

ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 159, 1977

METSÄTYÖNTEKIJÄN VÄSYMINEN

THE FATIGUE IN FOREST WORK

Erkki Wuolijoki



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittää yhden tutkimuksen.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä kirjoitelmia ja lyhyehköjä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

Publications of the Society of Forestry in Finland

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen ongelmatyö on perustunut 1950-luvulla metsänkorjuutöiden kevenämismahdollisuuksia etsiviin tutkimuksiin. Työn tarkoituksena on ollut pyrkiä löytämään uusi elinajan kuormittumisen mittauskeino aikaisempien rinnalla käytettäväksi.

Tutkimus liittyy Pohjoismaiden

toimittavissa Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja muissa pohjoisissa yhteispohjoismaisissa metsätieteellisiin kehittämistutkimuksiin, joiden koordinoijana on Nordiska Skogsarbetsstudierne Råd (NSR).

Työ on koostunut useista laboratorio- ja kenttäkokeista vuosina 1972–76 ja vaatii seuraavien henkilöiden tukea:

Lalli, Esko Mäkilä
FL Stig Sundberg
LL Vesa Parvi
Luft Toa Aikäs
Metsätiet. Veikko Korpi
Työtiet. Raimo Leppänen
Metsätiet. Antti Muuri

laboratorio- ja kenttäjärjestelyt
rasituskokeet ja kardiologia
lääkintätarkastukset
rasitus- ja verikokeet
kenttäjärjestelyt
kenttäjärjestelyt ja työn kuvaus
mittaukset ja työtieteen arvioinnit

Professori Henrik Wallgren Helsingin Yliopistosta on kannustanut minua jatkamaan työtä edistystä. Liikuntatieteilijä ja lääkäri Esko Mäkilä Kansaneläkelaitoksella on työni alulle panijana ja alkuunsa ohjaajana mahdollistanut tutkimuksen suorittamisen. Maatalous-metsätieteiden lehtori Kauko Hahtola Työtehoseuran on opastanut minua monimutkaisten analyysien käytössä.

Koehenkilöinä on ollut Tehdaspuu Oy:n vakinaiset metsätöntehtäjä, Rajamäen Metsätöntehtäjäkoulun opettaja sekä Helsingin Yliopiston opiskelijat.

SUMMARY:

THE FATIGUE IN FOREST WORK

Mittauksissa on käytetty Työtehoseuran, Työterveyslaitoksen, Helsingin Yliopiston ja Työtehoseuran Helsingin Yliopiston laitteita. Tutustelu on suoritettu Helsingin Yliopiston

Kaikkiin tutkimuksiin ovat tarvittaneet professori Henrik Wallgren ja dosentti Antti Saavio Helsingin Yliopistosta sekä maatalous-metsätieteiden lehtori Kauko Hahtola Työtehoseurasta.

Tutkimusta ovat tukeneet Valtion maatalous-metsätieteellisen toimikunta ja Työtehoseura t.y.

Esitän kaikille parhaat kiitokseni.

Helsinki, helmikuussa 1977

Erkki Wuolijoki

ISBN 951-621-024-2

METSÄTYÖNTERKILÄN VÄSYMINEEN

Suomen Metsätieteellisen Seuran Julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Suomen metsätaloutta ja sen perustalla käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joiden kussakin on yksi tai useampi nite.

SILVA FENNICA. Sisältää stipulaattien Suomen metsätaloutta ja sen perustalla käsitteleviä kirjoituksia ja lyhyitä tutkimuksia. Ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

SUMMARY

Publications of the Society of Forestry in Finland

THE FATIGUE IN FOREST WORK

ACTA FORESTALIA FENNICA. Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

SILVA FENNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

ISBN 951-651-034-5

Hämeenlinna 1977, Arvi A. Karisto Osakeyhtiön kirjapaino

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen ongelmakenttä perustuu 1950-luvulla Työtehoseurassa aloitettuihin metsänkorjuutöiden keventämismahdollisuuksia etsiviin tutkimuksiin. Työn tarkoituksena on ollut pyrkiä löytämään uusi elimistön kuormittumisen mittauskoe aikaisempien rinnalla käytettäväksi.

Tutkimus liittyy Pohjoismaiden neuvos-

LitL Esko Mälkiä
FL Stig Sundberg
LL Vesa Parvi
LuK Tua Äikäs
Metsätekn. Veikko Korpi
Työtekn. Raimo Leppänen
Metsätyöop. Antti Muuri

Professori Henrik Wallgren Helsingin Yliopistosta on kannustanut minua jatkuvasti työni edistyessä. Liikuntatieteiden lisen-siaatti Esko Mälkiä Kansaneläkelaitokselta on työni alulle panijana sekä työni alkuaikoina sen ohjaajana mahdollistanut tutkimuksen suorittamisen. Maatalous-metsätieteiden tohtori Kauko Hahtola Työtehoseurasta on opastanut minua monimuuttujanalyysien käytössä.

Koehenkilöinä on ollut Tehdaspuu Oy:n vakinaisia metsätyöntekijöitä, Rajamäen Metsätyönjohtajakoulun oppilaita sekä Helsingin Yliopiston opiskelijoita.

ton aloitteesta Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa suoritettaviin yhteispohjoismaisiin metsäteknologisiin kehittämistutkimuksiin, joiden koordinoiva elin on Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR).

Työ on koostunut useista laboratorio- ja kenttäkokeista vuosina 1972–76 ja vaatinut erikoisesti seuraavien henkilöiden tukea:

laboratorio- ja kenttäjärjestelyt
rasituskokeet ja kardiologia
lääkärintarkastukset
rasitus- ja verikokeet
kenttäjärjestelyt
kenttäjärjestelyt ja työn kuvaus
tuotsmittaukset ja työtaidon arvostelu

Mittauksissa on käytetty Työtehoseuran, Työterveyslaitoksen, Helsingin Yliopiston ja Jyväskylän Yliopiston laitteita. Tietojen käsittely on suoritettu Helsingin Yliopiston laskentakeskuksessa.

Käsikirjoituksen ovat tarkistaneet professori Henrik Wallgren ja dosentti Antti Soivio Helsingin Yliopistosta sekä maatalous-metsätieteiden tohtori Kauko Hahtola Työtehoseurasta.

Tutkimusta ovat tukeneet Valtion maatalous-metsätieteellinen toimikunta ja Työtehoseura r.y.

Esitän kaikille parhaat kiitokseni.

Helsinki, helmikuussa 1977

ERKKI WUOLIJOKI

SISÄLLYS

Sivu

1. Johdanto	5
2. Lihaksiston väsyminen	7
2.1 Lihaksen toiminta	7
2.2 Lihaksen tarveaineiden väheneminen	7
2.3 Kudoksen fysikokemiallinen muuttuminen	8
2.4 Entsymaattisten reaktioiden muuttuminen	9
2.5 Maitohapon kertyminen kudokseen	9
3. Maitohappo maksimiin vakioituksessa kuormittumisessa	14
3.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt	14
3.2 Tulokset ja tarkastelu	15
4. Maitohappo vakiokuormituksessa	16
4.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt	16
4.2 Tulokset ja tarkastelu, hypoteesin muodostus	16
5. Maitohappo vaihtelevissa olosuhteissa	18
5.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt	18
5.2 Tulokset ja tarkastelu	19
5.3 Monimuuttuja-analyysi, hypoteesin tarkistus	20
6. Johtopäätökset	25
Kirjallisuus — Literature	26
Summary	28
Liitteet — Appendices	29

Erkki Wuolijoki

Helsinki, helmikuussa 1977

1-40-120-120 NRSI

1. JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on etsiä uusia elimistön väsymistä ja kuormittamista ilmaisevia mittausten menetelmiä metsätieteeseen käyttöön.

Käsin ja moottorisahalla suoritettavaa puunkorjuuta pidetään eräänä raskaimmista maa- ja metsätaloudessa esiintyvistä töistä. Pahoina, työn muutenkin suurta kuormittavuutta lisäävinä seikkoina mainitaan usein melko vaikeat työskentelyolosuhteet ja pitkät työmatkat (HEIKINHEIMO ym. 1972, s. 83, 88), työntekijöiden fyysisiin edellytyksiin nähden liian painavat siirreltävät rungot (WUOLIJOKI 1974, s. 2), sekä usein vaikeat työasennot (LEVANTO ym. 1975, s. 57). Töiden luonne aiheuttaa myös tavallista suuremman energiankulutuksen (LEVANTO ym. 1975, s. 68).

Metsätöitä on pyritty helpottamaan muun muassa siirtymällä aikapalkkaukseen, kehittämällä aikaisempia parempia työ- ja suojavälineitä, sekä etsimällä hyviä työskentelymenetelmiä ja opettamalla niitä työntekijöille (LEVANTO ym. 1975). Metsätöitä koneellistettaessa on pyritty löytämään ratkaisuja käsin suoritettavien työvaiheiden vähentämiseksi esimerkiksi kasaamista helpottavalla liukupuomilla (MELKKO ym. 1975), mutta eräät koneellistamisratkaisut, kuten prosessorityyppiset monitoimikoneet, ovatkin lisänneet töiden yksipuolisuutta ja työntekijän altistumista moottorisahan melulle ja värinälle (HARSTELA ym. 1972).

Useiden koneellistamisratkaisujen etuna voidaan kuitenkin pitää sitä, että ne vähentävät raskoissa ja terveydelle vaarallisissa töissä tarvittavien työntekijöiden määrää.

Metsätöiden helpottamisratkaisuja etsittäessä voidaan työn kuormittavuutta mitata muun muassa työntekijöissä havaittavien kuormittumisilmiöiden avulla. Tällaisina ilmiöinä voidaan pitää eräitä fysiologisten, psykologisten tai sosiaalisten toimintojen muutoksia. Koska muun muassa fysiologisten toimintojen muutokset ilmentävät raskaan fyysisen työn kuormittavuutta, on ergonomisessa metsätieteessä yleensä pyydytty keskeisimpiä fysiologisia muu-

toksia koskevissa kuormittumistutkimuksissa.

Ihminen, kuten konekin, kuormittuu tehdessään työtä. Liiaasta (tai liian vähäisestä) kuormittumisesta seuraa väsyminen eli suorituskyvyn huonontuminen.

Tässä tutkimuksessa käsitetään työn kuormittavuus työntekijän psyykkisistä tai fyysisistä ominaisuuksista riippumattomaksi, teoriassa fysikaalisilla suureilla ilmaistavissa olevaksi työn ominaisuudeksi. Työn suorittajan suorituskyvyn ei siis katsota vaikuttavan työn kuormittavuuteen, vaan ainoastaan elimistön kuormittumiseen kyseisessä työssä. Tämä määritelmä poikkeaa HARSTELAN (1975, s. 19) käyttämästä määritelmästä, jonka mukaan työn kuormittavuuteen vaikuttavat työn ominaisuuksien lisäksi eräät työntekijän ominaisuudet.

Elimistö tarvitsee työskentelynsä muun muassa ravinto-aineita ja happea. Työskentelyn tehokkuuden lisääntyessä suurenevat myös hapen ja ravintoaineiden kulutusnopeus sekä kudokseen keräytyvien aineenvaihduntatuotteiden, mm. maitohapon, poistotarve.

Aikaisempia fyysisesti kevyempien työtapojen löytämiseksi on tehty runsaasti tutkimuksia, joissa työskentelyn tehokkuutta on mitattu hapen kulutusnopeutta osoittavilla keinoilla. Tavallisin niistä on ollut sydämen sykintätaajuus. Saadut tulokset on yleensä suhteutettu koehenkilöiden suorituskyykyä ilmaiseviin lukuihin, ja näin saadun tiedon avulla on pyritty ilmaisemaan tutkittujen koehenkilöiden kuormittumista suoritettussa työssä (mm. LEVANTO 1971, MÄLKIÄ 1973, VALONEN 1975).

Koska sykintätaajuuteen voivat vaikuttaa muutkin tekijät (mm. psyykkiset tekijät) kuin työskentelyssä tarvittavan hapen kulutus, ja koska sykintätaajuus suorituskykyyn suhteutettunakaan ei ilmaise henkilön väsymisen astetta, on tämän tutkimuksen aiheeksi haluttu valita lihaksiston väsymisen asteen mittaaminen veren maitohappopitoisuuden avulla.

Asetetun tehtävän suorittamiseksi tarkastellaan tässä esityksessä aluksi kirjallisuus-

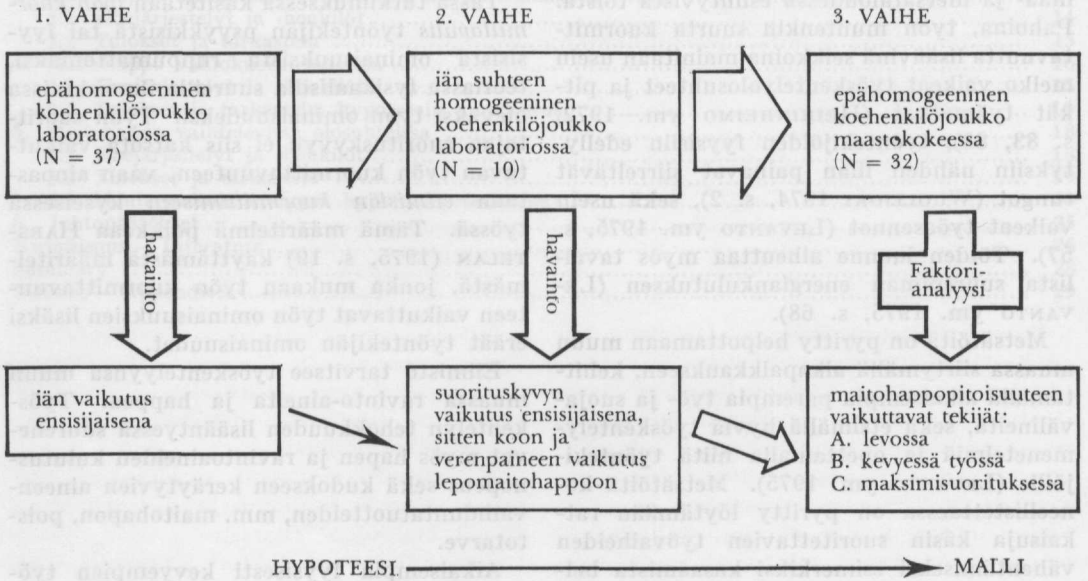
den pohjalta lihaksen toimintaa ja väsymistä mahdollisesti aiheuttavia tekijöitä. Erikoista huomiota kiinnitetään maitohapon aineenvaihduntaan ja sen osuuteen väsymisilmiössä.

Kokeellisessa osassa tarkastellaan metsä-

työntekijöille suoritettuja kuormitus- ja kenttäkokeita, sekä laaditaan malli veren maitohappopitoisuuteen metsätyössä vaikuttavista tekijöistä. Kokeellisen osan kulku pääpiirteittäin esitetään kuvassa 1.

Kuva 1. Tutkimuksen kulku

Figure 1. The progress of the study.



