

Palosuojelurahaston loppuraportti

Lihasten toimintakyvyn turvaaminen
kuumatyössä: kuormituksen, väsymyksen ja
työstä palautumisen arviointi

Juha Oksa, Sirkka Rissanen, Tero Mäkinen, Kaisa Takatalo,
Henna Hyrkäs, Sirpa Lusa, Harri Lindholm, Hannu Rintamäki

Oulu 17.12.2009



1. JOHDANTO	3
2. MENETELMÄT	4
3. TULOKSET	7
3.1 Kuormittuneisuus	7
3.1.1 Lihaksiston kuormittuneisuus	7
3.1.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuus	8
3.1.3 Lämpökuormittuneisuus	10
3.1.4 Subjektiivinen arvio kuormittuneisuudesta	12
3.1.5 Suorituskyvyn yhteys kuormittuneisuuteen	13
3.2 Palautuminen	16
3.2.1 Lihaskuormituksen palautuminen	16
3.2.2 Hermostollinen palautuminen	19
3.2.3 Aineenvaihdunnallinen palautuminen	21
3.2.4 Lihaskuormituksen palautuminen	22
3.2.5 Subjektiivinen arvio palautumisesta	24
3.2.6 Palautumisen kestoon vaikuttavat tekijät	24
4. TULOSTEN MERKITYS	26
5. VIITTEET	27
KIITOKSET	27

1. Johdanto

Raskaan fyysisen työn aiheuttamaa lihasväsymystä, jota kuumuus ja raskaat suojarusteet lisäävät, voidaan palomiehen työssä pitää yhtenä työturvallisuutta heikentävänä tekijänä. Väsyminen heikentää lihasvoimaa ja lihaskoordinaatiota sekä lisää kömpelyyttä, mikä johtaa virheisiin työsuorituksessa sekä lisääntyneeseen tapaturma/onnettomuusriskiin. Mitä voimakkaampaa väsymys on, sitä suurempi on sen aiheuttama toimintakyvyn heikentyminen ja turvallisuusriskin kasvu.

Väsymys voi olla "kertaluonteista", aiheutuen yksittäisestä kovakuormitteisesta työvaiheesta. Tällöin työturvallisuus heikkenee hetkellisesti kyseisen suorituksen aikana. Toisaalta, liian kuormittava ja/tai liian usein toistettu työvaihe voi aiheuttaa kumuloituvaa väsymystä, josta ei ehditä palautua ennen seuraavaa työvaihetta. Tällöin työn turvallinen suorittaminen on heikentynyt jo ennen seuraavan työvaiheen alkua. Lisäksi kumuloituvan väsymyksen on katsottu olevan riskitekijä tuki- ja liikuntaelinvaivojen kehittymiselle (Buckle & Devereaux 1999).

Palomiesten työn aikaista hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumista on tutkittu aikaisemmin (esim. Louhevaara ym. 1994, Lusa 1994, Sothmann ym. 1991), mutta raskaiden työvaiheiden aiheuttamaa yksittäisten lihasryhmien kuormittumista ja väsymisen tasoa ei ole selvitetty. Erityisesti ei tiedetä kuinka kauan lihasten palautuminen raskaista työvaiheista kestää, eikä varsinkaan kuinka kauan palautuminen kestää, jos raskaita työvaiheita joudutaan suorittamaan useita kertoja peräkkäin.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin työsimulaatiossa palomiesten raskaimpien työvaiheiden aiheuttama keskeisimpien lihasryhmien kuormittumisen ja väsymisen tasoa. Tutkimuksen tärkeimpänä päämääränä oli selvittää, kuinka kauan kestää palautua yksittäisestä tai useasti toistetusta raskaasta työvaiheesta.

Tässä raportissa esitellään tutkimuksen keskeisimmät tulokset, niiden merkitys ja niistä tehtävät johtopäätökset. Liitteenä on ns. tekninen raportti, jossa kuvataan miten mittaukset on toteutettu ja yksityiskohtaisemmat, tätä raporttia täydentävät tulokset.

2. Menetelmät

Tutkimukseen osallistui 15 vapaaehtoista ja tervettä vakituiseen pelastushenkilöstöön kuuluvaa työntekijää tai pelastajaa Oulu - Koillismaan palo- ja pelastuslaitokselta (Taulukko 1). Yksi koehenkilöistä oli nainen.

Taulukko 1. Tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden ikä, pituus, paino, rasvaprosentti, kehon painoindeksi (BMI) ja työkokemus vuosina (keskiarvo±keskihajonta).

Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasvaprosentti (%)	BMI (kg/m ²)	Työkokemus (v)
35±9	176±6	83±10	17,6±3,5	26,6±2,5	11,4±7,9

Koehenkilöt kävivät laboratoriossa kolme kertaa.

1. Ensimmäisellä käyntikerralla koehenkilöt suorittivat Pelastussukellusohjeen (2007) mukaiset lihaskuntotestit, maksimaaliset lihasvoimatestit ja maksimaalisen hapenottokyvyn testin kestävyyskunnan määrittämiseksi. Maksimaaliset lihasvoimatestit tehtiin seuraaville lihasryhmille:

- ranteen koukistajat ja ojentajat
- kyynärvarren koukistajat ja ojentajat
- vartalon koukistajat ja ojentajat
- reiden koukistajat ja ojentajat

Lisäksi mitattiin maksimaalinen puristusvoima.

Maksimaalisen voimatestin aikana mitattiin kunkin lihaksryhmän maksimaalinen sähköinen aktiivisuus. Kun maksimaaliseen aktiivisuuteen suhteutettiin työsimulaation aikana mitattu lihasten sähköinen aktiivisuus, voitiin määrittää lihasten kuormittuneisuuden taso. Vastaavasti voitiin suhteuttaa työsimulaation aikainen sykintätaajuus maksimaalisen hapenottokyvyn testin syke - hapenkulutus vastaavuuteen, jolloin voitiin määrittää työn aikainen hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuus.

Maksimaalisen hapenottokyvyn, maksimaalisten voimatestien sekä Pelastussukellusohjeen mukaisten lihaskuntotestien tulokset ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Suorituskykytestien tulokset (keskiarvo±keskihajonta).

Syke (lyöntiä/min)	186 ± 8
Hapenottoikyky (ml/min/kg)	46,0 ± 5,1
Puristusvoima (kg)	51,1 ± 7,3
Ranteen koukistusvoima (kg)	43,5 ± 7,1
Ranteen ojennusvoima (kg)	21,3 ± 3,8
Kyynärvarren koukistusvoima (kg)	57,0 ± 16,0
Kyynärvarren ojennusvoima (kg)	49,1 ± 12,0
Vartalon koukistusvoima (kg)	117,2 ± 33,8
Vartalon ojennusvoima (kg)	142,1 ± 36,8
Reiden koukistusvoima (kg)	65,0 ± 17,0
Reiden ojennusvoima (kg)	130,6 ± 22,5
Pelastussukellusohjeen lihaskuntotesti	
Makuultanousu (krt/1 min)	44,9 ± 5,3
Penkkipunnerrus (krt)	36,2 ± 9,8
Jalkakyykky (krt/1 min)	36,5 ± 5,4
Käsinkohonta (krt)	11,9 ± 3,9

2. Toisella käyntikerralla koehenkilöt tekivät testiradalla savusukellusta ja raivausta jäljittelevää työtä yhtäjaksoisesti 20 minuuttia 35 °C lämpötilassa pukeutuneena savusukellusvarustukseen (kertasuoritteinen työ). Ennen työtä heidät altistettiin samassa varustuksessa, samaan lämpötilaan 20 minuutin ajaksi. Työ koostui seuraavista osaluista, jotka suoritettiin tauoitta:

- esteen ylitys ja alitus (2,5 minuuttia)
- kuorma-auton renkaan moukarointi (2,5 minuuttia)
- porrasnousu- ja lasku (2,5 minuuttia)
- kuorma-auton renkaan moukarointi (2,5 minuuttia)
- letkun rullaus (2,5 minuuttia)
- kuorma-auton renkaan moukarointi (2,5 minuuttia)
- letkun kanto (2,5 minuuttia)
- kuorma-auton renkaan moukarointi (2,5 minuuttia)

3. Kolmannella käyntikerralla koehenkilöt tekivät savusukellusta ja raivausta jäljittelevää työtä 3 x 15 minuutin mittaisen jakson (toistosuoritteinen työ, muutoin sama työ kuin edellä mutta moukarointeja vain kaksi kertaa) samassa varustuksessa ja lämpötilassa kuin

edellä, kuitenkin ilman esialtistusta. Työjaksojen välissä oli 10 minuutin tauko, joka vietettiin huoneenlämpötilassa (21 °C).

Työskentelyn aikana koehenkilöiltä mitattiin edellä mainittujen lihasten sähköistä aktiivisuutta, sykintätaajuutta, iholämpötiloja 10 kehon osasta ja syvälämpötilaa peräsuolesta 10 cm syvyydeltä. Lisäksi heitä pyydettiin arvioimaan oma fyysisen- ja lämpökuormittuneisuuden tasonsa käyttäen vakioituja asteikkoja (Borg 1998, ISO 10551, 1995).

