

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN YHTEYS LIHASKUNTOON JA
KESTÄVYYTEEN**

Pro gradu -tutkielma

Kadetti
Jaakko Niemi

Kadettikurssi 92
Tiedustelu- ja liikuntalinja

Maaliskuu 2009

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 92	Linja Tiedustelu- ja liikuntalinja	
Tekijä Kadetti Jaakko Niemi		
Tutkimuksen nimi ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN YHTEYS LIHASKUNTOON JA KESTÄVYYTEEN		
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (Mpkk:n kirjasto)	
Aika: Maaliskuu 2009	Tekstisivuja 52	Liitesivuja 5
<p>Maksimivoimalla on todettu olevan yhteys sotilaallisista tehtävistä suoriutumiseen. Puolustusvoimissa käytössä olevilla fyysisen kunnon testeillä pyritään saamaan luotettava kuva ammattisotilaan kenttäkelpoisuuteen vaikuttavasta fyysisestä suorituskyvystä. Reserviläisten osalta ei ole käytössä yhtä vakiintunutta testikäytäntöä, ja ainoa maksimaalista voimaa mittaava testi on tällä hetkellä käden puristusvoimatesti.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin isometrisen maksimivoiman yhteyttä lihaskuntoon ja kestävyteen sekä sitä, kuinka paljon nykyiset reserviläisille pidetyt kuntotestit kertovat käsien ja jalkojen ojentajien maksimivoiman tasosta. Testit suoritettiin kertausharjoitusten yhteyksissä järjestetyissä fyysisen kunnon kartoituksissa. Tutkimukseen osallistui yhteensä 789 reserviläistä. Koehenkilöiden ikä oli 24 ± 2.8 v., pituus 180 ± 6 cm, paino 80.3 ± 13.5 kg ja rasvaprosentti 17.8 ± 7.2 %. Heiltä mitattiin kyynärvarren ojentajien sekä jalkojen ojentajien isometriset maksimivoimat, käden puristusvoima ja maksimaalinen hapenottokyky. Näiden lisäksi lihaskuntotesteihin kuului minuutin etunojapunnerrus, minuutin istumaan nousu ja minuutin toistokyykistys. Lihaskuntoindeksi (LKI) laskettiin lihaskestävyystestien tuloksista ja fyysisen suorituskyvyn indeksi (FSK) lihaskuntoindeksistä ja maksimaalisesta hapenottokyvystä.</p> <p>Isometristen maksimivoimatestien tulosten keskiarvo (\pm vaihteluväli) jalkojen osalta oli 2917 ± 868 N. Kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman keskiarvo oli 898 ± 201 N. Keskiarvo puristusvoimamittauksessa oli 53 ± 9 kg. Lihaskestävyystesteissä saatiin seuraavanlaiset tulokset: istumaan nousu 38 ± 10 kpl, etunojapunnerrus 28 ± 12 kpl ja toistokyykistys 43 ± 8 kpl. Maksimaalisen hapenottokyvyn keskiarvo oli 41.6 ± 8.1 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Merkittävät positiiviset yhteydet löydettiin minuutin</p>		

etunojapunnerruksen ja kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ($r = 0.58$, $p < 0.001$) sekä minuutin toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn väliltä ($r = 0.55$, $p < 0.001$). Kyynärvarren isometrinen maksimivoima korreloi huomattavasti LKI:n ja FSK:n kanssa ($r = 0.51$, $p < 0.001$; $r = 0.47$, $p = 0.001$). Tutkimuksen perusteella lihaskestävyydellä on positiivinen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn. Sen sijaan käsien tai jalkojen isometrisellä maksimivoimalla ei havaittu olevan yhteyttä maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa. Puristusvoiman yhteys jalkojen ja käsien maksimivoimaan sekä LKI:iin ja FSK:iin on heikko.

Tutkimuksen mukaan lihaskestävyuden perusteella voidaan jossain määrin arvioida maksimivoiman ja fyysisen kunnon tasoa, joten nykyiset lihaskunnon kartoitukseen käytetyt testit antavat tietyiltä osin tietoa myös maksimivoimasta. Tätä huomiota tukee etunojapunnerruksen ja käsien isometrisen maksimivoiman suhteellisen voimakas yhteys. Toisaalta toistokyykistyksen ja jalkojen ojentajien isometrisen maksimivoiman yhteys on heikko. Toistokyykistyksellä on kuitenkin huomattava yhteys maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että yksittäisistä isometrisistä maksimivoimatesteistä eniten tietoa reserviläisten fyysisestä suorituskyyvystä antaa kyynärvarren ojentajien isometrinen maksimivoimatesti. Yksittäisen maksimivoimatestin perusteella ei kuitenkaan voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä reserviläisen fyysisestä suorituskyyvystä eikä fyysisen suorituskyyvyn indeksin perusteella yleisestä maksimivoiman tasosta. Nykyistä luotettavampaa tietoa fyysisestä suorituskyyvystä saataisiin, jos fyysisen kunnon testeissä olisi mukana jalkojen maksimivoimaa mittaava testi. Puristusvoimamittauksen käyttöarvoa fyysisen kunnon mittaamisessa tulisi harkita.

AVAINSANAT: Maksimivoima, kestovoima, kestävyys, fyysinen suorituskyyky, kuntotestit.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KESKEISET KÄSITTEET	4
2.1 Sotilaan toimintakyky	4
2.2 Kenttäkelpoisuus	5
2.3 Fyysinen suorituskky	5
2.4 Voima	5
2.5 Kestävyys	6
2.6 Fyysisen suorituskvyn indeksi	6
3. HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	6
3.1 Hermoston yleisrakenne, keskus- ja ääreishermosto	6
3.2 Hermostolu	7
3.3 Aktiopotentiaali	8
3.4 Lihaskudos	9
3.5 Lihassupistus	10
3.6 Lihastoiminta	11
3.7 Motoriset toiminnot	12
3.8 Lihaksen energia-aineenvaihdunta	13
4. VOIMA JA SEN LAJIT	14
4.1 Maksimivoima	15
4.2 Nopeusvoima	16
4.3 Kestovoima	16
5. HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄÄN	17
5.1 Voimaharjoittelu	17
5.1.1 Voimaharjoittelun vaikutus luurankolihakseen	18
5.1.2 Voimaharjoittelun vaikutus hermostossa	19
5.2 Kestävyysharjoittelu	19
5.3 Yhdistelmäharjoittelu	21
5.3.1 Yhdistelmäharjoittelun vaikutus lihaksessa	22
5.3.2 Yhdistelmäharjoittelun vaikutus hermostossa	23
6. VOIMA OSANA SOTILAAN FYYSISTÄ TOIMINTAKYKYÄ	25

7. TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA VIITEKEHYS	30
7.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelmat	30
7.2 Tutkimuksen viitekehys	30
8. TUTKIMUSMENETELMÄT	31
8.1 Koehenkilöt	31
8.2 Mittausasetelma	31
8.3 Menetelmät	33
8.4 Tilastolliset menetelmät	35
9. TUTKIMUSTULOKSET	35
9.1 Kehonkoostumus	35
9.2 Fyysiset testit	36
9.3 Maksimivoiman suhde lihaskestävyyteen	37
9.4 Maksimivoiman suhde lihaskuntoindeksiin	39
9.5 Maksimivoimatulosten suhde toisiinsa	40
9.6 Maksimivoiman suhde fyysiseen suorituskyykyyn	41
9.7 Maksimivoiman suhde hapenottokyykyyn	42
9.8 Hapenottokyykyyn suhde lihaskuntoindeksiin ja lihaskestävyyteen	43
10. POHDINTA	44
10.1 Tutkimuksen päätulokset	44
10.2 Maksimivoiman ja kestoiman yhteys	44
10.3 Maksimivoiman yhteys maksimaaliseen hapenottokyykyyn	47
10.4 Maksimivoiman suhde fyysiseen suorituskyykyyn	47
10.5 Lihaskestävyyden ja maksimaalisen hapenottokyykyyn yhteys	48
10.6 Tutkimuksen luotettavuus ja yleistettävyys	49
10.7 Johtopäätös	51
10.8 Tutkimuksen merkitys ja käytännön sovellukset	51

LÄHTEET

LIITTEET

ISOMETRISEN MAKSIMIVOIMAN YHTEYS LIHASKUNTOON JA KESTÄVYYTEEN

1. JOHDANTO

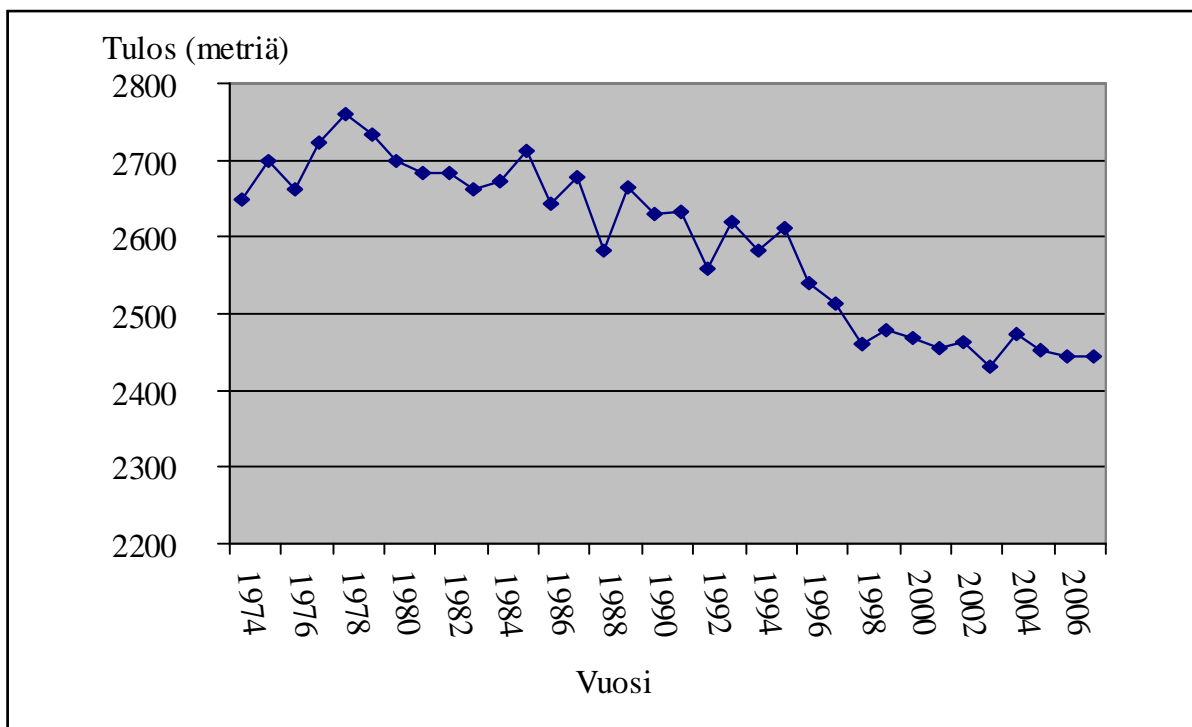
Taisteluiden aikana yksittäisen sotilaan fyysinen suorituskyky ja joukon toimintakyky heikkenevät nopeasti. Sotatoimien aikana ei ole mahdollisuuksia kehittää fyysistä kuntoa, joten sodanajan joukkojen fyysinen suorituskyvyn on oltava riittävä jo ennen taisteluiden alkua (Taistelija 2005, 7.) Suomen reserviin perustuvassa kenttäarmeijassa tämä tarkoittaa sitä, että yksittäisen reserviläisen on oltava fyysisiltä valmiuksiltaan sodanajan vaatimuksia vastaavalla tasolla kun taistelut alkavat.

Viimeaikaiset sodat ja tutkimukset ovat osoittaneet, että jokaiselta sotilaalta, aselajia tai toimialaa katsomatta, edellytetään hyvää fyysistä suorituskykyä. Taisteluiden kiivaus, tuhovoimaiset taisteluvälineet sekä asejärjestelmät edellyttävät hyvää toimintakykyä sekä taistelijoilta että johtajilta. Taistelukentän asettamat vaatimukset edellyttävät sellaista toimintakyvyn tasoa, että taistelija kykenee niin väsyneenä kuin henkisen paineen alaisenakin tekemään nopeita ja järkeviä johtopäätöksiä. Taistelijan on kyettävä kestämaan ja hallitsemaan taistelukentän sekä fyysiset että psyykkiset rasitukset useiden vuorokausien taisteluissa. (Taistelija 2005 6-7; Fyysisen toimintakyvyn perusteet, Hallinnollinen Määräys PVHSMK PEHENKOS 2008.)

Fyysisellä koulutuksella tuotetaan toimintakykyisiä kriisi- ja sodanajan joukkoja. Joukkojen on kyettävä säilyttämään toimintakykynsä vähintään kahden viikon mittaisen jatkuvan taistelukosketuksen ajan sekä sen lisäksi taistelijoiden on pystyttävä keskittämään kaikki voimavaransa kolmesta neljään vuorokautta kestäviin ratkaisutaisteluihin. (Fyysisen toimintakyvyn perusteet, hallinnollinen määräys PVHSMK PEHENKOS 2008.) Suomessa ei kuitenkaan ole riittävästi tutkittu, miten yksittäinen taistelija kykenee toimimaan taistelukentän asettamien vaatimusten mukaisesti. (Taistelija 2005, 7.)

Fyysisen toimintakyvyn perusteet -määräyksessä (2008) esitetään sotilaiden fyysisen suorituskyvyn minimivaatimukset. Kaikkien puolustushaarojen ja aselajien tukitehtävissä toimivien sotilaiden maksimaalisen hapenottokyvyn minimivaatimus on 45 millilitraa per kilogramma minuutissa ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), joka vastaa noin 2600:a metriä 12 minuutin juoksutestissä. Liikkuvaan sodankäyntiin erikoistuvien sotilaiden vaatimus on $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, joka vastaa noin 2800:a metriä 12 minuutin juoksutestissä. Erikoisjoukkojen vaatimuksena on $55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, eli yli 3000 metriä 12 minuutin juoksutestissä. Sotilaiden lihaskunnon on oltava sellainen, että he kykenevät kantamaan vähintään 25 kilogramman lisäkuormaa ja säilyttämään taistelukykynsä.

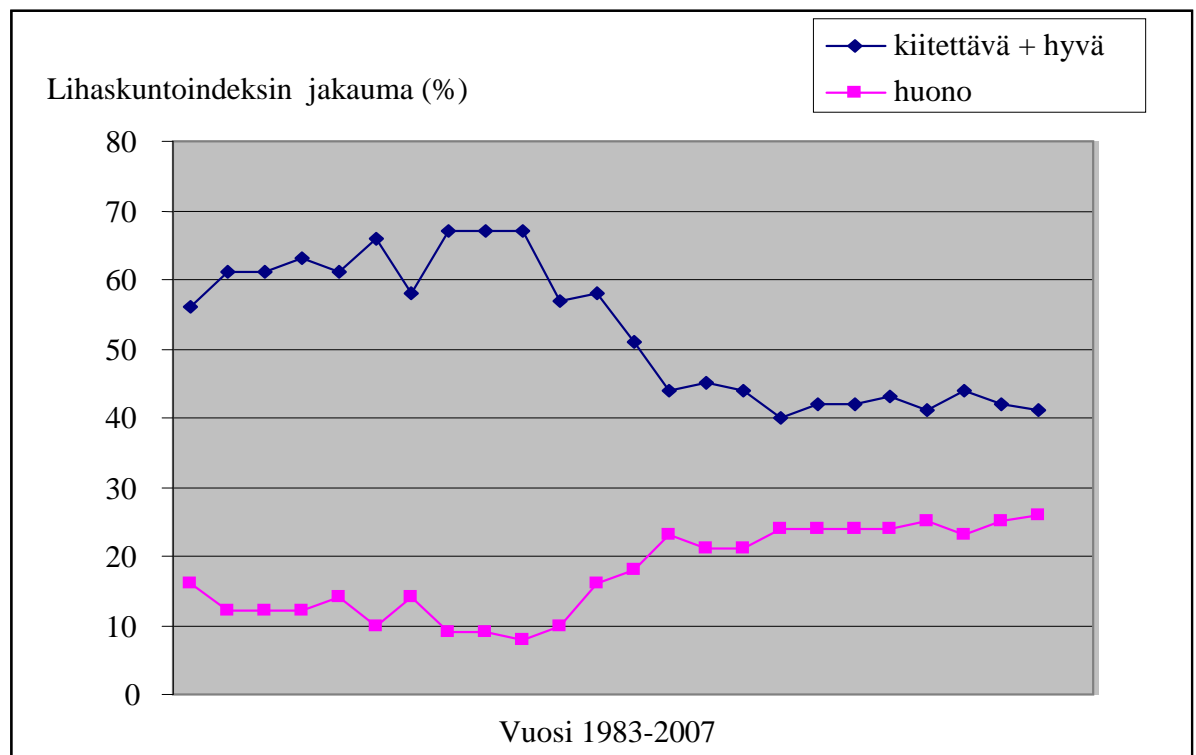
Palvelukseen astuvien varusmiesten fyysinen kunto on heikentynyt asteittain vuodesta 1987. Juoksutestissä hyvään tai kiitettävään kuntoon yltäneiden määrä on laskenut 70 prosentista 41 prosenttiin. Tyydyttävän tai huonon tuloksen saaneiden määrä on vastaavasti kasvanut 30 prosentista 59 prosenttiin (Kuva 1). Juoksutesti otettiin varusmiesten testiohjelmaan vuonna 1974.



Kuva 1. Palvelukseen astuvien varusmiesten Cooper-testin kehitys vuosina 1974–2008. (mukailtu Santtila ym. 2006, <http://www.mil.fi/liikunta>).

Myös lihaskunto on heikentynyt merkittävästi (Kuva 2). Kahdella kolmesta (68 %) palvelukseen astuneesta oli vuonna 1988 vähintään hyvä lihaskunto. Nykyään siihen yltää enää 39 prosenttia. ”Lihaskuntotestit sisältävät etunojapunnerruksen, käsinkohonnan, istumaan nousun, selkälihasliikkeen ja vauhdittoman pituushypyn. Lihaskuntotesti otettiin ohjelmaan vuonna 1984”.

(http://www.verkkouutiset.fi/Arkisto_2000/24.marraskuu/saku4700.htm).



Kuva 2. Palvelukseen astuvien varusmiesten lihaskuntoindeksin kehitys kiitettävän ja hyvän tuloksen saaneiden osalta sekä huonon tuloksen saaneiden osalta. Huonokuntoisten osuus on selvässä kasvussa kiitettävän ja hyvän tuloksen selvästi laskiessa. (mukailtu Santtila ym. 2006, <http://www.mil.fi/liikunta>).

Kestävyys ja lihaskunnan heikkenemisen lisäksi varusmiesten keskipaino on noussut selvästi vuosien 1994 ja 2007 välillä. Vuonna 1994 palvelukseen astuvan varusmiehen keskipaino oli 70,8 kilogrammaa (kg), ja vuonna 2007 se oli 77,1 kg. Samaan aikaan palveluksensa aloittavien varusmiesten keskipituudessa ei ole tapahtunut muutosta. Suunta on lisäksi ollut se, että seuraava vuosikerta on aina ollut edeltäjänsä painavampi. Heikentyneet lihaskuntotestien tulokset ja Cooper-testin tulos viittaavat siihen, että painon lisäys on tullut rasvakudoksen lisäyksen seurauksena. Tätä oletusta tukee myös varusmiehille tehty liikunta-aktiivisuuskysely,

jossa kysyttiin liikunta-aktiivisuutta ennen palvelukseen astumista. Kysely toteutettiin saapumiserille II/04 ja I/05. Kyselyyn vastasi 7006 varusmiestä. Kaikkiaan 35,7 prosenttia vastanneista ei harrasta juuri mitään liikuntaa tai liikkuu verkkaisesti ja rauhallisesti noin kerran viikossa. Yhteensä 67,1 prosenttia harrastaa liikuntaa terveyden kannalta riittävästi. (http://www.verkkouutiset.fi/arkisto/Arkisto_2000/24.marraskuu/saku4700.htm; <http://www.mil.fi/liikunta>).

Maksimivoiman tasolla on todettu olevan vaikutusta siihen, miten hyvin sotilas selviytyy annetuista sotilaallisista fyysisistä tehtävistä. (Kraemer ym. 2001; Hoff, Gran & Helgerud 2002; Williams, Rayson & Jones 2002; Kraemer ym. 2004; Wescott ym. 2007.) Lisäksi voimaominaisuuksilla, kehonpainolla ja sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen on todettu olevan yhteyttä keskenään. (Harman ym. 2008; Kokko 2008.)

Tässä tutkimuksessa selvitetään hermolihaskäytön yleinen rakenne ja toiminta sekä perehdytään voimaominaisuuksien ja sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen yhteyksiin (kuva 5, sivu 31). Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, 1) mikä on maksimaalisten isometristen voimatestien yhteydet puolustusvoimien käyttämiin lihaskuntotesteihin, 2) voidaanko maksimaalisten isometristen voimatestien perusteella tehdä luotettavia johtopäätöksiä reserviläisten fyysisestä suorituskyvystä ja 3) onko samoilla reserviläisillä hyvät voima- ja kestävyysominaisuudet?

2. KESKEISET KÄSITTEET

2.1 Sotilaan toimintakyky

Sotilaan toimintakyky koostuu fyysisestä, psyykkisestä, ja sosiaalisesta osa-alueesta. Toimintakyky on toimintakykyisyyttä, joka mahdollistaa yksilön selviytymisen päivittäisistä toiminnoista (PEKOUL-OS:n PAK 4:3:1/1.5.1999.) Toiskallio (1998, 27) jakaa sotilaan toimintakyvyn fyysiseen, psyykkiseen, sosiaaliseen ja eettiseen osa-alueeseen. Tässä tutkimuksessa keskitytään toimintakyvyn fyysiseen osa-alueeseen.