Metsätyössä suoritetuissa kuormitus- ja kenttäkokeissa on havaittu, että maitohappopitoisuus veressä nousee huomattavasti kuormituksen aikana. Tämä on erityisen selvää, kun kuormitus on jatkuvaa ja kestävä. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat maitohappopitoisuuden nousuun. Tässä tutkimuksessa on käytetty kolmea vaihtoehtoista koehenkilöjoukkoa: epähomogeeninen laboratoriossa, iän suhteen homogeeninen laboratoriossa ja epähomogeeninen maastokokeessa. Havainnot ovat osoittaneet, että iän vaikutus on ensisijainen, ja suorituskyvyn vaikutus on toiseksi tärkein. Lisäksi on havaittu, että koon ja verenpaineen vaikutus lepomaitohappoon on merkittävä. Faktori-analyysi on osoittanut, että maitohappopitoisuuteen vaikuttavat tekijät ovat levossa, kevyessä työssä ja maksimisuorituksessa.

HYPOTEESI → **MALLI**

2. LIHAKSISTON VÄSYMINEN

2.1 Lihaksen toiminta

Tavallinen liikuntalihas, nk. juovikas lihas, on koostunut supistumiskykyisistä syistä eli soluista. Nämä syyt ovat puolestaan muodostuneet säikeistä, joista voidaan edelleen erottaa suuria rihmamaisia lihassäikeen suuntaisia proteiinimolekyylejä. Tärkeimmät niistä ovat nimeltään joko myosiini- tai aktiinifilamentteja. Kun lihas supistuu, liukuvat aktiini- ja myosiinifilamentit toistensa lomiin lyhentäen lihassäiettä.

Supistumiseen tarvittavan energian lihas saa adenosiinifosfaatista eli ATP:stä. Sitä hajoitetaan erään myosiinifilamentin osan, H-meromyosiinin toimissa hajoitavana entsyyminä. Aktiinisäie imeytyy tällöin H-meromyosiinia kohti ja myosiini- ja aktiinifilamentit muuttuvat yhteisiksi aktomyosiinifilamenteiksi.

Jotta lihas voisi toimia pidemmän aikaa tarvitsee se siis jatkuvasti lisää ATP:tä, jota saadaan hajoitamalla glykogeenia palorypälehapoksi. Mikäli hapesta ei ole puutetta, muodostuu palorypälehaposta asetyylikoentsyymi-A:ta ja lisää ATP:tä, mutta jos elimistö kärsii hapen puutteesta, muuttuu palorypälehapo maitohapoksi ja sitä alkaa kertyä vereen hapenpuutteen jatkuessa.

Mikäli elimistö pystyy kuljettamaan lihaksille niiden tarvitsemää happea riittävästi, ei siis maitohappoa kerry lisääntyvässä määrin, vaan tietty tasapainotila säilyy. Jos lihaksisto sen sijaan joutuu työskentelemään niin voimakkaasti, että hapesta syntyy puutetta, joutuu se ATP:n muodostamiseksi turvautumaan maitohappotiehen. Juuri kudosten suurta maitohappopitoisuutta pidetään eräänä lihasväsymyksen tärkeimmistä oireista (ZOTTERMAN ym. 1948, s. 20).

Seuraavat neljä päätapahtumaa voivat aiheuttaa lihaksen väsymisen (SIMONSON ym. 1971, s. 5):

1. Lihaksen tarveaineiden väheneminen
2. Kudoksen fysikokemiallinen muuttuminen

3. Kudoksen entsymaattisten reaktioiden muuttuminen

4. Haitta-aineiden kertyminen kudokseen

Kutakin perustapahtumaa käsitellään seuraavissa luvuissa erikseen.

2.2 Lihaksen tarveaineiden väheneminen

Polttoaineet

Hengitys- ja sitruunahappokierto tuottavat lihaksiston tarvitsemää ATP:tä. Sitruunahappokierron lähtöaineet ovat peräin hiilihydraateista, rasvoista ja vähäisessä määrin valkuaisaineista.

ATP:tä voidaan syntetisoida mitokondrioiden oksidatiivisella fosforylaatiolla, adosiinidifosfaatista (ADP:stä) ATP:n ja adosiinimonofosfaatin (AMP:n) tuottamisella sekä anaerobisella glykolyysilla. Viimeisin tapa on nopein.

Mikäli lihas ei saa ATP:tä, ei se voi supistua, sillä kuten edellä on mainittu, ATP mahdollistaa myosiinin ja aktiinin yhteenliittymisen liittymällä itse myosiiniin.

Nopeassa hapen puutetta aiheuttavassa lihastoiminnassa käytetään energialähteinä ensisijaisesti kudoksessa jo olevaa tai kreatiinifosfaatin avulla ladattavaa ATP:tä, joten näiden aineiden varastojen vähyys saattaa olla suorituskykyä rajoittava tekijä. Sadan metrin juoksijoiden on todettu menettävän nopeuttaan yleensä noin 50–70 metrin juoksun jälkeen. Tämän on selitetty johtuvan juuri käytettävissä olevien ATP:n ja kreatiinifosfaattivarastojen tyhjentymisestä. Seuraava polttoaine pidempään jatkuvassa työssä on glykogeenivarasto, joka myöskin on rajallinen samoin kuin lihaksen kyky ottaa glykogeeniä verestä. Hiilihydraattivarastot sijaitsevat suurimmaksi osaksi luustolihaissa ja maksassa. Jatkuvassa lihastyössä (< 65 % maks. hapenottokyvystä) voidaan kuitenkin käyttää ainoastaan luustolihasen glykogeenivarastoja, ja niiden tyhjentymisen on myös todettu vähentävän koehenkilöiden suorituskykyä (KARSSON ym. 1975, s. 10).

Pitkäaikaisissa yhtäjaksoisissa ergometrikokeissa 122,6–155,3 W (750–950 kpm/min) kuormituksella on glykogeenipitoisuuden todettu pienenevän tasaisesti, kunnes se saavuttaa likimääräisen arvon 0,1 painoprosenttia. Voimien loppuessa on reisilihasten glykogeenipitoisuuden todettu olevan noin 0,05–0,1 painoprosentin luokkaa (HULTMAN ym. 1967, s. 56).

Lihasten energia-aineenvaihdunnassa on myös selitetty olevan työnjakoa nopeiden ja hitaiden lihassyiden välillä siten, että glykogeenin muodostamat hiilihydraattivarastot hajoaisivat nopeissa syissä tullakseen käytetyiksi hyväksi hitaissa syissä. Teorian mukaan maitohappoa muodostuisi nopeissa syissä nopeammin kuin hitaissa, ja se kulkeutuisi hitaisiin syihin poltettavaksi. Näin ATP:tä saataisiin niissäkin käytettäväksi vielä pitkäaikaisen rasituksen loppuvaiheisiin (KARLSSON ym. 1975, s. 12).

Rasvojen hajoamisen on todettu kompensoivan vasta pitempiä aikaista glykogeenin puutetta. Tällöin syntyy aiemmin mainittua asetyylikoentsyymi-A:ta, jota voidaan käyttää edelleen sitruunahappokierrossa. Rasvojen hajoaminen on kuitenkin hiilihydraattien hajoamista hitaampi prosessi eikä sitä voida käyttää energian välittömään tuotantoon. Lepäävien käden lihasten on kuitenkin todettu käyttävän energiantuotantonsa etupäässä rasvoja (ANDRES ym. 1956, s. 671).

CHRISTENSENIN ja HANSENIN mukaan väsymys monissa käytännön töissä voi kuitenkin johtua pikemminkin glykogeenin puutteesta keskushermostossa kuin lihaksistossa (CHRISTENSEN ja HANSEN 1936, s. 160).

Samaa lihasta vuorotellen sekä sähköllä että tahdonalaisesti ärsytettäessä on voimien vähentyminen tahdonalaisessa ponnistuksessa 40 prosenttiin vähentänyt sähköpennistusten voiman vain 60 prosenttiin. Tämän on todettu johtuvan kahdesta eri väsymystekijästä, joista toinen, sentraalinen, liittyy keskushermostoon (IKAI 1967, s. 197).

SIMONSONIN mukaan voimakkaan fyysisen työn aiheuttama väsymys paikallistuu suurelta osin keskushermostoon (sit. ÅSTRAND ym. 1970, s. 87), joten glykogeenivarastojen tyhjenemisestä aiheutuvaa lihaksen voiman heikkenemistä ei voida pitää pelkästään li-

haksen toimintakyvyssä tapahtuvien muutosten seurauksena.

Hormonit

Kehon hormonitasapainon häiriintyminen voi johtaa sairaustiloihin, jotka huonontavat työskentelykykyä tai poistavat sen kokonaan.

Lihaksen suorituskyky lisääntyy energia-aineenvaihdunnan vilkastuessa. ATP:stä muodostuva syklinen AMP aktivoi glykogeeniä hajoittavaa fosforylaasientsyymiä, joten vähäinen syklisen AMP:n määrä voi aiheuttaa glykogeenin voimakkaan hajoamisen.

Katekoliamiineilla on todettu olevan merkitystä väsymyksen tulon viivyttäjinä. Perusteina mainitaan yleisen sympaattisen vaikutuksen lisäksi niiden kyky laajentaa lihaksen sisäistä verisuonistoa ja näin helpottaa energia-aineenvaihduntaa. Adrenaliini-injektion on todettu lisäävän sammuroiden lihasten suorituskykyä jopa 30 % (INGLE ym. 1952, s. 487).

Lisämunuaisen kuoren glukokortikoidit lisäävät veren sokeripitoisuutta. Ylimääräisen kortikotropiiniannostuksen on todettu parantavan rottien suorituskykyä lähes 10 % (INGLE ym. 1952, s. 487).

Kasvuhormonin pitoisuuden veressä on todettu suurenevan submaksimaalisessa suorituksessa, mutta pienenevän maksimaalisessa suorituksessa. Hormoni pyrkii mobilisoimaan glykogeenivarastoja, mikä selittää sen pitoisuuden suurenemista rasitustilanteissa. On epäilty, että aivot eivät tuotaisi rasitustilanteen loppuvaiheessa riittävästi kasvuhormonia vapauttavaa hormonia, mikä seikka saattaisi olla eräs suorituskyvyn ylärajan määräävä tekijä (HYVÄRINEN ym. 1975, s. 25).

Veren insuliinipitoisuuden ei ole todettu laskevan terveillä henkilöillä rasittavan työn aikana, mutta sydänpotilailla kyllä (NIKKILÄ ym. 1968, s. 209).

2.3 Kudoksen fysikokemiallinen muuttuminen

Kemialliset muutokset

Kertyvä maitohappo lisää kudosten happamuutta. Väsymysalttiutta voidaan ko-

keellisesti vähentää lievällä alkaloosilla (BERG 1947, s. 597). Toisaalta maitohappo helpottaa elimistöä sopeutumaan kuormitus-tilanteeseen, sillä maitohappoa puskuroitaessa muodostuu vereen hengityskeskusta stimuloivaa hiilidioksidia.

Lihaksen toiminta edellyttää oikeata elektrolyyttitasapainoa ja Mg^{++} - ja Ca^{++} -ionien läsnäoloa. Aktomyosiinifilamenttien purkautuminen ja lihaksen relaksaatio edellyttävät Mg^{++} -ionien läsnäoloa, mutta vapaan Ca^{++} -ionin puuttumista. Aktomyosiinin muodostamiseksi sen sijaan tarvitaan vapaata Ca^{++} -ionia, mutta ei ilmeisesti Mg^{++} ionia (ÅSTRAND ym. 1970, s. 31).

Kissojen, rottien ja ihmisten lihaksilla suoritetuissa kuormituskokeissa on saatu ristiriitaisia tuloksia lihaskudoksen elektrolyyttitasapainon muutoksista kuormituksen aikana (FENN ym. 1937, s. 595, MILLER ym. 1941, s. 801, AHLBORG ym. 1967, s. 129).

Natriumin, kaliumin, fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksien muutoksilla ei ole havaittu yhdenmukaista korrelaatiota suoritettujen työn määrään.

Solunsisäisen kaliumin pitoisuuden on todettu pienenevän lihastyön aikana. Aldosteronin ja pitressiinin pitkäaikaisella annostuksella on aikaansaatu vastaavia kaliumin pitoisuuden muutoksia lihasten suorituskyvyn heiketessä samanaikaisesti (FRIEDMAN ym. 1963 A, s. 44 ja B, s. 65). Kun lisäksi sekä solun sisäisen että ulkoisen natriumin pitoisuuden on todettu pienenevän lihastyön aikana, on SIMONSON (1975 s. 75) arvellut solukalvon potentiaalın pienemisen olevan eräs suorituskykyä alentavista tekijöistä.

Eräiden myosiinien määrän on myös todettu vähenevän väsyttävän työn aikana (DUBUISSON ym. 1945, s. 426).

Histologiset muutokset

Pitkäaikaisessa juoksussa (16 h) on rottien luustolihasiin, maksaan ja munuaisten epiteeliin todettu kertyvän pieniä rasvapisaroita, minkä arvellaan johtuvan lisääntyneestä rasvan käytöstä polttoaineena hiilhydraattivarastojen tyhjennettyä (ALTLAND ym. 1961, s. 393).

Kudoksesta on löydetty myös nekroottisia pieniä tulehduspesäkkeitä, joiden ympärillä todettu tapahtuvan monentyyppistä lihas-

solujen epäsäännöllistymistä, solunjakautumista ja mitokondrioiden turpoamista (HIGHMAN ym. 1963, s. 162, GOLLNICK ym. 1969, s. 1502).

2.4 Entsymaattisten reaktioiden muuttuminen

Välittömästi energiaa tuottavien reaktioiden estyminen voisi teoriassa tapahtua kahdella eri tavalla. Ensimmäinen mahdollisuus olisi aktomyosiini-ATP:n muodostamiseen tarvittavan Ca^{++} -ionin toiminnan estyminen jostakin syystä. Toinen mahdollisuus olisi kreatiinifosfaatin toiminnan estyminen. Tämä voisi ehkä tapahtua aktiivisen kreatiinifosfotransferaasin pitoisuuden vähentämisellä niin, että supistuksiin tarvittavan ATP:n määrä jäisi liian pieneksi (CAIN ym. 1962, s. 214).

Runsasenergiesten yhdisteiden riittämättömyys voisi DANFORTHIN mukaan johtua a) maksimaalisesta, mutta kuitenkin riittämättömästä fosforylaasin aktiivisuudesta b) fosforylaasin aktiviteetin allosterisesta inhibitiosta tai c) fosfofruktokinaasin aktiviteetin vähenemisestä. Fosforylaasin aktiviteetin on todettu lisääntyvän lihassupistusten aikana (DANFORTH ym. 1964, s. 3133), kun sen sijaan fosfofruktokinaasin aktiivisuuden on todettu vähenevän maitohapon aiheuttaman happamuuden lisääntymisen seurauksena (HOFER ym. 1968, s. 349).

Maitohappoa hajoittavan laktaattidehydrogenaasi-entsyymin (LDH:n) aktiivisuuden on todettu lisääntyvän voimakkaasti lihastyön aikana. Ei kuitenkaan tiedetä, johtuuko lisäys todellisesta aktiivisen proteiinin määrän lisääntymisestä vaiko jostakin muutoksesta proteiinin koentsyymissä. Muutoksen arvellaan johtuvan kudoksen happamuuden lisääntymisestä (KARLSSON 1971, s. 11).