Molempien työjaksojen suoritusohje kuului: **"Tee työtä niin kovaa kuin jaksat, kuitenkin huolehtien siitä, että jaksat työskennellä yhtäjaksoisesti loppuun saakka"**

Kertasuoritteisen työn jälkeen lihaksiston palautumista mitattiin ajanhetkinä 0, 20, 40, 60 minuuttia sekä 2 ja 4 tuntia työn päättymisestä. Toistosuoritteisesta työstä palautumista mitattiin lisäksi 22 ja 30 tuntia työn päättymisestä. Palautumisen seuranta kohdistui kyynärvarren alueen lihaksiin, ranteen koukistajiin ja ojentajiin. Niistä mitattiin edellä mainittuina ajanhetkinä:

- lihasvoiman palautumista
- hermostollista palautumista
- aineenvaihdunnan palautumista
- lihasrakenteen palautumista, sekä
- kysyttiin subjektiivista arviota palautumisesta

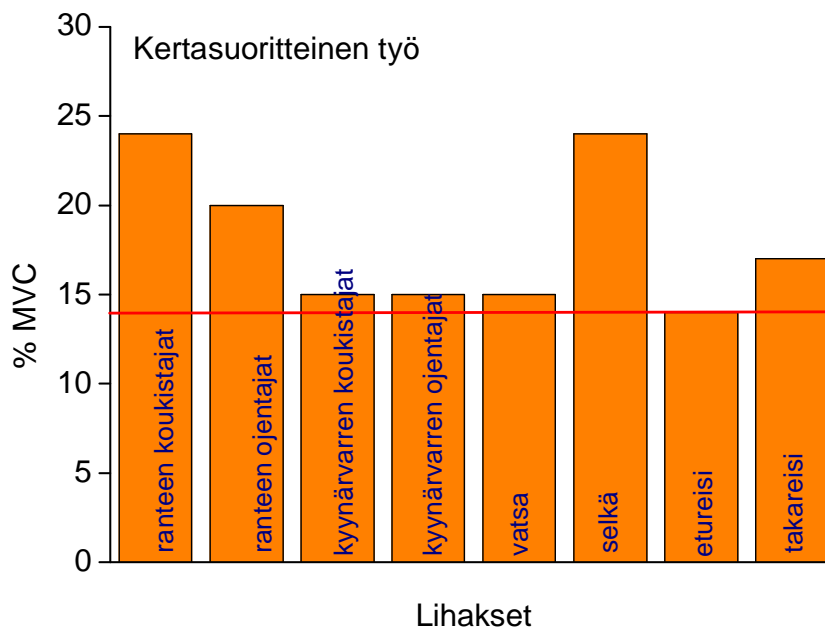
Tässä raportissa palautumisen kriteerinä pidetään sitä, että muuttujan keskimääräinen arvo saavuttaa alkumittauksessa mitatun arvon tason. Tulokset ilmaistaan keskiarvoina ja keskiarvon keskivirheenä (SE), jos tekstissä ei muutoin ilmaista.

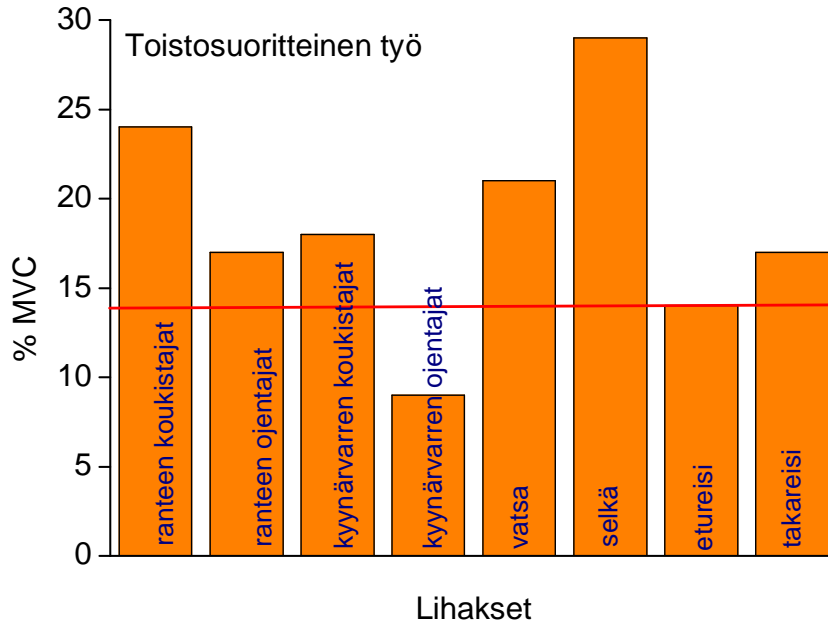
3. Tulokset

3.1 Kuormittuneisuus

3.1.1 Lihaksiston kuormittuneisuus

Kirjallisuudessa suositellaan, että lihasten keskimääräinen kuormittuneisuus työssä ei saisi ylittää 14 %:n tasoa maksimaalisesta aktiivisuustasosta (14 %MVC, maximal voluntary contraction, Jonsson 1982). Kuva 1 osoittaa, että kyseinen taso ylitetään molemmissa työvaiheissa kaikissa lihasryhmissä, lukuunottamatta kyynärvarren ojentajia toistosuoritteisessa työssä. Työsuoritusten kuormittavuuden taso oli täten riittävä aiheuttamaan työskentelevien lihasten väsymistä.

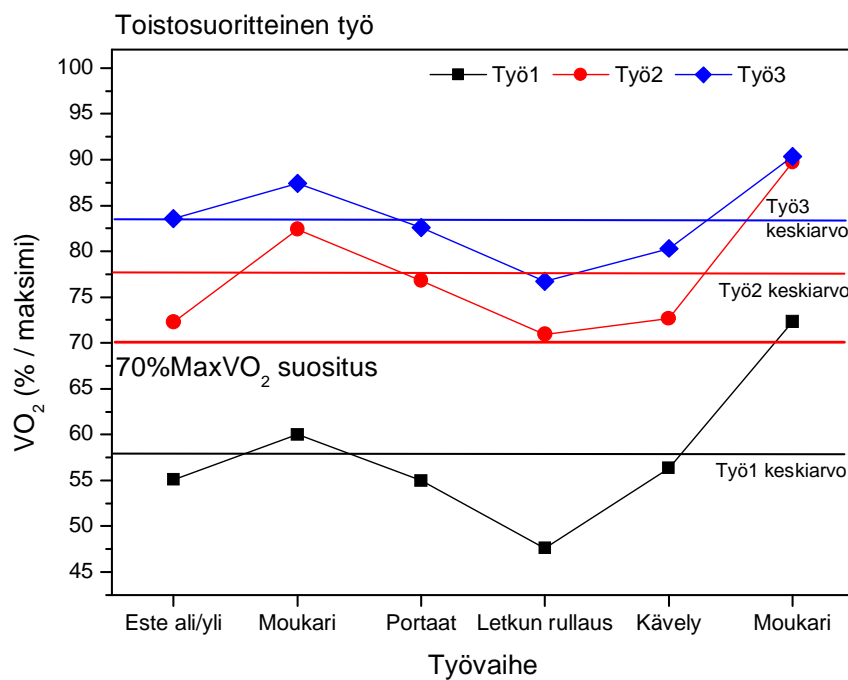
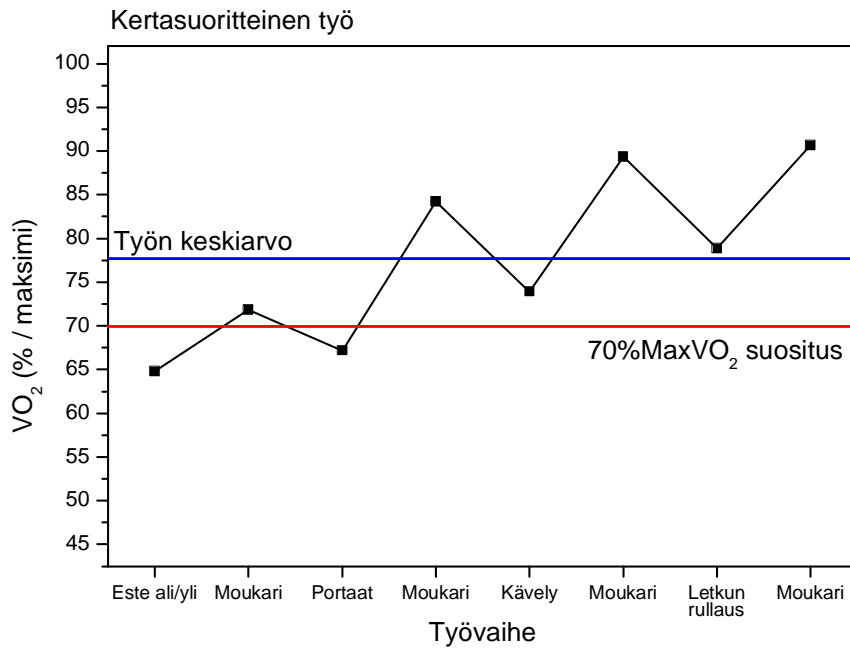




Kuva 1. Työsimulaation aikana mitattu lihasten sähköinen aktiivisuus prosentteina (%MVC) suhteessa voimatesteissä mitattuun maksimaaliseen aktiivisuuteen. Vaakaviiva osoittaa 14 %MVC tason.

