuonielimistön kuormittumista [20]. Sotilastyöstä johtuva lämmöntuotto näyttää kumoavan kylmän aiheuttaman verisuonten supistumisen ääreisosissa ja iholla, minkä seurauksena ääreisosien ja ihon lämpötila ei merkittävästi laske. Nestevaje ei myöskään muuta sormien verenvirtausta, lämpötilaa eikä kylmän aiheuttamaa verisuonten laajenemista paikallisessa kylmävesialtistuksessa [21]. Tuloksia tulkittaessa on hyvä ottaa huomioon, että edellä mainitut tutkimukset [16, 20-21] ovat olleet lyhytkestoisia kylmäaltistuksia.

Vaatetus

M05-talvivaatetuksen kylmänsuojaus- ja kosteuden poisto-ominaisuudet sekä kevyempi paino mahdollistivat paremman käyttömukavuuden ja fyysisen toimintakyvyn kuin vanhemmat asukokonaisuudet [17]. Päivittäisen vaatetuskyselyn mukaan kuitenkin vain puolet M05-vaatetusta käyttäneistä piti sitä riittävän lämpimänä. Merkittävimmät tulevaisuuden kehityskohteet ovat muun muassa vaatetuksen kosteuden hallinta, sirpaleliivin vesihöyryn läpäisevyyden lisääminen, varusteiden keventäminen ja vaatetuksen monikäyttöisyyden ja suorituskykyä lisäävien ratkaisujen kehittäminen sekä asun elinkaaren

pidentäminen. Puolustusvoimien vaatetusjärjestelmästä puuttuu äärimmäisen kylmään sopivia suojaimia, kuten esimerkiksi erityisen lämpöeristävät käsineet.

Teltassa yöpymisessä tulisi kiinnittää aiempaa enemmän huomiota teltan sisäisen lämpötilan jakautumiseen koko teltan alueella, jotta unen laatu ja elimistön palautuminen tehostuisivat. Täten sotilaan suorituminen päivittäisistä työtehtävistä paranisi. Yövyttäessä kamiinalla lämmitetyssä teltassa, vaatetuksen valinnalla voidaan tasoittaa lämpötilajakaumaa, esimerkiksi suojaamalla pää ja ylävartalo alavartaloa paremmin ennen makuupussiin menoa. Kiertoilmatyyppisillä lämmittimillä tai kaksikerrosteltan ilmanvaihtoaukkoja säätämällä saadaan myös lämpötilakerrostumia ja vähennettyä lämpöhäviötä teltassa [22]. Kosteissa olosuhteissa varusteiden päivittäinen kuivaus lämmitetyssä teltassa on tehtävistä suoriutumisen ja toimintakyvyn kannalta erittäin tärkeää. Älytekstiilien, -vaatteiden ja -teknologian kehittyessä kiinnostavimpia sovelluksia sotilasvaatetukseen voivat olla faasimuutos-, muotomuisti- ja tilavuusmuutosmateriaalit sekä esimerkiksi printattava elektroniikka.

12.5 Johtopäätökset

Tutkimusten mukaan toimintakyvyn muutokset kylmässä ovat maltillisia, eikä suorituskyvyn täydellinen menettäminen ole maastoharjoitusoloissa merkittävä riski, mikäli fyysinen aktiivisuus ja vaatetus ovat olosuhteisiin nähden riittävät. Puolustusvoimien nykyisen talvivaatetuksen kylmänsuojausominaisuudet ovat yleisesti ottaen hyvät ja lämpötilakäyttöalueet riittävät. Ääreisosien suojaamiseen ja paleltumien ennaltaehkäisyyn ja hoitoon tulisi maastoharjoituksissa kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. Talvella maaston, varusteiden painon ja kylmän ympäristön aiheuttama suurempi energiankulutus tulisi ottaa huomioon ravinto- ja nestehuollossa, etenkin pitempikestoisissa maastoharjoituksissa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset sotilaiden toimintakykyyn ja varusteisiin tulisi myös ennakoida.