2.2 Kenttäkelpoisuus

Kenttäkelpoisuus on yksilön riittävää fyysistä kuntoa ja siihen yhdistyvää ampumataittoa, taitoa liikkua kaikissa taistelukentän oloissa tehtävän edellyttämällä tavalla sekä tehtävän mukaisesti varustettuna eri vuodenaikoina kaikissa sää- ja kelioloissa. (Fyysisen toimintakyvyn perusteet, hallinnollinen määräys PVHSMK PEHENKOS 2008.)

2.3 Fyysinen suorituskyky

Fyysisellä suorituskyvyllä tarkoitetaan ihmisen fyysistä kykyä minkä tahansa toiminnan suorittamiseksi. (Kyröläinen 1998, 26). Kehon rakenteelliset tekijät luovat toiminnalle fyysisen perustan. Toimintojen ja tehtävien suorittaminen vaatii teknistä ja taktista osaamista, mutta ilman riittävää fyysistä suorituskykyä tehtävien täyttäminen on mahdotonta. Fyysiseen suorituskykyyn vaikuttavat esimerkiksi tahto ja mielialat, joten fyysinen suorituskyky on kiinteässä yhteydessä sotilaallisen toimintakyvyn muihin osa-alueisiin. (Kyröläinen 1998, 25-26).

Fyysistä suorituskykyä hermolihasjärjestelmän osalta voivat rajoittaa heikko lihasvoima, hidas reaktiokyky, lihasten heikentynyt supistumisnopeus ja lihasten välisen koordinaation heikentyminen. Nämä ilmiöt korostuvat väsymisen myötä. Riippumatta väsymisen syistä seurauksena on aina lihaksen voimantuoton heikkeneminen. (Kyröläinen 1998, 34-35).

2.4 Voima

Yhden motorisen hermosolun, päätehaarojen ja näiden hermottamien lihassolujen muodostamaa kokonaisuutta sanotaan motoriseksi yksiköksi. Se on pienin hermolihasjärjestelmän muodostama toimiva kokonaisuus. Tahdonalainen lihaksen supistuskäskeä ja sen seurauksena tapahtuva voimantuotto alkaa aivoista saapuen hermoratoja pitkin selkäyttimeen, josta käske siirtyy motorisia liikehermoja pitkin lihakseen. (Kyröläinen 1998, 27-28; McArdle 2007, 402-403).

Voima jaetaan eri osa-alueisiin lihassupistustapojen perustella, joita ovat isometrinen ja dynaaminen. Dynaaminen voima voidaan jakaa edelleen eksentriseen ja konsentriseen supistumiseen. Hermolihasjärjestelmän toimintaa ja voimantuottoa voidaan mitata esimerkiksi

jalkadynamometrillä tarkasteltaessa tuotettua voimaa yhdessä lihasaktiivisuusmittausten (elektromyografia, EMG) kanssa (Kyröläinen 1998, 28).

2.5 Kestävyys

Kestävyys on kykyä vastustaa väsymystä, joka riippuu työtä tekevien lihasten energian saannista ja sen riittävydestä. Tämän vuoksi kestävyys jaetaan eri osa-alueisiin energia-aineenvaihdunnan perusteella. Aerobisessa lihastyössä teho on alhainen ja työn vaatima energia saadaan hiilihydraatteja ja rasvoja hapettamalla. Anaerobisessa työssä energiaa saadaan joko suoraan välittömiä energianlähteitä pilkkomalla (kreatiini fosfaatti tai adensiinikreatiinfosfaatti, eli ATP) tai anaerobisen glykolyysin kautta. Kestävyyttä selittävät siis energia-aineenvaihdunnalliset tekijät, jotka riippuvat hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakyvystä. (Kyröläinen 1998, 27.)

2.6 Fyysisen suorituskyvyn indeksi

Fyysisen suorituskyvyn indeksi (FSK) määritellään lihaskuntoindeksin (LKI) eli lihaskunto- ja voimaliikkeiden (toistokyykistys, etunojapunnerrus, istumaan nousu ja puristusvoima) sekä maksimaalisen hapenottokyvyn viitearvojen perusteella. Fyysisen suorituskyvyn indeksi ilmoitetaan välillä 1-5 (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja 2008, liite 10).

3. HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

3.1 Hermoston yleisrakenne, keskus- ja ääreishermosto

Anatomisesti hermosto jaetaan kahteen suureen osakokonaisuuteen: keskus- ja ääreishermostoon. Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin, kun taas ääreishermostoon kuuluvat elimistön muut hermot eli aivohermot, selkäydinhermot ja autonomisen hermoston perifeeriset osat. Keskushermosto on suojassa kallon ja selkärangan sisällä. (Nienstedt, Hänninen, Arstila & Björkqvist 1999, 518). Hermosto voidaan jaotella myös sen toiminnan kautta. Tällöin hermosto jaetaan edelleen keskus- ja ääreishermostoon. Ääreishermosto jaetaan tuntohermoihin (sensory nerves), ja liikehermoihin (motor nerves). Tuntohermot lähettävät tietoa keskushermostoon ympäristön ja kehon olosuhteiden muutoksista, esimerkiksi paineesta iholla tai lihaksen venymisestä. Tieto käsitellään aivoissa tai selkäytimessä, ja vaste lähtee liikehermoja pitkin kehon tarkoituksenmukaiselle osalle. Hermosto jaetaan myös autonomiseen

eli tahdosta riippumattomaan hermostoon ja somaattiseen eli tahdonalaiseen hermostoon. (Wilmore & Costill 2004, 60-61.)

Somaattinen hermosto aiheuttaa liikettä poikkijuovaisessa lihaskudoksessa ja näihin liikkeisiin ihminen voi vaikuttaa omalla tahdollaan. Autonominen hermosto säätelee sileän lihaskudoksen toimintaa, esimerkiksi sisäelinten ja rauhasen aktiivisuutta. Hermosyyt, jotka välittävät informaatiota sisäelinten tilasta, kuuluvat autonomiseen hermostoon. (Nienstedt ym. 1999, 518). Autonominen hermosto on edelleen jaettavissa sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Sympaattisen hermoston voidaan katsoa kiihdyttävän elimistön toimintaa. Sydämen syketaajuus nousee, iskuvoimakkuus kasvaa ja verenkierto nopeutuu. Verenpaine nousee sisäelinten ja ihon verisuonten supistuessa. Liikkumiseen tarvittavien lihasten verisuonet kuitenkin laajenevat ja hengitystiet avartuvat. Parasympaattisen hermoston vaikutusten voidaan katsoa olevan päinvastaiset sympaattiseen hermostoon nähden. Molemmat hermostot säätelevät elimistön toimintoja kuitenkin koko ajan ja yhtä aikaa. Ero sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toiminnan periaatteen välillä on kuitenkin se, että sympaattisen hermoston lisääntynyt aktiivisuus vaikuttaa elimistöön kokonaisuutena, kun taas parasympaattinen säätely kohdistuu usein vain muutamaankin elimeen kerrallaan. (Nienstedt ym. 1999, 540-544.)

3.2 Hermosolu

Vaikka hermosto on toiminnaltaan monimutkainen kokonaisuus, koostuu se ainoastaan kahdesta solutyypistä: hermotuki- eli gliasoluista ja hermosoluista. Gliasolujen tehtävänä on toimia hermosolujen ravintoa tuovina, tukea antavina ja hermosoluja yhteen liittävinä soluina. (Niemi, Virtanen & Vuorio. 1995, 272.) Keskushermostosta on löydettävissä neljää eri gliasolutyyppiä. Astrosyyttien mainitseminen on tarkoituksenmukaista, koska ne osallistuvat hermovälittäjäaineiden aineenvaihduntaan ja kaliumionien säätelyyn. Perifeerisessä hermostossa tukisoluja sanotaan schwannin soluiksi. Schwannin solut muodostavat myeliinitupen osaan ääreishermoston hermosyistä. Hermosyytä ympäröivän myeliinikerroksen tehtävänä on suojata hermoa ja eristää aksoni. Eristys lisää aktiopotentialin kulkunopeutta viejähaarakeissa. Myeliinitupella on merkitystä myös silloin, kun viejähaarake vahingoittuu. Jos myeliinituppi on ehjä, voi se ohjata hermosolun regeneroitumista entiseen kohteeseen. Regeneroituminen ei ole mahdollista keskushermoston hermosoluilla. (Niemi ym. 1995, 272-274.)

Neuronista voidaan erottaa sooma sekä viejä- ja tuojahaarakkeet. Sooma l. perikaryon sisältää tuman ja soluelimiä. Hermosolujen tukiranka koostuu neurofilamenteista ja mikrotubuluksista sekä aktiini-mikrofilamenttisäikeistöstä. Tukirangan tehtävänä on ylläpitää solun muotoa ja osallistua solun sisäisiin kuljetustapahtumiin. Tuojahaarakkeet ovat lyhyitä ja usein voimakkaasti haarautuvia, kun taas viejähaarakke on pitkä ja yksittäinen haarakke, joka voi olla myeliinitupen ympäröimä. Aksoni laajentuu päästään yhdeksi tai useammaksi pullistumaksi, synaptiseksi päätepullistumaksi (Niemi ym. 1995, 275-276.)

3.3 Aktiopotentiaali

Kaikille eläville soluille ominainen piirre on kalvopotentiaali. Se tarkoittaa, että solukalvo on sähköisesti varautunut. Tilanne syntyy, koska solukalvon ulkopuolella on suuri määrä natriumioneja (Na^+) verrattuna solun sisällä oleviin kaliumioneihin (K^+). Positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet hiukkaset vetävät toisiaan puoleensa ja näiden hiukkasten välinen vetovoima saa solukalvon polarisoitumaan. Ionien epäsuhtaan solukalvon molemmin puolin on kaksi syytä. Ensinnäkin solukalvo läpäisee paljon herkemmin kaliumioneja kuin natriumioneja. Tästä johtuen osa kaliumioneista voi siirtyä kohti pienempää ionipitoisuutta eli solun ulkopuolelle. Toiseksi solukalvossa on ionipumpuiksi kutsuttuja solukalvon organelleja. Nämä ionipumput tuovat kaksi kaliumionia sisälle soluun kolmea uloskuljetettua natriumionia vastaan. (Wilmore & Costill 2004, 62-63). Pumpun toiminnasta aiheutuu positiivisesti varautuneiden ionien ylimäärä solun ulkopuolella. Solukalvon ulkopuolelle muodostuu positiivinen ja sisäpuolelle negatiivinen varaus. Ionien aktiivinen pumppaaminen pienemmästä pitoisuudesta kohti suurempaa on aktiivista toimintaa ja vaatii näin ollen ATP:tä toimiakseen. Jos hermosolu ei saa energiaa pitääkseen yllä natrium-kaliumpumpun toimintaa, kalvopotentiaali häviää ja solu kuolee. Kalvopotentiaalia kutsutaan hermo- ja lihassoluissa lepopotentiaaliksi erotuksena aktiopotentiaalista. (Nienstedt ym. 1999, 68-69.)

Hermo- ja lihassoluilla on kyky aikaansaada solukalvoa pitkin etenevä jännitemuutos, aktiopotentiaali, joka tarkoittaa kalvopotentiaalin pienenemistä noin sekunnin tuhannesosan ajaksi. Aktiopotentiaalin saapuessa tiettyyn solukalvon kohtaan, häviää siitä ensin lepopotentiaali solukalvon läpäisevyyden natriumioneille lisääntyessä. Natriumionien virratessa solukalvon läpi soluun, muuttuu myös viereinen kohta solukalvosta natriumioneja läpäiseväksi, ja näin aktiopotentiaali etenee. Aktiopotentiaalin aikana natriumioneja on virrannut solukalvon läpi niin paljon, että alkujaan negatiivinen varaus on kääntynyt positiiviseksi. Lepopotentiaalin häviämistä sanotaan depolarisaatioksi, joka on aktiopotentiaalin ensimmäinen vaihe. Toinen vaihe aktiopotentiaalista saavutetaan noin tuhannesosasekunnin kuluttua sen alkamisesta.

Tällöin solukalvo on jälleen muuttunut natriumioneja läpäisemättömäksi mutta kaliumioneja läpäiseväksi. Tämän niin sanotun repolarisaation aikana käänteispotentiaali häviää ja lepopotentiaali palaa. Lopuksi solukalvon kaliumläpäisevyys palautuu normaaliksi ja tavallinen lepopotentiaali palaa. (Nienstedt ym. 1999, 68-69.)

Ionipumppujen aktivoituminen tapahtuu heti, kun vain jokin tekijä lisää solukalvon läpäisevyyttä niin paljon, että natriumionit pääsevät kulkemaan solukalvon läpi. Lepopotentialin pienenemisen tietyn kynnyksärajan alle aikaansaa tavallisesti aksonia pitkin kulkeva impulssi. Solu tarvitsee tietyn toipumisjakson, refraktioajan, jotta aktiopotentiaalinen kulkeminen aksonissa olisi mahdollista. Myeliinitupellisessa hermosyössä tämä aika on noin millisekunti. Hermosyössä kulkee harvoin enempää kuin 200 impulssia sekunnissa, vaikka teoriassa impulsseja voisi mennä viisi kertaa enemmän samassa ajassa. Impulssin johtumisnopeuteen vaikuttavat hermosyyn paksuus ja myeliinitupen olemassaolo. Mitä paksumpi hermosyy, sitä nopeammin aktiopotentiaali kulkee. Myeliinituppi lisää myös impulssin kulkunopeutta, koska myeliinituppi estää ionien vaihdon hermosyyn ja sen ympäristön välillä. Edellä mainituista seikoista riippuen impulssin kulkunopeus hermosyössä vaihtelee 0,1 metriä sekunnissa (m/s) ja 100 m/s välillä. Hermosyy noudattaa kaikki tai ei mitään- periaatetta. Liian pieni ärsyke ei laske kalvojännitettä niin, että impulssi lähtisi kulkemaan. Kynnyksärajan ylittävä ärsyke sen sijaan aikaansaa täysimittaisen impulssin, joka leviää aksonin kaikkiin haaroihin. (Nienstedt ym. 1999, 69-71.)

3.4 Lihaskudos

Aikuisen ihmisen painosta noin 30-45 % on lihaskudosta. Lihaskudoksen ominaispiirre verrattuna muihin kudostyypeihin on sen kyky supistua. (Nienstedt ym. 2004, 76.) Luurankolihasen massasta 75 % on vettä ja 20 % proteiineja. Lisäksi luurankolihasessa on muun muassa rasvoja, hiilihydraatteja, suoloja ja entsyymejä. (Mero, Nummela, Keskinen & Häkkinen. 2004, 52.) Suurimman osan lihaskudoksesta muodostavat lihassolut eli lihassyöt. Lihaskudoksia on kolmea tyyppiä: sydänlihaskudos, sileä lihaskudos ja poikkijuovainen lihaskudos.

Luurankolihakset, eli poikkijuovaiset lihakset, mahdollistavat ihmisen liikkumisen joten ne ovat somaattisen hermoston säätelemiä. Poikkijuovainen lihaskudos muodostuu 5-50 millimetriä (mm) pitkistä ja 10-10 mikrometriä (μm) paksuista lihassyistä. Lihassyissä on lukuisia tumia heti lihaskalvon alla solun laidoilla. Lihassyissä on pituussuuntaisia myofibrillejä, jotka koostuvat myofilamenteista. Lihaksen poikkijuovaisuus johtuu siitä, että

myofilamentit ovat vierekkäin tietyssä järjestyksessä. Myofibrillit muodostavat pituussuunnassa peräkkäin olevat sarkomeerit. Sarkomeerien pituus on noin 2 μm . Filamentit muodostuvat toistensa lomissa olevista aktiini- ja myosiinifilamenteista. (Nienstedt ym. 1999, 76-78.) Sarkomeerien rajalla on poikittainen Z-levy. Aktiinifilamentit kiinnittyvät toisesta päästään Z-levyyn. Toisesta, vapaasta päästään ne lomittuvat siis myosiinifilamenttien kanssa niin, että kutakin myosiinifilamenttia ympäröivät kuusikulmion kulmiin sijoittuneet aktiinifilamentit. Myosiinifilamenttien runkona ovat myosiinimolekyylit, jotka ulkonäöltään muistuttavat golfmailaa. (Niemi ym. 1995, 215-216.)

Lihasta ympäröi sidekudoksinen peitinkalvo (epimysium). Sen tehtävänä on pitää lihassykimpuista muodostunut lihas koossa. Sidekudosta on myös jokaisen lihassyyn ympärillä. Lihassyyn päissä tämä solun peittävä kudos yhtyy sidekudoksen muodostamaan jänteeseen, joka taas on kiinnittynyt luuhun. Lihassyitä ympäröivässä kudoksessa kulkevat lihassyyn verisuonet ja hermot. Tässä kudoksessa on myös T-putkia (T-tubule). Näiden putkien tehtävänä on toimia solun ulko- ja sisäpuolen yhdistävinä reitteinä, joita pitkin solu saa helposti ravinteita ja voi poistaa kuona-aineita. T-putkilla on myös tärkeä tehtävä hermoimpulssin nopeina välittäjinä yksittäisille myofibrilleille. (Wilmore & Costill 2004, 35-37.)

3.5 Lihassupistus

Poikkijuovaisen lihaskudoksen supistumisen, aiheuttavat aksonihaaraa pitkin tulevat impulssit, jotka siirtyvät lihaskudokseen hermolihhasliitoksen kautta. Hermolihhasliitoksen motorista päätelevyvä voi verrata synapsiin. Motorisen päätelevyn kohdalta alkanut aktiopotentiaali leviää lihassyyn kalvolla samoin kuin aksonin kalvolla. Se leviää myös lihassolun sisään T-putkien kautta. Nämä putket ovat solun sisälle painautuneita solukalvon jatkeita. Depolarisaation levitessä solukalvosta T-putkiin vapautuu sarkoplasmakalvostosta kalsiumioneja, jotka sitoutuvat troponiiniin. Troponiini siirtää tropomyosiinin peittämästä aktiinin aktiivisia kohtia. Näin aktiini pääsee reagoimaan myosiinin kanssa. Troponiini ja tropomyosiini ovat aktiinin toimintaan vaikuttavia valkuaisaineita. (Nienstedt ym. 1999, 78-79.) Tarkemmin myosiinin raskas meromyosiiniosa sitoo ATP:tä ja pyrkii tarttumaan aktiinisäikeisiin. Tarttumisen estää aktiiniin liittynyt tropomyosiini-troponiini-C-kompleksi, mikäli Ca^{2+} -pitoisuus on alhainen. Pitoisuuden kasvaessa Ca^{2+} sitoutuu troponiiniin, tropomyosiini-troponiinin muoto muuttuu, ja myosiinin golfmailaa muistuttava nuppi pääsee tarttumaan aktiiniin. Tämän jälkeen aktivoituu myosiiniin sisältyvä ATP, joka luovuttaa energiaa hydrolyysissä. Tässä reaktiossa ATP hydrolysoituu ADP:ksi ja fosfaatiksi. Vapautuva energia taivuttaa myosiinin nuppia ja säikeet liikahtavat toisiaan pitkin. ADP ja fosfaatti irtoavat myosiinista, uusi ATP sitoutuu ja nuppi

palaa alkuperäiseen asentoon, jossa se on valmis seuraavaan taivutusaskeleeseen. Niin kauan kuin Ca^{2+} on sitoutuneena, sykli voi jatkua ja lihas supistuu. Lihaksen supistuksen laukeaminen alkaa kun Ca^{2+} pitoisuus vähenee. Tällöin Ca^{2+} irtoaa troponiinista ja aktiinin ja myosiinin vuorovaikutus estyy. (Niemi ym. 1995, 216-217.)