3.1.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuus

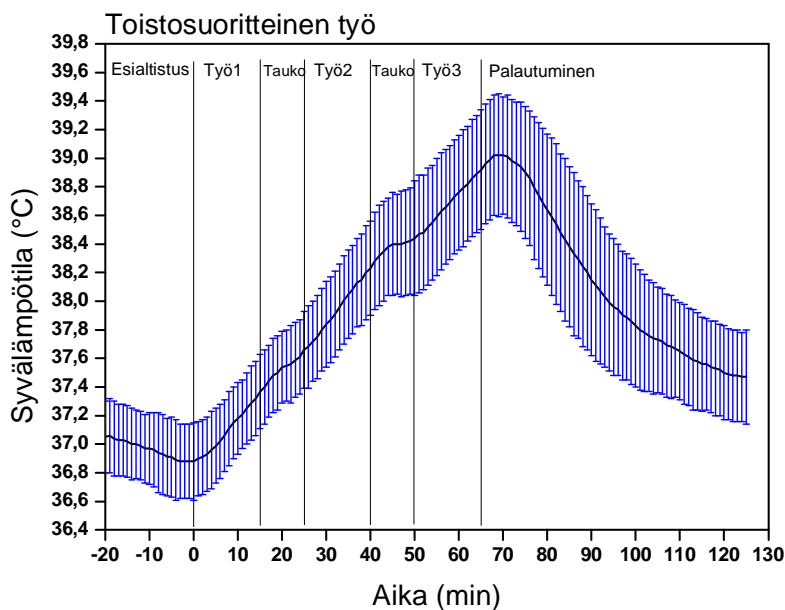
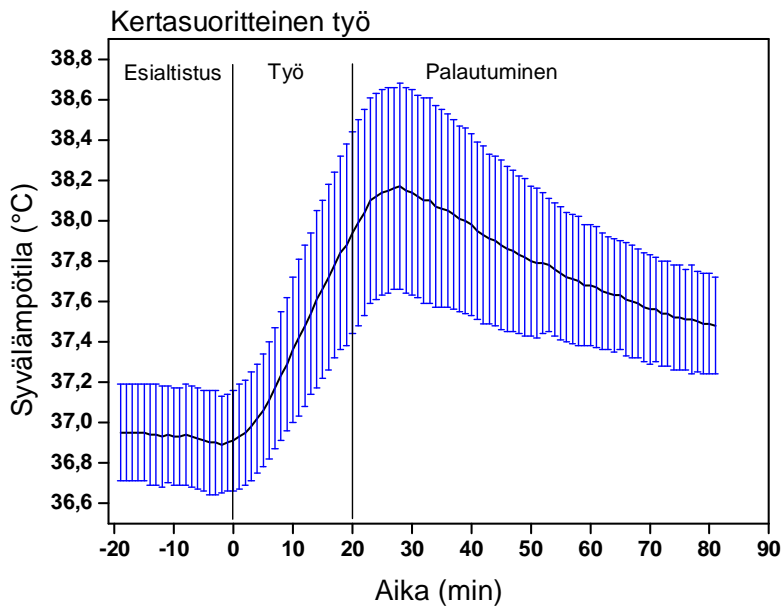
Kirjallisuudessa suositellaan, että työpäivän aikana esiintyvät hengitys- ja verenkiertoelimistön lyhytkestoiset kuormitushuippuarvot eivät saisi ylittää 70 % maksimaalisesta hapenkulutuksesta (70% MaxVO₂, Andersen ym. 1978). Kuva 2 osoittaa, että 26 mitatusta työvaiheesta kyseinen taso ylitettiin 20:ssä. Sekä kerta- että toistosuoritteisen työn aiheuttama kuormittuneisuuden taso oli työn lopulla hyvin lähellä hengitys- ja verenkiertoelimistön maksimaalista suoritustasoa.



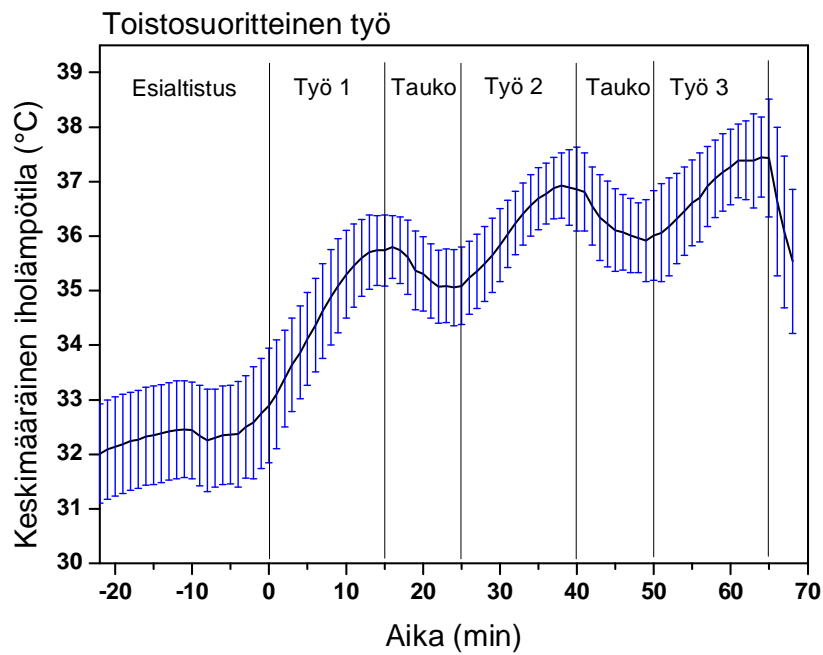
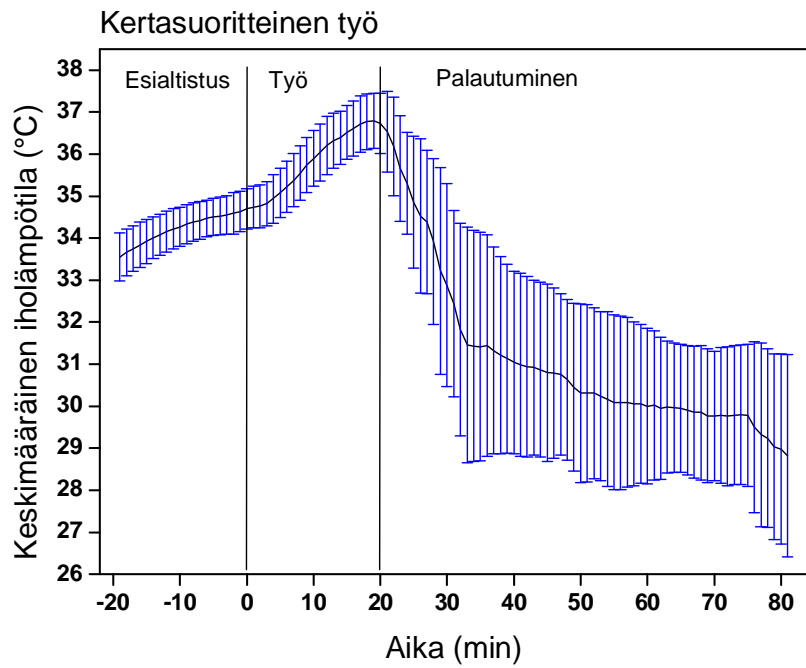
Kuva 2. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuus ilmaistuna prosentteina maksimaalisesta hapenottokyvystä kerta- ja toistosuoritteisessa työssä. Viivat ilmaisevat suositusarvon 70 % maksimaalisesta hapenottokyvystä sekä kunkin työvaiheen aikaisen keskimääräisen kuormittuneisuuden tason.

3.1.3 Lämpökuormittuneisuus

Kerta- ja toistosuoritteisen työn aikainen syvälämpötilan ja keskimääräisen iholämpötilan nousu osoittaa, että koehenkilöt altistuivat merkittävälle kuumakuormalle. Syvälämpötila nousi korkeimmillaan toistosuoritteisen työ loputtua 39 °C:een ja iholämpötila 37,4 °C:een (kuvat 3 ja 4).



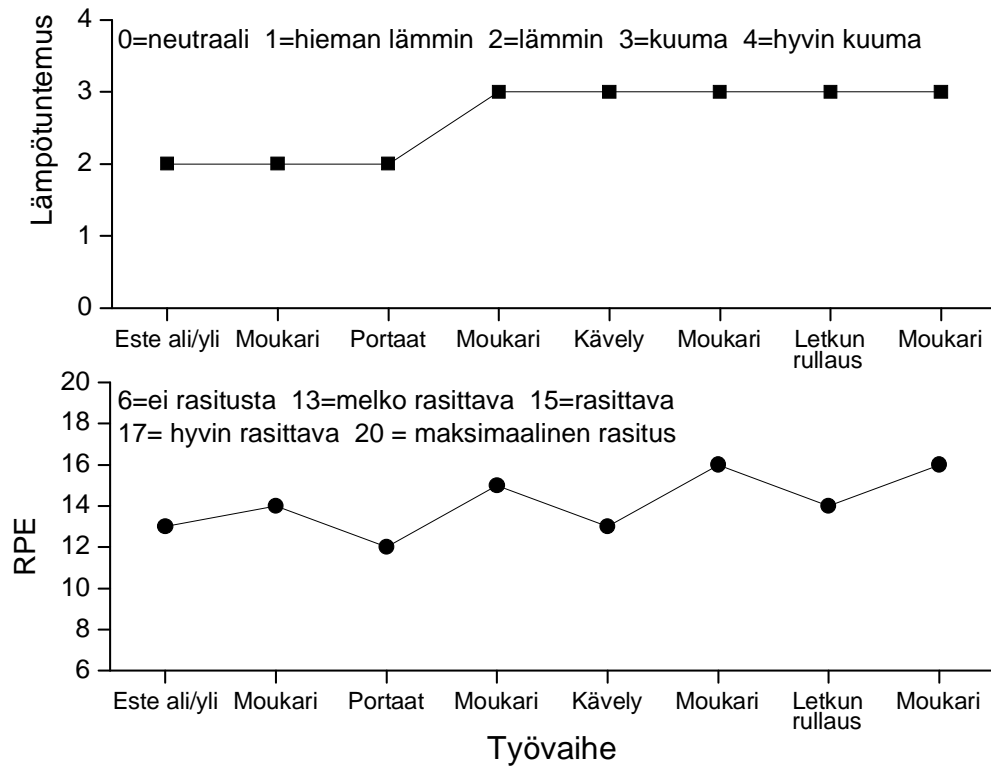
Kuva 3. Syvälämpötila kerta- ja toistosuoritteisen työn ja palautumisen aikana (keskiarvo±keskihajonta).