12.6 Toimenpidesuositukset ja jatkotutkimustarpeet

- Riittävän nestemäärän saatavuus maastoharjoituksissa on varmistettava myös talvella sotilaiden optimaalisen toimintakyvyn ylläpitämiseksi.
- Uutta tehtävää tai taitoja tulisi ensiksi harjoitella lämpimässä ja vasta sen jälkeen siirtyä harjoittelemaan kylmiin olosuhteisiin suoritusajan optimoimiseksi.
- Vaatetukseen ja nesteytykseen liittyvää käskynantoa ja tiedonvälitystä tulee lisätä erityisesti maasto-olosuhteissa talvella ja vaihtuvissa sääoloissa. Tämä tulisi ottaa huomioon myös johtajakoulutuksen kehittämisessä.

- Jäähtymisen ennaltaehkäisyä levon ja alhaisen aktiivisuustason aikana tulisi harjoitella koulutusvaiheen aikana, muun muassa opettamalla huolellisesti kerrospukeutumisen perusteet.
- Talvivaatetuksen kosteuden hallinta, sirpaleliivin vesihöyryn läpäisevyyden lisääminen, varusteiden keventäminen ja vaatetuksen monikäyttöisyyden ja suorituskyvyn lisääminen sekä elinkaaren pidentäminen ovat tulevaisuuden kehittämis- ja jatkotutkimusaiheita.

Taulukko 12.1 Kylmän vaikutus sotilaan lämpötasapainoon ja fyysiseen toimintakykyyn.

Tutkimus	N, maa	Operaatio, kesto	Yhteenveto tuloksista
Rintamäki ym. 2004 [2]	N=70 varusmiestä, Suomi	Käsien lämpötilat eri sotilastehtävissä talviharjoituskauden aikana.	Sormen lämpötila oli alle 13 ˚C (sorminäppäryys alkaa heikentyä) 20 % ajasta ympäristön lämpötilan ollessa 0…-20 ˚C ja 69 % ajasta lämpötilassa -20…-20˚C. Fyysisen aktiivisuuden ollessa riittävä nostamaan syvälämpötilaa sormien jäähtyminen on vähäisempää. Käsineiden parempi suojaaminen ja metallipintojen eristäminen hidastaisi jäähtymistä.
Castellani ym. 2017 [3]	N=18 (1), N=10 (2), norjalaissotilasta, Norja ja USA	Kaksi tutkimusosiota. 1) 7 päivän talvikoulutus, johon kuului kolmipäiväinen hiihtomarssi (54 km) Norjassa. 2) samankaltainen koulutus kuin 1), mutta kolme eri ravitsemusryhmää. Ta -18- -4 ˚C.	Sormien ja varpaiden lämpötilat hiihdon aikana 25-30 ˚C, mutta levossa hiihdon jälkeen 15-20 ˚C ja kovassa tuulessa sormet 6-10 ˚C. Elimistön sisälämpötila (kapseli) 36,5-38,2 ˚C, hiihdon aikana korkein. Verenkiertoelimistön kuormittuminen vähäinen (45 % VO_2max).
Carlsson ym. 2016 [4]	N=54 varusmiestä, Ruotsi	14 kuukauden koulutus, johon sisältyi kylmäjakso. Ta < 0 ˚C 42 pv, minimi Ta -30 ˚C Kysely ja mittaukset.	Pitkäkestoinen koulutus, osin talviolosuhteissa, aiheutti alentuneen tunto-, lämpö- ja tärinäaistimuksen sekä käsissä että jaloissa. Valkosormisuuden ja kylmäkivun/epämukavuuden sekä kivun yleisyys lisääntyi. Käden verenkiertotoimintaan ei ollut vaikutusta.
Norheim ym. 2018 [5]	N=260 varusmiestä, Norja	Sormien lämpenemisen seuranta lämpökameralla elokuun ja tammikuun saapumiserässä. Käsi-immersio 20 ˚C.	Kolme lämpenemismallia: nopea, keskinopea ja hidas lämpeneminen. 10 % varusmiehistä lämpeneminen oli hidasta, näillä käden lämpötila oli alempi jo ennen kylmäaltistusta.
Brändström ym. 2009 [6]	N=45 (77) varusmiestä, Ruotsi	15 kuukauden koulutus, sisältäen kylmäjakson. Kylmävesiprovokaatio ennen ja jälkeen koulutuksen.	Kylmävesiprovokaation jälkeen sormen lämpötilan palautuminen voidaan luokitella kolmeen ryhmään; nopea, keskinopea ja hidas. Kylmävammoja esiintyy enemmän hitaasti palautuvien ryhmässä. Pitkäkestoisen koulutuksen jälkeen sormet lämpimämmät ja niiden lämpeneminen nopeampaa.