Lihassupistus ei tarkoita aktiini- tai myosiinifilamenttien supistumista. Myosiiniosien ulokkeet tarttuvat kiinni aktiinin aktiivisiin kohtiin ja ulokkeitten taipuessa myosiini liikuu aktiinin ohitse. Myosiinin uloke irtoaa aktiinista ja tarttuu kiinni uuteen aktiiviseen kohtaan, ja näin liike jatkuu. Aktiopotentiaalin mentyä ohitse, kalsiumionit päätyvät takaisin sarkoplasmaan, jolloin aktiinin ja myosiinin väliset sidokset käyvät mahdottomiksi, lihas veltostuu. Myosiinin ulokkeiden kampeamisliike vaatii ATP:tä toteutuakseen. (Nienstedt ym. 1999. 79-80)

Yksi hermoimpulssi saa aikaan vain yhden lihasnykäyksen, jonka kesto on vain kymmeniä millisekunteja. Kalvojännite on kestoaltaan kuitenkin paljon lyhyempi, joten yleensä uusi supistumisärsyke saapuu lihakseen ennen kuin entinen supistus on mennyt ohitse. Näin ollen yksittäiset lihasnykäykset sulautuvat yhtäjaksoiseksi lihassupistukseksi. (Nienstedt ym. 1999. 80)

3.6 Lihastoiminta

Lihastyöhön ja voimantuottoon vaikuttavia tekijöitä on paljon ja ne voidaan jakaa lihasmekaanisiin, hermostollisiin ja hermolihasarjestelmällisiin tekijöihin (Mero ym. 2004, 53). Lihasmekaanisista toiminnoista on erotettavissa lihastoiminta, joka voidaan jakaa isometriseen ja dynaamiseen lihastyöhön. Isometrisessä lihastoiminnassa lihaksen pituus ei muutu kuten dynaamisessa lihastoiminnassa. Dynaaminen lihastyö voidaan edelleen jakaa eksentriseen ja konsentriseen toimintaan. Eksentrisessä toiminnassa lihas pitenee ja konsentrisessä lyhenee. Myös lihaspituus ja nivelkulma vaikuttavat lihaksen kykyyn tehdä työtä. Lihaksen kyky tuottaa voimaa riippuu sen kiinnityskohdista luuhun. Niillä on siis eri nivelkulma-voima -riippuvuuksia. Voima-aika -riippuvuus tarkoittaa sitä, että riippuen lihassolujakaumasta voimaa tuotetaan tietyssä ajassa eri määrä. Nopeat motoriset yksiköt tuottavat saman voiman nopeammin kuin hitaat motoriset yksiköt. Lisäksi lihaksessa voidaan katsoa olevan sekä supistuvat että elastiset osat. Supistuvat osat rakentuvat aktiini- ja myosiinifilamenttien välisistä silloista ja elastiset osat jänteistä ja sidekudoksesta. Elastisilla osilla on ominaisuus varastoida itseensä energiaa lihasta venytettäessä ja purkaa tämä energia liike-energiana lihaksen supistuessa välittömästi venytyksen jälkeen. Elastisten osien voimantuotoksi on arvioitu 5-15 % koko voimantuotosta. Sen lisäksi, että elastisuus parantaa

voimantuottoa ja nopeutta, parantaa se liikkumisen hyötysuhdetta. Liharakenteeseen liittyviä tekijöitä ovat lihassolujen lukumäärä, niiden poikkipinta-ala ja lihassolujen asento suhteessa lihasrunkoon. (Mero ym. 2004, 56.)

Lihastoiminnan hermostollisista tekijöistä yksi on lihaksen esiaktiivisuus. Se tarkoittaa, että lihaksen jäykkyys lisääntyy jo ennen törmäystä. (Nicholas & Houk 1976, 119-142.) Jos esiaktiivisuutta ei olisi, lihas pettäisi törmäyshetkellä alustaan (Mero ym. 2004, 57). Myös törmäyksen jälkeen on havaittu EMG -aktiivisuuden nousua (Dietz, Shmidtbleicher & Noth 1979). EMG -aktiivisuuden katsotaan johtuvan lihaksen aistimasta venytyksestä törmäyshetkellä, jota seuraa venytysrefleksi tietyn ajan kuluessa. (Mero ym. 2004, 57). Lihásjäykkyydellä tarkoitetaan sitä, että lihakset estävät nivelkulmien pienenemisen kontaktin aikana. Lihásjäykkyyden suuruuteen vaikuttavat esiaktiivisuus, refleksiaktiivisuus, lihaksen elastiset rakenteet, lihassupistus ja lihasvoima. Lisäksi lihásjäykkyyteen vaikuttaa ilmiö, jossa aktiini- ja myosiinifilamenttien väliset sillat venyvät kontaktin alussa säilyttäen jonkin aikaa jäykkyyttä, mutta sitten niiden keskinäinen ote irtoaa ja jäykkyys laskee. Ilmiöstä käytetään nimitystä short-range-stiffness. (Mero ym. 2004, 58-59.) Lihásjäykkyys voi parantaa lihaksen suorituskykyä (Butler, Crowell & Davis 2003, 511-517).

3.7 Motoriset toiminnot

Ihmisen kaikkia luustolihasiston liikkeitä ohjaavat alfamotoneuronit. Alfamotoneuronien toimintaan puolestaan vaikuttavat hyvin monet eri säätelyjärjestelmät. Aivoista voidaan erottaa kolme motoristen toimintojen säätelyjärjestelmää, ja nämä kaikki vaikuttavat lihaksiin ainoastaan alfamotoneuronien kautta. Yksi alfamotoneuroni hermottaa monia lihassyitä, jotka ovat muiden hermosolujen hermottamien lihassyiden lomassa. Jokaista lihassyitä eli lihassolua hermottaa vain yksi aksonihaara, joka muodostaa sen kanssa hermolihásliitoksen. Neuronin ja sen hermottavat lihassyyt toimivat yhdessä ja muodostavat motorisen yksikön. (Nienstedt ym. 1999, 544-545.)

Motorisen yksikön koko riippuu sen toiminnasta. Mitä suurempaa voimantuottoa varten motorinen yksikkö on, sitä enemmän yksi aksoni hermottaa lihassoluja. Toisaalta mahdollisimman tarkka lihaskontrolli edellyttää, että yhdellä hermolla on mahdollisimman vähän hermotettavia lihassoluja. (Mero ym. 2004, 42). Lieber (1992) on jakanut motoriset yksiköt kolmeen ryhmään niiden väsymisen vastustuskyvyn, supistumisnopeuden ja voimantuoton suhteen. Ib tyyppin motorisen yksikön voimantuotto on korkea ja se aiheuttaa nopean supistumisen. Toisaalta sen väsymisen estokyky on heikko. Iia tyyppin motorinen

yksikkö tuottaa nopean supistumisen. Sen voimantuotto on kohtalainen ja väsymisen vastustuskyky korkea. I tyypin motorinen yksikkö on voimantuotoltaan edellisiä heikompi ja supistumisnopeudessa hitaampi, sen väsymisen vastustuskyky on kuitenkin korkea. (Mero ym. 2004, 42.)

3.8 Lihaksen energia-aineenvaihdunta

Solujen tärkeimmät energianlähteet ovat hiilihydraatit ja rasvat. Myös proteiineilla on vähäinen merkitys energia-aineenvaihdunnassa. Ruoasta saatavien ravintoaineiden muokkaus käyttökelpoisiksi energianlähteiksi voidaan katsoa olevan kolmivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa ravinnon suurmolekyyliset yhdisteet pilkotaan pienemmiksi rakenneosiksi. Ruoansulatuskanavan entsyymien avulla polysakkaridit (hiilihydraatit) pilkotaan monosakkarideiksi, valkuaisaineet aminohapoiksi ja rasvat rasvahapoiksi ja glyseroliksi. Toisessa vaiheessa pilkotut pienimolekyyliset aineet muokataan solujen sisällä entsyymien avulla tietyiksi keskeisiksi yhdisteiksi, josta tärkein on asetyylikoentsyymiA. Tässä vaiheessa tuotetaan jo energiaa, mutta sen määrä on vähäinen verrattuna muihin energiaa tuottaviin kohtiin energia-aineenvaihduntaketjussa. Kolmas vaihe koostuu Krebsin syklistä eli sitruunahappokierrosta ja hengitysketjusta. Tässä vaiheessa ravintoaineet hapetetaan hiilidioksidiksi ja vedeksi. (Niemi ym. 1995, 191-192.)

Glukoosi on ravinnon tärkein hiilihydraatti. Glukoosin hapettamisessa on kolme päävaihetta: anaerobinen glykolyysi, joka tapahtuu sytosplasmassa eli solulimassa, Krebsin sykli mitokondrion ydinosassa sekä hengitysketju ja oksidatiivinen fosforylaatio mitokondrion sisäkalvolla. Glukoosin poltto alkaa glykolyysillä, jossa kukin glukoosimolekyyli pilkotaan kahdeksi 3-hiiliatomiseksi palorypälehapoksi eli pyruvaatiksi. Anaerobinen glykolyysi ei nimensä mukaisesti tarvitse happea, ja sen aikana syntyy neljä moolia ATP:ta mutta kuluu kaksi, joten nettotulos on kaksi moolia. Lisäksi syntyy pelkistynyttä koentsyymiä, NADH:ta. Glykolyysissä syntynyt palorypälehapo kulkeutuu mitokondrion, jonka ydinosassa se reagoi koentsyymiA:n kanssa muodostaen asetyylikoentsyymiA:n ja hiilidioksidia. AsetyylikoentsyymiA liittyy sitruunahappokiertoon, jolloin syntyy sitruunahappoa. Sitruunahappokierrossa syntyy yhtä pyruvaattia kohden yksi ATP-molekyyli ja vapautuu kolme elektroniparia, jotka siirtyvät NADH:n kantamana mitokondrion sisäkalvolle, jossa oksidatiivinen fosforylaatio tapahtuu. (Niemi ym. 1995, 194.)

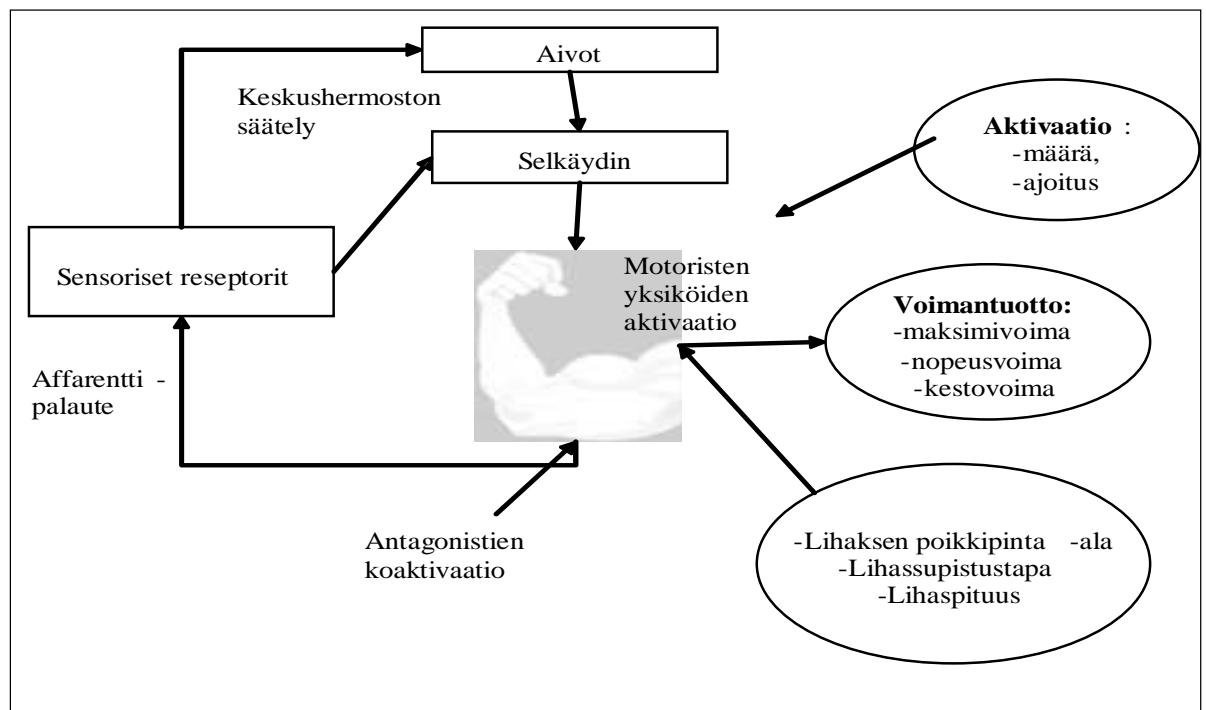
Mitokondrion sisäkalvon oksidatiiviseen fosforylaatioon kuuluu kaksi pääkomponenttia: hengitysketjun entsyymit ja ATP-syntetaasi. Edellinen käsittää useita proteiineja, joiden kautta

elektronit virtaavat luovuttaen samalla portaittain energiaansa. Vapautuva energia käyttää mitokondrion sisäkalvon protonipumppua siirtäen protoneja sen läpi kotelon välitilaan, mikä synnyttää sähkökemiallisen gradientin eli varauseron ytimen ja kotelon välitilan kesken. Kun protonit jälleen virtaavat sisäkalvossa sijaitsevan ATP-syntetaasin kautta ytimeen, niiden sisältämä potentiaalienergia sitoutuu ATP:hen. Aerobinen hapettuminen tuottaa parhaimmillaan 38 moolia ATP:ta yhtä glukoosimolekyyliä kohti. (Niemi ym. 1995, 194-196.)

Rasvoja varastoidaan triglyseridin muodossa. Rasvahappoja pilkotaan mitokondrioiden ytimissä sekä peroksisomeihin sijoittuvassa beettaoksidatiossa, jolloin syntyy asetyylikoentsyymiA:ta. Tätä kautta rasvahappojen metabolia liittyy Krebsin sykliin. (Niemi ym. 1995, 194). Lisäksi beettaoksidatiossa syntyy vetyä, joka siirtyy elektroninsiirtoketjuun (McArdle. 2001, 151).

4. VOIMA JA SEN LAJIT

Keskushermoston rooli lihaksen tahdonalaisessa voimantuotossa on keskeinen. Keskushermosto säätelee lihaksen voimantuottoa säätelemällä yksittäisten motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssiä sekä aktiivisten motoristen yksiköiden määrää. Lihaksen kulloinenkin aktivaatiotaso on lähes suoraan verrannollinen lihaksen tuottamaan maksimivoimaan. Mitä enemmän keskushermosto pystyy aktivoimaan lihaksen motorisia yksiköitä ja mitä suurempi on kunkin yksikön syttymisfrekvenssi, sitä suurempi on lihaksen tuottama voima. Lihaksen tehdessä työtä ilmenee aktiivisuutta myös lihaksen vastavaikuttajassa, antagonistissa. Esimerkiksi polven ojennuksessa reiden koukistajalihakset toimivat antagonisteina. Tätä vastavaikuttajien aktivoitumista kutsutaan koaktivaatioksi. Tietyn aikainen ja tasoinen koaktivaatio lisää nivelen stabiilisuutta, mutta liiallinen koaktivaatio ehkäisee normaaleja liikemalleja toteutumasta (kuva 3, sivu 15). (Häkkinen 2004, 125-126).



Kuva 3. Hermolihasjärjestelmän voimantuoton säätelytekijät.(mukailtu Häkkinen 2003, 126).

4.1 Maksimivoima

Maksimivoima tarkoittaa suurinta yksilöllistä voimatasoa, jonka lihas tai lihasryhmä tuottaa tahdonalaisessa kertasupistuksessa. Maksimaalisen voimatason saavuttamiseen kuluu aikaa lähteestä riippuen staattisella tai dynaamisella lihastyöllä 2 - 4 sekuntia tai 0,5 - 2,5 sekuntia riippuen muun muassa lihastyötavasta, mitattavasta lihasryhmästä, testattavien harjoitustaustasta, sukupuolesta ja iästä. (Hirvonen & Aura 1989, 220; Ahtiainen, Mero & Häkkinen 2004, 285.) Mitä kehittyneempi maksimivoima on, sitä suurempi absoluuttinen voimamäärä kyetään tuottamaan. Maksimivoimasuorituksessa kuormittuu pääasiassa hermoston tahdonalainen osakokonaisuus. Maksimivoimaan voidaan katsoa kuuluvan maksimivoimaosa, jolloin käsitellään lähinnä hermostollista suorituskykyä, sekä perusvoimaosa, jolloin tarkastelussa on lihasmassan kautta saatava suorituskyky. (Hirvonen & Aura 1989, 220). Voimaharjoittelun vaikutus on harjoittelun alussa suuri ja hermostollisten tekijöiden osuus korostuu. Mitä pidemmälle voimaharjoittelua jatketaan, sitä enemmän hypertrofian osuus voimantuoton lisäyksessä korostuu ja hermotuksen osuus vähenee. Samanaikaisesti vähän harjoitellut kehittyvät nopeammin kuin voimaa jo paljon harjoitellut. (Häkkinen, Mäkelä & Mero 2004, 269.)

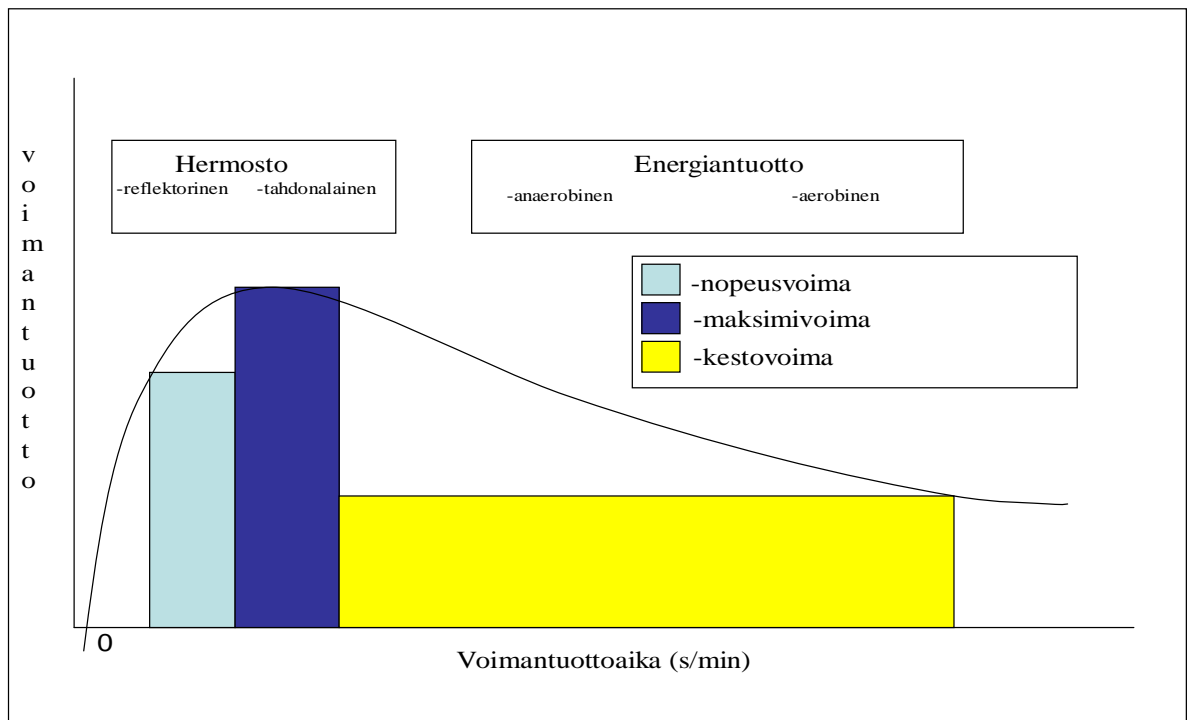
4.2 Nopeusvoima

Nopeusvoima tarkoittaa kykyä tuottaa lyhyessä ajassa mahdollisimman suuri submaksimaalinen voimataso. Nopea voimantuotto kuormittaa hermolihaskäytännön reflektorista osaa. Nopeusvoiman kehittyessä sama voimataso kyetään tuottamaan lyhyemmässä ajassa tai samassa ajassa tuotetaan suurempi voima. Tämä tarkoittaa lihastyön tehon kasvua. Nopeusvoima on jaettavissa räjähtävään voimaan ja pikavoimaan. Räjähtävä nopeus pitää sisällään konsentrisen lihassupistuksen tehon tahdonalaisen ja reflektorisen hermotuksen kautta. Pikavoima käsittää nopeiden lihassolujen hermotuksen sekä lihaksen elastiset ominaisuudet. (Hirvonen & Aura 1989, 222-223). Nopeusvoimassa voimantuotto voi olla asyklistä ja voimantuotto voi kestää kerrallaan noin 0,1 sekunnista muutamaan sekuntiin.

4.3 Kestovoima

Kestovoima tarkoittaa kykyä ylläpitää tiettyjä voimatasoja mahdollisimman kauan. Kestovoimasuoritusta rajoittavat lihaksiston energiantuotolliset ominaisuudet (kuva 4, sivu 17). Kestovoimatyön aikana tuotetut voimatasot ovat matalia, mutta työskentelyajat pitkiä. Kestovoima voidaan jakaa aerobiseen lihaskestävyyteen ja aerobiseen voimakestävyyteen. (Hirvonen & Aura 1989, 221; Häkkinen ym. 2004, 251.)

Rusko (1989, 154) jakaa kestävyysuorituksissa tarvittavan voiman aerobiseen kestovoimaan sekä anaerobiseen kestovoimaan. Aerobinen kestovoima on kyseessä silloin, kun lihaksen voimantuottoaika on lyhyt ja palautumisaika pitkä. Tällöin tarvittava energia saadaan fosfageeneista eikä maitohappopitoisuus nouse paljoa. Anaerobinen kestovoima on kyseessä silloin, kun voimantuottoaika pitenee ja palautumisvaihe lyhenee. Tällöin lihastyön vaatima energia saadaan pääosin maitohappomekanismin kautta.



Kuva 4. Voiman eri osa-alueet kuvattuna voima-aikakäyrällä. Voimantuotto vähenee voimantuottoajan pidentyessä (mukailtu Hirvonen & Aura 1989, 221).

5. HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄÄN

5.1 Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelun on useissa tutkimuksissa todettu nostavan lihaksen maksimaalisen voimantuoton tasoa. (MacDougall, Ward, Sale & Sutton 1977; Häkkinen & Komi 1983; Sale 1988; Carolan & Cafarelli 1992; Bishop & Jenkins 1996; Häkkinen ym. 2003). Lihaksen voimantuottokykyyn vaikuttavat etenkin lihaksen poikkipinta-ala, lihassolujen rekrytointi ja aktiivisten lihassolujen laatu (Sale 1988). Pitkäkestoisen voimaharjoittelun merkittävimmät hermolihasjärjestelmän muutokset liittyvätkin lihassolujen koon kasvuun ja niiden supistumisominaisuuksien paranemiseen. Tämän johtaa lihaksen parantuneeseen lyhytaikaisen voimantuottokyvyn kasvuun, sekä korkea intensiteettisen työn taloudellisuuteen, jolloin raskasta työtä jaksetaan tehdä kauemmin ennen lopullista väsymistä. Tämän työajan kasvun ei ole todettu olevan yhteydessä maksimaalisen hapenottokyvyn paranemisen kanssa. (Tanaka & Swensen 1998).

