

# **ILMANKULUTUKSEN VAIHTELU PAINELMALAITTEELLA SUORITETUSSA SUBMAKSIMAALISESSA KÄVELYMATTO- TESTISSÄ**

Jylhä Antti, LitM, Liikuntafysiologi. Kuntoutumis- ja tutkimuskeskus Kunnonpaikka,  
Siilinjärvi

Kinnunen Kari, LitM, Liikunnanopettaja. Pelastusopisto, Kuopio.

Tutkimusraportti 2/2004  
ISBN 952-5515-12-5 (pdf)

## YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena on verrata kokoneiden paineilmalaitteikäyttäjien ja verrokiryhmäläisten, joilla ei ollut minkäänlaista aikaisempaa kokemusta pi-laitteen käytöstä, välisiä eroja ilmankulutuksessa submaksimaalisessa kävelymattotestissä sekä löytää syitä mahdollisiin eroihin.

Lopulta muodostettiin kuitenkin vain yksi koeryhmä, jonka tuloksia analysoitiin, sillä koe- ja verrokiryhmä eivät eronneet missään mitatuista muuttujista merkittävästi. Koeryhmässä oli yhteensä 16 tervettä,  $41,4 \pm 5,45$  vuotiasta, hyväkuntoista miestä.

Tutkimuksessa koehenkilöt kävelivät kaksi kertaa samanlaisella kuormitusmallilla sammutusvarustuksessa kävelymatolla anaerobiselle kynnykselle asti. Ensimmäisellä testikerralla hengitettiin huoneilmaa mittaussmaskin kautta ja toisella kerralla paineilma-laitteella.

Koehenkilöille tehtiin myös keuhkojen funktiotestinä spirometria koe, jossa mitattiin keuhkojen tilavuus (FVC) ja hengitysilman maksimi ulosvirtaus (PEF).

Koehenkilöt kävelivät testissä keskimäärin  $758 \pm 169$  sekuntia ja ilmankulutus oli vapaasti hengittäen  $640 \pm 163$  litraa sekä pi-laitteen kanssa  $716 \pm 154$  litraa. Ilmankulutus kasvoi  $13,4 \pm 10,4$  prosenttia ja ero oli tilastollisesti erittäin merkittävä  $p < 0.001$ . Henkilökohtaiset erot olivat suuria koska kolmella henkilöllä ero oli alle 2 %, pienimmillään 0,8% ja neljällä yli 20 %, suurimmillaan 38 %.

Vakioidulla työteholla 0-10 minuuttiin kävelymattotestissä oli ilmankulutuksessa pi-laitteen kanssa hyvinkin suuria eroja: pienin ilmankulutus oli 367 litraa ja suurin 827 litraa eli 2,3-kertainen. Se oliko koehenkilö käyttänyt aikaisemmin pi-laitetta ei vaikuttanut mitenkään tuloksiin.

Hengityssyvyyden kasvu korreloi voimakkaimmin  $r = .76$ , ( $p < 0.001$ ) ilmankulutuksen kasvuun hengittäessä pi-laitteella. Lisäys oli keskimäärin  $23,5 \pm 21,7$  prosenttia ( $p < 0.001$ ). Henkilöt, joiden anaerobinen kynnyks oli korkea toisin sanoen aerobinen kunto parempi, kuluttivat vähemmän ilmaa  $r = -.65$  ( $p < .007$ ) myös korkeampi BMI  $r = .76$  ( $p < 0.001$ ) ja korkeampi ikä  $r = .57$  ( $p < 0.21$ ) lisäsivät

ilmankulutusta paineilmalaitteen kanssa tilastollisesti merkittävästi. Sen sijaan keuhkojen toimintakykyä mittaavat muuttujat FVC JA PEF suhteutettuna viitearvoihin eivät korreloineet mitenkään ilmankulutuksen kasvuun.

Tässä tutkimuksessa tuli hyvin selvästi esille, että hengitys-tekniikkaa parantamalla, aerobista kuntoa kohentamalla sekä kehon painon normaalina pitäminen vähentävät ilmankulutusta työskennellessä pi-laitteella. Kyseisiin asioihin vaikuttaminen pelastusalalla on tärkeää, koska yleensä ilman loppuminen on ensimmäinen rajoittava tekijä työskennellessä pi-laitteella.

Tutkijat haluavat kiittää kaikkia koehenkilöitä, Kari Maurasta Kuopion Yliopistosta sekä Kari Kovakoskea Pelastusopistolta tutkimuksen onnistumisesta.