Kuva 4. Keskimääräinen iholämpötila kerta- ja toistosuoritteisen työn aikana (keskiarvo±keskihajonta).

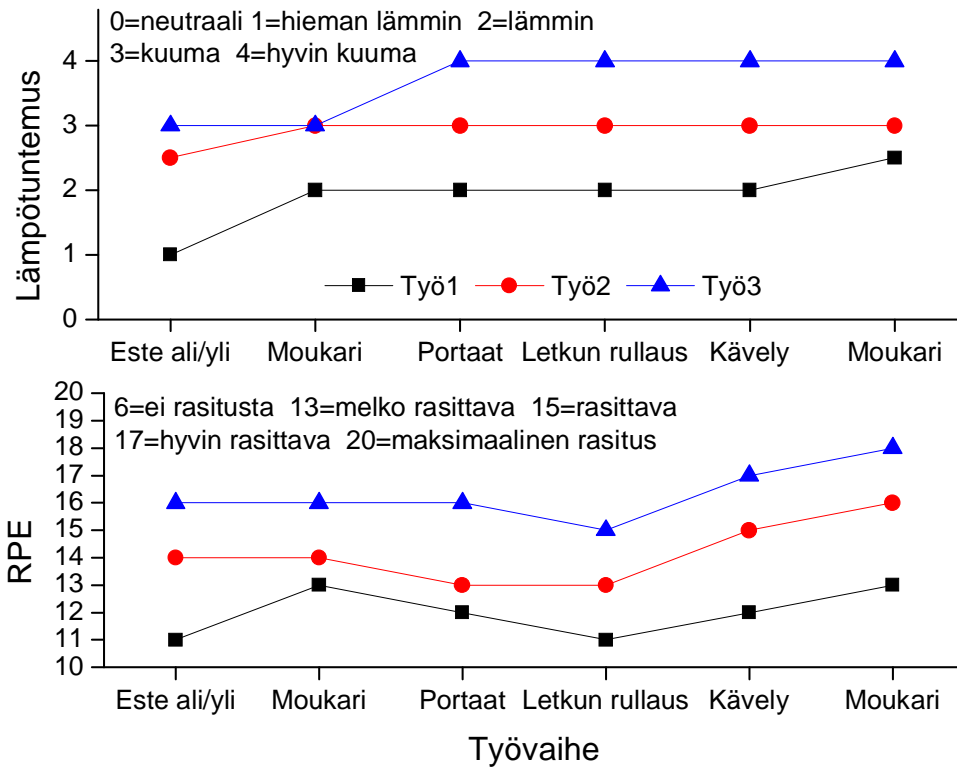
3.1.4 Subjekttiivinen arvio kuormittuneisuudesta

Koehenkilöt arvioivat lämpötuntemuksensa kertasuoritteisen työn lopussa kuumaksi ja työn kuormittavuuden hyvin rasittavaksi (kuva 5). Molemmat arviot tukevat hyvin fyysisestä- ja lämpökuormittuneisuudesta mitattuja arvoja.



Kuva 5. Koehenkilöiden subjektiivinen arvio työn kuumakuormittavuudesta ja fyysisestä (RPE) kuormittavuudesta kertasuoritteisen työn aikana.

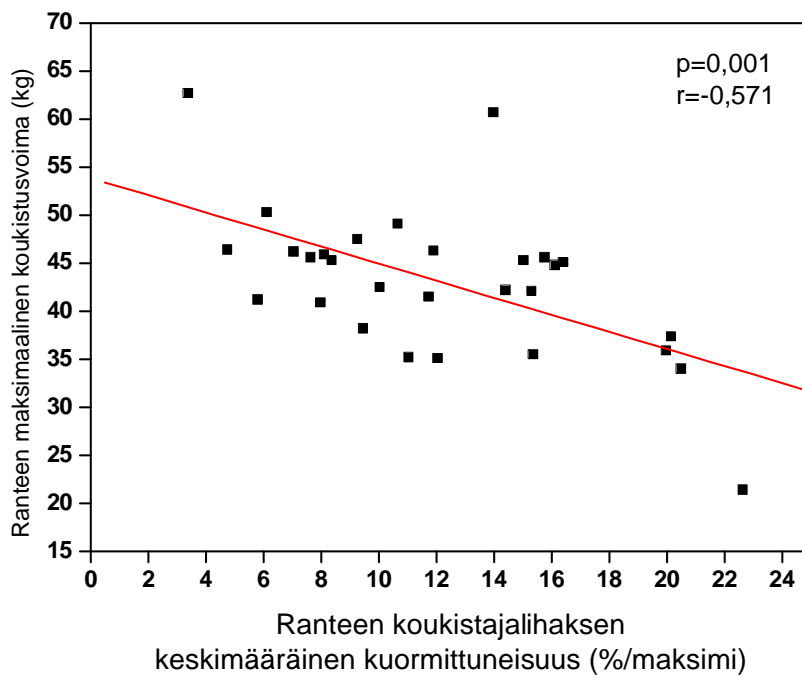
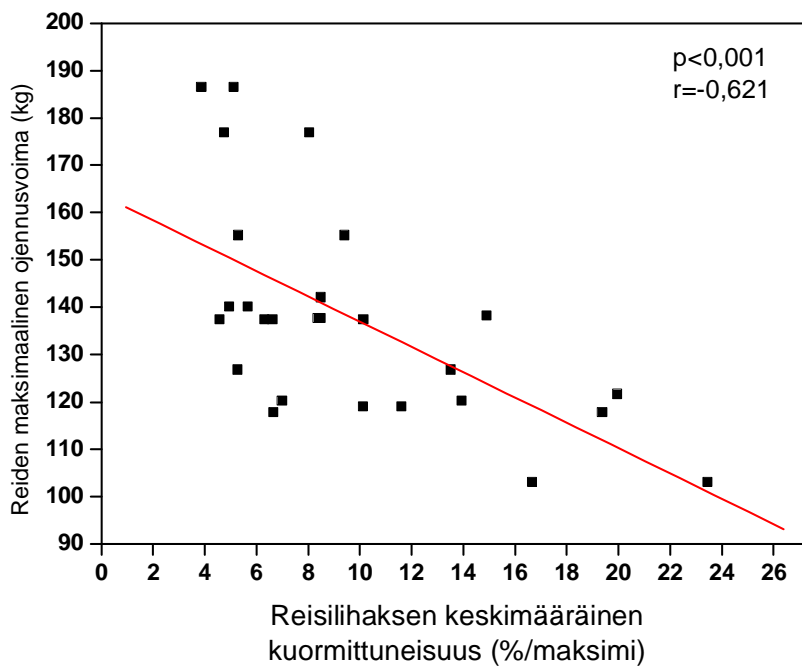
Toistosuoritteisen työn aikana sekä lämpötuntemukset että arvio työn kuormittavuudesta kasvoivat ensimmäisestä työsuorituksesta viimeiseen (kuva 6).



Kuva 6. Koehenkilöiden subjektiivinen arvio työn kuumakuormittavuudesta ja fyysisestä (RPE) kuormittavuudesta toistosuoritteisen työn aikana.

3.1.5 Suorituskyvyn yhteys kuormittuneisuuteen

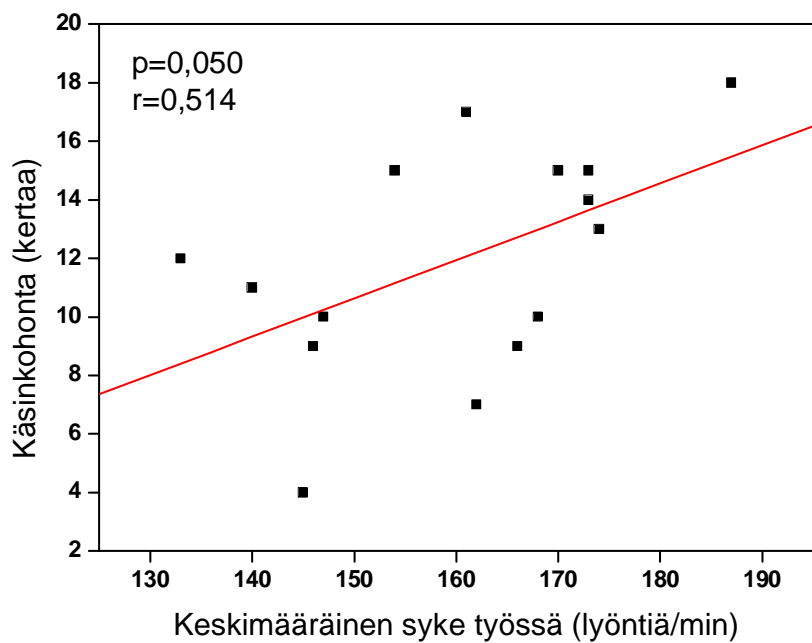
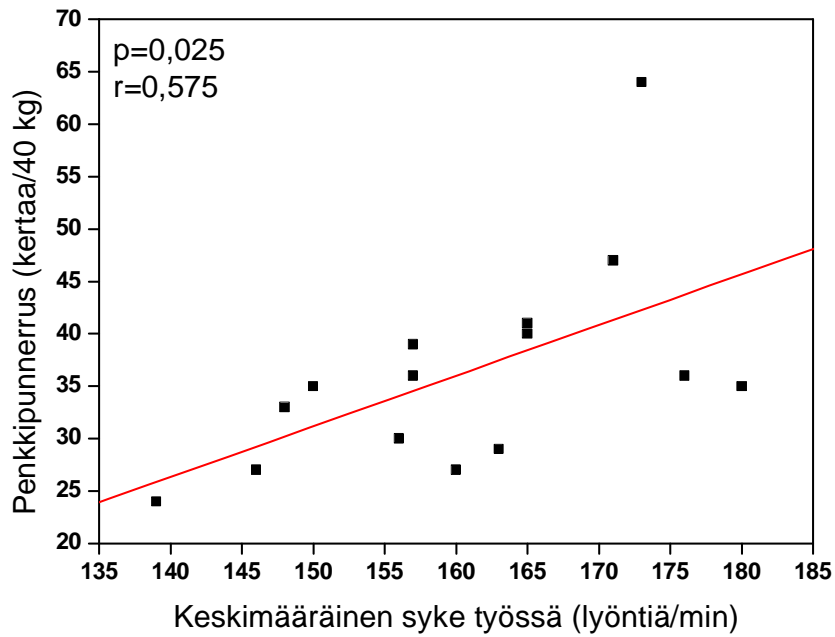
Korkean maksimaalisen voimatason omaavien henkilöiden paikallinen lihaskuormitus työsimulaatioissa oli alhaisempaa kuin matalamman maksimivoiman omaavilla (kuva 7).