5.1.1 Voimaharjoittelun vaikutus luurankolihasseen

Häkkinen ja Komi (1983) tutkivat hermolihasjärjestelmän vasteita voimaharjoitteluun. He huomasivat, että voimaharjoittelun seurauksena voima-aika suhde kehittyi huomattavasti. He päättelivät tämän ilmiön olevan yhteydessä lihassolujen hypertrofiaan. Teschin (1988) huomiot voimaharjoittelun vaikutuksista olivat samanlaiset. Lihasten poikkipinta-alan kasvun hän selitti yksittäisten solujen hypertrofialla siten, että nopeat lihassolut reagoivat voimaharjoitteluun hitaita tehokkaammin. Straron ym. (1994) havaitsivat IIB tyyppin solujen suhteellisen osuuden lihasmassasta pienenevän voimaharjoittelun myötä. Tanakan ja Swensenin (1998) mukaan voimaharjoittelu lisää kaikkien lihassolujen hypertrofiaa tai pelkästään II tyyppin solujen. Häkkinen ym. (2003) totesivat tutkimuksessaan, että keskimääräinen I, II ja IIB tyyppin solujen koko kasvoi voimaharjoittelun seurauksena, mutta IIB tyyppin solujen prosentuaalinen suhde väheni voimaharjoittelun seurauksena.

Yleisesti voidaan todeta, että voimaharjoittelun merkittävimmät vaikutukset luurankolihasessa ovat lihaksen ja yksittäisten lihassolujen poikkipinta-alan kasvu, joka johtuu myofibrillien koon kasvamisesta ja lukumäärän lisääntymisestä. Muita mahdollisia morfologisia muutoksia ovat hyperplasia, lihassolun tyyppin muuttuminen toiseksi, myofilamenttien tiheyden ja rakenteen muutokset sekä lihaksia yhdistävien kudosten ja jänteiden rakenteelliset muutokset. (Folland 2007).

Luurankolihasissa tapahtuvaa hiussuoniston uudelleenmuodostumista ei yleisesti tapahdu voimaharjoittelun seurauksena. Lihaksen hypertrofian seurauksena hiussuoniston tiheys lihaksessa vähenee. On kuitenkin huomattu, että paljon toistoja harjoittelussaan tekevien kehonrakentajien ja olympiatason painonnostajien hiussuonistojen tiheyden välillä on eroja siten, että kehonrakentajien hiussuonisto on hieman tiheämpi. (Tesch 1988). On kuitenkin eräviä tutkimustuloksia, joiden perusteella voidaan väittää hiussuoniston kehittyvän tai pysyvän ennallaan, koska hiussuoniston tiheys lihaksessa ei laske voimaharjoittelun seurauksena. (Schantz 1982). Vaikka voimaharjoittelu lisäisi hiussuonia lihaksessa, se ei kuitenkaan kasvata hiussuoniston suhteellista tiheyttä. Näin ollen hiussuoniston tiheys voi parhaimmassa tapauksessa säilyä korkeintaan tasolla, joka oli ennen lihaksen hypertrofiaa. Tästä seuraa, että lihaskudoksen hapensaanti ei parane voimaharjoittelun seurauksena. (Tanaka & Swensen 1998, 193).

Voimaharjoittelulla on huomattu olevan vaikutusta myös sydänlihaksen morfologiaan. Voimaharjoittelun seurauksena on todettu sydämen vasemman kammion seinämän ja kammioden väliseinän paksuuntumista sekä massan nousua, mutta vain hienoista nousua vasemman kammion tilavuudessa. Tämän katsotaan johtuvan voimaharjoittelun luonteesta, jossa sydän joutuu työntämään verta hetkellisesti suurta painetta vastaan. (McArdle 2007, 481-482).

5.1.2 Voimaharjoittelun vaikutus hermostossa

Häkkisen ja Komin tutkimuksessa (1983) havaittiin EMG-aktiivisuuden kasvua harjoittelun seurauksena. EMG-aktiivisuuden kasvun Sale (1988) selittää hermo-lihasjärjestelmän tehostuneella kyvyllä rekrytoida lihassoluja voimasuoritusten aikana. Carolan ja Cafarellin (1992) tutkimuksessa maksimaalinen voima nousi 32,8 %, mutta integroidussa EMG aktiivisuudessa ei tapahtunut muutosta testijakson aikana.

Häkkisen ja Komin (1983) havaitsemaan voima-aika suhteen kehittymiseen viittaavat myös Sale (1988) sekä Häkkinen ym. (2003). Häkkisen ym. (2003) tutkimuksessa voimantuottonopeus kasvoi vain voimaa harjoitelleilla testihenkilöillä, kun taas yhdistelmäharjoittelua tehneet henkilöt eivät saavuttaneet tällaisia tuloksia.

McArdlen (2007, 540) mukaan voimantuottoa kasvattaa parantunut motoristen yksiköiden rekrytointi. Tämä tarkoittaa, että yhteen lihassupistukseen osallistuu suurempi määrä lihassoluja, jolloin voimantuotto on suurempaa. Muita hermostollisia vasteita voimaharjoitteluun ovat lisääntynyt motoristen hermosolujen herkkyys, parantunut keskushermostollinen aktivaatio, parantunut motoristen yksiköiden synkronisaatio ja parantunut impulssisyöttö.

5.2 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysuoritukselta rajoittavat ensisijaisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön kapasiteetin rajoitukset toimittaa lihaksille happea. Keuhkojen diffuusiokapasiteetti, sydämen minuuttitilavuus, verenkiertojärjestelmän kyky siirtää happea ja luurankolihasien ominaisuudet vastaanottaa ja käyttää happea muodostavat kokonaisuuden, jossa jokaisella osa-alueella on omat erityispiirteensä hapensiirrossa ilmasta lihassoluille. (Bassett & Howley 2000, 72).

Keuhkojen diffuusiokapasiteetti ei rajoita kestävyysuoritusta paitsi korkeintaan joissakin erityisolosuhteissa. Vaikka työtä tehtäisiin maksimaalisella tasolla, nousee happisaturaatio korkeintaan 95 %:een prosenttiin. Sydän- ja verenkiertojärjestelmän tehokkuuden katsotaan olevan tärkein kestävyysuoritusta rajoittava tekijä. On arvioitu, että 75-85 % maksimaalisen hapenottokyvyn rajoituksista johtuu sydämen minuutti- ja iskutilavuustekijöistä. (Basset & Howley 2000, 72-73).

Kestävyysharjoittelun on todettu parantavan hiussuonien ja mitokondrioiden tiheyttä lihaksessa, parantavan oksidatiivisten entsyymien toimintaa sekä alentavan glykolyyttisten entsyymien aktiivisuutta. Kestävyysharjoittelun vaikutukset näkyvät parantuneena maksimaalisena hapenottokykynä, vähentyneenä laktaatin muodostumisena sekä pitkäkestoisen fyysisen työn suorituskyvyn parantumisenä. (Hickson 1980; Saltin & Gollnick 1983; Holloszy & Coyle 1984; Dudley & Djamil 1985).

Kestävyysharjoittelulla on vaikutusta myös eri lihassolutyypin morfologiaan. (Tanaka & Swensen 1998, 193). II tyypin lihassolut muuttuvat niin, että IIA tyypin solut kasvavat kestävyysharjoittelun myötä (Tesch & Karlsson 1985; Kraemer ym. 1995), ja IIB tyypin solujen koko pienenee (Tesch & Karlsson 1985). Kraemer ym. (1995) huomasivat omassa tutkimuksessaan lisäksi, että I tyypin lihassolujen prosentuaalinen osuus lihasmassasta ei vähene ja että kestävyysharjoittelun seurauksena I tyypin solujen koko ei muutu. On kuitenkin tutkimuksia, joiden mukaan kestävyysharjoittelu aiheuttaa I tyypin lihassolujen hypertrofiaa. Tällaiset ristiriitaisuudet voivat johtua testihenkilöiden erilaisesta kuntoilu- ja urheilutaustasta, sillä harjoittelemattomilla yksilöillä lihassolut yleensä kasvavat harjoittelun seurauksena aina. (Tanaka & Swensen 1998).

Kestävyysharjoittelu vaikuttaa lihassoluihin myös niin, että se pienentää niiden supistumisnopeutta ja hidastaa maksimaalisen voimantuoton kehitystä. Ottaen huomioon muutokset lihassolujen morfologiassa ja supistumisominaisuuksissa, voidaan kestävyysuorituksen katsoa alentavan maksimaalisen voimantuoton kapasiteettia. (Tanaka & Swensen 1998, 193).

Kestävyysharjoittelun on todettu aiheuttavan toiminnallisia ja rakenteellisia muutoksia myös sydänlihaksessa. Kestävyysharjoittelu muun muassa alentaa sydämen lyöntitiheyttä, lisää minuuttitilavuutta ja plasmatilavuutta. Nämä adaptaatiot huomioon ottaen on ymmärrettävää, että sydämen vasemman kammion tilavuus kasvaa kestävyysharjoittelun seurauksena. Myös

sydämen vasemman kammion massan on todettu kasvavan kestävyyttä harjoitellessa. (McArdle 2007, 481-482).

5.3 Yhdistelmäharjoittelu

Hickson (1980, 255-263) tutki yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hermolihasjärjestelmän voimantuottokykyyn ja maksimaalisen hapenottokyvyn muutoksia. Koehenkilöt suorittivat kymmenen viikon ajan sekä voima- että kestävyysharjoittelua rinnakkain. Tuloksia verrattiin pelkästään voimaa ja pelkästään kestävyyttä harjoitelleitten tuloksiin. Tuloksista voitiin todeta, että maksimaalinen hapenottokyky nousi 20 % sekä kestävyyttä harjoitelleilla että koehenkilöillä, jotka tekivät yhdistelmäharjoittelua. Voimaa harjoitelleitten voimatulokset nousivat koko harjoitusjakson ajan, kun taas yhdistelmäharjoittelua tehneet nostivat voimatasoa seitsemännelle viikolle samassa suhteessa voimaryhmän kanssa, mutta voima-arvot lähtivät laskuun siitä eteenpäin aina koejakson loppuun. Tuloksista voidaan päätellä, että yhdistelmäharjoittelu nostaa maksimaalista hapenottokykyä siinä missä pelkkä kestävyysharjoittelu. Yhdistelmäharjoittelun seurauksena alussa lisääntynyt voimantuottokyky sen sijaan heikkenee harjoittelua jatkettaessa verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun.

Myöhemmässä tutkimuksessa Hickson, Dvorak, Gorostiga, Kurowski ja Foster (1988) tutkivat voimaharjoittelun mukaan ottamisen vaikutuksia kestävyysominaisuuksiin kestävyyttä harjoittelevilla juoksijoilla ja pyöräilijöillä. Voimaharjoittelun jälkeen pyöräilijöiden sekä lyhyen aikavälin että uupumuksen asti suoritettujen kuntopyörätestien tulokset nousivat merkittävästi. Tutkimus ei osoittanut mitään negatiivisia vaikutuksia voimaan tai kestävyteen lisättäessä voimaharjoitteita kestävyysharjoittelun oheen. Myöhempi tutkimus (Ferketich, Kirby & Alway 1998) toi myös esiin yhdistelmäharjoittelun submaksimaalista kestävyyttä tehokkaasti kehittävät vasteet verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun. Tässä tutkimuksessa voimaominaisuuksien kasvu oli yhtenevä sekä yhdistelmäharjoittelua että pelkkää voimaa harjoitelleiden kesken. Sale, MacDougall, Jacobs ja Garnier (1990, 260-270) päätyivät omassa tutkimuksessaan samaan lopputulokseen, jonka mukaan yhdistelmäharjoittelulla ei ole negatiivisia vaikutuksia voima- tai kestävyysominaisuuksiin. Myös Marcinik ym. (1991, 739-743) löysivät voimaharjoittelun myönteiset vaikutukset kestävyysominaisuuksiin. Parantunut kestävyys yhdistettiin parantuneeseen voimantuottokykyyn ja laktaatinsietoon, koska maksimaalisen hapenottokyky ei ollut selittävä tekijä. Yhdistelmäharjoittelun kehittävät vaikutukset sekä voimaan että kestävyteen tulivat esille myös tutkimuksessa, jossa

yhdistelmäharjoittelun voima- tai kestävyysominaisuuksien vasteet olivat yhteneviä pelkästään joko voimaa tai kestävyyttä harjoitteleiden kanssa. (McCarthy, Agre, Graf, Bozniak, & Vilas 1995.)

Bishop ja Jenkins (1996) saivat omassa tutkimuksessaan edellisistä tutkimuksesta poikkeavat tulokset. Kestävyysurheilijat lisäsivät omaan harjoitusohjelmaansa kaksi voimaharjoitusta 12 viikon ajan. Vaikka testattavien voimatulokset nousivat 35,9 %, polkupyörätesteissä ei havaittu merkittävää eroa ennen ja jälkeen testijakson.

Hennesy ja Watson (1994) vertasivat yhdistelmäharjoittelun tuloksia voima- ja kestävyysharjoitteluun ja huomasivat, että yhdistelmäharjoittelulla oli samanlaiset vaikutukset kestävyteen kuin pelkästään kestävyyttä harjoitteleilla ja voimaominaisuudet kehittyivät kuten pelkästään voimaa harjoitteleilla. Lisäksi pelkästään voimaa harjoitteleiden maksimaalinen hapenottokyky ei heikentynyt kahdeksan viikon testijakson aikana. Sen sijaan 20 metrin juoksutulokset ja vertikaalisen hypyn tulokset paranivat vain pelkästään voimaa harjoitteleilla. Hennesy ja Watson (1994) arvelivat nopeusominaisuuksien erilaisen kehityksen johtuvan nopeiden ja hitaiden lihassolutyypien erilaisista vasteista riippuen harjoittelun laadusta. (Katso taulukko 1, sivu 24).

5.3.1 Yhdistelmäharjoittelun vaikutus lihaksessa

Kraemer ym. (1995) tutkivat yhdistelmäharjoittelun vaikutuksia eri lihassolutyyppeihin. He huomasivat, että I, Iia ja Iic tyyppin lihassolujen koko kasvoi voimaa harjoittelevilla merkittävästi. I ja Iic tyyppin lihassolut pienenevät pelkästään kestävyyttä harjoitteleilla. Lisäksi yhdistelmäharjoittelua tehneiden koehenkilöitten Iia tyyppin solut kasvoivat. Iib solutyypin muuttuminen Iia solutyypiksi huomattiin kaikilla testiryhmillä niin, että suurin muutos oli voimaa harjoitteleilla. Freketichin ym. (1998) tutkimuksessa havaittiin myös I tyyppin lihassoluja kasvavan yhdistelmäharjoittelun seurauksena. I tyyppin lihassolut sen sijaan pienenevät pelkän kestävyysharjoittelun seurauksena. Bell, Syrotuik, Martin, Burnham ja Quinney (2000) päätyivät tutkimuksessaan samansuuntaiseen lopputulokseen Kraemerin ym. (1995) tutkimuksen kanssa, ja havainnoi sekä I että II tyyppin lihassolujen kasvua voimaharjoittelujakson jälkeen kun taas vain II tyyppin solut kasvoivat yhdistelmäharjoitusjakson jälkeen. McCarthy, Pozniak ja Agre (2002) havaitsivat yhdistelmäharjoittelun kasvattavan sekä I että II tyyppin lihassoluja. Pelkän voimaharjoittelun jälkeen tulokset lihassolutyypien kasvun osalta olivat yhtenevät. Häkkisen ym. (2003)

tutkimuksen mukaan I, IIa sekä IIb tyyppien lihassolut kasvavat sekä voima- että yhdistelmäharjoittelun seurauksena.

5.3.2 Yhdistelmäharjoittelun vaikutus hermostossa

McCarthy ym. (2002) totesivat omassa tutkimuksessaan, että EMG-aktiivisuudessa ei tapahtunut testijakson aikana merkittäviä muutoksia voima-, kestävyys- tai yhdistelmäharjoitusryhmillä. Tämä siitä huolimatta, että voimaominaisuudet paranivat sekä voima- että yhdistelmäryhmällä. Häkkinen ym. (2003) totesivat sen sijaan omassa tutkimuksessaan, että vaikka iEMG-kokonaisaktiivisuudessa tapahtui kehitystä voima- ja yhdistelmäryhmällä, ensimmäisten 500ms:n aikana aktiivisuus kasvoi vain voimaa harjoittaneilla testihenkilöillä.

TAULUKKO 1. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia voimaan ja kestävyyteen vuosilta.

Tutkija:	Tutkimusasetelma	Tulokset: Voima	Tulokset: Kestävyys
Hickson, R. C (1980)	10 vkoa: Koeryhmät V,K,VK: Harjoittelu: V-ryhmä: 5 Vh/vko 3-5 sarjan toistoja 5-20 riippuen liikkeestä, vastus 80% max, palautus 3min. K-ryhmä: 6Kh/vko 3 yhtäjaksoinen + 3 intervalliharjoitusta. VK-ryhmä: 5 Vh + 6 Kh/vko. em. tavalla.	V-ryhmän voima parani koko tutkimusjakson ajan. VK-ryhmän voimaominaisuuksien kehitys pysähtyi 7. vkon jälkeen ja laski 9. ja 10. viikoilla. K-ryhmän voima ei kehittynyt.	Ei merkittävää eroa V-, ja VK-ryhmien välillä vo2max kasvussa. Molempien ryhmien juokstesti parani 17%, PP-ergometritesti parani K-ryhmällä 23% ja VK-ryhmällä 18%. V-ryhmän vo2max ei muuttunut.
Dudley, G. A & Djamil, R. (1985)	7 vkoa: Koeryhmät: V, K, VK: Harjoittelu: V-ryhmä: 3 Vh/vko 2 sarjan max toistot/30sek. Kulmanopeus 4,19:rad/s, K-ryhmä: 3Kh /vko pp-ergometrillä intervalliharjoittelua 5min työtä/5min lepoa., sarjoja 5. VK-ryhmä: 3 Vh + 3 Kh/vko em tavalla.	Max polvenojennusvoima parani merkittävästi V-ryhmällä. VK-ryhmällä vain nopeuksilla 0.00, 0,24 ja 1,68 rad/s.	K- ja VK-ryhmän vo2max parani merkittävästi sekä suhteellisesti 16,2% ja 18,7% että absoluuttisesti 16,9% ja 20,9%.
McCarthy, J. P. ym. (1995)	10 vkoa: Koeryhmät V, K, VK: Harjoittelu: V-ryhmä 3 Vh/vko 8 liikettä, 3 sarjaa, 6 maksimaalista toistoa, palautus 60-90s. K-ryhmä: 3 Kh/vko pp-ergometrillä pyöräilyä 50 min. VK-ryhmä: 3 Vh/vko + 3 Kh/vko em. tavalla, molemmat harjoitukset samana päivänä.	Isometrinen polvenojennusvoima kasvoi merkittävästi V- ja VK-ryhmillä, mutta ei K-ryhmällä. Isometrisessä voimassa merkittäviä muutoksia V- ja VK-ryhmällä, mutta ei K-ryhmällä.	Absoluuttinen ja suhteellinen vo2max parani selvästi kaikilla ryhmillä.
Bell, G. M. ym. (2000)	12 vkoa: Koeryhmät: V, K, VK, C: Harjoittelu: V-ryhmä 3 Vh/vko 2-6 sarjaa, toistoja 4-12, vastus 72-84% max. K-ryhmä: 3 Kh/vko pp-ergometrillä 2 yhtäjaksoista 30-42 min, 1 intervalliharjoitus 3 min työtä/ 3min lepoa, sarjoja 4-7. VK-ryhmä: 3 Vh + 3 Kh/vko em. tavalla.	Maksimaalinen bilateraalin jalkaprässi ja unilateraalinen polvenojennus paranivat merkittävästi V- ja VK-ryhmällä. K-ryhmän jalkaprässi tuloksissa merkittävää kasvua 6-viikon kohdalla.	Vo2max parani merkittävästi K-ryhmällä ja VK-ryhmässä 12 vkon aikana. V-ryhmällä ei tapahtunut meritsevää muutosta.
Häkkinen, K. ym. (2003)	21 vkoa: Koeryhmät: V, VK: Harjoittelu: V-ryhmä 2 Vh/vko bilateraalin jalkaprässi ja/tai unilateraalinen polvenojennus + 4-5 harjoitusta muille päälihakryhmille 1-7 vkot 50-70% max 10-15 toistoa 3-4krt. 8-14 vkot 50-60% ja 60-80% max 8-12 toistoa alemmilla kuormilla ja 5-6 toistoa ylemmilla kuormilla 3-5 krt. vkot 15-21 70-80% max kuorma 3-6 toistoa tai 50-60% max 8-12 toistoa 3-5krt. VK-ryhmä 2krt voima/vko + 2krt Kh/vko. Kh: 1-7vkot 30min pp-ergometri tai kävely peruskestävyyttä. 8-15vkot 1.harj: 15min alle aerobisen kynnyksen 10min aerob-anaerb.kynnyksien välissä, 5min yli anaerob.kynnyksen ja 15min alle aerob.kynnyksen. 2.harj: 60 min alle aerob.kynnyksen. Vkot16-21 1.harj: vauhtikestävyys, 2.harj: peruskestävyys.	Maksimivoima kasvoi V- ja VK-ryhmillä 21% ja 22%. Maksimaalinen isometrinen voima kasvoi 22% ja 21% V- ja VK-ryhmillä. iEMG-aktiivisuus kasvoi 26% ja 29% V- ja VK-ryhmillä. Voimantuottonopeus kasvoi vain V-ryhmällä. I, Iia ja II -tyypin solut kasvoivat molemmilla ryhmillä.	Vo2max kasvoi VK-ryhmällä 18.5%.
V = voimaryhmä, K = kestävyysryhmä, VK = voima- ja kestävyysryhmä, C = kontrolliryhmä, Vh = voimaharjoitus, Kh = kestävyysharjoitus.			