Kari Kinnunen ja Antti Jylhä

<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>2</b>
<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....</b>	<b>5</b>
<b>3. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 KOEHENKILÖT .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 MITTAUKSET .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.1 Paino ja Pituus .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.2. Kävelymattotesti .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.3. Spirometria.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 TILASTOLLISET MENETELMÄT.....</b>	<b>8</b>
<b>4. TULOKSET .....</b>	<b>8</b>
<b>5. POHDINTA.....</b>	<b>12</b>
<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>14</b>
<b>LIITE 1. JUOKSUMATTOTESTIN KUORMITUSMALLI.....</b>	<b>15</b>
<b>LIITE 2. PAINEILMALAITTEEN HENGITYSVENTTIILIN TARKASTUS 1. ....</b>	<b>16</b>
<b>LIITE 3. PAINEILMALAITTEEN HENGITYSVENTTIILIN TARKASTUS 2. ....</b>	<b>17</b>

## **1. Johdanto**

Paineilmalaitetta käytetään työtehtävissä, joissa henkilön täytyy suojata hengitys oman terveytensä vuoksi. Palomies joutuu usein työssään tilanteisiin, joissa joudutaan suojautumaan esim. myrkyllisiä kemikaaleja tai savua vastaan (Dräger 2000, Sisäasiainministeriö, 2001). OVA(1993-2003) (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet)-ohjeiden mukaan terveysvaara jaetaan viiteen eri luokkaan aineen olomuodon, haihtuvuuden ja myrkyllisyyden mukaan. Pelastajat altistuvat aineille hengityksen ja ihon kautta, joten terveysvaara-luokan mukaan pelastustehtävissä ovat käytössä myös tarvittavat hengityssuojain, joka poikkeuksetta on paineilma-laite. Myös vesisukelluksessa käytetään pi-laitetta työn suorittamiseen.

Paineilmalaite painaa noin 10 - 18 kg ja sisältää ilmaa keskimäärin 1800 litraa. Tämä ilmamäärä riittää keskimäärin 20-25 min pituiseen työtehtävään. Ilman riittäminen mahdollisimman pitkään työtehtävässä on tärkeää ja näin ollen pi-laitteen käyttäjän tulisi olla hyvässä aerobisessa kunnossa sekä osata hengittää laitteen kanssa taloudellisesti (Väisänen 2000, Huttu 2001, Puhakka 2002).

Paineilmalaitteen käyttö lisää fyysistä kuormittumista huomattavasti, koska pi-laite yhdessä suoja-varustuksen kanssa painaa kokonaisuudessaan noin 25 kg. Sitä, paljonko pi-laitteesta hengittäminen lisää kuormittumista on tutkittu hyvin vähän. Aikaisemmin on tutkittu epäsuorasti ilman - ja hapenkulutusta pi-laitetyössä, jossa pi-laitteen oman ilmankulutusmittarin avulla laskettiin kulutuksia (Louhevaara 1985, Lusa ym.1993, Lusa ym.1994). Todellisen mittaamisen vaikeutena on Pi-laitteen kasvo-osa, joka estää joko hengityskaasuanalysaattorin tai mukana kannettavan telemetrisen mittalaitteen käytön. Myöskään ei ole tehty selvityksiä, mikä on taloudellisin hengitystekniikka pi-laitteen kanssa työskennellessä.

## **2. Tutkimuksen tavoitteet**

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia lisääkö paineilmalaitteella hengittäminen ilmankulutusta ja rasittumista submaksimaalisessa kuormituksessa juoksumatolla. Sekä verrata kokeneitten paine-

ilmalaitteen käyttäjien ja verrokki-ryhmän välisiä eroja ilmankulutuksessa. Lisäksi haluttiin selvittää mitkä tekijät vaikuttavat mahdollisiin eroihin ilmankulutuksessa.

### **3. Tutkimusaineisto ja menetelmät**

#### **3.1 Koehenkilöt**

Tutkimus tehtiin kevään ja syksyn 2002 aikana. Koehenkilöinä oli koeryhmässä eli kokeneitten paineilmalaitteen käyttäjien ryhmässä kahdeksan pelastusopiston miesopettajaa, jotka ovat käyttäneet paineilmalaitetta 10-20 vuoden ajan. Verrokkiryhmässä oli kahdeksan normaalia, hyväkuntoista ja tervettä miestä, joilla sen sijaan ei ollut minkäänlaista aiempaa kokemusta paineilmalaitteen käytöstä.

Koe- ja verrokkiryhmä eivät eronneet toisistaan missään mitatuissa muuttujissa tilastollisesti merkitsevästi, joten koehenkilöistä muodostettiin lopulta vain yksi ryhmä, jonka tuloksia tarkasteltiin. Tämä tulos oli yllätys myös tutkijoille.

#### **3.2 Mittaukset**

##### **3.2.1 Paino ja Pituus**

Koehenkilöiden pituus mitattiin yhden kerran ja paino molemmilla kerroilla ennen kävelymattotestiä. BMI eli body mass index laskettiin painon ja pituuden avulla (Heliövaara ym 1980).

##### **3.2.2. Kävelymattotesti**

Kävelymattotestissä käveltiin ensimmäisellä testikerralla sammutusvarustuksessa uupumukseen asti tai ainakin yli anaerobisen kynnyksen. Hapenkulutus mitattiin Sensor Medics® 229 laitteen normaalisti hengitysmaskin kanssa hengittämällä huoneilmaa kuva 2. Anaerobinen kynnyks määriteltiin ensimmäisen testin perusteella *koehenkilön testiajaksi* ja *aerobiseksi kuntotasoksi*, sillä paineilma-laitteella työskennellään pääsääntöisesti alle anaerobisen kynnyksen.