2.5 Maitohapon kertyminen kudokseen

HILL, LONG ja LUPTON ovat antaneet ensimmäisinä yksityiskohtaiset tiedot maitohaposta juovikkaan lihaksen väsymisen aiheuttajana. Heidän nyt jo vanhentuneen teoriansa mukaan maitohapon pitoisuus olisi väsymykseen johtaneen ponnistelun jälkeen

lihaskudoksessa sama kuin vastaavassa eristetyssä ja sähköllä väsytyssä lihaspreparaatissa (HILL ym. 1924, s. 438).

Sammakon gastrocnemius-lihaspreparaateilla suoritetuissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että vakiovoimalla kuormitetun lihaksen maitohappopitoisuus on loppuun väsyttäessä alhaisempi kuin vaihtelevalla kuormalla väsytyksen (RIESSER ym. 1929, s. 717). Suuri maitohappopitoisuus ei siis voi olla ainoa ja ehdoton väsymisen syy, vaikka se on selvä väsymisen oire.

Seuraavassa tarkastellaan yksityiskohtaisesti maitohapon muodostumista elimistössä ja sen kertymistä lihaksistoon ja vereen.

Maitohapon biosynteesi

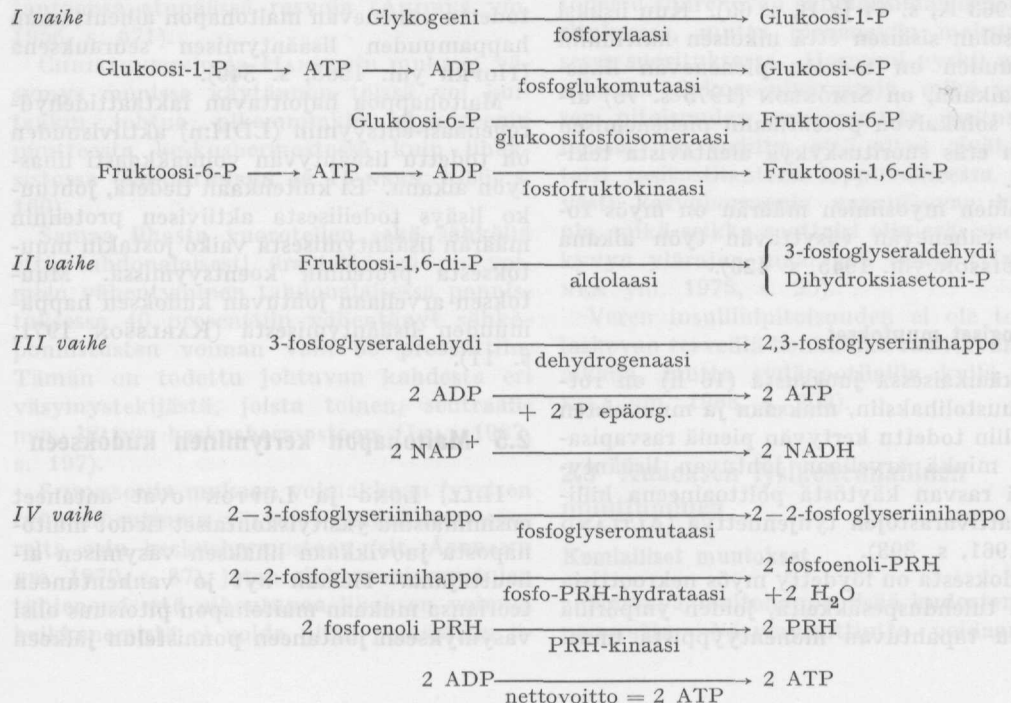
Kuten aiemmin on tullut ilmi, saa lihas toimintaansa tarvittavan energian ATP:n hajoamisesta adenosiinifosfaattiksi (ADP:ksi) ja epäorgaaniseksi fosforihapoksi.

ADP ladataan uudelleen ATP:ksi liittämällä siihen fosforihappoa, mihin tarvittava energia saadaan kreatiinifosfaatin hajotessa kreatiiniksi ja fosforihapoksi. Trikarboksyylihappokierrossa tapahtuva substraattitason oksidatiivinen fosforylaatio tuottaa ATP-molekyyliä, jotka luovuttavat sidotun energiansa kreatiinifosfaatin muodostamiseen tai

suoraan lihaksen toimintaan niin tarvittaessa. Trikarboksyylihappokierron «lähtöaineet» tai energiaa tuottavat aineet ovat puolestaan ensisijaisesti glykolyysissä syntyvä palorypälehapo (PRH) ja rasvahappojen hajoamisesta syntyvä asetyylikoentsyymi-A.

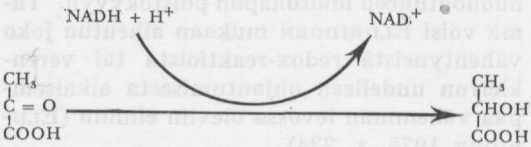
Koska sekä trikarboksyylihappokierto että asetyylikoentsyymi-A:n muodostuminen vaativat runsaasti happea ja ovat verraten hitaita glykogenolyysiin verrattuna, on glykokeenin hajoaminen PRH:ksi lihakselle edullisin energiansaantitie huippukuormituksessa. Glukoosin hajoaminen poikkeaa glykokeenin hajoamisesta ainoastaan siten, että glukoosista muodostuu glukoosi-6-fosfaatti (glukoosi-6-P) suoraan, kun sen sijaan glykokeenistä muodostuu ensin glukoosi-1-fosfaatti (glukoosi-1-P). Kyseistä reaktiota katalysoi fosforylaasi-entsyymi. Glukoosi-1-P:n muuttumista glukoosi-6-P:ksi katalysoi fosfoglukomutaasi-entsyymi, jonka aktivointiin tarvitaan ATP:tä. ATP:n kulutus tähän reaktioon on kuitenkin pienempi kuin ATP:n kulutus fosforylaasin aktivointiin (MAHLER ym. 1969, s. 419).

Glykokeenin hajoaminen palorypälehapoksi tapahtuu neljässä eri vaiheessa seuraavasti (MAHLER ym. 1969, s. 420, WILSON 1972, s. 109):



Sarjan lopputuotteina ovat palorypäle-happo ja/tai maitohappo. Muodostuvan PRH:n pitoisuus veressä heijastuu suoraan maitohapon pitoisuuteen. Kyseisten aineiden pitoisuuksien välinen suhde vaihtelee ja riippuu puolestaan mm. saatavissa olevan hapen määrästä ja happo-emäs-tasapainosta.

Glukoosi-6-fosfaattimolekyylin hajoaminen glykogenolysissä kahdeksi PRH-molekyyliksi tuottaa kaksi ATP-molekyylia ja voi jatkaa vain niin kauan kuin nikotiiniamididinukleotidia (1, NAD⁺:aa) riittää reaktiosarjan kolmanteen vaiheeseen. Koska NAD⁺:aa on kudoksissa sellaisenaan vähän, tarvitaan jokin mekanismi muuttamaan NADH takaisin NAD⁺:ksi. Jos glykolyysi tapahtuu hapellisissa olosuhteissa, kaksi NADH-molekyylia siirtävät vetyatominsa hapelle elektroninsiirtoketjulla. Tällöin vapautuu kuusi ATP-molekyylia lisää. ATP:n kokonaistuotto yhdestä glukoosimolekyylistä on silloin kahdeksan molekyylia. Anaerobisissa olosuhteissa on NADH:n muuttaminen NAD⁺:ksi mahdotonta. Tällöin NADH reagoi PRH:n kanssa ja muodostaa maitohappoa (MH) seuraavan kaavan mukaisesti:



Kyseinen reaktio on ketonin muuttuminen alkoholiksi. Se ei vaadi suurta energiaa eikä kuluta ATP:tä, joten lihaksen anaerobisessa työssä kokonaistuotto yhdestä glukoosimolekyylistä on vain kaksi ATP- ja MH-molekyylia (HOFFMAN 1959, s. 237, WILSON 1972, s. 111).

Maitohapon kertyminen vereen

Maitohapon muodostumiseen vaikuttaa lähinnä lihasten tekemän työn suhde lihasten saaman hapen määrään. Voimakkaassa uupumukseen johtavassa työssä veriplasman MH-pitoisuus voi kohota jopa 20-kertaiseksi lepoarvosta. Suurimmat pitoisuudet on saavutettu muutamassa minuutissa täydelliseen väsymykseen johtaneessa työssä, sillä elimistö ei pysty mukautumaan näin nopeasti lisääntyneeseen hapen tarpeeseen. Mikäli

lihastyö on vähemmän kuormittavaa ja jatkuu kauemmin, ehtii elimistö mukautua tilanteeseen lähinnä tehostamalla verenkiertoa ja hengitystä. Tällöin veren MH-pitoisuus lisääntyy alussa, mutta alkaa vähitellen vähentyä elimistön sopeutuessa kuormitustilanteeseen (ÅSTRAND ym. 1963, s. 619, LANGE-ANDERSEN 1969, s. 49).

Maitohappoa on todettu muodostuvan myös muualla elimistössä. Veren punasolut muodostavat sitä glykolyttisesti erikoisesti alkaloosin aikana ja veren kulkiessa keuhkojen läpi. Veren tuottama maitohappomäärä on kuitenkin vähäinen eikä häiritse tutkimuksia merkittävästi, sillä veren maitohappopitoisuus heijastuu suoraan lihakseen ja päinvastoin.

Maitohapon tuottoa elimistössä voidaan lisätä useilla elimistöön ruiskutetuilla aineilla. Selvin vaikutus on tietenkin hiilihydraattimetabolialla kiihdyttävillä aineilla.

Maitohapon kertymistä ehkäisee sen poistuminen viittä eri tietä:

1. Maksa muuttaa MH:ta glykogeeniksi
2. Lihakset käyttävät MH:ta energianlähteenään
3. MH muuttuu lihaksessa PRH:ksi
4. MH:ta poistuu hien mukana
5. MH:ta poistuu virtsan mukana

1

Maitohappo muuttuu nk. Corin kierrossa glykogeeniksi ja tarvittaessa takaisin maitohapoksi. Noin puolet näin varastoidusta ja palautetusta maitohaposta käsitellään maksassa. Mikäli happea ei ole riittävästi saatavilla, hidastuu Corin kierto. Keskimääräinen MH:n hyväksikäytön nopeus on noin 0.8 prosenttia koko MH:n määrästä veressä minuutissa. Tällöin maitohapon määrä vähenee noin 46 % tunnissa (ROWELL ym. 1966, s. 1773).

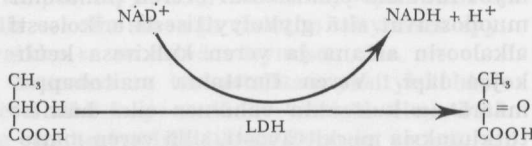
2

Aiemmin mainittujen hitaiden lihassyiden lisäksi on sydämen havaittu käyttävän maitohappoa energianlähteenään. Normaaleissakin olosuhteissa, kun happea on runsaasti saatavilla, on MH:n pitoisuus sydänlihaksessa suuri. Koiran irroitettua sydämen on todettu käyttävän in vitro-olosuhteissa noin 70 mg glukoosia ja 200 mg maitohappoa sataa sydämen painogrammaa kohti tunnissa. Kun lihaksen työmäärä lisääntyy, suurenee myös sen sekä glukoosin että maitohapon kulutus. Jos toisen saanti huononee, lisääntyy toisen kulutus vastaavasti. Lihaksen saama maitohappo tuotetaan etupäässä veren punasoluissa.

Tämä prosessi lisääntyy huomattavasti alkaloosin aikana veren kulkiessa keuhkojen läpi sydämeen. Lihaksiston tuottama maitohappo on kuitenkin myös tärkeä sydämen polttoaine erikoisesti kuormituksen aikana (ASHKAI 1968, s. 22).

3

Maitohappo muuttuu palorypälehapoksi seuraavasti:



Kuten aiemmin on mainittu (s. 9), kohoaa LDH:n aktiviteetti elimistössä ponnistelun aikana. Kyseiseen seikkaan voi maitohappopitoisuuden lisäksi vaikuttaa happo-emästasapaino. Maitohapon ja palorypälehapon välisiä suhteita tutkittaessa on niiden pitoisuuksien havaittu selvästi heijastuvan toisiinsa (TEPPERMAN ym. 1948, s. 176).

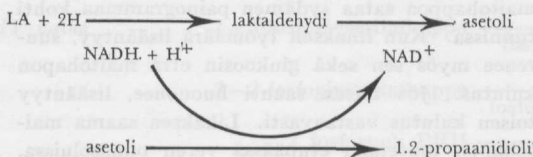
4

Hien on myös todettu sisältävän runsaasti maitohappoa. Veriplasman MH-pitoisuuden ei ole kuitenkaan todettu heijastuvan hien MH-pitoisuuteen. Hien kautta poistuvan maitohapon määrää voidaan pitää vähäisenä verrattuna hapetusreaktioiden kautta poistuvan maitohapon määrään (GISOLFI ym. 1966, s. 1967).

5

Munuaisen ei ole todettu aktiivisesti poistavan maitohappoa. GISOLFIN (1966) mukaan MH:n poistuminen virtsan mukana ei nopeudu merkittävästi lihastyön aikana. HOFFMANIN (1958, s. 237) mukaan maitohappoa voitaisiin jopa ottaa aktiivisesti takaisin munuaisputkista.

SHALL ja MILLER ovat todenneet, että mikäli PRH:n käyttö energianlähteenä on estetty fluoridilla, voidaan MH:ta käyttää muuttamatta sitä ensin PRH:ksi. Tällöin maitohappo pelkistyy ensin laktaldehydiksi ja edelleen 1,2-propanidioliiksi:



Kyseinen reaktiosarja on todettu rotan ja hiiren maksasta ja munuaisesta (SHALL ym. 1960).

Elimistön maksimaalinen hapenottokyky huononee iän mukana. Myöskin sekä maksimaalisen happivelan että maitohappopitoisuuden on todettu vähenevän koehenkilöiden vanhetessa. Eräällä koehenkilöjoukolla on maksimaalisen hapenottokyvyn todettu vähentyneen 2,98 l/minuutista 21 vuoden iästä 2,5 l/minuutissa 42 vuoden iässä. Maksimaalinen veren MH-pitoisuus oli vastavasti vähentynyt 110 mg/100 ml:sta 36 mg/100 ml:aan (ROBINSON 1938, s. 251, DILL 1963, s. 737). Suurimmat veren maitohappopitoisuudet voidaan saavuttaa 8–10 vuoden iässä (SIMONSON 1971, s. 19).

Veri ei ehkä anna oikeata kuvaa toimivan lihaksen maitohappopitoisuudesta. KARLSSON arvelee maitohappoa poistettavan lihaksistosta aktiivisella kuljetusmekanismilla. Hänen mukaansa tämä seikka aiheuttaa kohonneen MH-pitoisuuden vielä työn jälkeenkin (KARLSSON 1971, s. 11).

Veren maitohappopitoisuuden suurenemiseen raskaassa työssä on arveltu vaikuttavan lisääntyneen muodostuksen lisäksi myöskin huonontuneen maitohapon poistokyvyn. Tämä voisi ELDRIDGEN mukaan aiheutua joko vähentyneistä redox-reaktioista tai verenkierron uudelleen ohjautumisesta aikaisempaa vähemmän levossa oleviin elimiin (ELDRIDGE 1975, s. 234).