Kuva 7. Reisilihakseen ja ranteen koukistajalihakseen maksimaalisen voiman suhde niiden kuormittuneisuuteen työssä.

Toisaalta, paremman tuloksen saavuttaminen Pelastussukellusohjeiden mukaisissa lihaskuntotesteissä oli yhteydessä korkeampaan hengitys- ja verenkiertoelimistön

kuormittuneisuuteen työssä. Korkeamman tuloksen saaneet pitivät työn intensiteetin korkeampana (kuva 8).

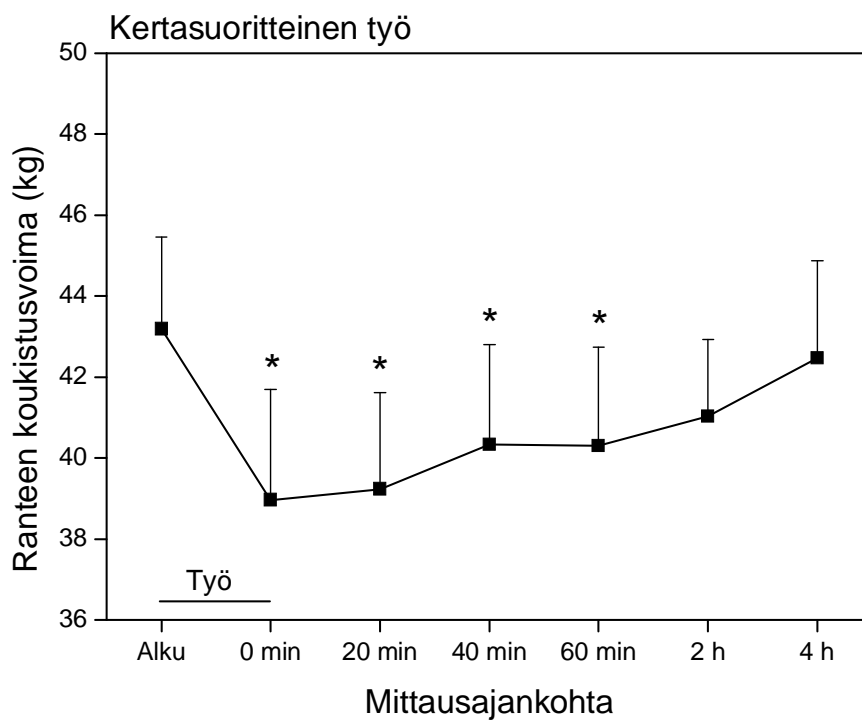


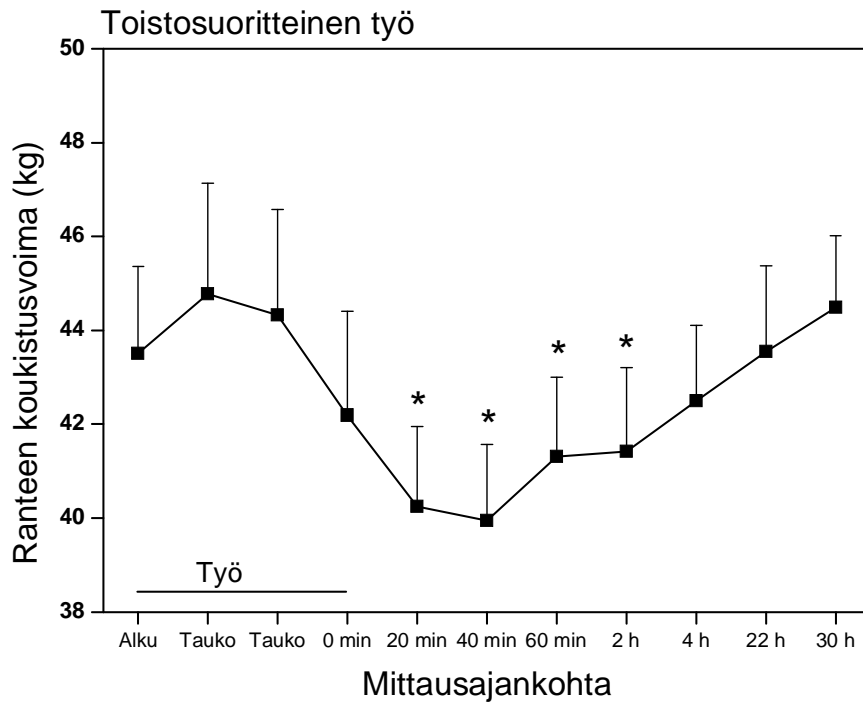
Kuva 8. Pelastussukellusohjeiden mukaisten lihaskuntotestien yhteys työssä kuormittumiseen.

3.2 Palautuminen

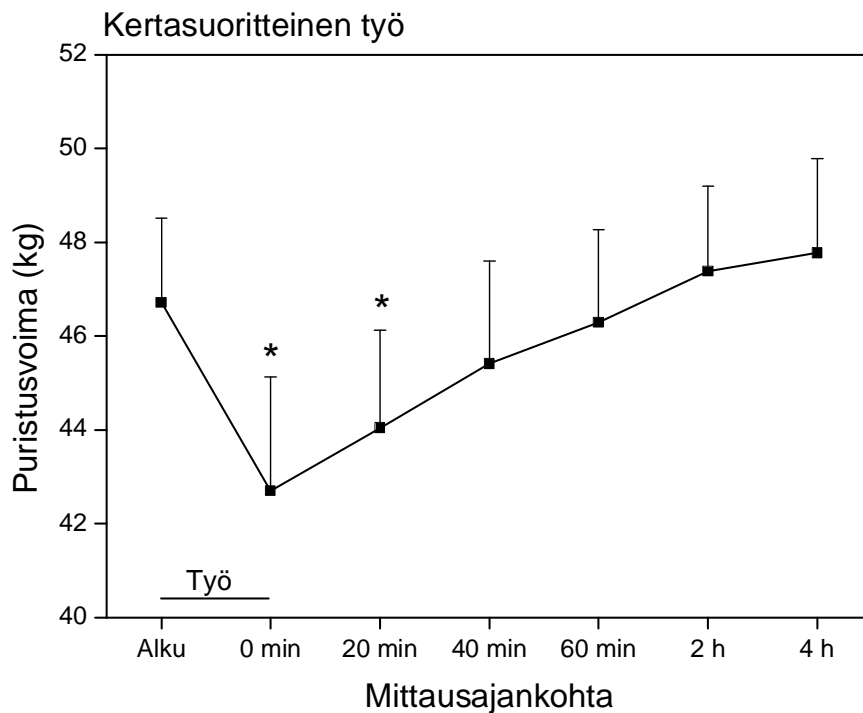
3.2.1 Lihasvoiman palautuminen

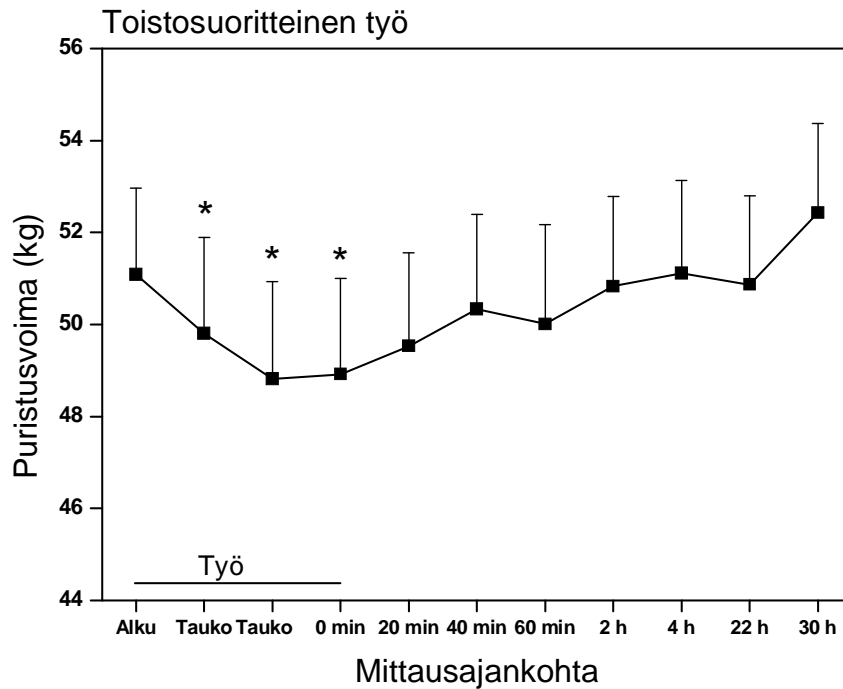
Sekä ranteen koukistusvoima että puristusvoima alenivat sekä kerta- että toistosuoritteisen työn jälkeen noin 10 %. Perinteisesti maksimaalisen voimatason alentumista pidetään merkinä lihasten väsymisestä. Näin ollen sekä kerta- että toistosuoritteiset työt aiheuttivat noin 10 % suuruisen väsymisen kyynärvarren lihaksille. Kyseisen suuruisesta väsymyksestä palaututtiin 1 - 22 tunnissa mitatusta muuttujasta riippuen (kuvat 9 ja 10).