Anaerobinen kynnys määriteltiin hengityskaasujen avulla kohtaan, missä muutokset olivat selvät: keuhkotuuletus eli ventilaatio nousi, happiprosentti putosi sekä hiilidioksidintuotto kasvoi .

Toisella kerralla 1-3 viikon kuluessa kävelymattotesti uusittiin ns. anaerobiselle kynnykselle asti hengittäen paine-ilmalaitteella. Ilma analysoitiin ennen testiä Sensor Medicsin® 229 hengityskaasu analyysointilaitteen avulla asettamalla paineilmapullo ns. kalibrointi-pulloksi (kuva 1). Keski-määrin paineilmalaitteen happipitoisuus oli  $20,93 \pm ,03\%$  ja hiilidioksidi-pitoisuus  $0,01 \pm ,01\%$ . Hiilidioksidipitoisuus oli jonkin verran matalampi kuin ns. normaalissa ilmassa, koska täyttövaiheessa ilma menee aktiivisuodattimien lävitse, jotka poistavat paineilmaasta hiilidioksidia.

Kävelymattotestissä varusteena oli sammutusvarustus: palomiehen puuvillainen alusasu, väliasu, Nomex- sammutushaalari, työkasineet, palokypärä sekä lenkkikengät. Varusteiden paino oli 22,5 kg. Koehenkilöitä kehoitettiin hengittämään molemmilla testikerroilla normaalisti sen mukaan miten rasituksen noustessa tuntuu ilmaa tarvitsevan. Verrokkiryhmälle ei annettu mitään ohjeita tai neuvoja miten pitäisi hengittää vaan hengittäminen tulisi olla rentoa ja normaalia kuten ovat rasituksen aikana tottuneet.

Anaerobinen kynnys määriteltiin teoreettisena hapenkulutuksena  $\text{ml/kg/min}^{-1}$  sekä mitattuna hapenkulutuksena  $\text{ml/kg/min}^{-1}$ . Koko testin ajalta mitattiin ilman- ja hapenkulutus ( $\text{l/min}$ ), testin keskisyke laskettiin jokaisen minuutin lopulta mitatuista sykearvoista lisäksi mitattiin keskimääräinen hengitys frekvenssi sekä hengityksen keskisyvyys.

Testeissä edettiin liitteessä 1. olevan kuormitustaulukon mukaisesti. Tutkimusta varten tehtiin erikoiskasvo-osa, joka saatiin liitettävä hengityskaasuanalysointilaitteen mittausletkuun, kuva 3. Tutkimuksessa käytetyn kasvo-osan uloshengitysvastus mitattiin ja toimintakunto tarkistettiin ennen tutkimusta ja kerran tutkimuksen aikana pelastusopiston paineilma-huoltajan toimesta liitteet 2 ja 3.

### **3.2.3. Spirometria**

Spirometriakoe tehtiin ennen kävelymattotestiä Sensor Medics® 229 laitteella ja suoritettiin istuma-asennossa. Koehenkilö hengitti aluksi muutamia kertoja normaalisti, jonka jälkeen tuli ohje vetää keuhkot täyteen ilmaa ja saman tien suorittaa maksimaalinen ulospuhallus, joka kesti viisi

sekuntia. Koehenkilöiltä mitattiin nopea vitaalikapasiteetti FVC (l/min) sekä hengityksen maksimaalinen huippu-ulosvirtaus eli PEF (l/min). Korkein arvo hyväksyttiin tulokseksi ja saatuja arvoja verrattiin Viljanen ym. (1980) Suomessa yleisesti käytettyihin viitearvoihin.

### 3.3 Tilastolliset menetelmät

Tulokset analysoitiin SPSS-11.5 for Windows tietojenkäsittelyohjelmalla. Muuttujien tunnusluvuista on esitetty keskiarvot ja  $\pm$  keskihajonta. Ryhmien väliset erot analysoitiin riippumattomien ryhmien t-testillä. Muuttujien väliset korrelaatiot ja niiden merkitsevyydet testattiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Linearisella regressioanalyysillä selitetään tutkimuksen yhtä jatkuvaa muuttujaa eli mikä tai mitkä tekijät mahdollisesti selittävät eroja ilmankulutuksessa hengitettäessä paineilmalaitteella submaksimaalisessa kuormituksessa lähteet.

Kuva 1 Hengityskaasuanalysointilaitteisto kalibroitiin ennen testiä paineilmalaitteen ilmalla.