Maitohappopitoisuuden pienenemisen on ergometrikokeen jälkeen todettu olevan nopeimmillaan, kun koehenkilöt työskentelevät edelleen noin 30 prosentin teholla maksimaalisesta hapenottokyvystään. Tällöin verenkierto toimii huomattavasti tehokkaammin kuin levossa, mutta maitohapon muodostus on kuitenkin vähäistä (BELCASTRO ym. 1975, s. 993).

Maitohapon farmakologiset vaikutukset

Ainoastaan l-maitohappo on biologisesti aktiivinen. Verenkiertoon laskimoteitse ruiskutetun maitohapon on todettu vaikuttavan elimistöön mm. lisäämällä hapen kulutusta ja hiilidioksidin poistumista.

BERTRAM työtovereineen on ruiskuttanut koiraan l-maitohappoa niin paljon, että sen olisi pitänyt lisätä todellista ruumiinnesteiden MH-pitoisuutta noin 10 m Eq/l:lla. Itse

asiassa veren MH-pitoisuus lisääntyi 1,2 m Eq/l:sta 19 m Eq/l:aan heti ruiskutuksen jälkeen. Kyseinen arvo vastaa todella väsyttävää ja nopeasti uupumukseen johtavaa lihastyötä. Kulutetun hapen määrä oli kuitenkin lisääntynyt vain 20–25 % ensimmäisten 10–20 minuutin aikana. Todellisissa olosuhteissa ponnistelun tuottaessa yhtä suuren maitohappopitoisuuden kulutetun hapen määrä lisääntyisi lähes 1000 %. Nyt hapen kulutus palasi alkuperäiselle tasolle MH-pitoisuuden veressä ollessa vielä suuri. Tästä päätellen hapen kulutuksen lisääntyminen ei ole suoraan verrannollinen MH:n pitoisuuteen veressä. Raseemisen maitohapon ruiskutus vähentää hapen kulutusta edelleen. Tietyn hapenpuutetason yläpuolella on kuitenkin lineaarinen suhde sen ja liika-MH-pitoisuuden välillä. Siksi elimistön kyky sietää hapenpuutetta on kytketty suuren MH-pitoisuuden sietoon (BERTRAM ym. 1967, s. 190).

Maitohappo korvaa hiilidioksidia HCO_3^- :sta ja muodostaa suoloja. Tämä johtaa lisääntyneeseen hiilidioksidin poistoon hengitysteitse ja alkaalireservien vähenemiseen. Maitohappo pienentää toisaalta myös veren

pH:ta ja näin stimuloi hengityskeskusta aiheuttaen keuhkotuuletuksen lisääntymisen. Tämä lisää edelleen hiilidioksidin poistumista elimistöstä. PERNOW on mitannut 19 miehen reisilaskimon veren pH:n laskeneen keskimäärin 7,09:ään täydellisessä uupumuksessa polkupyöraergometrillä. Veren happamuuden ja maitohappopitoisuuden lisääntymisen välinen suhde oli lineaarinen (PERNOW ym. 1965, s. 289).

Kaikki nämä seikat lisäävät hiilidioksidin poistumista enemmän kuin hapen ottoa, ja näin voi hengitysosamäärä suurentua jopa lähelle kahta. Toisinaan liika maitohappo voi kuormituksen alussa aiheuttaa hengenahdistusta, joka kuitenkin katoaa melko nopeasti, kun elimistö ehtii mukautua lihasten työskentelyyn.

Bowmanin mukaan adrenaliinin verisuonia laajentava vaikutus johtuisi maitohapon sileätä lihasta veltostavasta vaikutuksesta. Tämä myös selittäisi sen, että katekoliamiinit suoneen ruiskutettuina aiheuttavat kaksi peräkkäistä vasodilataatiota noin minuutin välein. Jälkimmäinen johtuisi syntyvän maitohapon vaikutuksista (BOWMAN ym. 1970, s. 744).

3. MAITOHAPPO MAKSIMIIN VAKIOIDUSSA KUORMITTUMISESSA

3.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt

Kokeella haluttiin selvittää veren maitohappopitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä, kun kaikkien koehenkilöiden kuormittuminen oli yhtä suurta, tässä tapauksessa maksimaalista. Kokeen (polkupyöräergometrin) kuormittavuutta jouduttiin siis vaihtelemaan, jotta väsyminen eri koehenkilöillä saavutettiin suunnilleen yhtä nopeasti. Erikoiden kiinnostuksen kohteena olivat iän, suorituskyvyn, sydämen lyöntinopeuden ja veren maitohappopitoisuuden väliset suhteet.

Kokeeseen valittiin 37 koehenkilöä iän ja suorituskyvyn suhteen sattumanvaraisesti. Kyseisten vakituisten hakuumiesten keski-ikäsi muodostui 37 ± 10 vuotta ja he olivat kotoisin joko Pieksämäen, Haukivuoren tai Kangasniemen kunnista.

Ennen kuormituskoea suoritettiin koehenkilöille lääkärintarkastus ja joukko laboratoriotestejä, joissa hankittiin seuraavat taustatiedot:

- ikä, v
- sydämen sykintätaajuus levossa, krt/min
- veren Hb- ja MH-pitoisuudet levossa, mg/100 ml
- systolinen verenpaine levossa, mm Hg
- diastolinen verenpaine levossa, mm Hg
- paino, kg
- pituus, cm
- metsätyövuodet, v
- ponnistushyppykoe (kuvaus MÄLKIÄ 1975, s. 60), cm
- vatsalihastesti (kuvaus MÄLKIÄ 1975, s. 60), krt/30 s
- käsien puristusvoimat (kuvaus MÄLKIÄ 1975, s. 60), kp.

Kuormituskoe pyrittiin toteuttamaan niin, että koehenkilöiden voimat loppuivat 16 minuutin polkemisen jälkeen, sillä kauemmin poljettaessa olisi elimistö alkanut sopeutua yhä paremmin kuormitustilanteeseen ja maitohappopitoisuus olisi saattanut laskea (vrt. kappale 2,5, s. 00). Sydämen toimintaa ja sykintätaajuutta tarkkailtiin EKG-käyrän avulla käyttäen kytkentänä yksinkerlaista bipolaarista rintakytkentää. Testi

pyrittiin suorittamaan standardiooloissa (LANGE-ANDERSEN ym. 1971) lisäten ergometrin kuormittavuutta neljän minuutin välein kolme kertaa $24,5 - 49,0$ W ($150 - 300$ kpm/min). Kerrallaan polkijan sykkeen ja työn fyysisen kuormittavuuden kokemisen perusteella. Koe pyrittiin lopettamaan noin 16 minuutin kulluttua koehenkilön ilmoittaessa ei enää jaksavansa, tai sykkeen kohotessa yli 190 krt/min. Kokeen loputtua otettiin kapillaariverikoe sormenpästä.

Verinäyte otettiin tarkalleen viiden minuutin kulluttua koehenkilön lopetettua työn ja istuuduttua tuolille, sillä kirjallisuuden perusteella (LANGE-ANDERSEN ym. 1960, s. 231) on veren maitohappopitoisuus tällöin korkeimmillaan aineen pitoisuuden tasaannuttua lihasten ja veren välillä.

Maitohapon analysointi suoritettiin spektrometrisesti NADH:n aiheuttamalla absorbanssin lisäyksellä Boehring-Mannheimin vakiomenetelmällä. Maitohappo muutettiin palorypälehapoksi lisäämällä näytteeseen LDH:ta ja NAD^+ :aa. Syntynyt palorypälehapo sidottiin hydratsiinilla, joten kaikki maitohappo voitiin muuttaa palorypälehapoksi.

Menetelmä edellytti kuitenkin käytettäväksi $0,5$ ml laskimoverta, joka määrä käytännöllisyyssyistä kuitenkin korvattiin $0,1$ ml:lla kapillaarivertä. Kyseinen ainemäärä oli vieläkin liian suuri saatavaksi yhdestä haavasta, joten verilansetilla jouduttiin lyömään sormenpäähän 2–4 haavaa vierekkäin.

Saaduista verinäytteistä saostettiin proteiinit välittömästi, jotta punasolut eivät olisi muodostaneet lisää maitohappoa, ja putket siirrettiin jääkaappiin 1–9 tunniksi osottamaan analysointia. Suoritetuissa esikokeissa todettiin maitohappopitoisuuden pienentyneen neljän vuorokauden jääkaappisäilytyksen aikana noin $9,9$ mg/100 ml:sta noin $9,1$ mg/100 ml:aan, mitä muutosta tarkkuusvaatimukseen verrattuna voidaan pitää melko vähäisenä.

Koehenkilöiden fyysinen suorituskyky las-PWC (physical working capacity)-indeksillä sydämen sykkien ja polkemisen tehon väli-

sen suhteen avulla ÅSTRANDIN kuvaamalla menetelmällä (PWC_s), sekä polkijan tekemän työn kuormittavuuden kokemisen ja polkemisen tehon välisen suhteen avulla MÄLKIÄN kuvaamalla menetelmällä (PWC_k), (ÅSTRAND ym. 1954, ss. 218–221, MÄLKIÄ 1974, s. 18).

Tämän, kuten tutkimuksen muidenkin koekiden muuttujien havaintoarvoista laskettiin korrelaatiokertoimet ja sen jälkeen suoritettiin korrelaatiomatriisista lähtevä faktorianalyysi, mikä menetelmä selostetaan myöhemmin (kappale 5,1 s 18) kenttäkoekiden tarkastelun yhteydessä.

3.2 Tulokset ja tarkastelu

Koehenkilöiden veren keskimääräinen maitohappopitoisuus oli levossa $12,0 \pm 6,2$ mg/100 ml ja kuormituskokeen jälkeen $53,4 \pm 18,3$ mg/100 ml. Keskimääräinen leposyöntä oli 61 krt/min ja maksimisyntä vastaavasti 153 krt/min.

Veren maksimimaitohappopitoisuus korreloi merkitsevästi maksimisykkeeseen (.61), vatsalihastestiin (.54), ikään (-.50), metsätyövuosiin (-.50) ja ponnistushyppykoekeseen (.48). Lepomaitohappopitoisuus ei korreloinut merkitsevästi $r = .349$ minäkään mitatun muuttujan kanssa. Muuttujaluettelo on esitetty sivulla 20 (muuttujat 2–18) ja korrelaatiomatriisi liitteessä 1.

Viisi koehenkilöä jouduttiin karsimaan moottorisahan käytön aiheuttaman tärinästä johtuneen käsien huonontuneen verenkierron vuoksi. Kyseisiltä henkilöiltä ei saatu riittävää verinäytettä useista yrityksistä huolimatta. Kaikkia koehenkilöitä ei onnistuttu väsyttämään loppuun juuri 16 minuutin polkemisen jälkeen, vaan jotkut väsyivät hieman aikaisemmin, jotkut myöhemmin. Keskimääräinen polkemisaika oli 18 ± 4 mi-

nuuttia. Saavutettu maitohappopitoisuus ei kuitenkaan korreloinut selvästi polkemisaajan kanssa (-.13).

Kirjallisuuteen perustuneiden ennako-odotusten mukaisesti maitohappopitoisuus lisääntyi siis huomattavasti kuormituskokeen aikana. Vaikka kuormituskoe kaikilla koehenkilöillä oli vakio (maksimaalinen), vaihteli veren maitohappopitoisuus huomattavasti korreloiden lähinnä maksimisykkeeseen ja iän sekä eräiden lihasten työkykyä mittavien testien kanssa. Kun iän ja maksimisykkeeseen (-.82), iän ja metsätyövuosien (.89), iän ja vatsalihastestin (-.68) ja iän ja ponnistushyppykokeen (-.61) väliset korrelaatiot ovat voimakkaita, voidaan edellä mainitut muuttujat ryhmitellä samaan ryhmään, jolle tässä annetaan nimi »ikäryhmän muuttujat». Koehenkilöiden fyysisen suorituskyyky ei korreloinut merkitsevästi lepoeikä maksimimaitohappopitoisuuden kanssa, mutta korreloi merkitsevästi iän kanssa (PWC_s = -.57, PWC_k = -.49). Fyysisen suorituskyyky korreloi selvästi ikää vähäisemmin (.20–.50) ikäryhmän muuttujiin.

Elimistön kuormittumisen ollessa maksimisaan (vakioitu), vaikuttivat veren maitohappopitoisuuteen tässä kokeessa lähinnä koehenkilöiden ikä ja erät lähinnä koehenkilöiden iän kanssa korreloivat muuttujat.

Jotta voitiin tarkastella mahdollisuuksia elimistön kuormittuneisuuden asteen mittaamiseen maitohappopitoisuuden avulla, päätettiin koesarjaa jatkaa kuormituskokeella, jossa lähes saman ikäisiä koehenkilöitä kuormitettiin samalla submaksimaalisella kuormalla polkemisaajan ollessa myöskin vakio. Hyväkuntoisten voitiin tällöin ajatella kuormittuvan vähemmän kuin huonokuntoisten, joten hyväkuntoisten veren maitohappopitoisuudenkin voitiin kuvitella lisääntyvän vähemmän kuin huonompikuntoisten.

4. MAITOHAPPO VAKIOKUORMITUKSESSA

4.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt

Edellisessä kokeessa selvitettiin maitohappopitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä elimistön fyysisen kuormittumisen ollessa vakiona. Tässä kokeessa pyritään vakioimaan tärkeimmät edellisessä kokeessa löydetyt tekijät (ikäryhmän muuttujat, ikä), jotta maitohappopitoisuudella voitaisiin mitata suorituskyvystä riippuvaa elimistön kuormittamista työn (ergometrin) kuormittavuuden ollessa myös vakiona (vrt. määritelmät, kapale 1 s. 5).

Taustamuuttujina edellisessä kokeessa käytettiin elimistön eri ominaisuuksia kuvaavia laboratoriossa mitattuja muuttujia. Tässä kokeessa käytetään taustamuuttujina ikäryhmän muuttujien lisäksi erilaisia suorituskykyä ilmaisevia testejä.

Edellisen kokeen epähomogeenisen koehenkilöjoukon asemasta käytettiin tässä kokeessa koehenkilöinä kymmentä urheilusta kiinnostunutta, hyväkuntoista metsätyönjohtajakoulun oppilasta, joiden ikä oli keskimäärin 25 ± 3 vuotta. Laboratoriokokeen olosuhteet vastasivat edellisen kokeen olosuhteita. Polkupyöräergometrin kuormittavuutena käytettiin 147,2 W (900 kpm/min), mikä tulotarkastuksen yhteydessä oli todettu kaikille koehenkilöille verraten helposti lyhytaikaisesti suoritettavaksi työksi. Jokainen koehenkilö polki kuusi minuuttia, minkä jälkeen istuttiin paikallaan viisi minuuttia ennen verinäytteen ottoa.

Koehenkilöistä kerätyt tiedot olivat seuraavat:

- ikä, v
- pituus, cm
- ihopoimuun paksuus, cm
- rinnanympäryys, cm
- Cooperin testi, m
- 60 metrin juoksu, s
- ponnistushyppykoe, cm
- vatsalihastesti, krt/30 s
- systolinen verenpaine levossa, mm Hg
- diastolinen verenpaine levossa, mm Hg
- rasiuskokeen palautumissyke, krt/min
- » kuormittavuuden kokeminen
- » loppusyke, krt/min

- 1400 metrin maastajuoksu, min
- paino, kg
- veren maitohappopitoisuus levossa, mg/100 ml
- veren maitohappopitoisuus rasiuksessa, mg/100 ml
- maksimaalinen hapenottookyky, l/min/kg

Sydämen toimintaa tarkkailtiin biotelemetrisesti WUOLIJOEEN kuvaamalla menetelmällä (WUOLIJOKI 1974, b, s. 3). Maitohappopitoisuudet mitattiin edellisessä kokeessa selostetulla menetelmällä.