6. VOIMA OSANA SOTILAAN FYYSISETÄ TOIMINTAKYKYÄ

Sotilaallisia tehtäviä joudutaan usein suorittamaan niin henkisesti kuin fyysisesti hyvin raskaissa olosuhteissa. Tehtävät ovat usein kestoaltaan suhteellisen pitkiä ja unenpuute sekä energiavaje lisäävät kokonaisvaltaista kuormittumista. (Nindl ym. 2002.) Monet näistä sotilaallisista tehtävistä ovat luonteeltaan tietyn kuorman kantamista tai jatkuvaa materiaalien kantamista sekä käsittelyä, ja ne vaativat fyysisen voiman ja kestävyuden hyvää tasoa. Sotilailla nämä kuormat voivat olla hyvin raskaita. (Haisman 1988). Useissa tutkimuksissa on voimatasojen kehittämisen huomattu olevan parantava vaikutus sotilaallisten tehtävien suorittamisessa. (Kraemer ym. 2001; Williams ym. 2002; Kraemer ym. 2004; Kokko 2008.)

Simpson ja Gray (2006) toteavat, että lopulliseen väsymiseen asti tehty juoksumattotesti ja kahden mailin juoksumattotesti lisäkantamuksella toimivat hyvinä indikaattoreina arvioitaessa sotilaan fyysistä kyvykkyyttä. Tämä on linjassa Raysonin, Hollimanin ja Belyavinin (2000) aikaisempaan tutkimukseen, jossa etsittiin fyysisiä testejä, jotka parhaiten ennustavat sotilaallisista tehtävistä suoriutumista. Heidän mukaansa maksimaalisen kuorman nosto ja kuorman toistonosto antoivat tietoa voimatasosta ja lihaskestävydestä, mutta näiden testien perustella tehdyt arviot sotilaallisista tehtävistä suoriutumisesta eivät ole niin tarkkoja kuin lisäkuormalla suoritettujen marssitestien perustella tehdyt arviot.

Kraemer ym. (2001) tutkivat voimaharjoittelun vaikutuksia Yhdysvaltain maavoimien naissotilaille voimaa vaativiin ammatillisiin tehtäviin. Harjoittelemattomat naissotilaat jaettiin voimaharjoittelu- ja kenttäharjoitteluryhmiin sekä aerobiseen harjoitteluryhmään. Voimaharjoitteluryhmä jaettiin vielä kahteen osaan niin, että toinen osa harjoitteli ylävartalon voimaa ja toinen harjoitteli koko kehon voimaa. Nämä ryhmät jaettiin vielä hypertrofisesti harjoitteleviin ja tehoperiaatteella harjoitteleviin. Verrokkiryhmänä toimi harjoittelemattomien miesten ryhmä. Voimaharjoittelun seurauksena testattavien voimaominaisuudet, kuten maksimivoima, nousivat huomattavasti kaikilla muilla harjoitteluryhmillä paitsi aerobista harjoittelua tehneillä. Lisäksi kahden mailin juoksumattotesti, joka suoritettiin lisäpainoa kantaen, parani kaikilla harjoitteluryhmillä.

Tutkimusten johtopäätösten mukaan voimaharjoittelu kehittää fyysistä suorituskkyä ammatillisissa tehtävissä kuten kuorman nostamisessa ja siirtymisessä lisäkuorman kanssa. Ylävartalon voimaa ja koko kehon voimaa harjoittelevilla vasteet ammatillisiin tehtäviin olivat samanlaisia etenkin niissä tehtävissä, joissa vaaditaan ylävartalon voimaa. Lisäksi sukupuolesta johtuvat erot tehtävien suorittamisessa kapenivat voimaa harjoitelleiden naisten ja harjoittelemattomien miesten välillä. Tämä huomio korostaa voimaharjoittelun merkitystä fyysisesti haastavien ammatillisten tehtävien suorittamisen tasoa nostettaessa. (Karemer ym. 2001.)

Kraemerin ym. (2004) tutkimus tuo myös esille voimaominaisuuksien merkityksen ammatillisten tehtävien suorittamisessa sotilailla. He tutkivat voimaharjoittelun ja aerobisen harjoittelun sekä yhdistelmäharjoittelun vaikutuksia kuorman kantamisen tehokkuuteen kahden mailin matkalla. Testiryhmät olivat ylävartalon voimaa ja kestävyyttä harjoittelevat, koko kehon voimaa ja kestävyyttä harjoittelevat sekä pelkästään voimaa tai kestävyyttä harjoittelevat. Koehenkilöt suorittivat vatsalihastestin, punnerrustestin, kahden mailin juokstestien lisäkuorman kanssa ja ilman lisäkuormaa. Lisäksi testattiin jalkojen voiman kehittymistä. Kaikki ryhmät paransivat punnerrustuloksiaan, kun taas koko kehon voimaa ja kestävyyttä harjoitelleiden istumannousutestitulokset ei parantunut. Ponnistusvoima kasvoi merkittävästi pelkästään voimaa harjoittaneilla sekä yhdistelmäharjoittelua tehneillä. Kestävyysominaisuuksia harjoitelleet paransivat kahden mailin juoksuaikaansa merkittävästi, mutta vain koko kehon voimaharjoituksia ja kestävyysharjoittelua tai pelkästään ylävartalon voimaharjoituksia ja kestävyysharjoittelua tehneet ryhmät paransivat kahden mailin juoksuaikaa lisäkuorman kanssa. Koko kehon voimaa ja kestävyyttä tehneillä tulos parani noin 14 % ja ylävartalon voimaa ja kestävyyttä tehneitten tulos parani noin 13 %. Tutkimuksen mukaan tehokkuuden parantaminen lisäkuorman kanssa siirryttäessä näyttää vaativan voimaharjoittelua kestävyysharjoittelun lisäksi. Huomionarvoinen tulos on myös, että ylävartalon voimaa ja kestävyyttä harjoittaneiden kahden mailin juoksu lisäkuorman kanssa parani merkittävästi. Mekanismit, joiden kautta ylävartalon voimaominaisuudet vaikuttavat kyseiseen suoritukseen, ovat kuitenkin epäselvät.

Borghols, Dresen ja Hollander (1978) huomasivat, että dynaamisessa työssä hengitys- ja verenkiertoelimistön raskustaso kasvaa lineaarisesti lisääessä kantamuksen painoa. Raskustaso on myös suorassa yhteydessä tehdyn työn tehokkuuteen 50 %:een prosenttiin asti maksimaalisesta hapenottokyvystä. Hoff ym. (2002) tutkivat voimaharjoittelun vaikutusta murtomaahiihtäjien hiihtosuoritukseen. Voimaharjoittelujakson jälkeen testattavien maksimivoima-arvot olivat nousseet keskimäärin neljä kiloa, voimantuottoaika parani huomattavasti, lopulliseen väsymiseen asti tehty kuntotesti parani 20,5 % kontrolliryhmään verrattuna ja työn taloudellisuus parani huomattavasti. Tutkijat päättelivät, että parantuneet kestävyysominaisuudet voimaa harjoitelleilla yksilöillä johtuivat työn taloudellisuuden paranemisesta.

Voimaominaisuuksien tärkeyttä sotilaallisissa tehtävissä tukee osaltaan myös Williamsin ym. (2002) tutkimus voimaominaisuuksien kasvun ja sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen yhteyksistä Iso-Britannian maavoimien peruskoulutusjakson aikana. Tutkimuksessa verrattiin peruskoulutusjaksoa, johon oli lisätty voimaharjoittelua perinteiseen peruskoulutusjaksoon. Kehitystä huomattiin tapahtuneen kaikissa sotilaallisissa tehtävissä yhdentoista viikon koulutusjakson aikana niillä sotilailla, joiden koulutusjaksoon kuului voimaharjoittelua. Parannusta tuli maksimaalisen kuorman nostossa 8-12 %, toistonostossa parannusta tuli 15-19 % ja kahden mailin marssisuoritus lisäkuorman (15kg) kanssa parani 9-17 %. Suurimmat erot perinteisen koulutusjakson ja modifioidun koulutuksen suorittaneiden välillä olivat maksimikuorman nostossa ja kahden mailin marssissa lisäkuorman kanssa. Johtopäätöksiä tutkijat totesivat, että sotilaallisista tehtävistä suoriutumisella sekä voimaominaisuuksilla on yhteyttä keskenään.

Tämän yhteyden löysivät myös Wescott ym. (2007) verratessaan kahta eri harjoitusohjelmaa ja fyysisten testien läpäisyä. Tutkimus tehtiin Yhdysvaltain ilmavoimien henkilöstölle, joka oli aiemmin saavuttanut hylätyn tason fyysisen kunnon testeissä. Nämä henkilöt harjoittelivat uusia testejä varten kahdessa eri ryhmässä, joissa toisessa harjoiteltiin aerobisella tasolla 4-5 kertaa viikossa noin 60 minuuttia kerrallaan sekä ryhmään, joka harjoitteli voima- ja kestävyysominaisuuksia kerrallaan noin 25 minuuttia kolme kertaa viikossa. Ilmavoimien fyysisen kunnon testeissä mitattiin 1,5 mailin juoksuaika, keskivartalon lihasten tasoa ja punnerrusten määrää minuutin aikana. Vain voimaa harjoittaneiden ryhmä paransi kaikkia testituloksia merkittävästi. Testin suoritti hyväksytysti 26 % voimaryhmästä ja 19 % kestävyysryhmästä.

Voimaominaisuuksien kehittymistä sotilaskoulutuksessa ovat tutkineet myös Legg ja Duggan (1996) sekä Dyrstad ja Soltvedt (2006). Legg ja Duggan (1996) vertasivat Iso-Britannian maavoimien eri koulutusjaksoja. Kolmen kuukauden sotilaskoulutus kehitti kestävyysominaisuuksia mutta ei voimaominaisuuksia. Viiden kuukauden koulutus kehitti siihen osallistuneiden voimaominaisuuksia, mutta ei vaikuttanut positiivisesti kestävyysominaisuuksiin. Yhdentoista kuukauden koulutus kehitti sekä voima- että kestävyysominaisuuksia. Eri ohjelmiin osallistuneiden henkilöiden taustat poikkesivat kuitenkin toisistaan. Koulutusohjelmien välillä oli myös sisällöllisiä eroja. Yhtenä johtopäätöksenä Legg ja Duggan (1996) esittivät, että etenkin kolmen kuukauden koulutusohjelmaan tulisi sisällyttää voimaharjoittelua, jotta sotilaat suoriutuisivat paremmin heille tyypillisistä tehtävistä.

Fyysisen kunnon sekä voimaominaisuuksien kehittämisen tarpeellisuuteen viittaavat myös Dyrstad ja Soltvedt (2006) omassa tutkimuksessaan, jossa arvioitiin Norjan jalkaväen sotilaiden fyysistä kuntoa ja arvioitiin fyysistä koulutusta ennen kymmenen kuukauden koulutusjaksoa, koulutusjakson jälkeen ja myöhemmin kotiuttamisen jälkeen. Dyrstad ja Soltvedt tulivat johtopäätökseen, että koulutuksen aikaisen fyysisen harjoittelun määrä on liian alhainen, jotta kestävyys- ja voimaominaisuudet kehittyisivät sekä säilyisivät riittävän hyvällä tasolla. Tämän takia fyysiseen koulutukseen tulisi kiinnittää enemmän huomiota.

Santtila, Kyröläinen ja Häkkinen (2008) päätyivät omassa tutkimuksessaan samaan lopputulokseen. He tutkivat kahdeksan viikon peruskoulutuskauden, sekä peruskoulutuskauden johon oli lisätty voimaharjoitteita että jakson johon oli lisätty kestävyysharjoitteita, vaikutuksia voimaominaisuuksiin. Kahdeksan viikon peruskoulutusjakson aikana käsien voimantuotto ja EMG-aktiivisuus kasvoivat merkittävästi ryhmillä, joiden ohjelmaan oli lisätty kestävyys- tai voimaharjoittelua. Vain voimaryhmällä havaittiin voimantuottonopeuden kasvua. Jalkojen voimaominaisuudet kasvoivat merkittävästi sekä voima- että kestävyysryhmällä niin, että voimaryhmän jalkojen ojentajien voima kasvoi 12,9 % ja kestävyysryhmän 9,1 %. Normaalin peruskoulutusjakson suorittaneilla ei tapahtunut merkittävää muutosta jalkojen voimaominaisuuksissa. Normaali peruskoulutusjakso häiritsi etenkin jalkojen voimantuottonopeuden kehittymistä mutta myös voimaominaisuuksien kehittymistä yleensä. Toisaalta voimaa harjoitelleiden maksimaalinen hapenottokyky kehittyi yhtäläisesti muiden ryhmien kanssa. Hermolihasjärjestelmän optimaalinen kehittyminen varusmiesten peruskoulutuskaudella ei näyttäisi olevan mahdollista ilman kestävyyspohjaisen koulutuksen vähentämistä tai toisaalta maksimivoimaharjoittelun lisäämistä ohjelmaan.

Huomion kiinnittämistä voimaominaisuuksiin sotilaskoulutuksessa ja sotilaallisten tehtävien suorittamisessa korostaa omalta osaltaan Kokko (2008) omassa tutkimuksessaan, jossa tutkittiin kahden eri taisteluvälikokkeessa fyysistä kuormittavuutta laboratorio-olosuhteissa sekä käytännön kenttäkokeessa. Tutkimuksessa havaittiin, että käytännön kokeen hyväksytysti raskaammassa taisteluvälikokkeessa suorittaneilla oli paremmat voimaominaisuudet ja maksimaalinen hapenottokyky kuin niillä, jotka eivät läpäisseet testiä. Käden puristusvoiman ja suoritusajan välillä oli lähes merkitsevä negatiivinen riippuvuus samoin kuin keskivartalon lihasvoiman ja suoritusajan välillä. Jalkojen maksimi- ja ponnistusvoiman sekä suoritusajan välillä oli myös yhteys. Voimaominaisuuksien osalta tärkeimmät muuttujat kyseisessä tutkimuksessa olivat jalkojen maksimivoima sekä vatsalihasten voimaominaisuudet. Lisäksi tutkimuksessa huomattiin, että kokeen suoritusajan ja rasvaprosentin välillä oli positiivinen korrelaatio. Toisin sanoen samat koehenkilöt olivat sekä suhteellisen voimakkaita että omasivat suhteellisesti pienemmän rasvaprosentin kuin kokeen hitaammin suorittaneet. Johtopäätöksissä todetaan, että kaupunkijääkäreillä olisi perusteltua mitata jalkojen maksimivoima lihakuntotestien yhteydessä.

Kehon koostumuksen suhdetta ja fyysisten ominaisuuksien merkitystä sotilaallisten tehtävien suorittamiseen tuovat esille Harman ym. (2008). Koehenkilöiltä mitattiin pituus ja kehon paino. Fyysiset testit käsittivät punnerruksia, istumaan nousuja, kahden mailin juoksutestin, pituushypyn ja horisontaalisen ponnistusvoiman testin. Sovellettuja sotilaallisia testejä olivat taisteluvälikokkeessa tehdyt viisi kolmenkymmenen metrin syöksyä, 400 metrin juoksu, esterata ja haavoittuneen evakuointi. Kehon paino oli haitaksi kaikissa muissa testeissä paitsi haavoittuneen evakuoinnissa. Fyysiset testit ja kehon koostumus ennustivat hyvin sotilaallisista sovelletuista tehtävistä suoriutumista. Nämä havainnot ovat yhtenevät Kokon (2008) havaintojen kanssa.

Kehon painon ja koostumuksen sekä voimaominaisuuksien perusteella voi päätellä sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen edellytyksiä. Lisäksi maksimivoiman osuus sotilaallisissa tehtävissä korostuu. (Kraemer ym. 2001; Hoff ym. 2002; Williams ym. 2002; Kraemer ym. 2004; Wescott ym. 2007.)

7. TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA VIITEKEHYS

7.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelmat

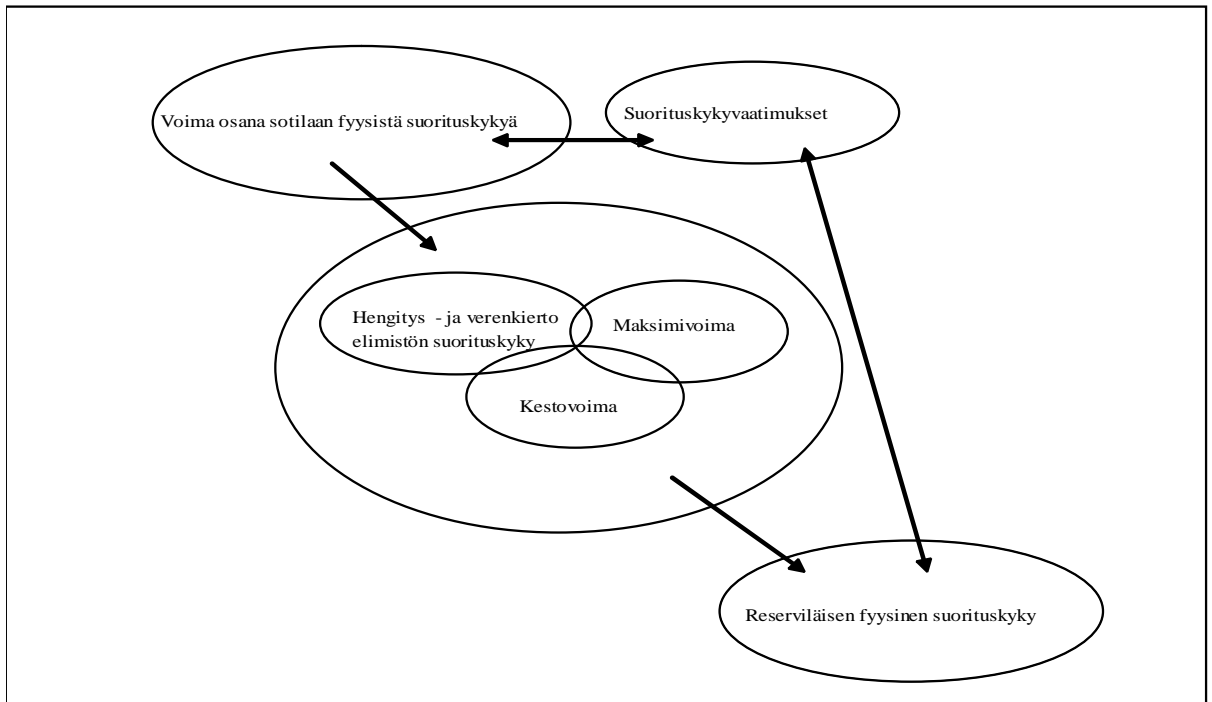
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millainen yhteys on puolustusvoimien käyttämän lihaskuntotestin tulosten ja maksimaalisten isometristen voimamittausten tulosten välillä. Voimamittausten tuloksia verrattiin hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyvyn testien tuloksiin sekä lihaskuntotestien tuloksiin. Näin pyrittiin selvittämään, ovatko nykyiset lihaskuntotestit riittävä fyysisen suorituskyvyn mittari, vai olisiko perusteltua käyttää myös maksimivoimatestejä.

Tämän tutkimuksen ongelmat olivat seuraavat:

1. Mikä on puolustusvoimien käyttämien lihaskuntotestien ja maksimaalisten isometristen voimatestien välinen yhteys?
2. Voiko maksimivoimatestien perusteella tehdä johtopäätöksiä reserviläisen fyysisestä suorituskyvystä?

7.2 Tutkimuksen viitekehys

Tutkimuksessa tarkasteltiin reserviläisten kuntotestien tulosten ja isometrisen maksimivoiman välisiä yhteyksiä (kuva 5, sivu 31). Teoriaosuudessa tarkasteltiin hermolihasarjestelmää, energia-aineenvaihduntaa sekä maksimivoiman ja kestävyuden välisiä yhteyksiä. Tarkastelun kohteena oli erityisesti maksimivoiman merkitys sotilaallisista tehtävistä suoriutumiseen. Reserviläisten suorittamien voima-, lihaskunto- ja kestävyystestien tulosten pohjalta tutkittiin isometrisen maksimivoiman yhteyttä lihaskuntoon ja kestävyyteen. Lisäksi selvitettiin, kuinka hyvin nykyiset puolustusvoimien reserviläisille tarkoitetut testit kertovat etenkin voimaominaisuuksista.



Kuva 5. Tutkimuksen viitekehys.

8. TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Koehenkilöt

Koehenkilöt olivat maa- ja merivoimien reserviläisiä, joiden keski-ikä oli 24 vuotta ja keskipituus 180 cm. Tutkimuksen otos oli 783 reserviläistä. Reserviläiset olivat valittu sekä alueellisesti että aselajeiltaan valtakunnallisesti kattavasti ja sosiaalisesti edustavasti. Kaikki koehenkilöt olivat vapaaehtoisia, ja he olivat allekirjoittaneet kirjallisen suostumuksen testeihin osallistumisesta.

Puolustusvoimat, Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta sekä Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettinen toimikunta olivat myöntäneet tutkimusluvan reserviläistutkimukseen.