## 4. Tulokset

	Kaikki (n=16)
Ikä:	41,4 $\pm$ 5,45
Pituus:	179,8 $\pm$ 6,4
Paino:	78,5 $\pm$ 11,9
BMI:	24,2 $\pm$ 2,9
Testaika (sek):	758 $\pm$ 168,8
Anaerobinen kynnyks	
-teor ml/kg/min:	43,5 $\pm$ 7,6
-ml/kg/min:	38,9 $\pm$ 8,6
<b>Ilmankulutus (Litraa)</b>	
- ilman pi-laitetta:	640 $\pm$ 163
- pi-laitteella:	716 $\pm$ 154
- ero prosentteina:	13,4 $\pm$ 10,4 (***)
<b>Keskisyke</b>	
- ilman pi-laitetta:	142,2 $\pm$ 13,2
- pi-laitteella:	140,1 $\pm$ 15,4
- ero prosentteina:	-1,5 $\pm$ 3,7 (n.s)



Kuva 2. Kävelymattotesti hengittäen huoneilmaa

### Hapenkulutus (Litraa)

- ilman pi-laitetta:	26,4 ± 7,1
- pi-laitteella:	27,9 ± 7,1
- ero prosentteina:	+5,8 ± 0,1 (**)

### Hengitysfrekvenssi testissä

- ilman pi-laitetta:	23,6 ± 4,3
- pi-laitteella:	21,4 ± 3,2
- ero prosentteina:	-8,0 ± 10,7 (**)

### Hengityksen syvyys testissä

- ilman pi-laitetta:	2,19 ± ,37
- pi-laitteella:	2,66 ± ,40
- ero prosentteina:	23,5 ± 21,7 (***)

### Spirometria

- nopea vitaalikapasiteetti(FVC):	5,57 ± 1,03
- ero viitearvoon:	0,02 ± 14,2 (n.s)

- huippuvirtaus(PEF):	688 ± 71,7
- ero viitearvoon %:	8,1 ± 10,2 (**)



Kuva 3. Kävelymattotesti hengittäen paineilmalaitteella

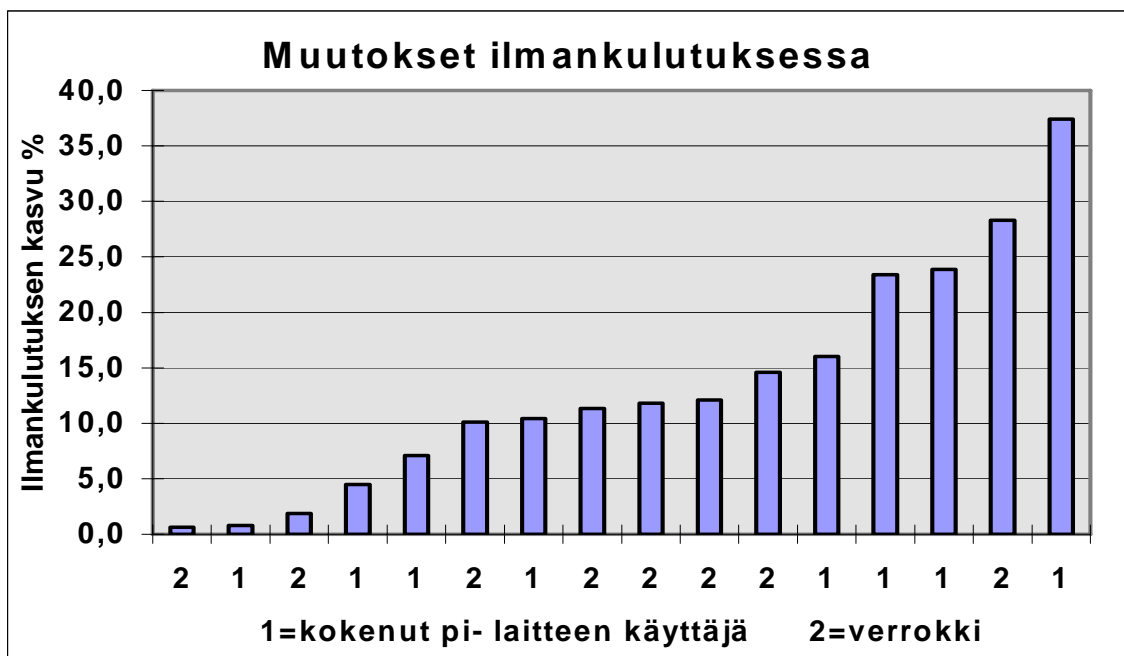
Aluksi ryhmiä oli tarkoitus tarkastella erikseen, mutta ryhmät eivät kuitenkaan poikenneet toisistaan missään mitatuista muuttujista, joten ryhmät yhdistettiin. Ainoa muuttuja, jossa ryhmien välillä oli melkein merkitsevä ero oli aerobinen kunto eli anaerobinen kynnys oli alkuperäisen koeryhmän eli kokeneiden paineilmakäyttäjien ryhmässä keskimäärin noin 14 % huonompi, mutta ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä  $p=0.090$ .