4.2 Tulokset ja tarkastelu

Koehenkilöiden veren keskimääräinen maitohappopitoisuus levossa oli $16,3 \pm 3,2$ mg/100 ml ja kuormituskokeen jälkeen $34,8 \pm 10,6$ mg/100 ml. Keskimääräinen leposyke oli 68 krt/min. ja loppusyke vastaavasti 141 krt/min.

Kokeessa saavutettu veren maitohappopitoisuus korreloi eniten Cooperin testiin ($-.74$), 1400 metrin maastajuoksuun ($.62$), loppusykkeeseen ($.49$), hapenottokykyyn ($-.46$) ja ikään ($.42$). Korrelaatio vatsalihastettiin oli vähäinen ($-.11$) samoin kuin korrelaatio ponnistushyppykokeeseen ($-.04$), merkitsevyyserajan 5 % luotettavuudella ollessa $\pm .63$. Muuttujaluettelo ja korrelaatiomatriisi on esitetty liitteissä 2 ja 3.

Lepomaitohappopitoisuus korreloi eniten diastoliseen verenpaineeseen ($-.67$), kuormituskokeen kokemiseen suorituksen lopussa ($-.66$), koehenkilöiden pituuteen ($-.62$), koehenkilöiden järjestysnumeroon ($-.54$), rinnanympärykseen ($-.45$) ja painoon ($-.43$).

Voidaan ajatella, että hyvän suorituskyvyn omaavan henkilön fyysinen kuormittuminen tietystä vakiotyössä on vähäisempää kuin huonomman suorituskyvyn omaavan. Veren maitohappopitoisuutta kuormittumisen mittana käytettäessä näyttää tämä oletamus käytetyllä koehenkilöjoukolla pitävän paikkansa, sillä maitohappopitoisuuden ja fyysistä suorituskykyä ilmaisevien muuttujien välinen korrelaatio oli kokeessa selvä.

Edellisessä kokeessa käsiteltyihin ikäryhmän muuttujiin oli korrelaatio nyt vähäinen,

sillä polkijat oli tähän kokeeseen valikoitu iän suhteen melko homogeenisiksi.

Näin päädyttiin tulokseen, että ikäryhmän muuttujien ollessa eliminoituneina jäi käytetyssä aineistossa tärkeimmäksi maitohappopitoisuuteen vaikuttavaksi tekijäksi muuttujaryhmä, jolle tässä annetaan nimi »suorituskykyryhmän muuttujat».

Koehenkilöinä käytetyillä metsätyönjohtajakoulun oppilailla oli oppitunti tutkimusluoneen viereisessä luokassa, josta he tulivat yksitellen kuormituskokeeseen. Tämä seikka selittää järjestysnumeron korrelaation koehenkilöiden veren lepomaitohappopitoisuuden, sillä mitä kauemmin koehenkilöt olivat istuneet oppitunnilla, sitä pienemmäksi oli maitohappopitoisuus muuttunut ja sitä suuremmaksi oli järjestysnumero tullut. Edellisessä kokeessa ei vastaavaa ilmiötä voitu havaita, sillä polkijat liikkuivat mitauskohteelta toiselle ennen 20 minuutin istumistaan kuormituskokeen alussa.

Ikään ja suorituskykyyn sidottujen muut-

tujaryhmien ulkopuolelle on vielä jäänyt lepomaitohappopitoisuuden korrelaatio koehenkilön kokoa ja verenpainetta ilmaiseviin muuttujiin sekä kuormituksen kokemista ilmaiseviin muuttujiin. Tätä muuttujaryhmää nimitetään tässä tutkimuksessa »koko-, verenpaine- ja kokemisryhmän muuttujaryhmäksi».

Eri koehenkilöjoukoille suoritettujen kahden kuormituskokeen perusteella näytti siis veren maitohappopitoisuuteen vaikuttavan vakiotyössä kolme eri muuttujaryhmää, jotka pääpiirteittäin olivat seuraavat:

1. ikäryhmän muuttujat
2. suorituskykyryhmän muuttujat
3. koko-, verenpaine- ja kokemisryhmän muuttujat

Näin muodostettua hypoteesia testattiin epähomogeenisella koehenkilöjoukolla normaalissa hakuuutyössä käyttäen apuna faktoriana lyysiä.

Terveystilasto		Terveystilasto		Terveystilasto	
Ikä	Verenpaine	Verenpaine	Verenpaine	Verenpaine	Verenpaine
18-25	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
26-35	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
36-45	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
46-55	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
56-65	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
66-75	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
76-85	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
86-95	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
96-105	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
106-115	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
116-125	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
126-135	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
136-145	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
146-155	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
156-165	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
166-175	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
176-185	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
186-195	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
196-205	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
206-215	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
216-225	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
226-235	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
236-245	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
246-255	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
256-265	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
266-275	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
276-285	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
286-295	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
296-305	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
306-315	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
316-325	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
326-335	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
336-345	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
346-355	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
356-365	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
366-375	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
376-385	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
386-395	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
396-405	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
406-415	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
416-425	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
426-435	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
436-445	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
446-455	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
456-465	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
466-475	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
476-485	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
486-495	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
496-505	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
506-515	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
516-525	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
526-535	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
536-545	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
546-555	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
556-565	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
566-575	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
576-585	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
586-595	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
596-605	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
606-615	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
616-625	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
626-635	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
636-645	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
646-655	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
656-665	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
666-675	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
676-685	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
686-695	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
696-705	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
706-715	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
716-725	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
726-735	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
736-745	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
746-755	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
756-765	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
766-775	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
776-785	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
786-795	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
796-805	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
806-815	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
816-825	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
826-835	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
836-845	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
846-855	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
856-865	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
866-875	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
876-885	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
886-895	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
896-905	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
906-915	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
916-925	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
926-935	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
936-945	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
946-955	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
956-965	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
966-975	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
976-985	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
986-995	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120
996-1005	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120

5. MAITOHAPPO VAIHTELEVISSA OLOSUHTEISSA

5.1 Koejärjestelyt ja -henkilöt

Edellisten kokeiden perusteella laadittiin hypoteesi veren maitohappopitoisuuden laboratorio-oloissa vaikuttavista tekijöistä. Tässä kokeessa pyritään selvittämään, missä määrin laadittu hypoteesi soveltuu normaaliin hakkuutyöhön, ja mitkä tekijät vaikuttavat veren maitohappopitoisuuden työntekijän saadessa itse valita työskentelynopeutensa ja siis työssä kuormittumisen.

Koehenkilöt muodostettiin ensimmäisen kuormituskokeen epähomogeenisesta polkijajoukosta. Suoritetun metsätyön kuvaamiseksi mitattiin seuraavia muuttujia:

1. koeajan tuotos, kiintokuutiometriä, $k\text{-m}^3$
2. tehtyjen tukkien lukumäärä, kpl
3. tehtyjen pölliin lukumäärä, kpl

4. sydämen syke telemetrisesti, krt/min, 2 min välein
5. veren maitohappopitoisuus kolmesti.

Koealoiksi valittiin mahdollisimman tasa-laatuista, männyn osalta II oksaisuusluokkaan ja kuusen osalta III oksaisuusluokkaan kuuluva II-vaikeusasteen hakkuutyömaa.

Tutkimus suoritettiin lumettomana aikana lämpötilan vaihdella $+3 - +8^\circ\text{C}$.

Koehenkilöt saivat tehtäväkseen työskennellä mahdollisimman tavanomaisella työtyylillään jokainen yhden työpäivän. Sydämen sykettä, tuotosta ja veren maitohappopitoisuutta seurattiin koepäivänä kolmen eri havaintojakson ajan seuraavan taulukon mukaan (MÄLKJÄ 1974, s. 36):

Taulukko 1. Havaintojaksot ja mittausten suoritusajat

Table 1. Observation periods and times of measurements

Havaintojakso <i>Observation period</i>	Aika työpäivän alusta, h ja min <i>Time from beginning of working day, h and min</i>		
	syke <i>heart rate</i>	maitohappo <i>lactic acid</i>	tuotos <i>productivity</i>
1	00,10—00,30	00,55	00,10—00,50
2	02,40—03,20	03,00	02,40—02,55 03,05—03,20
3	06,20—07,00	07,05	06,10—07,00

Tulosten käsittelyssä käytettiin eri havaintojaksojen tulosten keskiarvoja. Työntekijöiden taidossa ei voitu havaita selviä eroja.

Koska laaditun hypoteesin mukaan veren maitohappopitoisuuden vaikutti monia eri tekijöitä, joilla oli keskinäistä korrelaatiota, päätettiin aineiston käsittelyssä käyttää apuna korrelaatiomatriisiin pohjautuvaa faktorianalyysiä. Faktorianalyysin sopivuutta voidaan lisäksi perustella tutkimuksen etsivällä luonteella ja sillä, että maitohappopitoisuuden metsätyössä vaikuttavista tekijöistä ei ollut selvää tietoa.

Faktorianalyysin tehtävä tässä tutkimuksessa on erotella suuresta muuttujajoukosta esitetyn hypoteesin kannalta olennaiset ja tärkeät maitohappopitoisuutta selittävät muuttujat. Näin faktorianalyysillä voidaan luoda pohjaa myöhemmille tutkimusasetelmille ja karsia tarpeettomia muuttujia pois ja korvata niitä uusilla käyttökelpoisemmilla.

Faktorianalyyttistä ongelmaa ratkaistaessa muodostuvat esimerkiksi seuraavanlaiset kysymykset tärkeiksi (VAHERVUO ym. 1958, s. 83):

- Mikä olisi pienin määrä muuttujia, joilla käytetty muuttujajoukko voitaisiin korvata niin,

että kuitenkin saavutettaisiin samanlaiset tiedot?

- Mitkä olisivat uudet muuttujat?
- Miten ne voitaisiin muodostaa entisistä muuttujista?

Juuri tämän tutkimuksen kohdalla vaikuttaa esitetty kysymyksenasettelu tarpeelliselta maitohappopitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä etsittäessä.

Faktorianalyysin idea on mahdollistaa moniulotteisen koordinaatiston käyttö tutkittavan matriisin tarkasteluun. Muuttujat voidaan tällöin kuvitella avaruudessa oleviksi vektoreiksi ja faktorianalyysin tehtävänä on nyt sijoittaa koordinaatisto kuvaavien vektoreiden muodostamaan kimppuun niin, että koordinaatistolla mahdollisimman helposti voidaan selittää tutkittavia muuttujia. Koordinaatisto pyritään asettamaan paikalleen kiertämällä sitä avaruudessa. Tämän kiertämisen l. rotatoinnin eräänä periaatteena on etsiä mallia, jonka avulla syntyy muuttujille mahdollisimman paljon nollalatauksia.

Faktorointi suoritettiin tässä tutkimuksessa yleisintä nk. pääakselimenetelmää käyttäen ja rotatointi suorakulmaista Varimax-menetelmää käyttäen. Rotatointi tehtiin di-

mensioluvuilla 2–5 ja lähinnä tulkinnallisista syistä valittiin jatkokäsittelyyn neljän dimension ratkaisu, joka on esitetty taulukossa 4.

5.2 Tulokset ja tarkastelu

Koehenkilöiden veren keskimääräinen maitohappopitoisuus metsätöissä oli $9,9 \pm 3,0$ mg/100 ml. Keskimääräinen syke oli 130 ± 11 krt/min. Ainoastaan neljällä koehenkilöllä (no 05, 09, 15 ja 38) havaittiin maitohappopitoisuuden olevan selvästi lepotasoa suurempi ollen heillä keskimäärin $21,5$ mg/100 ml.

Maitohappopitoisuus korreloi merkitsevästi ($r_5 \% = \pm .40$) ainoastaan kuormittavuuden kokemisen kanssa ($-.41$).

Koehenkilöt no 05, 09, 15 ja 38 olivat 26-, 26-, 29- ja 54-vuotiaita. Verrattaessa kolmea ensinmainittua (ryhmä 1), lähes samaa ikäluokkaa edustavaa koehenkilöä toiseen, lähes samaa ikäluokkaa edustavaan kolmen koehenkilön ryhmään (ryhmä 2), jonka maitohappopitoisuus oli pienempi, voitiin havaita seuraavia taulukossa 2 esitettyjä seikkoja:

Taulukko 2. Suuren ja pienen maitohappopitoisuuden omaavien ryhmien vertailu

Table 2. Comparison between groups of low and high lactic acid concentration

Muuttuja Variable	Ryhmä 1 N = 3 Group 1	Ryhmä 2 N = 3 Group 2	Koko aineisto N = 32 The whole material
Ikä, v — Age years	27 ± 1	29 ± 2	37 ± 10
PWC, W	$199,5 \pm 28,9$	$200,8 \pm 15,2$	$169,5 \pm 36,8$
(kpm/min)	(1220 ± 177)	(1225 ± 93)	(1037 ± 225)
MH-pitoisuus, mg/100 ml	$15,3 - 8,9$	$7,8 \pm 2,8$	$9,9 \pm 3,0$
La-concentr.			
Tuotos, k-m ³ — Productivity, cu.m., solid measurement	72 ± 7	70 ± 15	51 ± 15
Sykintätaajuus, krt/min — Heart rate, pulses/min	135 ± 7	125 ± 15	130 ± 12
Pöllit, kpl — Number of 2-meter-logs	91 ± 22	77 ± 15	86 ± 18
Koehenkilöiden pituus, cm — Length of test persons, cm	184 ± 10	172 ± 3	173 ± 8
Käsivoimat, ko \times 2 — Hand grip force	133 ± 6	125 ± 10	120 ± 15
Kuormituksen kokeminen, Borgin ast. — Subjective feeling of work load, Borgs' scale	17,3	19,0	18,5

Taulukko kahden perusteella oli lähes samanikäisillä ja yhtä suuren fyysisen suorituskyvyn omaavilla koehenkilöryhmillä, joiden veren maitohappopitoisuus poikkesi toisistaan, seuraavia muita eroja:

1

Ryhmä yhden (suuri MH-pitoisuus) koehenkilöiden sydämen sykintätaajuus oli suurempi kuin ryhmä kahden.

2

Ryhmä yhden ja ryhmä kahden tuotos oli lähes yhtä suuri, mutta ryhmä yhden koehenkilöt kantoivat enemmän pöllejä kuin ryhmä kahden koehenkilöt.

3

Ryhmä yhden koehenkilöt olivat voimakasrakenteisimpia kuin ryhmä kahden koehenkilöt. Ryhmä kahden koehenkilöt kokivat maksimikuormittumisen kuormituskokeessa suuremmaksi kuin ryhmä yhden koehenkilöt.

Laajemman aineiston hyväksikäyttämiseksi esitetään faktorianalyyttinen tulosten tarkastelu.