8.2 Mittausasetelma

Reserviläiset vastasivat ennen fyysisiä testejä liikunta- ja terveystietämiskyselyyn. Testit suoritettiin aina samassa järjestyksessä. Ensin reserviläisiltä mitattiin kehon pituus ja vyötärön ympärysmitta sekä kehon koostumus bioimbedanssimittauksella. Tämän jälkeen suoritettiin

isometriset voimamittaukset. Ne tehtiin ennen polkupyöraergometritestiä, kun taas lihaskuntotestit suoritettiin polkupyöraergometritestin jälkeen. Polkupyöraergometritestillä mitattiin hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyky epäsuoralla MILFIT-testillä. Isometrisiin maksimivoimamittauksiin kuuluivat puristusvoimatesti, jalkojen bilateraalinen ojennusvoima ja kyynärvarren ojentajien bilateraalinen ojennusvoima. Lihaskuntotesteihin kuuluivat istuman nousu, etunojapunnerrus ja toistokyykistys. Suoritusaikaa kunkin lihaskuntoliikkeen tekemiseen oli 60 sekuntia.

Isometrisellä maksimivoimatestillä mitattiin erittäin tarkasti jalkojen ja kyynärvarren ojentajalihasten voimantuottoa tietyllä nivelkulmalla. Isometrisen voimamittauksen etuina ovat muun muassa hyvä toistettavuus ja se, että testi ei vaadi testattavalta erityistä taitoa. Isometrinen maksimivoima on suuresti riippuvainen lihaksen poikkipinta-alasta, jolloin erikokoisten testattavien absoluuttisten voima-arvojen vertailu ei välttämättä ole mielekäästä. Voimantuotto on spesifiä tietylle lihasryhmälle ja tietylle nivelkulmalle, joten isometristen mittausten yleistettävyyks koko kehon voimantuotto-ominaisuuksiin on rajoitettua. Lisäksi isometrisellä voimantuotolla ja urheilijan suorituskyvyllä ei aina ole ollut yhteyttä keskenään. Rajoituksena on myös sen heikohko yhteys mitata dynaamista voimantuottoa, sillä dynaaminen ja isometrinen voimantuotto poikkeavat toisistaan sekä mekaanisesti että hermostollisesti. Motoristen yksiköiden syytymistäajuus poikkeaa isometrisessä ja dynaamisessa työssä. (Ahtiainen & Häkkinen 2004, 138-139.)

Käden puristusvoimamittaus on hyvin yksinkertainen tapa mitata lihasvoima ja se on helposti toistettavissa. Sen on todettu korreloivan muiden lihasten voimaan, fyysiseen kuntoon, ja sen on todettu myös kuvaavan yksittäisistä mittauksista parhaiten yleistä lihaskuntoa. Puristusvoimamittauksen tuloksia luokitellaan normaalijakauman avulla väestöryhmästä mitattujen tulosten perustella. Luokittelu ei siis perustu työympäristön tai tehtävien vaatimuksiin. Puristusvoimamittauksen tulokseen vaikuttavat muun muassa henkilön sukupuoli, ikä ja vartalon antropometria. Puristusvoima kasvaa lineaarisesti noin 19 ikävuoteen asti ja suurimmillaan se on noin 20-vuotiailla. Kehon painon ja pituuden on todettu korreloivan positiivisesti koko käden maksimaaliseen puristusvoimaan. Käden koko ja mittarin rakenne vaikuttavat myös saatuun puristusvoimatulokseen. Puristusvoimamittaukseen voi sisältyä useita eri virheitä, jotka heikentävät testitulosten luotettavuutta. Tulosten luotettavuudessa pitää huomioida systemaattiset ja satunnaiset virheet. Systemaattiset virheet voivat johtua mittalaitteesta, ja satunnaiset virheet esimerkiksi testattavan motivaatiosta. (Ohrankämmen 2005, 72-85.)

8.3 Menetelmät

Bioimbedanssianalyysilla (Inbody 720 Biospace Co., Ltd. Factory, Korea) suoritettiin kehon antropometriset mittaukset. Bioimbedanssianalyysi (BIA) hyödyntää 8-pisteen kosketuselektrodeja, segmentaalista BIA:ta sekä monitaajuus BIA:ta. Testissä mitattiin koehenkilön paino (kg), rasvaton massa (Lean Body Mass = LBM), kehon nesteet (Total Body Water = TBW), solunsisäinen/-ulkoisen nestejakauma (ICF/ECF), segmentaalinen nestejakauma, rasvamassa, rasvaprosentti (%BF), rasvajakauma (vyötärö - lantio suhde) ja painoindeksi (Body Mass Index = BMI). ([http://www.likes.fi/pages/content/Show.aspx?id=90.](http://www.likes.fi/pages/content/Show.aspx?id=90))

Isometrinen jalkojen ja kyynärvarren ojentajien maksimivoimatesti suoritettiin voimadynamometrillä. (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto) Testi alitettiin muutamalla lämmittelysuorituksella. Lämmittelyn tarkoituksena oli nostaa lihasjännitystä asteittain kohti maksimia. Tämän jälkeen testattava suoritti varsinaisen testin, jolloin erillisellä komennolla testattava tuotti niin paljon voimaa ja niin lyhyessä ajassa kuin mahdollista. Voimantuotto jatkui maksimaalisena 3-4 sekuntia. Mittaustapahtumaa ennen laitteet oli kalibroitu. Nivelkulmat olivat jaloille 107 astetta ja käsille 90 astetta. (Ahtiainen & Häkkinen 2004, 139)

Käden puristusvoima mitattiin voimadynamometrillä, (Saehan Corporation, Yangdeok-Dong, Korea), jossa kahvan etäisyyttä voidaan muuttaa. Testi suoritettiin istuen kyynärvarren ollessa 90°:n kulmassa. Kyynärniveli oli irti vartalosta sekä hartiat ja käsivarsi liikkumatta suorituksen aikana. Testattavalle kerrottiin mittarin kahvan säätömahdollisuudesta sekä annettiin mahdollisuus kokeilla puristusotetta eri säädöillä. Tulos oli molempien käsien parhaiden puristusten (kg) keskiarvo. (Ahtiainen & Häkkinen 2004, 142; Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja, liite 8,2).

Istumaannousussa testattava makasi selin alustalla polvikulman ollessa noin 90 astetta. Nilkat olivat suorituksen ajan tuettuna avustajan toimesta. Sormet olivat takaraivon kohdalla ristissä. Lähtöasennosta noustiin istumaan siten, että kyynärpäät koskettivat polvia tai kävivät polvien tasalla. Ala-asennossa lapaluiden alaosa kosketti alustaa. Yksi suoritus täyttyi, kun kyynärpäät koskettavat polvia ja oli palattu ala-asentoon. Kädet pidettiin suorituksen ajan vakioidussa asennossa sormet ristissä ja kyynärpäät eteenpäin. Tulos oli maksimitoistomäärä 60 sekunnissa ilman taukoja. (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja liite, 8,2.)

Etunojapunnerruksessa ennen testiä käsien oikea asento määriteltiin päin makuulla asettamalla kämmenet hartioiden leveydelle ja tasolle siten, että sormet osoittavat eteenpäin. Peukaloiden oli yllettävä koskettamaan olkapäitä. Jalat olivat enintään lantion leveydellä. Lähtöasennossa kädet olivat hartioiden leveydellä suoriksi ojennettuina, vartalo suorana, varpaat ja kämmenet tukipisteinä. Lähtöasennosta vartalo laskettiin jännitettynä ala-asentoon, jossa olkavarret olivat vaakatasossa. Yksi suoritus täyttyi, kun ala-asennosta oli palattu lähtöasentoon. Jalkoja ei saanut tukea esimerkiksi seinään (liike tapahtui vapaassa tilassa). Lantiokulma oli 160-180° ja pään asennon oli pysyttävä suorituksen ajan vakiona. Tulos oli maksimitoistomäärä 60 sekunnissa ilman lepotaukoja. (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja, liite 8,2.)

Toistokyykistyksen lähtöasennossa jalat olivat enintään hartialeveydellä, jalkaterät saivat olla hieman ulospäin auenneina. Olkapää, lantio, polvi ja nilkka olivat samalla pystysuoralla linjalla. Lähtöasennosta kyykistyttiin ala-asentoon niin, että sormenpäät koskettivat alustaa jalkaterän ulkosivun alueella. Reidet olivat ala-asennossa alustan suuntaisesti vaakatasossa. Yksi suoritus täyttyi, kun testattava oli noussut edellä mainitusta ala-asennosta lähtöasentoon. Vartalon rakenteen ja nivelten liikkuvuuden vuoksi sallittiin tarvittaessa korokkeen käyttö kantapään alla. Tulos oli maksimitoistomäärä 60 sekunnissa ilman lepotaukoja. (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja, liite 8,2.)

Maksimaalisen hapenottokyvyn testi suoritettiin *moniportaisella polkupyöräergometritestillä*. (Milfit, Helsinki. Ergometrics 800S, Ergometrics 200K, Ergometrics 100K, ER 800S, Ergometriesysteme, Bitz, Saksa.) Syke mitattiin polkupyöräergometriin yhteensopivilla sykemittareilla. (Polar T31, Polar Electro Oy, Suomi). Testi on koko kehon toimintakyvyn testi, joka arvioi sydämen ja verenkiertoelimistön, työskentelevien lihasten ja niitä huoltavien järjestelmien toiminnan tehokkuutta. Maksimihapenottokyky ennustaa jossain määrin sydän- ja verisuonitautiriskiä sekä muita terveysriskejä. Koehenkilöt suorittivat testin maksimaalisena, ja tulos määritettiin suoraan testin päättymishetkestä. Testi päättyi normaalitilanteessa siihen, että koehenkilö ei enää jaksanut ylläpitää vaadittua poljentakierrosnopeutta. Testattava istui satulaan ja asetti kantapään polkimelle. Testaaja sääti satulan korkeuden niin, että testattavan jalka suoristui polkimen ollessa ala-asennossa. Testaaja kiristi polkimen hihnat testattavan päkiöiden kohdalta kiinni. Ohjauskannatin ja satula olivat samalla korkeudella. Käsien ote tangosta oli vapaa ja käsien asentoa sai vaihtaa testin aikana. Ylävartalo ei saanut olla testin aikana yli 45 asteen kulmassa. Poljinkierrosten oli pysyttävä 60-90 kierroksessa minuutissa koko testin ajan. Testattavan oli poljettava koko testi satulassa istuen. Testi lähti liikkeelle 50

W:n teholla. Tehoa nostettiin 25 W:a kahden minuutin välein aina täydelliseen uupumukseen asti. (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja, liite 8,2.)

8.4 Tilastolliset menetelmät

Kaikki testitulokset joko tallennettiin suoraan tietokoneelle tai kirjattiin lomakkeille, josta ne siirrettiin Windows-pohjaiseen Excel-taulukkoon. Käytettävät tilastolliset tunnusluvut olivat keskiarvo, keskihajonta ja vaihteluväli. Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 15 -ohjelman avulla. Muuttujien välisiä riippuvuuksia tutkittiin Spearmanin korrelaatiokerroimen avulla. Spearmanin korrelaatiokerrointa on käytetty siksi, että tarkasteltavat muuttujat eivät ole normaalisia. Normaalisuustestaus tehtiin käyttämällä SPSS 15 -ohjelmaan kuuluvaa kolmogorov-smirnov -testiä. (Heikkilä 2005, 92.)

9. TUTKIMUSTULOKSET

9.1 Kehonkoostumus

Kehon rakenne- ja koostumusmittauksissa saatiin seuraavanlaiset tulokset (taulukko 2): pituus 180 cm \pm 6,3 cm, paino 80,3 kg \pm 13,5 kg, rasvattoman kehon paino 65,2 kg \pm 7,6 kg, rasvaprosentti 17,8 \pm 7,2.

Taulukko 2. Koehenkilöiden ikä sekä kehonkoostumusmittausten tulokset.

Muuttuja	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	N
Paino (kg)	80,3	13,5	49,8	157,8	781
Rasvattoman kehon paino (kg)	65,2	7,6	42,4	90,7	778
Rasvaprosentti	17,8	7,2	2,8	47,8	778

9.2 Fyysiset testit

Lihassoima- ja lihaskestävyyssmittauksissa saatiin seuraavanlaiset tulokset (taulukko 3): isometrinen jalkojen ojennusvoima 2917 ± 868 N, isometrinen kyynärvarren ojennusvoima 898 ± 201 N, puristusvoima 53 ± 9 kg, istumaan nousu 38 ± 10 kpl, etunojapunnerrus 28 ± 12 , toistokyykitys 43 ± 8 kpl. Koehenkilöiden maksimaalinen hapenottookyky oli $41,6 \pm 8,1$ ml/kg/min vaihteluvälin ollessa 19,5:stä 72,5:een ml/kg/min. Lihaskuntoindeksi (LKI) keskiarvo oli $2,6 \pm 0,8$ vaihteluvälin ollessa 1,2:stä 5,0:een. Fyysisen suorituskyvyn indeksin (FSK) keskiarvo oli $2,4 \pm 0,8$ vaihteluvälin ollessa 1,1:stä 4,8:ään. (Liite 1).

Taulukko 3. Koehenkilöiden lihasvoima- ja lihaskestävyytulokset.

Muuttuja	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	N
Isom. max. jalkojen ojennus (N)	2917	878	886	7385	761
Isom. max kyynärvarren ojentajat (N)	898	201	371	1634	765
Istumaan nousu (kpl/min)	38	10	2	72	736
Puristusvoima (kg)	52,8	9,1	21,5	82,5	769
Etunojapunnerrus (kpl/min)	29	13	1	75	721
Toistokyykitys (kpl/min)	44	9	3	64	715
Maksimaalinen hapenottookyky (ml/kg/min)	41,6	8,1	19,5	72,5	728
Lihaskuntoindeksi (LKI)	2,6	0,8	1,2	5	769
Fyysinen suorituskyky (FSK)	2,4	0,8	1,1	4,8	727

9.3 Maksimivoiman suhde lihaskestävyyteen

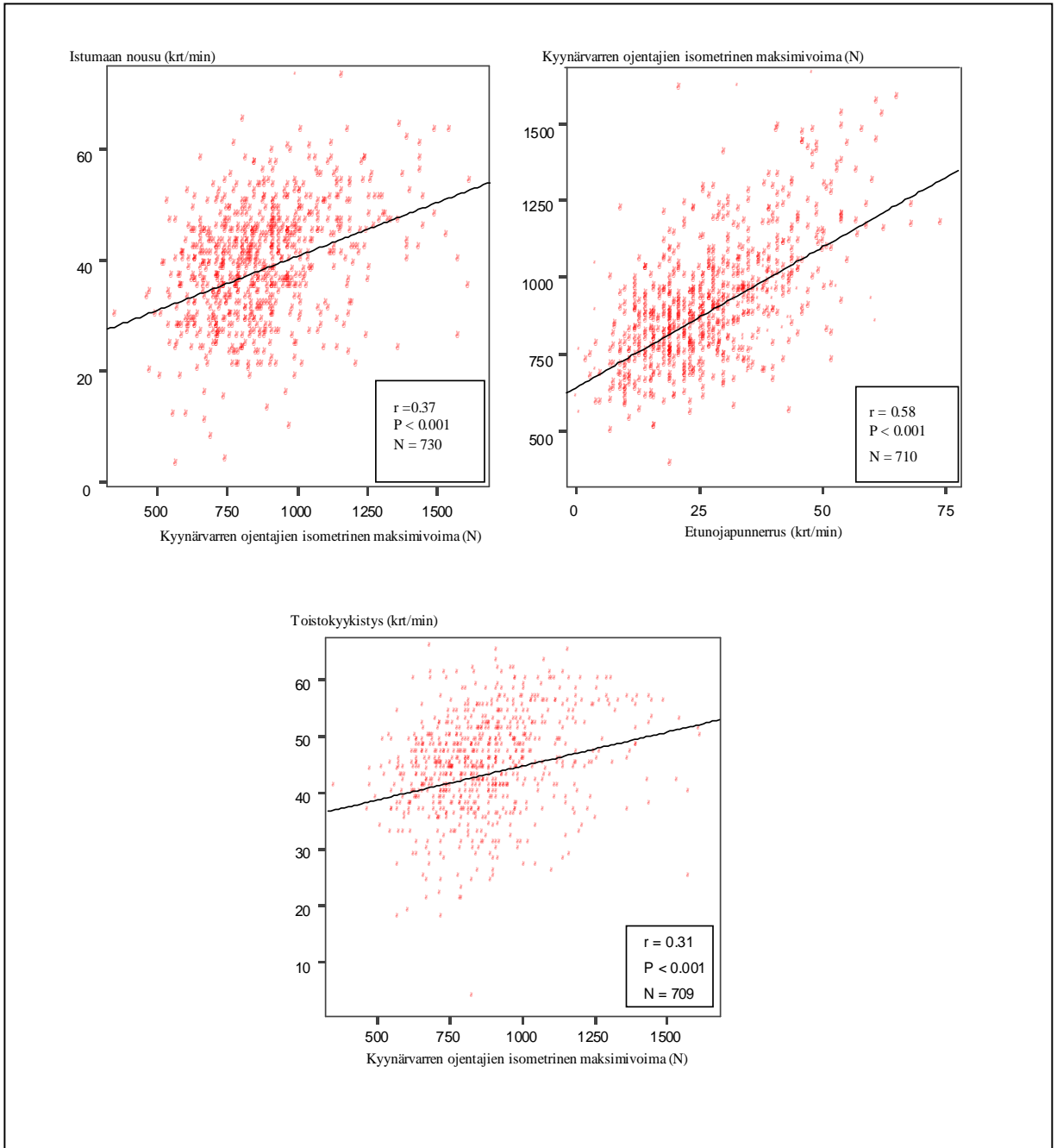
Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja toistokyykistyksen välillä havaittiin positiivinen korrelaatio ($r = 0.22$, $p < 0,001$). Lisäksi jalkojen isometrisen maksimivoiman ja etunojapunnerruksen ($r = 0.19$, $p < 0.001$) sekä jalkojen isometrisen maksimivoiman ja istumaan nousun välillä ($r = 0.13$, $p < 0.001$) havaittiin heikot yhteydet. Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntotestien tulosten väliset positiiviset korrelaatiot olivat kaikki tilastollisesti erittäin merkitseviä (taulukko 4).

Puristusvoimatulosten ja toistokyykistyksen sekä puristusvoiman ja istumaan nousun välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita ($r = -0.005$, $p > 0.05$; $r = -0.04$, $p > 0.05$). Puristusvoiman ja etunojapunnerruksen välillä havaittiin seuraavanlainen positiivinen korrelaatio ($r = 0.13$, $p < 0.001$).

Taulukko 4. Lihaskunto- ja maksimivoimatestien korrelaatiomatriisi.

	Toistokyykistys (krt/min)	Etunojapunnerrus (krt/min)	Istumaannousu (krt/min)	Lihakuntoindeksi (LKI)
Jalkojen ojentajien isometrinen maksimivoima (N)	$r = 0.22$ $P < 0.001$ $N = 708$	$r = 0.19$ $P < 0.001$ $N = 713$	$r = 0.13$ $P < 0.001$ $N = 726$	$r = 0.28$ $P < 0.001$ $N = 760$
Kyynärvarren ojentajien isometrinen maksimivoima (N)	$r = 0.31$ $P < 0.001$ $N = 709$	$r = 0.58$ $P < 0.001$ $N = 710$	$r = 0.37$ $P < 0.001$ $N = 730$	$r = 0.51$ $P < 0.001$ $N = 762$
Puristusvoima (kg)	$r = -0.005$ $P > 0.05$ $N = 713$	$r = 0.13$ $P < 0.001$ $N = 719$	$r = -0.04$ $P > 0.05$ $N = 734$	$r = 0.39$ $P < 0.001$ $N = 767$

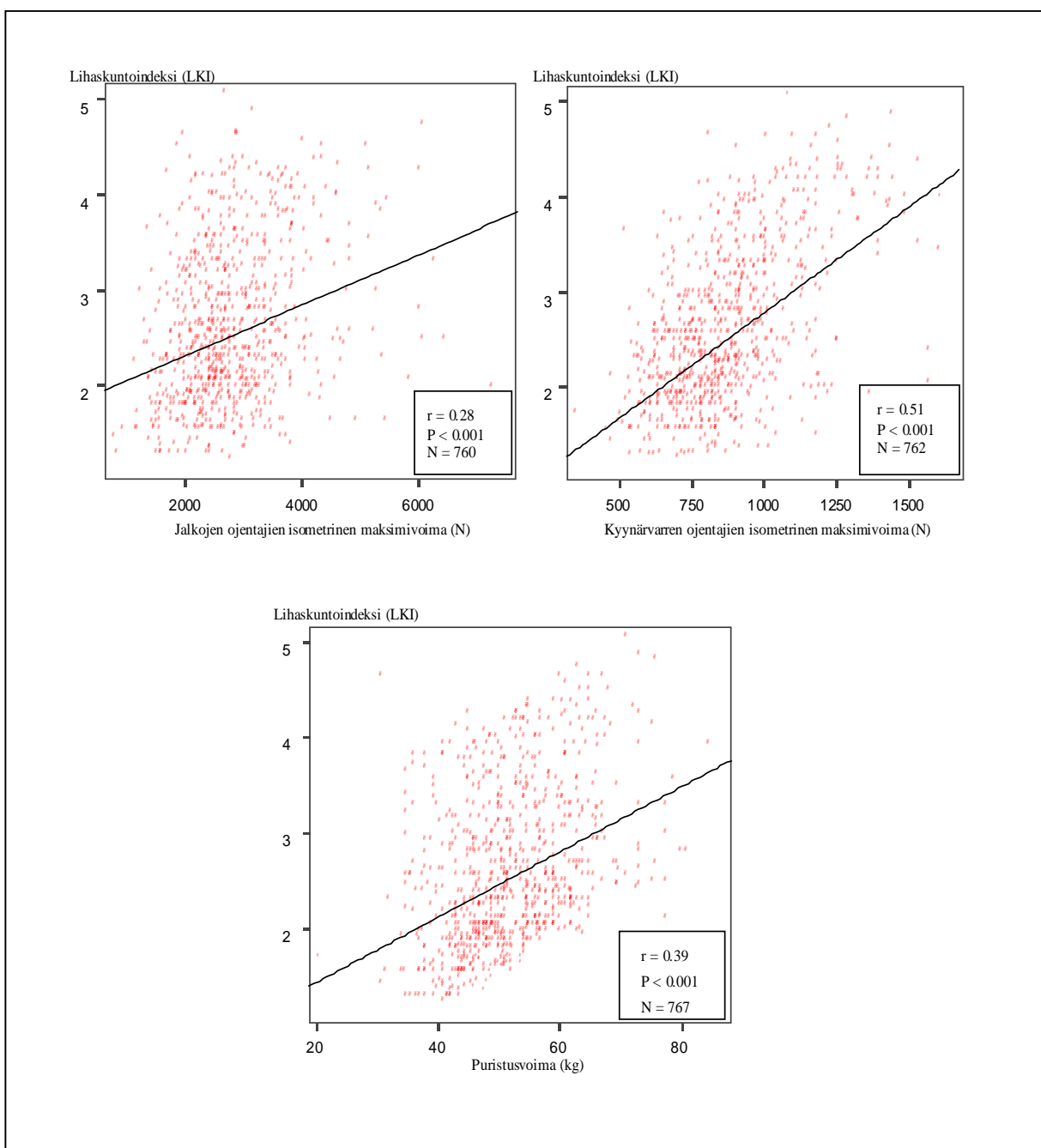
Kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman sekä toistokyykistyksen välillä havaittiin positiivinen korrelaatio ($r = 0.31$, $p < 0.001$). Myös kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja etunojapunnerrustuloksen välillä havaittiin positiivinen korrelaatio ($r = 0.58$, $p < 0.001$.) Kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja istumaan nousun välillä havaittiin myös positiivinen korrelaatio ($r = 0.37$, $p < 0.001$). Tulokset ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. (Kuva 6).