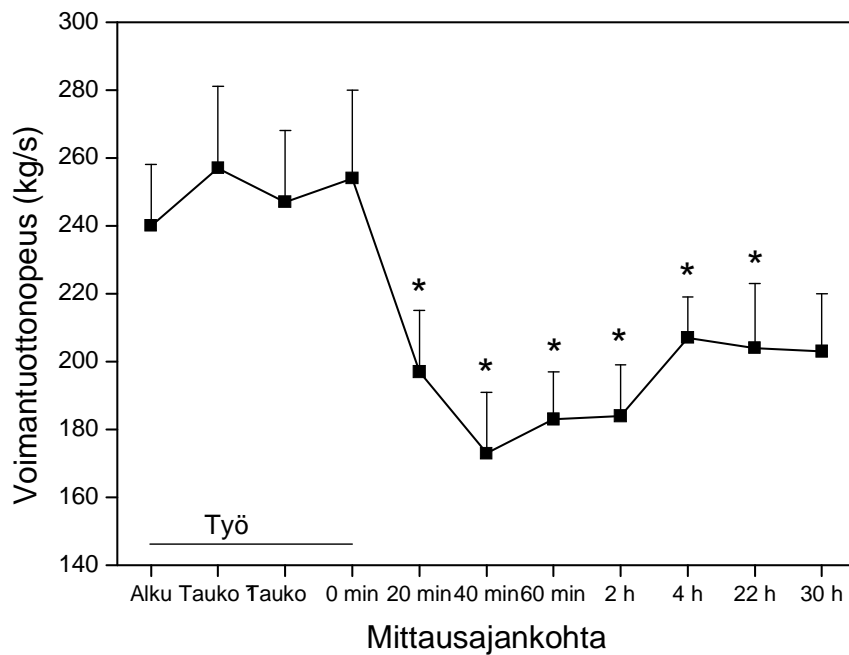
Kuva 9. Ranteen koukistusvoima kerta- ja toistosuoritteisen työn alussa, toistosuoritteisen työn taukojen aikana sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.





Kuva 10. Puristusvoima kerta- ja toistosuoritteisen työn alussa, toistosuoritteisen työn taukojen aikana sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.

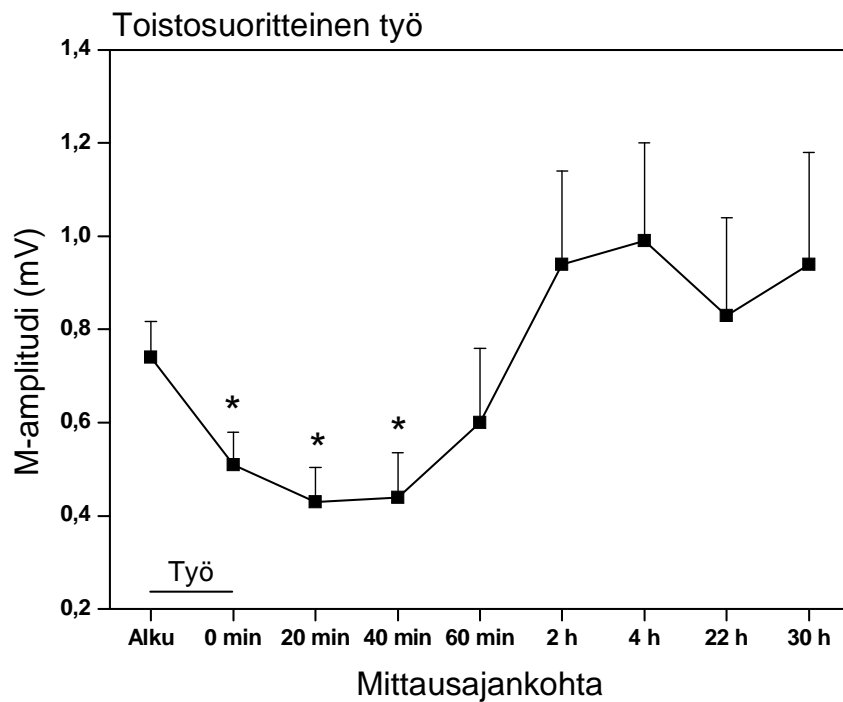
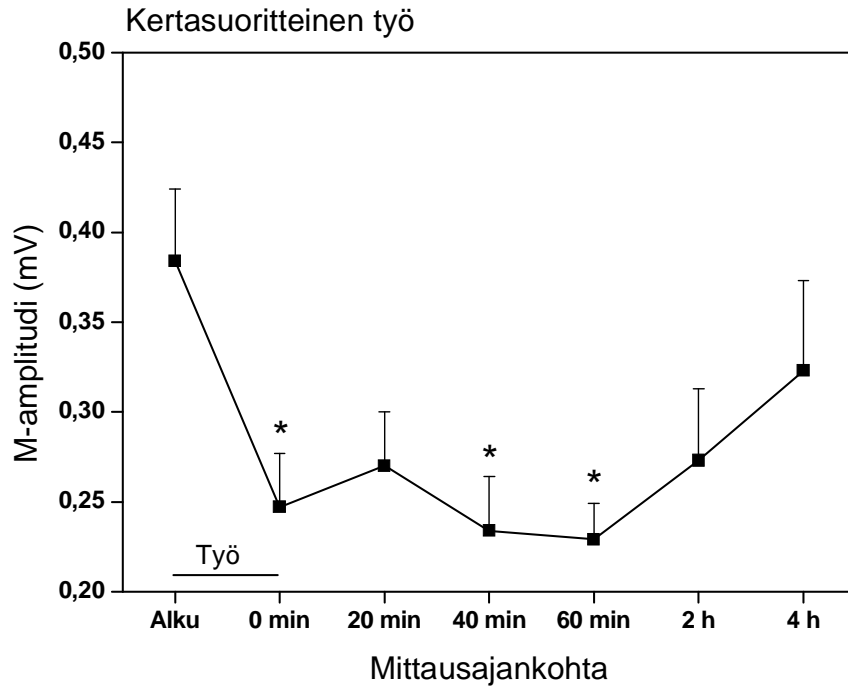
Ranteen maksimaalisesta voimantuottotestistä analysoitiin, kuinka nopeasti voimaa kyettiin tuottamaan: kuinka kauan aikaa kului maksimaalisen voimatason saavuttamiseen? Kuva 11 osoittaa, että voimantuottonopeus laski merkittävästi toistosuoritteisen työn loputtua, eikä se ehtinyt palautua 30 tunnin seurantajakson aikana. Tämä merkitsee sitä, että nk. nopeat lihassäikeet palautuvat hitaasti, minkä vuoksi nopeiden työsuoritusten tekeminen voi olla hidastunut vielä 30 tunnin kuluttuakin.



Kuva 11. Voimantuotto nopeus toistosuoritteisen työn alussa, taukojen sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.

3.2.2 Hermostollinen palautuminen

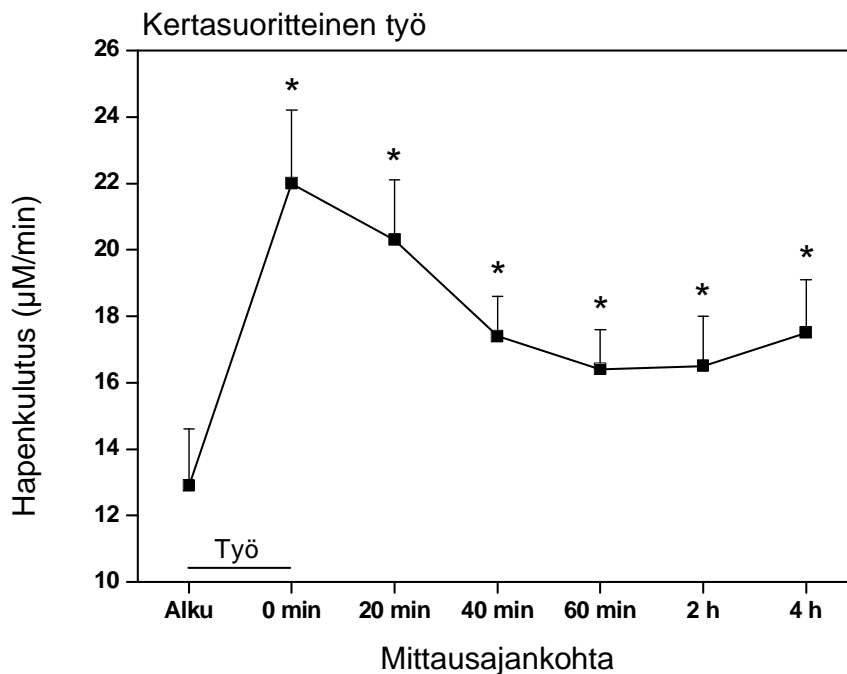
Hermoston kykyä kuljettaa käskyjä työskenteleville lihaksille ja työskentelevien lihasten kykyä vastaanottaa supistuskäskyjä ja supistua mitattiin antamalla pieniä sähköimpulsseja lihakseen johtavaan hermoon kyynärvarressa ja mittaamalla lihaksen tuottama sähköinen aktiivisuus lihaksen päältä (M-amplitudi). Amplitudin pieneneminen osoittaa molempien toimintojen heikentymistä, mikä puolestaan alentaa lihaksen sisäistä koordinaatiota ja lisää työn kuormittavuutta. Kuva 12 osoittaa, että kertasuoritteisen työn jälkeen kyseinen toiminto ei ehtinyt palautua 4 tunnissa ja toistosuoritteisen työn jälkeen palaututtiin 2 tunnin kuluttua.