Koehenkilöt kävelivät testissä keskimäärin 758 sek. ± 164 sek, jonka aikana ilman kulutus oli vapaasti hengittäen 640 ltr ± 163 ja paineilmalaitteella hengittäen 717 ltr. ± 154. Vakioidussa työssä kävelymatolla kävellessä ilmaa kului keskimäärin 13,4 % ± 10,4 enemmän pi-laitteen kanssa. Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä  $p<0.001$ . Henkilökohtaiset erot olivat kuitenkin hyvin suuret, koska kolme koehenkilöä pääsi alle kahden prosentin erolla ja neljällä koehenkilöllä kului pi-laitteen kanssa ilmaa yli 20 prosenttia enemmän. Suurimmillaan ero oli 38 %. Ilmankulutuksen kasvaminen ei kuitenkaan nostanut koehenkilöillä sydämen työmäärää eli keskisykettä, vaan keskisyke oli noin kaksi lyöntiä matalampi paine-ilmalaitteen kanssa tehdyssä testissä  $142,2 ± 13,2$  vs.  $140,1 ± 15,1$  ( $p=.14$ ). Kokonaishapenkulutus testin aikana kasvoi, johtuen ilmankulutuksen kasvusta,  $26,4 ± 7,14$  litrasta  $27,9 ± 7,12$  litraan minuutissa eli 5.8 %. Ero oli erittäin merkitsevä

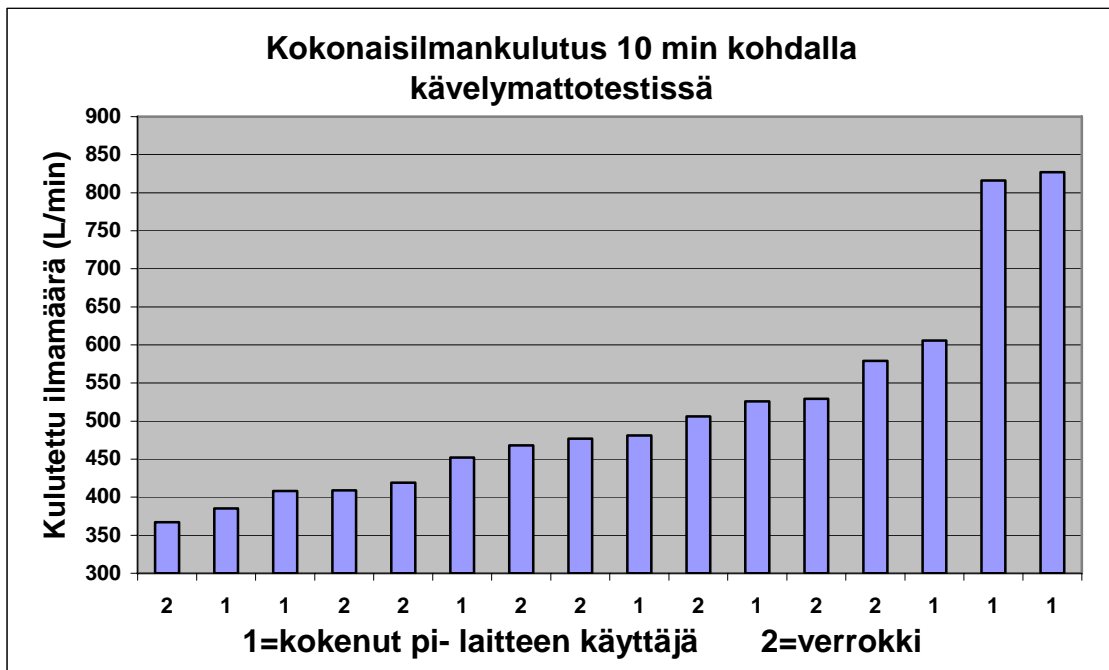
$p < 0.001$ . Selitys ilman kulutuksen ja hapenkulutuksen kasvamiseen tulee hengityssyvyyden kasvusta, joka suureni keskimäärin  $23,5\% \pm 21,7$  ( $p < 0.001$ ) sen sijaan hengitysfrekvenssi hidastui keskimäärin  $8,0\% \pm 10,7$  ( $p < 0.01$ ).

Ilmankulutuksessa oli suuria eroja vakioidussa työtehossa 0- 10 minuuttiin, jossa 10 minuutin kohdalla teoreettinen hapenkulutus oli  $28,5 \text{ ml/kg/min}$ . Ilmankulutus oli 10 min kohdalla keskimäärin  $516 \pm 137$  litraa, mutta henkilökohtaiset erot olivat suuria (taulukko1.). Kymmenen minuutin kohdalla pienin kulutettu ilmamäärä oli 367 litraa kun suurimmillaan ilman kulutus pi-laitteen kanssa oli 827 litraa (taulukko 2.). Niillä koehenkilöillä, joilla pi-laitteen kanssa kului yleensä enemmän ilmaa korreloi vahvasti myös suureen ilman kulutuksen myös kymmenen minuutin kohdalla  $r=0.71$  ( $p=.002$ ). Lisäksi BMI korreloi voimakkaasti  $r= .64$  ( $p=.008$ ) eli suurempi henkilö kulutti enemmän ilmaa 10 min kohdalla. Myös niillä koehenkilöillä, joilla hengityksen syvyys kasvoi pi-laitteen kanssa oli suurempi ilmankulutus 10 min kohdalla  $r= .77$  ( $p < .001$ ). Vahvin korrelaatio ilmankulutuksen lisääntymiseen testissä 0-10 minuuttiin oli aerobisella kunnolla eli mitä korkeampi anaerobinen kynnyks sitä pienempi kulutettu ilmamäärä  $r=-.81$  ( $p < .001$ ).