Tutkimus	N, maa	Operaatio, kesto	Yhteenveto tuloksista
Norrbrand ym. 2017 [7]	N=70 kadettia, Ruotsi	Sormien vs varpaiden ja käsien vs jalkojen lämpeneminen kylmäaltistuksen (vesi-immersio) jälkeen.	Cold-induced-vasodilatation (CIVD) yleisempi sormissa (61 %) kuin varpaissa (6 %). Varpaiden lämpötilat alemmat kuin sormien. Lämpövasteet sormissa/käsissä eivät korreloi varpaiden/jalkojen lämpövasteiden kanssa.
Castellani ym. 2018 [8]	N=8, USA	Altistus: 0,5 ˚C, tuuli 1,34 m/s. Kyynärvarren, kasvojen lämmittäminen ja näiden yhdistelmän vaikutus sorminäppäryyteen kylmässä.	Sekä kyynärvarren että kyynärvarren ja kasvojen lämmittäminen nostivat käden ja sormen lämpötilaa niin että sorminäppäryyden heikkeneminen oli vähäisempää kylmässä verrattuna lämmittämättömään tilanteeseen. Myös jo jäähtyneen sormen uudelleen lämmitys.
Rissanen ym. 2008 [9]	N=11, Suomi	Kylmän vaikutukset ensihoitotoimenpiteisiin NBC-suojavarustusta käytettäessä.	Sormien jäähtyminen ja NBC-suoja vaikeuttavat peruslääkinnällisiä toimia kylmässä. Harjoittelu kylmässä ja NBC-varustuksessa suositeltavaa.
Oksa ym. 2006 [10]	N=24 testihenkilöä ja N=18 varusmiestä, Suomi	Harjoituslämpötilan vaikutus uusien sotilastehtävien oppimiseen kylmässä.	Kylmässä tehtävien sorminäppäryyttä vaativien sotilastaitojen harjoittelu kannattaa aloittaa ensin lämpimässä ja sen jälkeen kylmässä, jolloin suorituskyvyn ylläpito kylmässä on parempi.
Oksa ym. 2007 [11]	N=9, Suomi	Lihaksiston, verenkiertoelimistön ja energeettisen kuormittuneisuuden taso kesällä ja talvella kolmella eri etenemisnopeudella ja kuudessa eri maastotyypissä.	Talviolosuhteet eri maastotyypeissä lisäsivät lihaksiston 2-12 %, verenkiertoelimistön 3-14 % ja energiankulutuksen kuormittuneisuutta 3-10 % kesään verrattuna.
Richmond ym. 2019 [12]	Review, USA	Kattava selvitys lumessa liikkumisen kuormittavuudesta ja sen mallintamisesta.	Lumessa kävelyn energiankulutus on riippuvainen kävelynopeudesta lumessa ja lumen upottavuudesta ja syvyydestä. Suosituksia maastokertoimille (η) lumessa kävelyyn ja lumikenkiä käytettäessä.
Cheuvront ym. 2005 [13]	N=8, USA	Nestevajeen (3 % painon lasku) vaikutus kestävyysliikuntaan 20 ja 2 ˚C:ssa (kevyt vaatetus). Pyöräily 30 min, 50 % VO_2max.	Nestevaje heikensi suorituskykyä (-2,7 %) kylmässä ja 20 ˚C:ssa (-7,6 %). Nestevaje kylmässä ei heikentänyt kestävyyttä eikä kylmä ympäristö.
Jussila ym. 2010 [14]	Lämpönukke ja N= 224 varusmiestä, Suomi	Sotilaan kylmänsuojavaatetus, kolmen aikakauden asut. Lämpönukkemittaukset ja kyselytutkimus 11 vrk talvisotaharjoituksen aikana.	M05-talvivaatetuksen kylmänsuojaus- ja kosteuden poisto-ominaisuudet sekä kevyempi paino mahdollistivat paremman käyttömukavuuden ja fyysisen toimintakyvyn kuin edeltävät asukokonaisuudet.
Rissanen ja Rintamäki 2007 [15]	N=11, Suomi	NBC-asu (butyylikumi ja polyeteenikalvollinen (M2001) puku). Marssi lumisessa maastossa ja tiellä, lämpötila 30…0 ˚C.	Lämpökuormittumisen riski kasvaa, jos harjoitus fyysisesti raskasta ja kesto noin 60 min kun käytetään heikosti vesihöyryä läpäisevää suojapukua talviolosuhteissa. Ääreisosien jäähtyminen kriittisintä talviharjoituksen aikana.