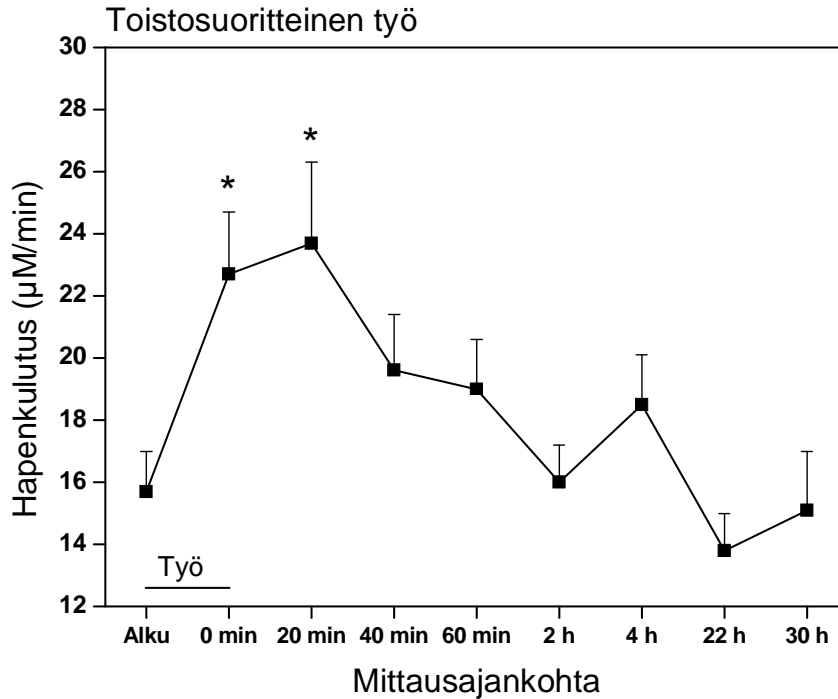


Kuva 12. Lihaksen sähköinen aktiivisuus (M-amplitudi) kerta- ja toistosuoritteisen työn alussa sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.

3.2.3 Aineenvaihdunnallinen palautuminen

Lihaksen sisäistä aineenvaihduntaa (hapenkulutusta) mitattiin infrapunaspektroskopia-laitteistolla. Lihakseen ohjattiin infrapunavaloa ja takaisin heijastuneen valon määrästä voitiin osoittaa kuinka paljon happea lihaskudos kullakin hetkellä kuluttaa. Lisääntynyt hapenkulutus osoittaa energiavarojen täydentämiseen kuluva energiaa sekä lihaksesta raskaan työn aiheuttamien kuona-aineiden poistoon tarvittavaa energiaa. Mitä suurempaa hapenkulutus on sitä enemmän lihas tarvitsee energiaa selviytyäkseen kahdesta em. tehtävästä. Kertasuoritteisen työn jälkeen hapenkulutus ei ehtinyt palautua 4 tunnissa ja toistosuoritteisen työn jälkeen se palautui 2 tunnin kuluttua (kuva 13).

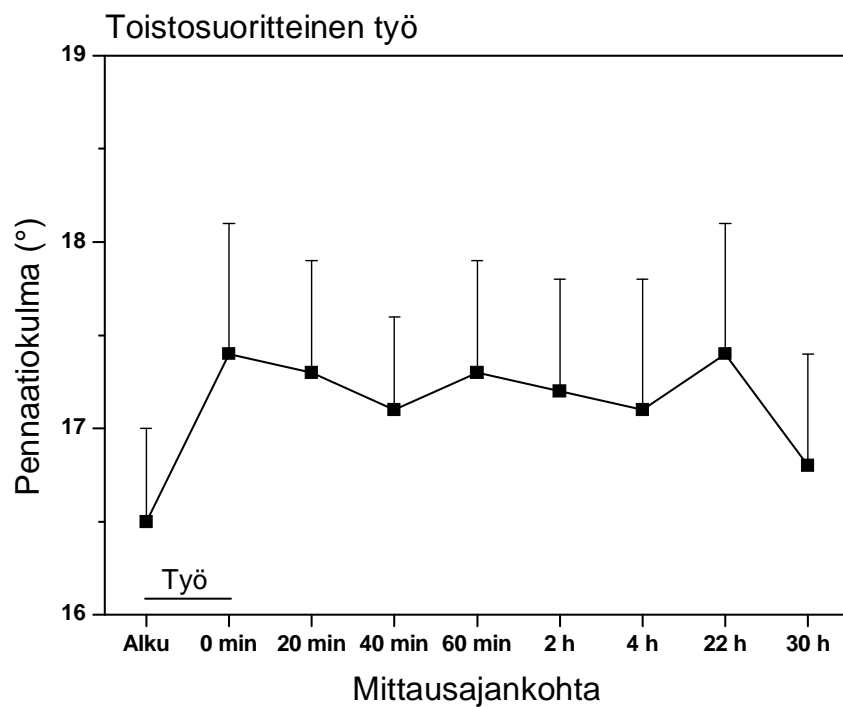
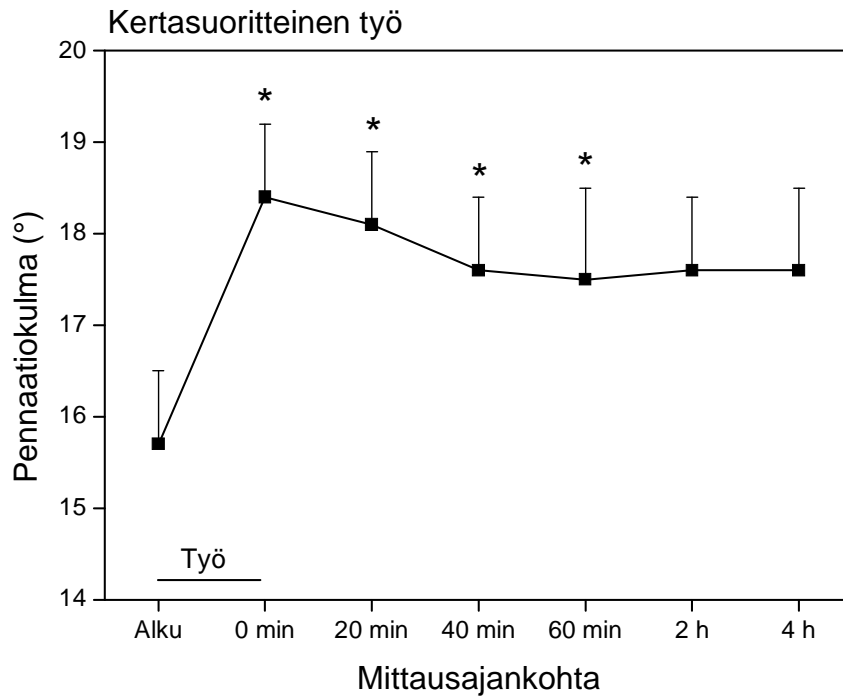




Kuva 13. Lihaskudoksen hapenkulutus kerta- ja toistosuoritteisen työn alussa sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.

3.2.4 Liharakenteen palautuminen

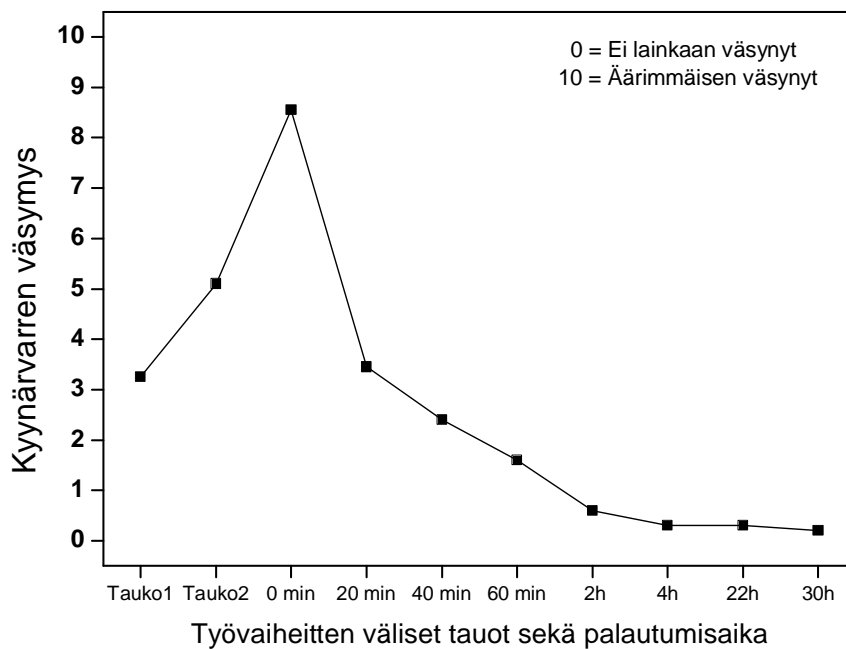
Lihaksen nk. pennaatiokulman, jota mitattiin ultraäänilaitteen avulla, havaittiin kasvavan raskaan työn seurauksena. Pennaatiokulma on koko lihaksen päällimmäisen kalvon ja yksittäisten lihassäikeiden kalvojen välinen kulma. Mitä suurempi kulma on, sen isompi on nk. lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala ja kyky tuottaa voimaa. Pennaatiokulman muutosta suuremmaksi voidaan pitää lihaksen kykynä kompensoida työn aiheuttamaa väsymystä (maksimaalisen voimatason alenemista) sekä sen palautumista normaaliksi osoituksena lihaksen palautumisesta. Kuva 14 osoittaa, että kertasuoritteisen työn jälkeen pennaatiokulma ei ehtinyt palautua 4:ssä tunnissa ja toistosuoritteisen työn jälkeen se palautui vasta 30 tunnin kuluttua.