Taulukko 1 . Ilmankulutuksen kasvu prosentteina vakioidussa submaksimaalisessa (levosta anaerobiselle kynnykselle)kävelymattotestissä käytettäessä paineilmalaitetta.



Taulukko 2. Kokonaisilmankulutus vakioidussa työssä 0-10 minuuttiin juoksumatolla hengitettäessä pi-laitteen kanssa



Lineaarisella regressio-analyysillä tarkasteltaessa muuttujia, jotka vaikuttivat ilmankulutuksen kasvuun niin *hengityksen syvyyden kasvaminen* on tässä tutkimuksessa suurin selittäjä eli 58% myös *ikäntyminen* selittää jonkin verran eli 12 %.

Jos tarkastellaan ilmankulutuksen kasvua muihin muuttujiin, saadaan seuraavanlaisia korrelaatiota:

Hengityksen syvyys:	.76 (p=.001)**
BMI:	.76 (p=.001)**
Aerobinen kunto eli anaerobinen kynnyks:	-.65(p=.007)**
Ikä:	.57 (p=.021)*

Muihin mitattuihin muuttujiin lisääntynyt ilmankulutus ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi. Esimerkiksi spirometriassa mitatut keuhkojen tilavuus (FVC) ja maksimaalinen huippuvirtaus(PEF) eivät vaikuttaneet ilmankulutuksen määrään hengitettäessä paineilmalaitteen avulla. Verrattaessa keuhkojen tilavuuksia normaaleihin viitearvoihin vaihtelivat tulokset -19,4 %:sta +27.8 %:iin ja huippuvirtausarvot -11,1%:sta +25,8 %:iin. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisikin, että jos spirometria-arvot ovat normaalit, niin keuhkojen toimintateho ei vaikuta ilmankulutusta lisäävästi tai vähentävästi paineilmatyössä.

## 5. Pohdinta ja johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli verrata miten kokeneet paineilmalaitteen käyttäjät eroavat kokemattomista verrokkihenkilöistä submaksimaalisessa kävelymattotestissä. Loppujen lopuksi ei löytynyt mitään eroja näiden kahden ryhmän välillä, joten pienien ryhmien takia muodostettiin yksi koeryhmä.

Paineilmalaitteen kanssa työskennellessä on yleensä työn jatkamista rajoittava tekijä ilman loppuminen. Keskimäärin pi-laitteessa on noin 1800 litraa ilmaa, jonka avulla voidaan työskennellä työn luonteesta riippuen 15-30 min. Tässä tutkimuksessa tuli hyvin esille, kuinka suuria eroja ilmankulutuksessa on. Hengitystekniikka, aerobinen kunto, ikääntyminen ja kehon koko vaikuttavat voimakkaasti siihen kuinka kauan pi-laitteen kanssa henkilö voi tehokkaasti työskennellä. Tässä tutkimuksessa juoksumattotestissä 10 min kohdalla pienin kulutettu ilmamäärä oli 367 litraa ja suurimmillaan 827 litraa. Jos molemmilla on 1800 litraa ilmaa käytössä työskentelyyn ja kasvo-osa ei vuoda tulee tehokkaan työ ajan ero 2,3 kertaiseksi. Käytännössä, jos tiedetään miesten ilmankulutuserot, voidaan työskentelytavat harjoitella ja sopia siten, että pienemmän kulutuksen omaava ja mahdollisesti parempikuntoinen pyrkii tekemään raskaimmat työtehtävät.

Keskisyke ei noussut tilastollisesti merkittävästi hengitettäessä pi- laitteen kanssa, joten ilmankulutuksen lisäys ja yleensä hengittäminen pi- laitteella ei näytä tämän tutkimuksen perusteella lisäävän hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumista. Kokonaiskuormituksen lisäys tulee suojavarustuksen yhteispainosta, jonka kanssa liikkuminen nostaa fyysistä kuormittumista.

Tarkasteltaessa niitä neljää koehenkilöä, joilla ilmankulutus kasvoi pi-laitteen kanssa alle viisi prosenttia havaitaan mielenkiintoinen yksityiskohta. Kolmella neljästä hengityksen syvyys ei kasvanut kuin noin 2,1 % ja hengitysfrekvenssi putosi keskimäärin 2,7 % eli käytännössä hengittäminen oli molemmissa testeissä heillä samanlaista. Näistä kolmesta koehenkilöstä kaksi kuului verrokki-ryhmään ja yksi kokeneisiin pi-laitteen käyttäjiin. Neljäs, jonka ilman-kulutusero oli alle viis prosenttia ja joka kuului kokeneisiin pi-laitteen käyttäjiin, hengitti täysin erilaisella tekniikalla: hänellä hengitysfrekvenssi putosi 27,6 % kun taas hengityksen syvyys kasvoi 35,8 %. Näin ollen vaikuttaisi, siltä että paineilmalaitteella voidaan hengittää taloudellisesti erilaisilla tekniikoilla.