Lähteet

1. Rintamäki H, Rissanen S, Peitso A. (toim). Sotilas kylmässä: terveys, toimintakyky ja suojautuminen. Loppuraportti. Työterveyslaitos ja Puolustusvoimat, 2007.
2. Rintamäki H, Rissanen S, Mäkinen T, Peitso A. Finger temperatures during military field training at 0 to 29 ˚C. J Thermal Biology. 2004, 29, 857-860.
3. Castellani JW, Spitz MG, Karis AJ, Martini S, ym. Cardiovascular and thermal strain during 3-4 days of a metabolically demanding cold-weather military operation. Extrem Physiol Med. 2017, 6:2, 1-13.
4. Carlsson D, Pettersson H, Burström L, Nilsson T, Wahlström J. Neurosensory and vascular function after 14 months of military training comprising cold winter conditions. Scand J Work Environ Health. 2016, 42(1), 61-70.
5. Norheim AJ, Borud E, Wilsgaard T, De Weerd L, Mercer JB. Variability in peripheral rewarming after cold stress among 255 healthy Norwegian army conscripts assessed by dynamic infrared thermography. Int J Circumpolar Health. 2018, 77:1, 1536250.
6. Brändström H, Grip H, Hallberg P, Grönlund C, Angquist A, Giesbrecht GG. Hand cold recovery responses before and after 15 months of military training in a cold climate. Aviat Space Environ Med. 2008, 79(9), 904-8.
7. Norrbrand l, Kölegård R, Karamidas ME, Mekjavic IB. No association between hand and foot temperature responses during local cold stress and rewarming. Eur J Appl Physiol. 2017, 117, 1141-1153.
8. Castellani JW, Yurkevicius BR, Jones ML, Driscoll TJ, ym. Effect of localized microclimate heating on peripheral skin temperatures and manual dexterity during cold exposure. J Appl Physiol. 2018, 125, 1498-1510.
9. Rissanen S, Jousela I, Jeong JR, Rintamäki H. Heat stress and bulkiness of chemical protective clothing impair performance of medical personnel in basic lifesaving tasks. Ergonomics. 2008, 51(7), 1011-1022.
10. Oksa J, Rintamäki H, Mäkinen T. The effect of training of military skills on performance in cold environment. Mil Med. 2006, 171(8), 757-761.
11. Oksa J, Rintamäki H, Mäkinen T. Maastotyypin ja vuodenajan vaikutus lihaksiston, verenkiertoelimistön ja energeettiseen kuormittumiseen: maastokerroin 2–6 km/h etenemisnopeuksille. Työterveyslaitos, Oulu 2007.
12. Richmond PW, Potter AW, Looney DP, Santee WR. Terrain coefficients for predicting energy costs of walking over snow. Appl Ergonomics. 2019, 74, 48-54.
13. Cheuvront SN, Carter R III, Castellani JW, Sawka MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. J Appl Physiol. 2005, 99, 1972-1976.
14. Jussila K, Valkama A, Remes J, Anttonen H, Peitso A. The Effect of Cold Protective Clothing on Comfort and Perception of Performance. Int J Ocup Saf Ergon. 2010, 16(2), 185-97.
15. Rissanen S, Rintamäki H. Cold and heat strain during cold-weather field training with nuclear, biological and chemical protective clothing. Mil Med. 2007, 172(2), 128-132.
16. Kenefick RW, Mahood NV, Hazzard MP, Quinn TJ, Castellani JW. Hypohydration effects on thermoregulation during moderate exercise in the cold. Eur J Appl Physiol. 2004, 92, 565-570.
17. O'Brien C, Montain SJ. Hypohydration effect of finger skin temperature and blood flow during cold-water finger immersion. J Appl Physiol. 2003, 94, 598-603.
18. Valkeapää A, Anttonen H, Tuhkanen P. Taistelijan selviytyminen levossa, Tutkimusraportti. Oulun aluetyöterveyslaitos, 2002.