Kuva 14. Ranteen koukistajalihaksen pennaatiokulma kerta- ja toistosuoritteisen työn alussa sekä palautumisen aikana. * = tilastollisesti merkitsevä ero suhteessa alkumittaukseen.

3.2.5 Subjektiiivinen arvio palautumisesta

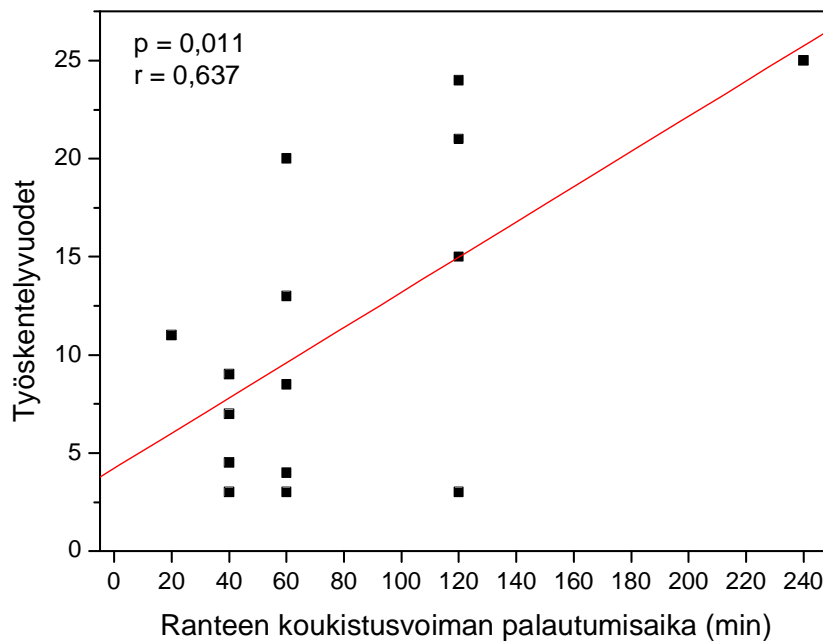
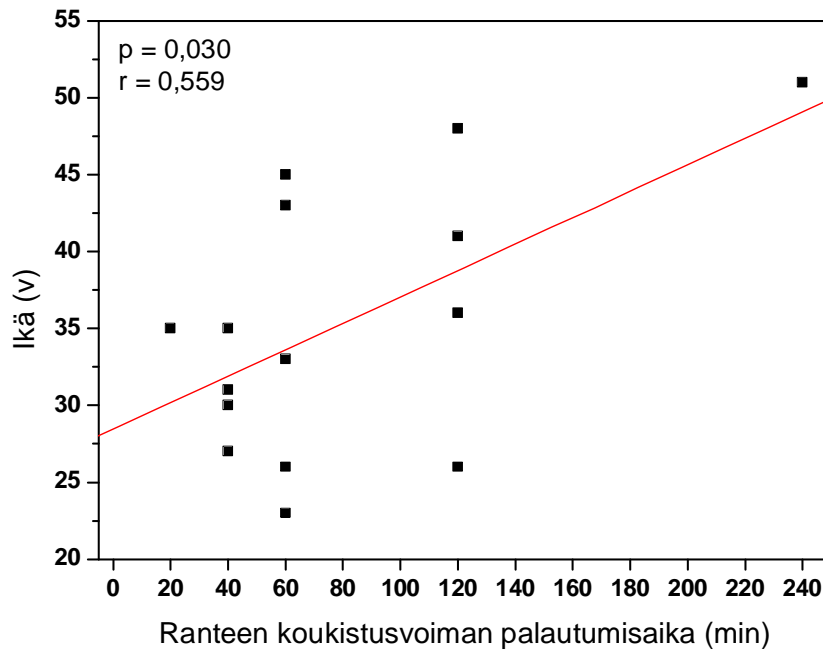
Koehenkilöitä pyydettiin toistosuoritteisen työn yhteydessä ja sen jälkeen arvioimaan kyynärvarren lihasten väsymyksen tasoa asteikolla 0 - 10. Kuva 15 osoittaa, että väsymystä ei koettu enää n. 2 tunnin kuluttua työn päättymisestä.



Kuva 15. Subjektiiivinen arvio kyynärvarren lihasten väsymystasosta toistosuoritteisessa työssä taukojen ja palautumisen aikana.

3.2.6 Palautumisen keston vaikuttavat tekijät

Lihaksiston palautumiseen havaittiin vaikuttavan kaksi asiaa: ikä ja työvuodet. Ikäänntyneemmät ja kauemmin töissä olleet palautuivat hitaammin kuin nuoremmat ja lyhyemmän työhistorian omaavat (kuva 16).



Kuva 16. Palautumisen ja iän/työvuosien välinen korrelaatio.

4. Tulosten merkitys

Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto eri muuttujien avulla arvioidusta keskimääräisestä ranteen koukistajalihasten palautumisajasta kerta- ja toistosuoritteisessa työssä.

Taulukko 3. Kerta- ja toistosuoritteisesta työstä palautumisajat eri muuttujilla arvioituna.

Muuttuja	Kertasuoritteinen työ	Toistosuoritteinen työ
Ranteen koukistusvoima	4 tuntia	22 tuntia
Puristusvoima	1 tuntia	2 tuntia
Voimantuottonopeus	ei mitattu	ei palaudu 30 tunnissa
Hermostollinen palautuminen	ei palaudu 4 tunnissa	2 tuntia
Aineenvaihdunnan palautuminen	ei palaudu 4 tunnissa	2 tuntia
Liharakenteen palautuminen	ei palaudu 4 tunnissa	30 tuntia
Subjektiiivinen arvio	ei kysytty	2 tuntia

Johtopäätökset

1. Kerta- ja toistosuoritteisen työn aiheuttama lihaksiston ja hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuneisuus ja kuumakuormittuminen olivat korkeita ja vastaavat palomiehen todellisessa työssä esiintyviä raskaita työvaiheita.
2. Laboratorio-olosuhteissa psyykkisen kuormituskomponentin osuus puuttuu, joka todellisessa tilanteessa lisää kuormittuneisuutta.
3. Lihastoimintojen eri osa-alueet palautuvat eri aikaisesti, vaihdellen 1 - 30 tunnin välillä mitatusta parametrasta riippuen.
4. Taulukossa 3 esitetyistä kymmenestä mittausparametrasta 5 palautuu 4 tunnin aikana, joten erittäin raskaista työvaiheista palautumiseen suositellaan 2-4 tunnin palautumisaikaa.
5. Ikä ja työvuodet hidastavat palautumista.
6. Tutkimuksen koehenkilöjoukko oli hyväkuntoista, huonokuntoisemmilla palautuminen voi kestää kauemmin.
7. Hyvä tulos Pelastussukellusohjeen mukaisissa lihaskuntotesteissä on yhteydessä kykyyn tehdä työtä kovemmalla intensiteetillä.
8. Korkea maksimaalinen lihasvoimataso on yhteydessä matalampaan paikalliseen lihaskuormittuneisuuteen työssä.

5. Viitteet

1. Andersen KL, Masironi R, Rutenfranz J, Seliger V. 1978. Habitual physical activity and health. WHO Regional Publications European Series No. 6.
2. Borg G. 1998. Borg's perceived exertion and pain scales. Human Kinetics, Champaign.
3. Buckle P, Devereaux J. 1999. Work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. Report of European Agency for Safety and Health at Work. ISBN 92-828-8174-1.
4. ISO 10551. 1995. Ergonomics of the thermal environment - assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. International Standards Organization, Geneva.
5. Jonsson B. 1982. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constraint work. J Hum Ergol 64: 691-695.
6. Louhevaara V, Soukainen J, Lusa S, Tulppo M, Tuomi P, Kajaste T. 1994. Development and evaluation of a test drill for assessing physical work capacity of fire-fighters. International Journal of Industrial Ergonomics 13: 139-146.
7. Lusa S. 1994. Job demands and assessment of the physical work capacity of fire fighters. Studies in Sport, Physical Education and Health 33. University of Jyväskylä.
8. Pelastussukellusohje. Sisäasiainministeriön julkaisuja 48/2007 (SM050:00/2006) [http://www.intermin.fi/intermin/biblio.nsf/3B864E6BCF038FBFC22573AE002D6F8E/\\$file/482007.pdf](http://www.intermin.fi/intermin/biblio.nsf/3B864E6BCF038FBFC22573AE002D6F8E/$file/482007.pdf)
9. Sothmann M, Saupe K, Raven P, Pawelczyk J, Davis P, Dotson C, Landy F, Siliunas M. 1991. Oxygen consumption during fire suppression: Error of heart rate estimation. Ergonomics 34: 1469-1474.

Kiitokset

Tekijät kiittävät tutkimukseen osallistuneita vapaaehtoisia palomiehiä ja Oulu - Koillismaan Pelastuslaitoksen yhteyshenkilöä sekä Palosuojelurahastoa.