Niillä koehenkilöillä (n=6) , joilla ilmankulutus kasvoi selvästi , keskimäärin 23 % , hengitys frekvenssi putosi keskimäärin 12,1%,mutta hengityksen keskisyvyys kasvoi 41,1 % . Hengityksen ollessa tahdonalaista toimintaa voidaan hengityksen taloudellisuutta ja säästeliäämpää ilmankulutusta varmasti harjoitella. Mielenkiintoista olisikin nähdä, kuinka paljon ohjattu harjoittelu, keskittymisen taloudellisempaan hengitykseen sekä pienentämällä hengityksen syvyyttä, vähennettäisiin näillä koehenkilöillä ilmankulutusta ja lisättäisiin samalla työaikaa.

## Lähdeluettelo

Dräger. Paineilmahengityslaite PA 94 plus käyttöohje. 2<sup>nd</sup> edition 2000. Liitin oy: Helsinki.

Heliövaara M, Aromaa A (1980). Suomalaisten aikuisten pituus, paino ja lihavuus. Kansaneläkelaitoksen julkaisuja ML:19, Helsinki.

Huttu.I. Savusukellustekniikka. Pelastusopiston opetusmoniste. Kuopio 2001

Louhevaara V. Effects of respiratory protective devices on breathing pattern, gas exchange, and heart rate different work levels. Väitöskirja. Kuopion Yliopisto, 1985.

Lusa S, Louhevaara V, Smolander J, Kivimäki M, Korhonen O. Physiological responses of firefighting students during simulated smoke-diving in heat. Am Ind Hyg Assoc J 1993; 54: 228-231

Lusa S (1994). Job demands and assessment of the physical work capacity of fire fighters. Studies in Sport, Physical Education and Health. Jyväskylä University Printing House and Sisäsuomi Oy, University of Jyväskylä, Jyväskylä.

Mauranen K , Puntila E: Biostatistiikka, Kuopion yliopiston ylioppilaskunta 1995.

OVA-ohjeet:Käyttäjän opas. <http://19258.80.9/tt/OVA/kaytop.html>. (luettu 10.10.2003)

Puhakka.T. Savusukellustekniikka. Pelastusopiston opetusmoniste. Kuopio 2002.

Väisänen T. Paineilmasäiliöt ja venttiilit. Pelastusopiston opetusmoniste. Kuopio 2000.

Viljanen A (toim): Reference values for spirometric, pulmonary diffusing capacity and body plethysmographic studies. Scand J Clin Lab Invest 1982;42:suppl.159,1-50.

Sisäasiainministeriö, Pelastusosasto (2001). Savusukellusohje. Julkaisuja sarja A:69. [www.intermin.fi/sm/pelastus](http://www.intermin.fi/sm/pelastus)

SPSS<sup>®</sup> 11.5 for windows Base User's guide package. Prentice Hall inc. Upper saddle river. NJ. USA 2002

# Liite 1. Juoksumattotestin kuormitusmalli

## JUOKSUMATTOTESTIN KUORMITUSMALLI SAVUSUKELLUSVARUSTUSESSA:

NIMI:				PAINO:		PITUUS	
PAINO+ V: PVM:							
AIKA	NOP/ASTE	TEOR	TEOR+ V	syke	syke	syke	syke
1	4,5/1	12,5					
2	4,5/1	14,5					
3	4,5/3,5	16,3					
4	4,5/3,5	18					
5	4,5/5	19,8					
6	4,5/5	21,5					
7	4,5/6,5	23,3					
8	4,5/6,5	25					
9	4,5/8	26,8					
10	4,5/8	28,5					
11	5,5/7	30,3					
12	5,5/7	32					
13	5,5/8,5	34,0					
14	5,5/8,5	36					
15	5,5/10	38,5					
16	5,5/10	41					
17	5,5/11,5	43,0					
18	5,5/11,5	45					
19	5,5/13	47,5					
20	5,5/13	50					
21	5,5/14	51,1					
22	5,5/14	52,6					