5.3 Monimuuttuja-analyysi

Käytetyt muuttujat olivat seuraavat:

Numero Number	Nimi Name	
1	Koehenkilön numero <i>Number of testperson</i>	
2	Koehenkilön ikä, kk <i>Age of test person, months</i>	
3	Fyysinen suorituskky, PWC ₁₇₀ , kpm/min <i>Physical Work Capacity,</i>	
4	Fyysinen suorituskky kokemisen per., PWC _k <i>Physical Work Capacity by subj. feeling</i>	
5	Leposyke tutkimustilanteessa, krt/min <i>Heart rate at rest in lab. situation, pulses/min</i>	
6	Maksimisyke kuormituskokeessa, krt/min <i>Maximal heart rate during exercise, pulses/min</i>	
7	Veren hemoglobiinipitoisuus, <i>Hb-concentration of blood,</i>	mg/100 ml × 0,1
8	Lepomaitohappopitoisuus, <i>Lactic acid concentr. at rest,</i>	mg/100 ml × 0,1
9	Maksimimaitohappopitoisuus, <i>Maximal LA-concentration,</i>	mg/100 ml × 0,1
10	Systolinen verenpaine, <i>Systolic blood pressure,</i>	mmHg
11	Diastolinen verenpaine, <i>Diastolic blood pressure,</i>	mm Hg
12	Paino, kg <i>Weight, kgs</i>	
13	Pituus, cm <i>Length, cms</i>	
14	Metsätyövuodet, v <i>Years in making timber</i>	
15	Polkemisaika kuormituskokeessa, min <i>Riding time at exercise test, min</i>	
16	Ponnistushyppykorkeus, cm <i>Height of sargent jump, cms</i>	
17	Vatsalihastesti, krt/30 sek <i>Abdominal power, contractions/30 sec</i>	

- 18 Käsien puristusvoima, $\text{kp} \times 2$
Hand grip force,
- 19 Kuormituskokeen kuormittavuuden kokeminen
Subjective feeling of work load of ex. test
- 20 Maitohappopitoisuus metsätyössä,
LA-concentration at forest work, $\text{mg}/100 \text{ ml} \times 0,1$
- 21 Tuotos metsätyössä, $\text{k-m}^3/\text{koejakso}$
Productivity at forest work, cu.m., solid meas.
- 22 Valmistuneet tukit, kpl
Number of 6-meter-logs done by the worker
- 23 Valmistuneet pöllit, kpl
Number of 2 meter-logs done by the worker
- 24 Keskimääräinen syke metsätyössä, krt/min
Heart rate at forest work (mean), pulses/min
- 25 Fyysiseen suorituskyykyyn (PWC_{170}) suhteutettu syke
Heart rate in relation to PWC_{170}

Rotatoitu neljän faktorin ratkaisu esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Neljän dimension varimax-ratkaisu

Table 3. Varimax solution of four dimensions

	F 1	F 2	F 3	F 4	xxxx
2	-0,875	-0,288	0,110	-0,092	0,868
3	0,337	0,812	-0,150	-0,018	0,797
4	0,341	0,782	0,111	-0,192	0,778
5	-0,131	-0,255	0,473	-0,311	0,402
6	0,795	0,317	-0,072	0,113	0,750
7	0,028	0,082	-0,178	0,400	0,199
8	-0,004	-0,256	-0,008	-0,347	0,186
9	0,714	-0,091	0,055	0,030	0,523
10	-0,017	-0,103	0,073	0,422	0,194
11	-0,279	0,438	0,171	0,322	0,403
12	-0,003	0,464	-0,197	0,670	0,702
13	0,304	0,087	-0,029	0,737	0,644
14	-0,845	-0,177	0,249	0,037	0,809
15	-0,094	0,585	-0,256	0,123	0,432
16	0,677	0,118	-0,167	0,096	0,509
17	0,767	0,187	0,304	-0,098	0,726
18	0,355	0,557	-0,090	0,151	0,468
19	0,160	0,014	-0,576	-0,047	0,360
20	-0,134	-0,231	0,341	0,302	0,279
21	0,449	0,505	0,110	0,165	0,496
22	0,089	0,315	-0,043	0,074	0,114
23	0,235	0,199	0,378	-0,127	0,254
24	0,386	-0,066	0,744	-0,013	0,706
25	-0,229	-0,114	0,782	-0,060	0,680
xxxx	4,731	3,224	2,411	1,914	12,279

Faktorien muuttujille antamat lataukset eli painokertoimet voidaan käsittää faktorien ja muuttujien väliseksi korrelaatiokertoimiksi. Kukin faktori voidaan tulkita pohtimalla, mikä on se taustavoima, jonka määräsuuntainen muutos saa aikaan tietynlaisen muutoksen joissakin muuttujissa toisten muuttujien pysyessä muuttumattomina (RIIHINEN 1963, s. 30).

Ensimmäinen faktori (F_1)

Ensimmäisellä faktorilla saavat suuria latauksia (>.40) seuraavat muuttujat:

no	selite	lataus
2	ikä	-,88
6	maksimisyke	,80
9	maksimimaitohappo	,71
14	metsätyövuodet	-,85
16	ponnistushyppykoe	,68
17	vatsalihastesti	,77
21	tuotos metsätyössä	,45

Jos ajateltaisiin kaikkien muuttujien etumerkit vastakkaisiksi, merkitsisi F_1 -faktorin vahvistuminen siis tärkeysjärjestyksessä seuraavaa:

- henkilö vanhenee
- metsätyössä vietetyt vuodet lisääntyvät
- maksimisyke pienenee
- vatsalihastestin tulos pienenee
- maksimimaitohoppopitoisuus pienenee
- ponnistushyppykorkeus pienenee
- tuotos metsätyössä pienenee.

F_1 -faktori tuntuu siis toimivan samoin kuin kappaleessa 3.2 (s. 15) esitetty ja nimetty »ikäryhmän muuttujat»-ryhmä. Faktori on kerätyn aineiston ja muuttujakoostumuksen valossa muita faktoreita tärkeämpi variaatiota aiheuttava tekijä, sillä sen ominaisarvo on 4,7 seuraavan faktorin ominaisarvon ollessa vasta 3,2.

F_1 -faktorille annetaan tässä nimi »ikäfaktori», koska sen katsotaan suurelta osin muodostuvan koehenkilöiden iän vaihtelun aiheuttamasta vaihtelusta.

Toinen faktori (F_2)

Toisella faktorilla saavat suuria latauksia seuraavat muuttujat:

no	selite	lataus
3	PWC (syke +)	,81
4	PWC (kokeminen)	,78
11	diast. verenpaine	,44
12	paino	,46
15	kuormituskokeen polk.aika	,59
18	käsien puristusvoima	,58
21	tuotos metsätyössä	,51

F_2 -faktorin vahvistuminen merkitsisi siis tärkeysjärjestyksessä seuraavaa:

- fyysinen suorituskyky suurenee
- tietty kuormitus tuntuu aikaisempaa keveyemmältä
- kuormituskokeessa jaksetaan polkea kauemmin
- käsien puristusvoima lisääntyy
- tuotos metsätyössä paranee
- paino suurenee (ilm. lihaksia)
- diastolinen verenpaine suurenee.

F_2 -faktori tuntuu siis toimivan pääpiirteittäin samoin kuin kappaleessa 4.2 (s. 17) esitetty ja nimetty »suorituskykyryhmän muuttujat»-ryhmä. F_2 -faktorille annetaankin tässä nimi »suorituskykyfaktori».

Kolmas faktori (F_3)

Kolmannella faktorilla saavat suuria latauksia seuraavat muuttujat:

no	selite	lataus
5	leposyke tutkimustilanteessa	-,47
19	kuormituskokeen kuormittavuuden kokeminen	-,58
24	keskimääräinen työsyke	,74
25	fyysiseen suorituskykyyn suhteutettu työsyke	,78
20	MH-pitoisuus työssä	,34
23	pöllien lukumäärä	,38

F_3 -faktorin vahvistuminen merkitsisi siis tärkeysjärjestyksessä seuraavaa:

- fyysiseen suorituskykyyn suhteutettu työsyke suurenee (työtahti suurenee)
- keskimääräinen työsyke suurenee
- kuormituskokeen kuormittavuuden kokeminen pienenee
- leposyke tutkimustilanteessa suurenee
- maitohappopitoisuus työssä lisääntyy hieman
- pöllien lukumäärä lisääntyy hieman

F_3 -faktori ei ole yhtä helposti tutkittavissa kuin F_1 - ja F_2 -faktorit. F_3 -faktori näyttää pitävän sisällään psykologisia aineosia, joihin viittaavat työtahdin suureneminen ja leposykkeen suureneminen tutkimustilanteessa. F_3 -faktori näyttää selittävän ainoastaan osaa kappaleessa 4.2 (s. 17) mainitusta ja nimetystä »koko-, verenpaine- ja kokemisryhmän muuttajat»-ryhmästä. Selitetyiksi tulee työhön kohdistuvista asenteista aiheutuvia muutoksia, joten faktori nimetään tässä »asennefaktoriksi». Sen vahvistuminen merkitsee siis eräänlaista motivaatiota työtahdin kiristämiseen ainakin tutkimustilanteessa. Myöskin tavallista suurempi leposyke puolestaan viittaa jännittyneisyyteen tutkimustilanteessa. On huomattava, että tuotos asettuu ikä- ja suorituskykyfaktoreiden alle eikä yhteyteen työsykkeen kanssa.

Veren maitohappopitoisuus työssä selittyi osaksi mm. työtahtiin vaikuttavalla »asennefaktorilla».

Neljäs faktori (F_4)

Neljännellä faktorilla saavat suuria latauksia seuraavat muuttujat:

no	selite	lataus
7	veren Hb-pitoisuus	,40
8	veren MH-pitoisuus levossa	-,35
10	syst. verenpaine	,42
11	diast. verenpaine	,32
12	paino	,67
13	pituus	,74
20	MH-pitoisuus työssä	,30

F_4 -faktorin vahvistuminen merkitsisi siis tärkeysjärjestyksessä seuraavaa:

- henkilön pituus suurenee
- henkilön paino suurenee (ilm. rasvaa)
- systolinen ja diastolinen verenpaine suurenevät
- veren hemoglobiinipitoisuus lisääntyy
- veren MH-pitoisuus levossa vähenee, mutta lisääntyy työssä.

F_4 -faktori täydentää kappaleessa 4.2 (s. 17) esitettyä, F_3 -faktorilta osittain selittämättä jäänyttä »koko-, verenpaine- ja kokemisryhmän muuttujat»-ryhmää. F_3 -faktori selitti kokemisryhmän muuttujia ja F_4 -faktori näyttää selittävän koko- ja verenpaine-ryhmän muuttujia. F_4 -faktorille annetaan

kin tässä nimi »koko- ja verenpaine-faktori». Veren MH-pitoisuus näyttää riippuvan siis myöskin koehenkilön koosta. Se osa kehon painosta, mikä lisää suorituskykyä, on ryhmittynyt suorituskykyfaktoriin alle, kun taas muu osa lisääntyneestä ruumiin painosta on jäänyt tälle faktorille.

Hypoteesin tarkistus

Kappaleessa 4.2 (s. 17) esitettiin kahden kuormituskokeen perusteella laadittu hypoteesi veren maitohappopitoisuuteen vaikuttavista muuttujaryhmistä, joita hypoteesin mukaan olivat:

1. Ikäryhmän muuttujat
2. Suorituskykyryhmän muuttujat
3. Koko-, verenpaine- ja kokemisryhmän muuttujat.

Testaamalla hypoteesia kenttäkokeen ja monimuuttuja-analyysin avulla havaittiin, että veren maitohappopitoisuus eri tilanteissa ryhmittyi eri muuttujaryhmien ja eri faktorien alle.

Kokeellisen osan analyysin perusteella voidaan maitohappopitoisuuden metsätyössä todeta vaikuttavan ainakin seuraavien tekijöiden.

1. Asennefaktori

Faktorin vahvistuminen merkitsee mm. työtahdin kiristymistä, lisääntyntä jännittyneisyyttä laboratoriotutkimuksen aikana, rasituskokeen kuormittavuuden ilmaisemista pienemmäksi kuin mitä se sykintätaajuuden perusteella on, maitohappopitoisuuden lisääntymistä metsätyössä. Koehenkilön faktoria vahvistava asennoituminen merkitsee siis työtahdin kiristämistä ja sitä kautta maitohappopitoisuuden lisääntymistä. Maitohappopitoisuus ja työtahdi ovat siis heijastuneet toisiinsa, vaikka korrelaatiomatriisissa yhtäläisyyttä muiden muuttujien vaikutusten johdosta ei voidakaan havaita.

2. Koko- ja verenpaine-faktori

Faktorin vahvistuminen merkitsee siis lähinnä koehenkilön koon suurenemista, joka tässä merkitsee sekä painon ja pituuden että verenpaineen lisääntymistä. Maitohappopi-

toisuuden vastaava kohoaminen viittaa havaintoon, että optimikokoa suurempikokoiset ihmiset saattaisivat väsyä helpommin kuin pienempikokoiset.

Maitohappopitoisuus levossa ryhmittyi koko- ja verenpainefaktorin alle, kun se taas maksimaalisessa suorituksessa ryhmittyi ikäfaktorin alle. Submaksimaalisessa työssä (metsätyössä) maitohappopitoisuus ryhmittyi sekä työtahtia määräävän asennefaktorin alle että koko- ja verenpainefaktorin alle niin, että suurempikokoisten henkilöiden veren maitohappopitoisuus työssä oli korkeampi kuin pienempikokoisten. Asennefaktorin (työtahdin) vaikutus maitohappopitoisuuden työssä oli ainoastaan hieman suurempi kuin koko- ja verenpainefaktorin.

Käytettyjen muuttujien perusteella maaston ollessa tasalaatuista muodostuivat tutkimuksessa yleensä vaihtelua aiheuttaneet tekijät seuraaviksi:

1. Ikäfaktorin eli ikä
2. Suorituskykyfaktorin eli suorituskyky
3. Asennefaktorin eli mm. motivaatio
4. Koko- ja verenpainefaktorin eli työntekijän rakenteelliset ominaisuudet.

On huomattava, että kaikkia lueteltuja tekijöitä (myös ikää) voidaan mitata ja arvioida useilla toisistaan poikkeavilla menetelmillä. Yksityisen faktorin vahvistumisen ei myöskään voida sellaisenaan katsoa määräävän selitettävien muuttujien vaihtelua.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Esityksen kirjallisesta osasta käy ilmi, että lihaspreparaateilla suoritetuissa tutkimuksissa voi eri tavoilla loppuunväsyttettyjen lihasten maitohappopitoisuus vaihdella selvästi.

Maitohapon ja palorypälehapon väliseen suhteeseen saattavat myöskin vaikuttaa elimistön happo-emästasapaino ja hiilihydraatimetaboliaa kiihdyttävien aineiden määrä.

Kokeellisen osan analyysin perusteella on maitohappopitoisuuden käyttäytymisestä muodostunut seuraava kuva:

1

Kevyemmät osatyöt

Maitohappopitoisuuteen vaikuttavat koko- ja verenpainetekijät kuten faktorianalyysin tulos lepomaitohapolla osoittaa. Sama voidaan havaita submaksimaalisen rasituskokeen lepoarvoista.