Kuva 6. Maksimivoiman ja lihaskestävyyden väliset korrelaatiot.

9.4 Maksimivoiman suhde lihaskuntoindeksiin

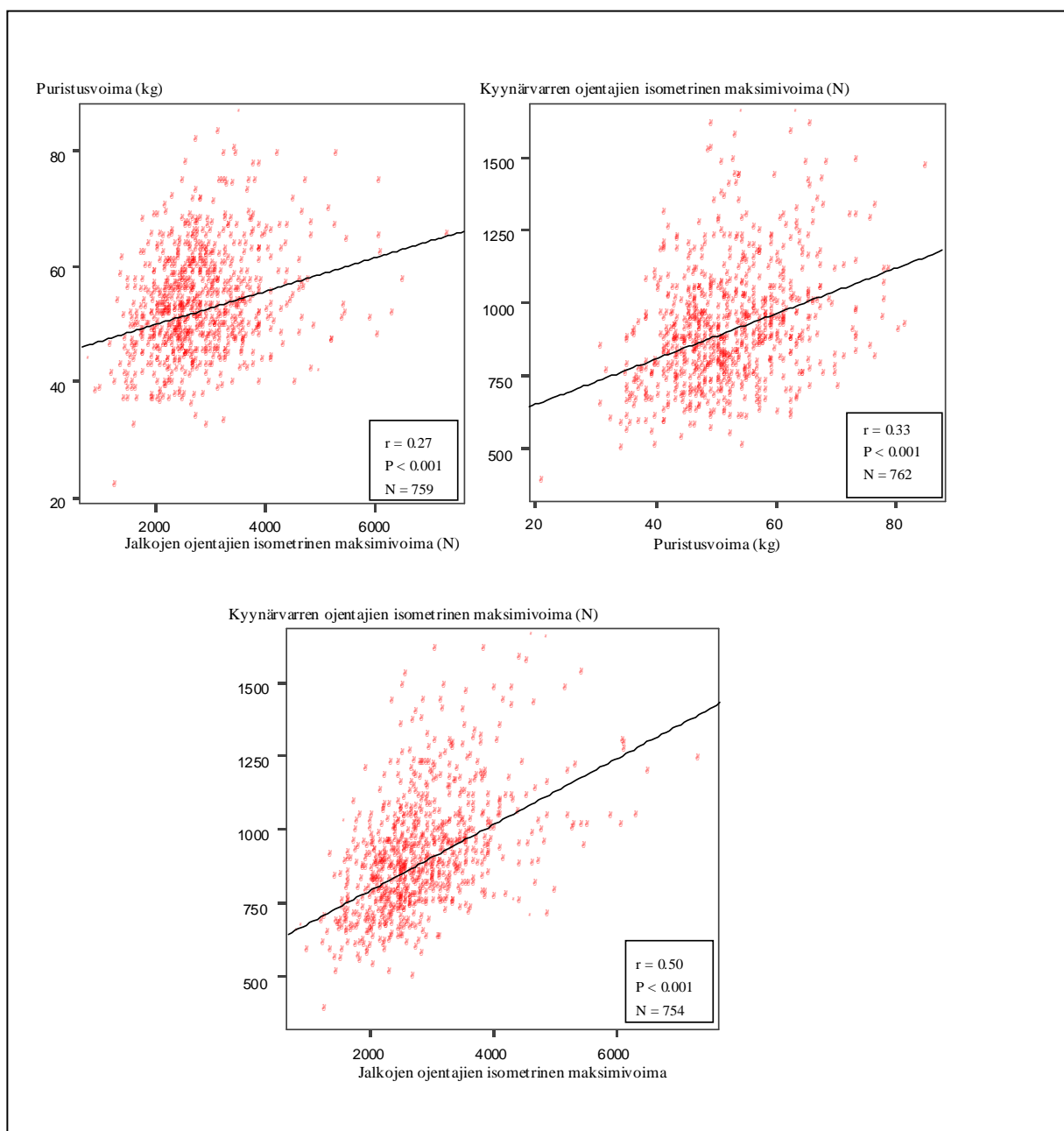
Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntoindeksin sekä kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntoindeksin välillä havaittiin positiiviset korrelaatiot ($r = 0.28$, $p < 0.001$; $r = 0.51$, $p < 0.001$). Samoin puristusvoiman ja lihaskuntoindeksin osalta havaittiin positiivinen korrelaatio ($r = 0.39$, $p < 0.001$). Kaikki tulokset ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. (Kuva 7).



Kuva 7. Isometristen maksimivoimatulosten ja lihaskuntoindeksin väliset korrelaatiot.

9.5 Maksimivoimatulosten suhde toisiinsa

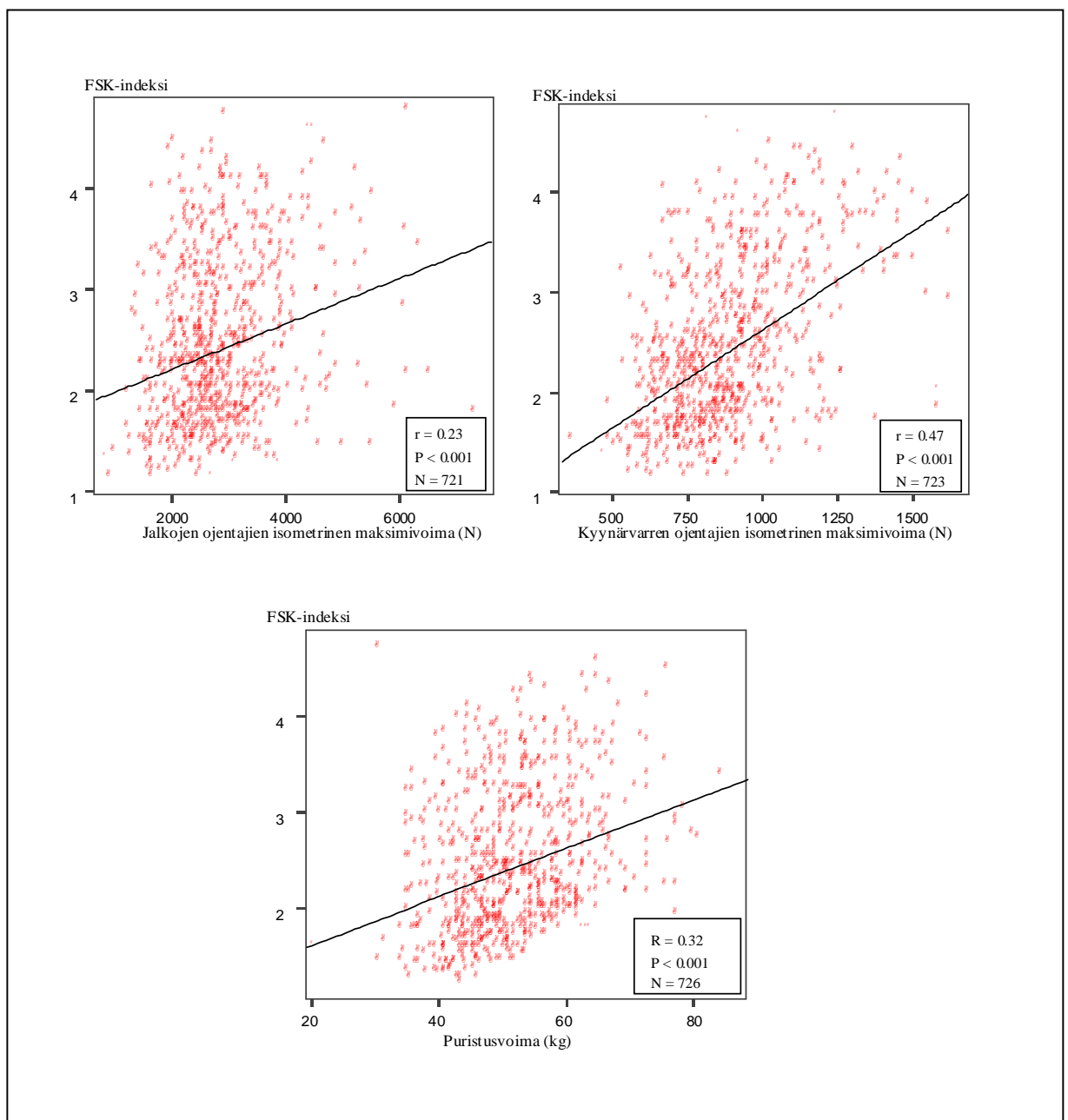
Samoin kuin jalkojen isometrisen maksimivoiman ja puristusvoiman välillä, havaittiin positiivinen korrelaatio myös puristusvoiman ja kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman välillä ($r = 0.27$, $p < 0.001$; $r = 0.33$, $p < 0.001$). Positiivinen korrelaatio havaittiin myös jalkojen isometrisen maksimivoiman ja kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman välillä ($r = 0.50$, $p < 0.001$). Kaikki tulokset ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. (Kuva 8).



Kuva 8. Isometrinen maksimivoimatulosten korrelaatiot.

9.6 Maksimivoiman suhde fyysiseen suorituskyyyn

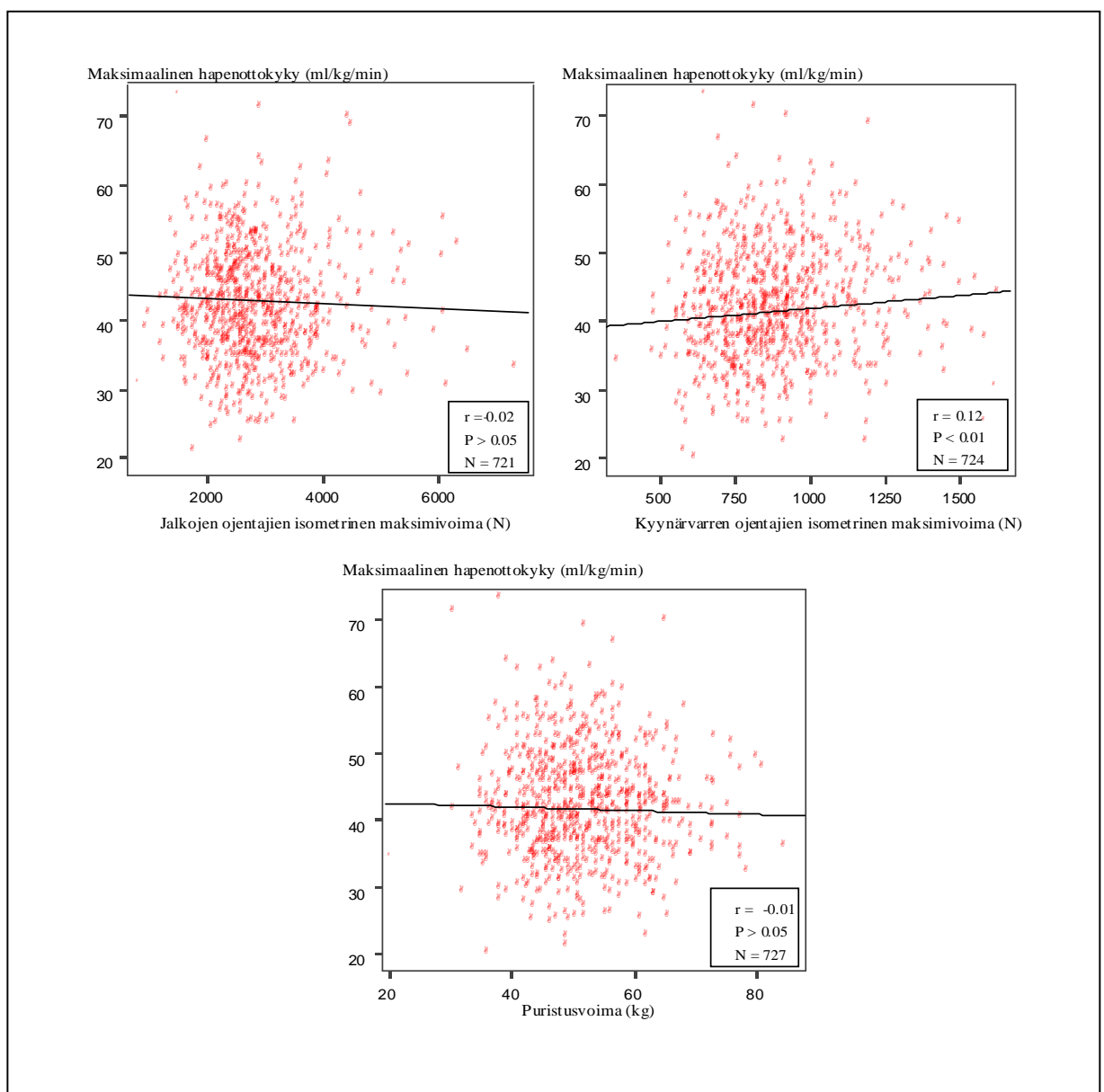
Maksimivoiman ja fyysisen suorituskyyyn indeksin välillä suurin positiivinen korrelaatio on kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja fyysisen suorituskyyyn indeksin välillä ($r = 0.47$, $p < 0.001$), (kuva 9). Puristusvoiman ja jalkojen isometrisen ojennusvoiman korrelaatiot fyysisen suorituskyyyn indeksin kanssa ovat heikot ($r = 0.32$, $p < 0.001$; $r = 0.23$, $p < 0.001$).



Kuva 9. Maksimivoiman ja fyysisen suorituskyyyn indeksin väliset korrelaatiot.

9.7 Maksimivoiman suhde hapenottokykyyn

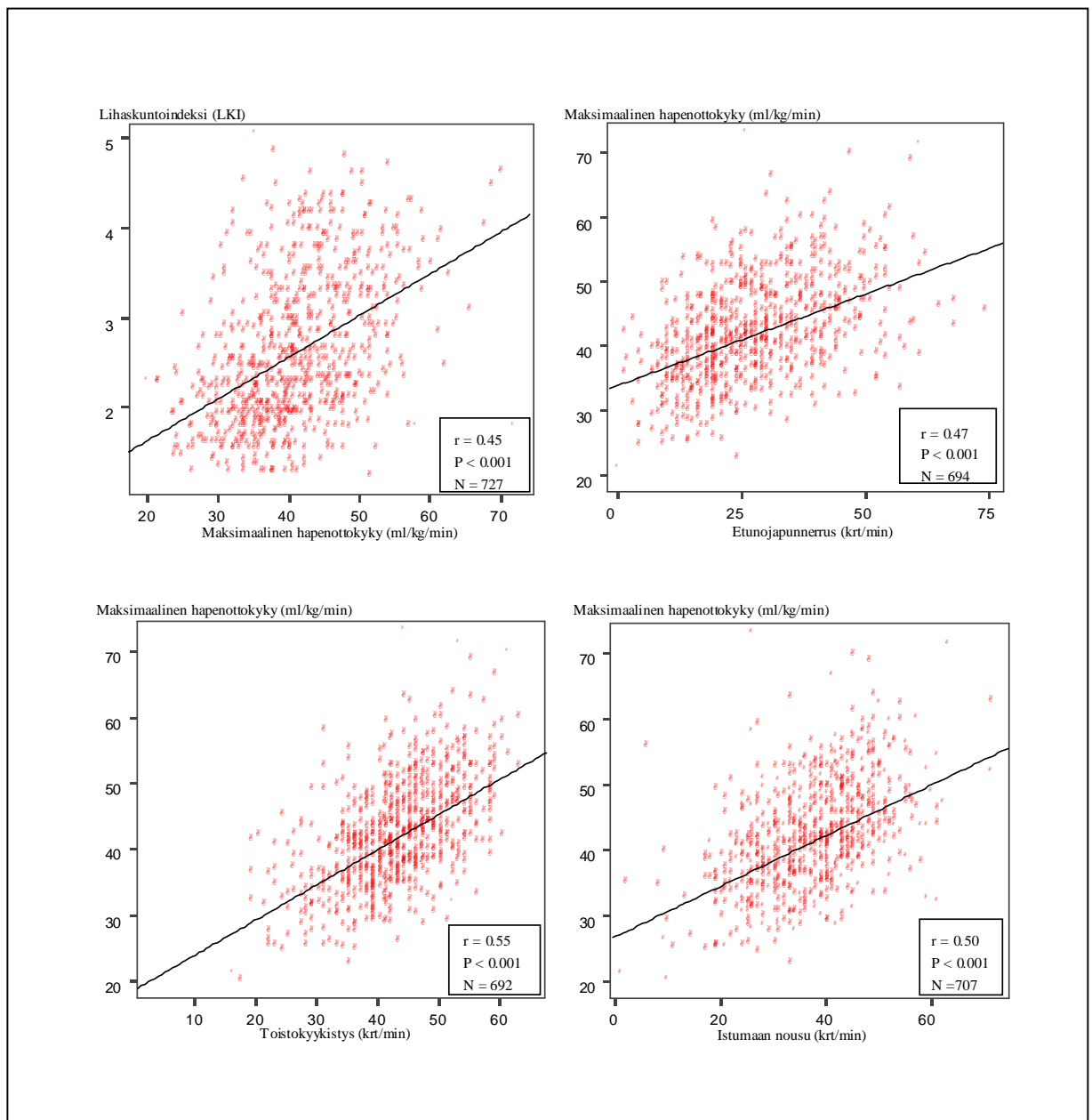
Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ei havaittu positiivista korrelaatiota eikä tilastollista riippuvuutta ($r = -0.02$, $p > 0.05$). Kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja maksimaalisen hapenottokyvyn välinen positiivinen korrelaatio on hyvin heikko ($r = 0.12$, $p < 0.01$). Puristusvoiman ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ei havaittu korrelaatiota eikä tilastollista riippuvuutta ($r = -0.01$, $p > 0.05$). (Kuva 10).



Kuva 10. Maksimivoiman ja maksimaalisen hapenottokyvyn korrelaatiot.

9.8 Hapenottokyvyn suhde lihaskuntoindeksiin ja lihaskestävyyteen

Kuvasta 11 voidaan havaita, että maksimaalisen hapenottokyvyn ja lihaskuntoindeksin välillä on positiivinen korrelaatio ($r = 0.45$, $p < 0.001$). Tarkastellessa maksimaalista hapenottokykyä ja lihaskuntoindeksiin vaikuttavia kestovoimasuorituksia huomattiin seuraavanlaiset positiiviset korrelaatiot: maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min) ja etunojapunnerrus ($r = 0.47$, $p < 0.001$), toistokyykistys ($r = 0.55$, $p < 0.001$) ja istumaan nousu ($r = 0.50$, $p < 0.001$).



Kuva 11. Lihaskestävyyden ja maksimaalisen hapenottokyvyn korrelaatiot.