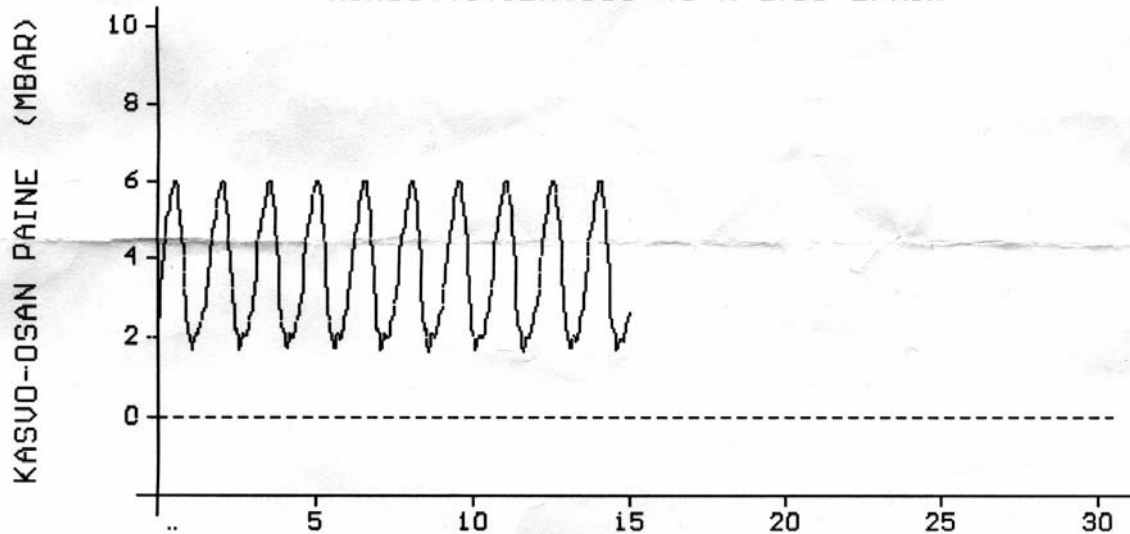
## Liite 2. Paineilmalaitteen hengityuventtiilin tarkastus 1.

### QUAESTOR II - KOESTUSTULOKSET

OHJELMAVERSIO : 3.20d  
VALMISTAJA : DRAEGER  
MALLI : PA80/300 A/AE  
LAITTEEN NUMERO :  
PAINENAENNIN :  
HENGITYSVENTTIILI :  
ASIAKAS : KOE  
KOESTAJA : KARI KOVAKOSKI  
LAITOS : PELASTUSOPISTO  
PVM : 05/06/02  
AIKA : 10:31:03

### HENGITYKSEN SIMULOINTI

HENGITYKSEN TARKASTUS  
MINUUTTITILAVUUS 40 X 2.50 L/MIN



HENG. MINUUTTITILAVUUS 40 X 2.50 L/MIN  
MATALAPAINEMITTAUS SILMÄSTÄ  
VÄHINT. 1.6 MBAR ENINT. 6.0 MBAR  
DYNAAMINEN TOISIOPAINE  
VÄHINT. 5.7 BAR ENINT. 8.0 BAR

\*

\*

\*

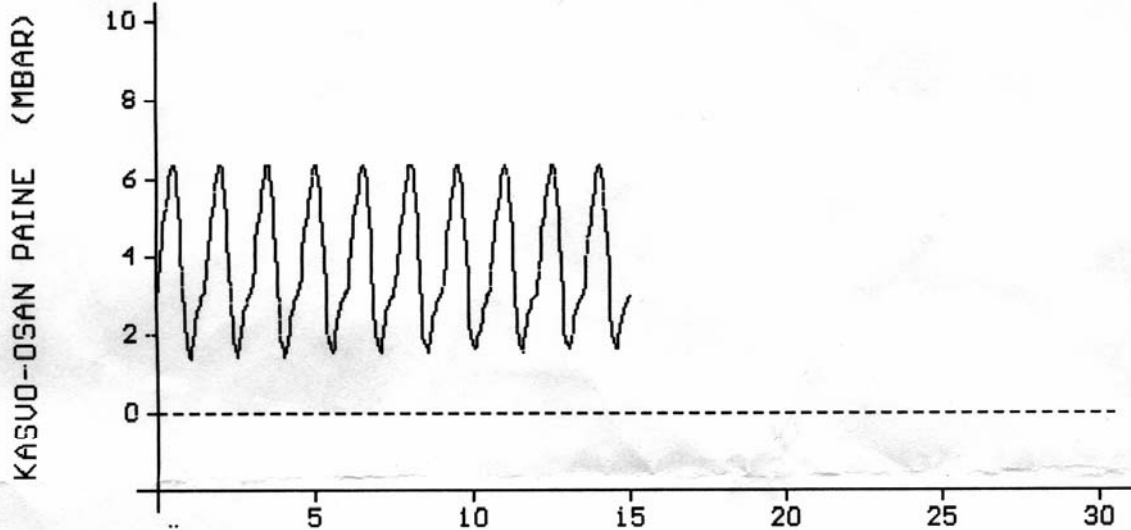
### Liite 3. Paineilmalaitteen hengityuventtiilin tarkastus 2.

#### QUAESTOR II - KOESTUSTULOKSET

OHJELMAVERSIO : 3.20d  
KOESTAJA : KARI KOVAKOSKI  
LAITOS : PELASTUSOPISTO  
PVM : 27/09/02  
AIKA : 09:08:07

#### HENGITYKSEN SIMULOINTI

HENGITYKSEN TARKASTUS  
MINUUTTITILAVUUS 40 X 2.50 L/MIN



HENG. MINUUTTITILAVUUS 40 X 2.50 L/MIN  
MATALAPAINEMITTAUS SILMÄSTÄ  
VÄHINT. 1.4 MBAR ENINT. 6.4 MBAR  
DYNAAMINEN TOISIOPAINNE  
VÄHINT. 6.0 BAR ENINT. 7.7 BAR

\*

\*

\*