Huomio kiinnittyy seikkaan, että suurikokoisilla (lihavilla) henkilöillä lepomaitohappopitoisuus on alhaisempi kuin pienempikokoisilla. Tämä voi johtua tukevarakenteisimpien henkilöiden vähäisemmästä liikunnallisesta aktiviteetista vapaa-ajalla oluissa.

2

Raskaammat osatyöt

Maitohappopitoisuuteen vaikuttavat työtahtia määräävät asennetekijät ja koko- ja verenpainetekijät. Lisäksi voidaan havaita vähäinen suorituskyvyn negatiivinen vaikutus maitohappopitoisuuteen. Työmaitohappopitoisuus korreloi koon kanssa positiivisesti lepomaitohappopitoisuudesta

poiketen. Tämä johtunee siitä, että painavammat henkilöt joutuvat työssä kuljettamaan suuremman kuorman mukanaan kuin kevyemmät henkilöt.

3

Erittäin raskaat osatyöt

Maitohappopitoisuuteen vaikuttaa työntekijän ikä.

Sykinnän voidaan havaita olevan maitohappoa kiinteämmin sidoksissa sekä psyykkistä että fyysistä kuormittumista ilmentävään asennefaktoriin.

Maitohappopitoisuus sen sijaan on sidoksissa asennefaktoriin lisäksi lihaksia kuormittaviin tekijöihin, mm. ylimääräiseen kehonpainoon.

Koska tarvittavan verinäytteen otto ja käsittely on melko vaivatonta kenttäoloissa, voidaan maa- ja metsätalouden ergonomisissa tutkimuksissa hyvin käyttää maitohappoa apuna koehenkilöiden lihasväsymystä arvioitaessa. Tällöin voidaan sykinnällä arvioidusta psyykkisestä ja fyysisestä kokonaiskuormittumisesta pyrkiä erottamaan mahdollinen lihasväsymys.

On kuitenkin huomattava, että sekä maitohappopitoisuus että sykintätaajuus ilmaisevat ainoastaan hetkellisiä elimistön kuormittumisilmiöitä ja että niillä ei voida arvioida esimerkiksi vuosia jatkuvan työn kuormittavuutta tai työhygienisiä haittatekijöitä.

KIRJALLISUUS

- AHLBORG, B., BERGSTRÖM, J., EKELUND, L. & HULTMAN, E. 1976. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta physiol.scand* 70.
- ALTLAND, P. D. & HIGHMAN, B. 1961. Effect of exercise on serum enzyme values and tissues of rats. *Am. J. Physiol* 201.
- ANDRES, R., CADER, G. & ZIERLER, K. L. 1956. The quantitatively minor role of carbohydrate in oxidative metabolism by skeletal muscle in intact man in the basal state. *J. clin. Invest.* 35.
- ASHKAR, E., STEVENS, J. & HOUSSAY, B. 1968. Role of the sympathoadrenal system in the hemodynamic response to exercise in dogs. *Am. J. Physiol.* 124.
- BELCASTRO, A. N. & BONEN, A. 1975. Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J. appl. Physiol.* 39.
- BERG, W. E. 1947. Individual differences in respiratory gas exchange during recovery from moderate exercise. *Am. J. Physiol.* 149.
- BERGSTRÖM, J. & HULTMAN, E. 1967. A study of the glycogen metabolism during exercise in man. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 19.
- BERTRAM, F. N., WASSERMAN, K. & VAN KESSEL, A. L. 1967. Gas exchange following lactate and pyruvate injections. *J. appl. Physiol.* 23 (2).
- BOWMAN, W. C., RAND, M. I. & WEST, G. B. 1970. *Textbook of Pharmacology*. Blackwell, Oxford-Edinburgh, 3. p.
- CAIN, D. F., INFANTE, A. A. & DAVIS, R. E. 1962. Chemistry of muscle contraction. Adenosine triphosphate and phosphocreatine as energy supplies for single contraction of working muscle. *Nature* 196.
- CHRISTENSEN, E. H. & HANSEN, O. 1939. Arbeitsfähigkeit und Ernährung. *Skand. Arch. Physiol.* 81.
- DANFORTH, W. H. & HELMREICH, E. 1964. Regulation of glycolysis in muscle. The conversion of phosphorylase beta to phosphorylase alpha in frog sartorius muscle. *J. biol. chem.* 239.
- DILL, D. B. 1963. The influence of age on performance as shown by exercise tests. *Pediatrics* (Springfield) 32 (Suppl.)
- DUBUISSON, M. & JACOB, I. 1945. Electrophoresis of proteins of normal and fatigued striated muscles of frog. *Ref. Canad. Biol.* 4, ref. Simonson 1971, p. 80.
- ELDRIDGE, F. L. 1975. Relationship between turnover rate and blood concentration of lactate in exercising dogs. *J. appl. Physiol.* 39.
- FENN, W. O., COBB, D. M., MANERY, J. F. & BLOOR, W. R. 1937. Electrolyte changes in cat muscle during stimulation. *Am. J. Physiol.* 121.
- FRIEDMAN, S. M., SRÉTER, F. A. & FRIEDMAN, C. L. 1963 a. The distribution of water, sodium and potassium in the aged rat: a pattern of adrenal pre-ponderance. *Gerontologia* (Basel) 7.
- » — SRÉTER, F. A. & FRIEDMAN, C. L. 1963 b. The effect of vasopressin and aldosterone on the distribution of water, sodium and potassium on work performance in old rats. *Gerontologia* (Basel) 7.
- GISOLFI, C., ROBINSON, S. & TURRELL, E. S. 1966. Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work. *J. appl. Physiol.* 21.
- GOLLNICK, P. D. & KING, D. W. 1969. Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeleton muscle. *Am. J. Physiol.* 216.
- HARSTELA, P. & VALONEN, P. 1972. Työn tuotos, työntekijän fyysinen kuormittuminen ja tärinäaltistus pelkässä kaadossa. *Folia Forestalia* 151.
- HEIKINHEIMO, L., HEIKINHEIMO, M., LEHTINEN, M. & REUNALA, A. 1972. Suomalainen metsätyömiestä. WSOY. Porvoo—Helsinki. 1. p.
- HIGHMAN, B. & ALTLAND, P. D. 1963. Effects of exercise and training on serum enzyme and tissue changes in rats. *Am. J. Physiol.* 205.
- HILL, A. V., LONG, C. N. H. & LUPTON, H. 1924. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Proc. Roy. Soc.* 96.
- HOFER, H. N. & PETTE, D. 1968. Wirkungen und Wechselwirkungen von Substraten und Effektoren an der Phosphofruktokinase des Kaninchen-sekletmuskels. *Z. Phys. Chem.* 349, 1. p., ref. Simonson 1971, s. 107.
- HOFFMAN, W. S. 1959. *The biochemistry of clinical medicine*. The Year Book Publishers. Chicago. 2 p.
- HULTMAN, E., BERGSTRÖM, J. & MCLENNAN, A. 1967. Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 19.
- HYVÄRINEN, J. 1975. Sääteilyjärjestelmien osuus suorituskyvyssä. *Suomen Lääkärilehti* 1 A (suppl.).
- IKAI, M., YABE, K. & ISCHII, K. 1967. Muskelkraft und muskuläre ermüdung bei willkürlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels. *Sportarzt und Sportmedizin* 5.
- INGLE, D., MORLEY, E. H. & NEZAMIS, J. E. 1952. The work performance of normal rats given continuous injections of cortisone and corticotropin. *Endocrinology* 51.
- KANTOLA, M. & GRANVIK, B.-A. 1950. Fysioloisten näkökohtien huomioonottaminen met-

- sänhakuussa. Eripainos Työtehoseuran vuosikirjasta 1950.
- KARLSSON, J. 1971. Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man. *Acta physiol. scand. suppl.* 358.
- » — HULTÉN, B., PIEHE, K., SJÖDIN, B. & THORSTESSON, A. Suorituskyvyn riippuvuus lihassäätönsä tekijöistä. Suomen Lääkärilehti 1 A (suppl.)
- LANGE-ANDERSEN, K., BOLSTAD, A. & SAND, S. 1960. The blood lactate during recovery from sprint runs. *Acta physiol. scand.* 48.
- » — 1069. Helsetilstand og variasjon i biologiske funksjoner in en utvelgt gruppe skogsarbeidere. Eripainos lehdestä *Tidskrift for skogbur* 1.
- » — SHEPPARD, R. J., DENOLIN, H., VARNAUSKAS, E. & MASORLINI, R. 1971. Fundamentals of exercise testing WHO. Geneva.
- LEVANTO, S. 1970. Työtahdin vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Työtehoseuran julkaisuja 148.
- » — & MÄLKIÄ, E. 1971. Työn vaihtelun vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Työtehoseuran julkaisuja 152.
- » — MÄKINEN, V. O. & KOIVISTO, V. 1975. Tie terveelliseen ja turvalliseen metsätyöhön. Työtehoseuran julkaisuja 183.
- MAHLER, H. R. et al. 1960. *Biological Chemistry*. Harper & Row. New York—Evanston—London. 5. p.
- MELKKO, M. & TAIPALE, J. 1975. Marttiin liukuvoimi harvennuspuiden korjuussa. Metsätalon katsaus 22.
- MILLER, H. C. & DARROW, D. C. 1941. Relation of serum and muscle electrolyte, particularly potassium, to voluntary exercise. *Amer. J. Physiol.* 132.
- MÄKELÄ, J. 1972. Eräisiin puunkorjuutunnuksiin vaikuttavat tekijät yksityismetsätaloudessa. Työtehoseuran julkaisuja 164.
- MÄLKIÄ, E. 1973. Puutavaran teon fyysisistä kuormitustekijöistä. Työtehoseuran julkaisuja 165.
- » — 1974. Iän ja fyysisen suorituskyvyn vaikutus työntekijän kuormittumiseen puutavaran teossa. Työtehoseuran julkaisuja 173.
- NIKKILÄ, E. A., TASKINEN, M. R. & MIETTINEN, T. A. 1968. Effect of muscular exercise on insulin recreation. *Diabetes* 17.
- PERNOW, B., WAHREN, J. & ZETTERQUIST, S. 1965. Studies on the peripheral circulation and metabolism in man. *Acta physiol. scand.* 64.
- RIESSER, O. & SCHNEIDER, W. 1929. Untersuchungen über Arbeitsgrösse und Säurebildung des Muskels. Der Einfluss der Belastung auf die Ermüdung de Muskels. *Pfluegers Arch. Ges. Physiol.* 221., ref. Simonson 1971, s. 23.
- RIIHINEN, P. 1963. Metsänhoidon tason vaihtelu Suomen maatilametsätoilla. Eripainos julkaisusta *Acta Forestalia Fennica* 75.
- ROBINSON, S. 1938. Experimental studies in physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie* 10, ref. Simonson 1971, s. 18.
- ROWELL, L. B., KRANING, K. K., EVANS, T. O., KENNEDY, J. K., BLACKMON, I. R. & KUSUMI, F. Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. *J. appl. Physiol.* 21.
- RUCH, T. C. & FULTON, J. F. 1960. *Medical physiology and biophysics*. Saunders. Philadelphia—London—Toronto. 18. p.
- SIMONSON, E. 1971. *Physiology of Work Capacity and Fatigue*. Charles C. Thomas. Springfield—Illinois. 1 p.
- TEPPERMAN, W. C. et al. 1948. Kaavakuva maitohapon ja palorypälehapon välisistä suhteista. *J. clin. Invest.* 27, ref. Ruch et al. 1960, s. 1020.
- VAHERVUO, T. & AHMAVAARA, Y. Johdatus faktorianalyysiin. WSOY. Porvoo—Helsinki. 1. p.
- VALONEN, P. 1975. Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä. *Folia Forestalia* 243.
- WILSON, J. 1972. *Principles of animal physiology*. The Macmillan Company. New York. 1. p.
- WUOLIJOKI, E. 1974 a. Tutkimuksia 2- ja 3-metrinen kuitupuun kasauksesta. Työtehoseuran metsätiedotus 227.
- » — 1974 b. Metsätöiden fyysisen kuormittavuuden mittausmahdollisuuksista. Työtehoseuran metsätiedotus 228.
- ZOTTERMAN, Y. & LUNDGREN, N. 1948. Studier över tungt kroppsarbete. *Förlags AB Affärsökonomi*, 1. p.
- ÅSTRAND, P. O. & RYHMING, J. 1954. A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J. appl. Physiol.*
- » — HALLBÄCK, I., HEDMAN, R. & SALTIN, B. 1963. Blood lactates after prolonged severe exercise. *J. appl. Physiol.* 18.
- » — & RODAHL, K. *Textbook of Work Physiology*. Mc Graw-Hill Book Company. New York. 1 p.

SUMMARY:

THE FATIGUE IN FOREST WORK

Research problem and methodological solutions

In search for means of facilitating forest work attempts have frequently been made to measure physical work load by phenomena observed in workmen. As the most common method based on heart rate — during a stage of work involving an exceptional number of risks — indicates also the mental load of the work, it must be made sure that such mental load at various work phases of the investigation is taken into consideration.

In logging by power saw the mental load of various work phases may vary (i.e. felling, measuring). Therefore, the using of heart rate only to compare the physical work of these phases may be considered unreliable.

As, moreover, the heart rate even in relation to physical work capacity does not indicate the degree of exhaustion of the worker, the purpose of this investigation is to examine the applicability of measurements based on the lactic acid content of blood, supplementing previous methods.

The work consists of a literature review on factors affecting the lactic acid content of blood and fatigue of muscles as well as of an empirical investigation based on three test materials (N = 37, 10 and 32).

On the basis of the first two materials collected in the laboratory a hypothesis was made of factors affecting the lactic acid content of blood. The hypothesis was specified by factor analysis on the basis of the third test material collected in field.

Results

It is shown in literature that the lactic acid content of muscles fatigued by various means may differ considerably. The interrelationship of lactic acid and pyruvic acid in tissue plasma was found

to be affected, among other things, by the acid/alkali balance of the organism, the age of test person, although the lactic acid content of blood is primarily affected by the volume of lack of oxygen suffered by muscles.

According to a hypothesis made on the basis of strain tests the lactic acid content of blood was affected by the following groups of variables linked with the different properties of the organism:

1. Age group of variables
2. Physical working capacity group of variables
3. Size, blood pressure and attitude group of variables

Under non-constant field conditions and in examining the hypothesis by factor analysis, various factors were found to influence the lactic acid content depending on the nature of work. As test persons were at rest the lactic acid content was affected mainly by the dimensions of the body and blood pressure factor. On the other hand, in a maximal strain test, it was affected mainly by the age factor. In sub-maximal forest work the lactic acid content concentrated below the attitude factor indicating the working pace as well as the size and blood pressure factor indicating the structure of the body, so that the lactic acid content of larger persons was higher than that of smaller persons.

Because the blood sampling technique is easy to perform even in the field, the lactic acid content of blood can be used for estimating the muscle fatigue of test persons. In such cases it is possible to strive for differing the muscle fatigue from the physical and mental strain measured by heart rate.

One must still remember, that both lactic acid and heart rate indicate only momentary strain phenomena and that it is not possible to use them for estimating of negative effects work extending over years.

BRADSHAW, J. H. 1957. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 35, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1958. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 36, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1959. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 37, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1960. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 38, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1961. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 39, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1962. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 40, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1963. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 41, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1964. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 42, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1965. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 43, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1966. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 44, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1967. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 45, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1968. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 46, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1969. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 47, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1970. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 48, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1971. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 49, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1972. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 50, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1973. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 51, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1974. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 52, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1975. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 53, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1976. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 54, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1977. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 55, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1978. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 56, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1979. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 57, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1980. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 58, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1981. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 59, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1982. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 60, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1983. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 61, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1984. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 62, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1985. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 63, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1986. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 64, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1987. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 65, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1988. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 66, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1989. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 67, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1990. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 68, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1991. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 69, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1992. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 70, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1993. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 71, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1994. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 72, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1995. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 73, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1996. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 74, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1997. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 75, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1998. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 76, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 1999. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 77, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2000. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 78, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2001. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 79, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2002. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 80, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2003. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 81, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2004. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 82, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2005. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 83, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2006. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 84, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2007. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 85, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2008. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 86, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2009. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 87, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2010. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 88, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2011. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 89, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2012. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 90, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2013. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 91, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2014. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 92, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2015. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 93, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2016. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 94, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2017. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 95, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2018. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 96, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2019. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 97, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2020. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 98, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2021. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 99, 103-107.

BRADSHAW, J. H. 2022. Lactic acid and pyruvic acid in muscle plasma of fatigued man. *Canad. J. Physiol. Biochem.* 100, 103-107.

Liite 2 Homogeenisen koehenkilöjoukon muuttujaluettelo

Appendix 2 Variables of the homogenic group of test persons

Número Number	Selite Name
1	koehenkilön numero <i>number of test person</i>
2	koehenkilön ikä, kk <i>Age of test person, months</i>
3	pituus, cm <i>length, cms</i>
4	ihopoinun paksuus, käsiv. + lapaluu + kylki, <i>skin fold thickness, arm + shoulder blade + side</i> mm
5	rinnanympärys, sisäänhengitys - uloshengitys, <i>chest circumference, maximum - minimum - difference,</i> cm
6	Cooperin testin matka, <i>distance of Coopers test,</i> × 100 m
7	60 m:n juoksu, <i>60 meters sprint run</i> × 0.1 s
8	ponnistushyppy, cm <i>sargent jump. cms</i>
9	vatsalihastesti, krt/30 s <i>abdominal power, contractions/30 sec</i>
10	systolinen verenpaine, <i>systolic blood pressure,</i> mmHg
11	diastolinen verenpaine, <i>diastolic blood pressure</i> mmHg
12	Åstrandin indeksi, <i>Astrands index</i> VO ₂ ml/kg/min
13	palautumissyke, maks. - lepo 2 min <i>returned heart rate, max - rest value after 2 minutes</i>
14	rasituskokeen kuormittavuuden kokeminen, Borg <i>subjective feeling of the work load of ex. test, Borgs scale</i>
15	rasituskokeen loppusyke, krt/min <i>heart rate at the end of ex. test. pulses/min</i>
16	1400 m:n maastajuoksun aika, × 0.1 min <i>1400 meters cross-country running, time × 0,1</i>
17	paino, kg <i>weight, kgs</i>
18	veren maitohappopitoisuus, mg/100 ml <i>LA-concentration of blood,</i>
19	veren maitohappopitoisuus kuormituskokeen jälkeen, <i>LA concentration of blood after exercise test,</i> mg/100 ml

Liite 3 Homogeenisen koehenkilöjoukon korrelaatiomatriisi
 Appendix 3 Correlation matrix of homogenic group of test persons

CORRELATIONS

1	1000																			
2	-7	1000																		
3	147	-273	1000																	
4	15	-313	123	1000																
5	157	-172	419	-175	1000															
6	-151	-542	304	351	-271	1000														
7	214	89	-295	40	38	387	1000													
8	-211	-104	765	111	221	110	-551	1000												
9	-494	453	-256	-405	-572	-147	-382	48	1000											
10	-414	-470	707	170	417	325	-387	563	-50	1000										
11	353	174	621	-14	218	-382	-624	528	76	265	1000									
12	421	181	-315	-282	30	205	857	-495	-231	-552	-516	1000								
13	699	-240	-176	214	-473	216	181	-444	-151	-474	32	299	1000							
14	-522	443	-529	-470	-195	-374	-115	-152	484	-243	-429	9	-469	1000						
15	171	-186	-371	47	22	-580	-473	-105	-160	-311	64	-310	176	221	1000					
16	262	646	-159	-323	266	-737	-23	-362	94	-219	400	-24	-93	113	40	1000				
17	261	-285	796	248	16	426	-274	474	-72	574	488	-229	213	-474	-359	-200	1000			
18	-542	355	-618	243	-446	29	265	-308	251	-276	-665	86	-260	657	-15	-88	-425	1000		
19	-13	424	-179	253	188	-742	-328	-43	-111	-105	306	-463	-276	232	486	617	-262	272	1000	

Liite 4 Kahden dimension varimax-ratkaisu

Appendix 4 Varimax solution of two dimensions

	1	2	xxxx
2	-0,895	-0,178	0,832
3	0,585	0,515	0,608
4	0,616	0,242	0,438
5	-0,144	-0,591	0,370
6	0,836	0,189	0,734
7	0,025	0,345	0,120
8	-0,091	-0,296	0,096
9	0,633	-0,157	0,425
10	-0,050	0,086	0,010
11	-0,082	0,311	0,103
12	0,127	0,700	0,506
13	0,295	0,368	0,222
14	-0,811	-0,155	0,681
15	0,089	0,572	0,335
16	0,643	0,146	0,434
17	0,818	-0,232	0,723
18	0,514	0,405	0,428
19	0,076	0,359	0,135
20	-0,167	-0,210	0,072
21	0,609	0,235	0,426
22	0,189	0,231	0,089
23	0,342	-0,228	0,169
24	0,432	-0,592	0,537
25	-0,146	-0,536	0,376
xxxx	5,540	3,332	8,872

Liite 5 Kolmen dimension varimax-ratkaisu

Appendix 5 Varimax solution of three dimensions

	1	2	3	xxxx
2	-0,894	-0,154	0,182	0,856
3	0,524	0,583	-0,163	0,641
4	0,558	0,446	0,095	0,519
5	-0,122	-0,384	0,474	0,387
6	0,826	0,200	-0,137	0,741
7	-0,005	0,305	-0,174	0,124
8	-0,037	-0,408	-0,016	0,168
9	0,662	-0,163	-0,013	0,465
10	-0,078	0,171	0,076	0,041
11	-0,170	0,573	0,208	0,401
12	0,036	0,772	-0,179	0,630
13	0,240	0,464	-0,048	0,275
14	-0,838	0,000	0,321	0,805
15	0,029	0,558	-0,233	0,366
16	0,655	0,055	-0,224	0,483
17	0,818	-0,037	0,235	0,726
18	0,463	0,479	-0,108	0,455
19	0,113	-0,020	-0,589	0,360
20	-0,190	0,006	0,350	0,159
21	0,554	0,425	0,081	0,494
22	0,157	0,280	-0,043	0,105
23	0,321	0,032	0,358	0,232
24	0,415	-0,145	0,704	0,688
25	-0,178	-0,120	0,796	0,680
xxxx	5,317	3,046	2,436	10,799

Liite 6 Viiden dimension varimax-ratkaisu

Appendix 6 Varimax solution of five dimensions

	1	2	3	4	5	xxxx
2	-0,874	-0,295	0,111	-0,134	-0,005	0,881
3	0,328	0,827	-0,112	0,154	-0,034	0,829
4	0,332	0,816	0,063	-0,107	-0,077	0,797
5	-0,132	-0,231	0,295	-0,518	-0,046	0,429
6	0,801	0,328	-0,040	0,173	-0,009	0,780
7	0,052	0,051	-0,007	0,448	0,141	0,226
8	-0,009	-0,185	0,037	-0,118	-0,425	0,231
9	0,727	-0,064	0,073	0,049	-0,099	0,550
10	-0,013	-0,202	-0,048	0,015	0,574	0,373
11	-0,270	0,364	0,107	0,036	0,487	0,455
12	0,025	0,382	-0,035	0,591	0,457	0,706
13	0,347	0,006	0,105	0,526	0,487	0,646
14	-0,828	-0,195	0,267	-0,085	0,103	0,813
15	-0,092	0,586	-0,108	0,346	-0,026	0,484
16	0,658	0,089	-0,275	0,000	0,171	0,545
17	0,763	0,194	0,118	-0,308	0,099	0,739
18	0,343	0,519	-0,158	0,066	0,256	0,483
19	0,107	-0,025	-0,674	0,034	0,068	0,473
20	-0,074	-0,218	0,539	0,257	0,004	0,409
21	0,444	0,461	-0,019	-0,058	0,342	0,531
22	0,080	0,288	-0,097	0,005	0,171	0,129
23	0,214	0,162	0,059	-0,531	0,334	0,469
24	0,422	-0,051	0,615	-0,363	0,128	0,707
25	-0,180	-0,077	0,775	-0,281	-0,018	0,717
xxxx	4,668	3,033	2,084	1,986	1,627	13,398

WUOLIJOKI, ERKKI

O.D.C. 302

1977. The fatigue in forest work. ACTA FORESTALIA FENNICA 159, 32 p. Helsinki.

The aim of the study was to search for measurement methods of muscle fatigue in forest work. Lactic acid concentration of capillary blood was measured from test persons after submaximal and maximal strain tests in laboratory and during forest work. At rest the LA content was affected mainly by the body dimensions and blood pressure. In a maximal strain test it was affected mainly by the age. In submaximal forest work LA content concentrated below the attitude factor indicating working pace and below the body dimensions so, that bigger persons had a higher LA-concentration than smaller persons.

Author's address: Työtehoseura r.y., PL 28, SF-00211 Helsinki 21, Finland.

WUOLIJOKI, ERKKI

O.D.C. 302

1977. The fatigue in forest work. ACTA FORESTALIA FENNICA 159, 32 p. Helsinki.

The aim of the study was to search for measurement methods of muscle fatigue in forest work. Lactic acid concentration of capillary blood was measured from test persons after submaximal and maximal strain tests in laboratory and during forest work. At rest the LA content was affected mainly by the body dimensions and blood pressure. In a maximal strain test it was affected mainly by the age. In submaximal forest work LA content concentrated below the attitude factor indicating working pace and below the body dimensions so, that bigger persons had a higher LA-concentration than smaller persons.

Author's address: Työtehoseura r.y., PL 28, SF-00211 Helsinki 21, Finland.

WUOLIJOKI, ERKKI

O.D.C. 302

1977. The fatigue in forest work. ACTA FORESTALIA FENNICA 159, 32 p. Helsinki.

The aim of the study was to search for measurement methods of muscle fatigue in forest work. Lactic acid concentration of capillary blood was measured from test persons after submaximal and maximal strain tests in laboratory and during forest work. At rest the LA content was affected mainly by the body dimensions and blood pressure. In a maximal strain test it was affected mainly by the age. In submaximal forest work LA content concentrated below the attitude factor indicating working pace and below the body dimensions so, that bigger persons had a higher LA-concentration than smaller persons.

Author's address: Työtehoseura r.y., PL 28, SF-00211 Helsinki 21, Finland.

WUOLIJOKI, ERKKI

O.D.C. 302

1977. The fatigue in forest work. ACTA FORESTALIA FENNICA 159, 32 p. Helsinki.

The aim of the study was to search for measurement methods of muscle fatigue in forest work. Lactic acid concentration of capillary blood was measured from test persons after submaximal and maximal strain tests in laboratory and during forest work. At rest the LA content was affected mainly by the body dimensions and blood pressure. In a maximal strain test it was affected mainly by the age. In submaximal forest work LA content concentrated below the attitude factor indicating working pace and below the body dimensions so, that bigger persons had a higher LA-concentration than smaller persons.

Author's address: Työtehoseura r.y., PL 28, SF-00211 Helsinki 21, Finland.

ACTA FORESTALIA FENNICA

EDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 146, 1975. SEPPÖ KELLOMÄKI.
Forest Stand Preferences of Recreationists. Seloste: Ulkoilijoiden metsikköarvostukset.
- VOL. 147, 1975. SEPPÖ KELLOMÄKI and VARPU-LEENA SAASTAMOINEN.
Trampling Tolerance of Forest Vegetation. Seloste: Metsäkasvillisuuden kulutuskestävyys.
- VOL. 148, 1975. PENTTI ALHO
Metsien tuoton alueellisista eroista Suomessa. Summary: Regional Differences in Forest Returns within Finland.
- VOL. 149, 1975. TAUNO KALLIO.
Peniophora Gigantea (Fr.) Masseur and Wounded Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Part II. Seloste: Peniophora gigantea ja kuusen vauriot osa II.
- VOL. 150, 1976. LEO HEIKURAINEN ja JUKKA LAINE.
Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Summary: Effect of fertilizations, drainage, and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps.
- VOL. 151, 1976. JORMA AHVENAINEN.
Suomen paperiteollisuuden kilpailukyky 1920- ja 1930-luvulla. Summary: The competitive position of the Finnish paper industry in the inter-war years.
- VOL. 152, 1976. YRJÖ KANGAS.
Die Messung der Bestandesbonität. Seloste: Metsikön boniteetin mittaaminen.
- VOL. 153, 1976. YRJÖ ROITTO.
The economic transport unit size in roundwood towing on Lake Iso-Saimaa (in Eastern Finland). Résumé: Le volume Economique du remorquage de bois ronds sur le lac Iso-Saimaa, en Finlande orientale. Tiivistelmä: Taloudellinen kuljetusyksikkö Ison-Saimaan nippulauttahuuauksessa.
- VOL. 154, 1977. NIILLO SÖYRINKI, RISTO SALMELA ja JORMA SUVANTO.
Oulangan kansallispuiston metsä- ja suokasvillisuus. Summary: The forest and mire vegetation of the Oulanka national park, Northern Finland.
- VOL. 155, 1977. EERO KUBIN.
The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in Northern Finland (64° 28' N). Seloste: Paljaaksihakkuun vaikutus kuusimetsän ravinnetilaan Pohjois-Suomessa (64° 28' N).
- VOL. 156, 1977. JUKKA SARVAS.
Mathematical model for the physiological clock and growth. Seloste: Fysiologisen kellon ja kasvun matemaattinen malli.
- VOL. 157, 1977. HEIKKI JUSLIN.
Yksityismetsänomistajien puunmyyntialttiuteen liittyviin asenteisiin vaikuttaminen. Summary: Influencing the timber-sales propensity of private forest owners.
- VOL. 158, 1977. ANNA-MAIJA HALLAKSELA.
Kuusen kantojen mikrobilajisto. Summary: Microbial flora isolated from norway spruce stumps.

KANNATTAJAJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

**CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA
SUNILA OSAKEYHTIÖ
OY WILH. SCHAUMAN AB
OY KAUKAS AB
KEMIRA OY
G. A. SERLACHIUS OY
KYMIN OSAKEYHTIÖ
KESKUSMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO
KOIVUKESKUS
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS
OY TAMPELLA AB
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ
KAJAANI OY
KEMI OY
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ
OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY
SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS
OY HACKMAN AB
YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ
RAUMA-REPOLA OY
OY NOKIA AB, PUUNJALOSTUS
JAAKKO PÖYRY & CO
KANSALLIS-OSAKEYHTIÖ
OSUUSPUU
THOMESTO OY**