10. POHDINTA

10.1 Tutkimuksen päätulokset

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset osoittivat, että tarkastellessa maksimivoiman ja lihaskestävyyden yhteyttä suurin korrelaatio oli etunojapunnerruksen ja kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman välillä ($r = 0.58$). Toiseksi suurin yhteys maksimivoiman ja lihaskestävyyden osalta havaittiin kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja istumaan nousun välillä ($r = 0.37$). Jalkojen maksimivoiman ja lihaskestävyyden välillä vallitsee heikko yhteys ($r = 0.22$). Edelleen tarkastellessa lihaskuntoindeksin ja maksimivoiman suhdetta suurin yhteys löytyi kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntoindeksin väliltä ($r = 0.51$). Fyysisen suorituskyvyn indeksin ja käsien maksimivoimiarvojen välillä havaittiin myös positiivinen korrelaatio ($r = 0.47$). Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntoindeksin välillä havaittiin positiivinen, mutta heikko yhteys ($r = 0.28$). Lisäksi lihaskestävyyden ja maksimaalisen hapenottokyvyn havaittiin olevan yhteydessä toisiinsa niin, että voimakkain yhteys löytyi toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ($r = 0.55$). Sen sijaan isometrisen maksimivoiman ja maksimaalisen hapenottokyvyn ei havaittu oleva yhteydessä toisiinsa. Samoin puristusvoiman ja lihaskestävyyden yhteys on hyvin heikko.

Kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoimatestin tulosten perusteella voidaan tehdä luotettavampia johtopäätöksiä fyysisestä suorituskyvystä kuin jalkojen ojentajien maksimivoimatestin tulosten perusteella. Fyysisen suorituskyvyn indeksin perusteella ei kuitenkaan ole mahdollista tehdä pitkälle vedettyjä johtopäätöksiä reserviläisen maksimivoiman yleisestä tasosta. Puristusvoimamittaus ei tämän tutkimuksen perusteella anna tietoa fyysisen kunnan tasosta.

10.2 Maksimivoiman ja kestovoiman yhteys

Kyynärvarren ojentajien maksimivoima-arvojen ja minuutin etunojapunnerrustestin tulosten välillä havaittiin tutkimuksen voimakkain yhteys ($r = 0.58$). Tuloksissa havaittiin isoja yksittäisiä poikkeamia etunojapunnerruksen ja maksimivoima-arvojen välillä. Tulos joka tapauksessa osoittaa, että käsien maksimivoimalla ja minuutin punnerrustestin tuloksella on selvästi yhteyttä keskenään. Tutkimuksesta ilmeni, että minuutin toistokyykistystestin tuloksella ja jalkojen ojentajien isometrisellä maksimivoimalla on vain vähäinen positiivinen

korrelaatio ($r = 0.22$), joten tämän tutkimuksen mukaan luotettavia johtopäätöksiä jalkojen maksimivoimasta ei voida tehdä jalkojen lihaskestävyyden tason perusteella. Maksimivoima- ja kestovoimasuorituksessa rasisfysiologiset periaatteet poikkeavat toisistaan (Hirvonen & Aura 1989, 221), ja se selittää ainakin osaksi jalkojen maksimivoima-arvojen ja jalkojen lihaskestävyyden heikon yhteyden. Toistokyykistystestissä pyritään mittaamaan erityisesti jalkojen voimakestävyyttä ja anaerobista tehoa (Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja, 2008, liite 8.2). Maksimaalista voimaa tuottaessa korostuvat hermoston ja lihaksiston suorituskyvyn osatekijät sekä niiden yhteistoiminta. (Häkkinen, 2003). Kestävyysuoritusta rajoittaa puolestaan hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky toimittaa lihaksille happea, (Hirvonen & Aura 1989, 221). Erot käsien sekä jalkojen maksimi- ja kestovoiman korrelaatioissa voivat siis ainakin osaksi johtua siitä, että punnerrettaessa korostuu hermolihasjärjestelmän suorituskyky ja anaerobinen energiantuotto, kun taas minuutin toistokyykistyksessä suoritusta rajoittaa etenkin aerobisen energiantuoton kapasiteetti jalkojen maksimivoiman sijaan. Toisena selittävänä tekijänä voi olla se, että etunojapunnerruksessa nostettava kuorma on suhteellisesti raskaampi kuin toistokyykistyksessä, jolloin maksimivoiman osuus suorituksessa korostuu.

Johtopäätöstä tukevat osaltaan tutkimuksessa saadut tulokset maksimaalisen hapenottokyvyn ja käsien maksimivoiman välisistä yhteyksistä sekä maksimaalisen hapenottokyvyn ja jalkojen maksimivoiman välisistä yhteyksistä. Toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä havaittiin suhteellisen voimakas korrelaatio ($r = 0.55$). Maksimaalisen hapenottokyvyn ja etunojapunnerrustestin tuloksen välillä havaittiin vähäisempi yhteys ($r = 0.47$). Saadut tulokset vahvistavat oletusta, että minuutin toistokyykistys olisi ainakin hieman enemmän riippuvainen hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyvystä ylläpitää aerobisia energia-aineenvaihdunnallisia prosesseja työtä tekevissä lihaksissa kuin minuutin etunojapunnerrus. Suuret lihakset tarvitsevat absoluuttisesti enemmän happea ylläpitääkseen tiettyä submaksimaalista suoritusintensiteettiä kuin pienemmät lihakset.

Tutkimuksen perusteella kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman avulla voidaan tehdä suhteellisen luotettavia johtopäätöksiä käsien kestovoiman tasosta. Toisin sanoen nykyinen minuutin etunojapunnerrustesti antaa tietoa sotilaan ylävartalon maksimivoimatasosta aika luotettavasti. Sen sijaan minuutin toistokyykistystestin perusteella ei voida arvioida jalkojen maksimaalista voimaa.

Käden puristusvoimatesti on tällä hetkellä ainoa reserviläisten käytössä oleva maksimaalista voimaa mittaava testi. Tämän tutkimuksen tulokset ovat ristiriidassa kyseistä asiaa käsittelevän tutkimuskirjallisuuden kanssa. Sen mukaan puristusvoimatesti kertoo yksittäisistä testeistä parhaiten yleisestä lihaskunnosta ja lihasten voimasta (Ohrankämmen 2005). Tämän tutkimuksen perusteella puristusvoima ei ole yhteydessä minuutin toistokyykistyksen ($r = -0.005$), istumaan nousun ($r = 0.04$) tai etunojapunnerrustestin tuloksen ($r = 0.13$) kanssa. Mielenkiintoista on myös huomata, että lihaskuntoindeksin ja puristusvoimatestin yhteys ($r = 0.39$) on pienempi kuin kyynärvarren isometrisen maksimivoiman ja lihaskuntoindeksin yhteys ($r = 0.51$), vaikka puristusvoima lasketaan mukaan lihaskuntoindeksiin. Tämän tutkimuksen mukaan puristusvoimatestin perusteella ei voida tehdä minkäänlaisia johtopäätöksiä reserviläisen yksittäisten lihasryhmien ja siten lihaskunnan yleisestä tasosta. Ylävartalon maksimivoiman tason ja sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen välillä on kirjallisuuden perusteella kuitenkin selvää yhteyttä keskenään (Kraemer ym. 2001; Kraemer ym. 2004), joten ylävartalon maksimivoiman arviointi on tarkoituksenmukaista.

Tutkimustulosten pohjalta olisi perusteltua pohtia puristusvoimatestin mielekkyyttä osana lihaskuntotestejä. Samansuuntaiseen johtopäätökseen päädyttiin vuonna 2003 tehdyssä reserviläisten fyysisen suorituskyvyn tutkimuksessa (Malmberg ym. 2004). Siinä todettiin puristusvoimamittauksen kuvaavan fyysistä kuntoa kapeasti. Puristusvoimatestin mukanaoloa voi perustella sillä, ettei mikään muu testi anna tietoa samoista asioista kuin puristusvoimatesti. Puristusvoimalla ja ampumatarkkuudella on todettu olevan yhteyttä keskenään (Malmberg ym. 2004, 77), mutta tämä yksin tuskin riittänee perusteluksi testin mukanaololle. Luotettavampaa tietoa reserviläisen fyysisestä suorituskyvystä voitaisiin saada, jos kuntotestauksessa olisi mukana kyynärvarsien ojentajien isometrinen maksimivoimatesti sekä jalkojen maksimivoimaa mittaava testi. Jalkojen maksimivoiman erillistä mittausta kannatta pohtia myös siksi, ettei millään yksittäisellä lihaskuntoliikkeellä näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan yhteyttä jalkojen maksimivoimaan. Jalkojen maksimivoima-arvoilla ja sotilaallisista tehtävistä suoriutumisella on kirjallisuuden mukaan kuitenkin huomattu olevan yhteyttä keskenään. (Kraemer ym. 2001; Hoff ym. 2002; Kraemer ym. 2004; Kokko 2008). Tätä taustaa vasten ja tämän tutkimuksen perusteella puolustusvoimissa käytössä oleva lihaskuntotestiin kuuluva minuutin toistokyykistys ei välttämättä kerro riittävästi sotilaan jalkojen voimatasosta. Lisäksi Santtilan ym. (2008) huomiot jalkojen maksimivoiman ja sotilaallisen toiminnan yhteyksistä tukevat jalkojen maksimivoiman mittaamisen mielekkyyttä.

10.3 Maksimivoiman yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn

Maksimaalisen hapenottokyvyn ja maksimivoiman välillä ei havaittu positiivista yhteyttä (kuva 10, sivu 42). Tämän tutkimuksen mukaan samat reserviläiset eivät ole fyysisiltä ominaisuuksiltaan vahvoja ja samalla kestäviä. Kummankaan testin perusteella ei siis voida tehdä minkäänlaisia johtopäätöksiä toisesta ominaisuudesta. Saatu tulos on linjassa kirjallisuuden kanssa, jonka mukaan voimantuotto- ja kestävyysuorituksissa tarvittavat fysiologiset ominaisuudet ovat erilaiset (Hirvonen & Aura 1989, 220-221; Ahtiainen ym. 2004, 285; Häkkinen ym. 2004, 251).

Verrattaessa maksimivoimasuorituksia keskenään huomattiin kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja jalkojen ojentajien isometrisen maksimivoiman välillä suhteellisen voimakas yhteys ($r = 0.50$). Puristusvoiman ja kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman välinen positiivinen korrelaatio oli sitä vastoin suhteellisen heikko ($r = 0.33$). Pienin korrelaatio löytyi puristusvoiman ja jalkojen ojentajien isometrisen maksimivoiman väliltä ($r = 0.27$). Tulosten perusteella voidaan olettaa, että samojen reserviläisten voimaominaisuudet sekä ylä- että alavartalossa ovat yhtenevät varsinkin silloin, kun reserviläisen voima-arvot jaloissa ovat hyvät. Tätä huomiota tukee kyynärvarren isometrisen maksimivoiman ja jalkojen ojentajien isometrisen maksimivoiman sirontakuviokuva (kuva 8, sivu 40). Puristusvoimatestin perusteella ei tämän tutkimuksen mukaan voida kovinkaan luotettavasti arvioida reserviläisen maksimaalisen voiman tasoa ylä- tai alavartalon osalta. Erot puristusvoima-arvoissa ja maksimivoiman tasoissa voivat johtua harjoittelun vaikutusten spesifisyydestä. Hartiaseudun ja käsien voimaharjoittelu ei välttämättä kehitä puristusvoimaa, jos harjoittelussa ei ole mukana etenkin puristusvoimaa kehittäviä harjoitteita.

10.4 Maksimivoiman suhde fyysiseen suorituskyykyyn

Tarkasteltaessa maksimivoiman ja fyysisen suorituskyyvyn indeksin yhteyttä voimakkain positiivien korrelaatio huomattiin kyynärvarren ojentajien isometrisen maksimivoiman ja FSK-indeksin välillä ($r = 0.47$). Jalkojen isometrisen maksimivoiman ja FSK-indeksin sekä puristusvoiman ja FSK-indeksin yhteydet olivat suhteellisen heikot. Hajonnat olivat kuitenkin suuret jokaisen tarkasteltavan maksimivoimaosan kanssa. FSK-indeksin ja puristusvoiman korrelaation ($r = 0.32$) selittänee puristusvoiman mukaan laskeminen lihaskuntoindeksiin, sillä puristusvoimalla ei havaittu yhteyttä yhdenkään FSK-indeksin osatekijän kanssa erikseen tarkasteltuna. Käsien maksimivoiman ja FSK-indeksin suhteellisen korkean korrelaation

selittänee käsien maksimivoiman ja punnerrustestituloksen suhteellisen voimakas yhteys sekä punnerrustestin tuloksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn yhteys ($r = 0.47$). Tutkimuksen perusteella yksittäisen maksimivoimatestin pohjalta ei ole mahdollista arvioida reserviläisen fyysisestä suorituskyykyä kovinkaan tarkasti eikä fyysisen suorituskyykyindeksin avulla ole mahdollista päätellä reserviläisen jalkojen tai käsien maksimivoiman tasoa luotettavasti.

10.5 Lihaskestävyiden ja maksimaalisen hapenottokyvyn yhteys

Lihaskestävyttä ja maksimaalista hapenottokyykyä tarkastelemalla huomataan suhteellisen voimakkaat korrelaatiot jokaisen lihaskestävyysliikkeen kohdalla (kuva 11, sivu 43). Suurin korrelaatio on toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyyvyn välillä ($r = 0.55$). Tulosten perusteella voidaan olettaa, että reserviläisten maksimaalisen hapenottokyyvyn ja lihaskestävyiden välillä on yhteyttä. Hajontakuvioidissa on poikkeaviakin tuloksia, mutta suurin osa tuloksista näyttää noudattavan tätä linjaa.

Tulosten perusteella voitaneen olettaa, että niin lihaskestävyysliikkeiden kuin hapenottokyyvyn testeissä mitataan ainakin osaksi samojen fysiologisten prosessien toimivuutta. Näin etenkin toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyyvyn kohdalla. Maksimaalisen hapenottokyyvyn testi suoritettiin kuntopyörää polkemalla, ja etenkin testin loppuosassa testattava joutui polkemaan suurilla vastuksilla, jolloin jalkojen lihakset työskentelivät nivelkulmien ja kuormien osalta samojen fysikaalisten prosessien turvin kuin toistokyykistystestin aikana. Toisin sanoen ne henkilöt, joiden lihaskestävyys jaloissa mahdollisesti hyvät tulokset toistokyykistyksessä, jaksoivat polkea kuntopyörää suurilla tehoilla lihasten kestävyysvoiman turvin. Toisaalta ne henkilöt, joiden maksimaalinen hapenottokyyky olisi ollut parempi kuin testeissä saavutettu tulos, eivät päässeet huipputulokseensa jalkojen lihaskestävyiden heikohkon tason vuoksi. Näin ollen hapenottokyyvyn testitulosta ei kaikissa tapauksissa rajoittanut hapenottokyyky vaan jalkojen lihasten kunto.

Tämä oletus on samansuuntainen kirjallisuuden kanssa, jonka mukaan kehittämällä lihasten voimaominaisuuksia voidaan parantaa kestävyysuoritusta enemmän kuin pelkkää kestävyyttä harjoittelemalla. (Hickson ym. 1988; Marcinik ym. 1991; Ferkettich ym. 1998). Toisaalta heikko yhteys etenkin jalkojen maksimivoiman ja toistokyykistyksen tuloksen välillä voinee tarkoittaa sitä, että jalkojen maksimaalinen voimantuotto ei selitä polkupyörällä suoritettua maksimaalisen hapenottokyyvyn testiä niin paljon kuin hyvä submaksimaalinen lihaskunto. Tämä oletus sopii osaltaan myös tutkimuskirjallisuuteen, jonka mukaan jalkojen

voimaominaisuuksien kasvu ei paranna polkupyörällä suoritettua kestävyystestin tulosta (Bishop & Jenkins 1996). Voitaneen päätellä, että vaikka hapenottokyvyn testin loppuosaa tehdäänkin suurilla vastustuksilla, on työ luonteeltaan submaksimaalista voimantuoton osalta.

10.6 Tutkimuksen luotettavuus ja yleistettävyys

Tutkimuksen luotettavuus voidaan jakaa validiteetin ja reliabiliteetin arvioimiseen. Validiteetti kuvaa, missä määrin tutkimuksessa on onnistuttu mittaamaan niitä asioita, jota on ollut tarkoitus mitata. Reliabiliteetti on mittauksen kykyä tuottaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Tähän sisältyy myös tutkimuksen toistettavuus. Puutteellinen reliabiliteetti johtuu usein satunnaisista virheistä. Tutkimuksessa käytettiin eri muuttujien riippuvuuksien tutkimiseen Spearmanin järjestyskorrelaatiota. Tuloksia tulkittaessa on tärkeää huomata, että korrelaatiokerroin ei kerro muusta kuin kahden muuttujan välisestä lineaarisen riippuvuuden suuruudesta. Lisäksi tulee huomioida, että vaikka muuttujat korreloivat keskenään se ei tarkoita muuttujien välistä syy-seuraussuhdetta. Korrelaatioanalyysi on käyttökelpoinen etenkin silloin, kun arvioitavana on suuri määrä muuttujia, ja sitä voidaan käyttää pohjana jatkotutkimukselle. Suuria määriä tutkittaessa pienetkin korrelaatiot saattavat osoittautua merkitseviksi. Täytyy kuitenkin muistaa, että pienestä P-arvoista huolimatta riippuvuus voi olla hyvin lievää. Vaikka P-arvo olisikin hyvin pieni, tuloksella harvoin on käytännön merkitystä jos korrelaatiokerroin on alle 0.3. Toisaalta suuria määriä tutkittaessa korrelaatiot ovat harvoin hyvin suuria. Suuri otannan koko vaikuttaa paljon myös tutkimuksen tarkkuuteen. Kun otantakoko on suuri, satunnaisvirheen mahdollisuus tutkimustuloksissa on hyvin pieni. (Heikkilä 2005, 92, 186-187, 201-204; Holopainen & Pulkkinen 2002, 31).

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin fyysisen suorituskyvyn eri osa-alueiden keskinäistä lineaarista riippuvuutta. Testattavana oli suuri joukko reserviläisiä, joten P-arvot olivat hyvin usein alle 0,001:n. Silti korrelaatiokerroin saattoi olla suhteellisen alhainen. Tuloksien tarkastelussa on otettu huomioon testattavien suuresta määrästä johtuva korrelaatiokertoimen lasku. Lisäksi on huomioitu se, että tuloksen ollessa tilastollisesti erittäin merkitsevä, tarkoittaa se tässä tapauksessa ainoastaan sitä, että saatu tulos ei voi olla sattumaa.

Tutkimuksessa saadut tulokset ovat useassa eri kertausharjoituksessa mitattuja. Maksimivoimaa mittaavat laitteet kalibroitiin ennen varsinaisia testejä ja testattavat saivat harjoitella suoritusta muutaman kerran ennen varsinaista mittaustapahtumaa. Lisäksi maksimivoimatesti tehtiin kahdesti ja puristusvoiman osalta laskettiin vasemman ja oikean käden keskiarvo. Jokaisella

mittauspaikalla oli tehtävään koulutetut mittaajat, jotka valvoivat suoritustekniikkaa ja laitteiden toimivuutta. Mittalaitteista, mittaajista tai itse testitapahtumasta johtuvan systemaattisen virheen mahdollisuus on täten erittäin pieni. Jonkin yksittäisen kertausharjoituksen osalta mahdollinen systemaattinen virhe todennäköisesti näkyisi tulosten hajontakuvioiden, koska jokaisessa kertausharjoituksessa testattavien määrä oli suuri. Tällaista selvästi muista mittaustuloksista erillään olevaa hajontakuvioiden rypästä ei ollut yhdessäkään hajontakuvioiden.

Isometriset maksimivoima- ja lihaskuntotestit ovat helposti toistettavia eivätkä vaadi testattavalta erityistä taitoa. Samoin polkupyöräergometritesti on helposti toistettava eikä suoritustekniikka aseta testattavia eritasoiseen asemaan. Näistä seikoista ja testattavien suuresta määrästä johtuen satunnaisvirheiden vaikutus tutkimukseen on hyvin pieni. Tutkimuksen mittaukset ovat toistettavissa myös muissa tutkimuksissa. Haasteita tälle asettaa otannan suuri koko sekä testaustapahtumien yleisten järjestelyjen mittavuus.

Isometrinen maksimivoimatesti on suuresti riippuvainen lihaksen poikkipinta-alasta. Lisäksi voimantuotto on spesifiä tietylle lihasryhmälle ja nivelkulmalle, joten saatuja tuloksia on vaikea yleistää koko kehon voimantuotto-ominaisuuksiin. On myös huomattu, että isometrisillä voimamittauksilla ei aina ole yhteyttä suorituskäyttöön. Isometrisen voimamittauksen rajoituksena voi lisäksi olla sen heikko yhteys dynaamisen voimantuoton tasoon (Ahtiainen & Häkkinen 2004, 138-139.)

Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa on muistettava, että testihenkilöinä toimivat reserviläiset. Ammattisotilaille ja reserviläisille on olemassa omat kuntotestien viitearvonsa. Toisaalta tutkimuksessa etsittiin erityisesti eri kuntotekijöiden välisiä yhteyksiä testattavien lukumäärän ollessa suuri. Tällöin eri viitearvoilla ei ole merkitystä, koska tarkastelun kohteena ovat yhteydet eikä niinkään absoluuttiset arvot. Näin ollen voidaan olettaa, että tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä kaikkia sotilaita koskeviksi.

Tutkimuksessa käytetty lähdekirjallisuus koostui sekä kotimaisista että ulkomaisista lähteistä. Voimaa ja voiman osuutta sotilaallisissa tehtävissä käsittelevissä osissa lähteinä olivat alkuperäislähteet. Tutkimusartikkeleiden laatijoilla on laaja tuotanto ja he ovat kansainvälisesti tunnettuja omalla alallaan. Lisäksi teoriaosuudessa käsiteltäviä asioita on tutkittu pitkällä aikavälillä.

10.7 Johtopäätös

Tutkimuksen johtopäätöksenä on, että lihaskestävyyden ja maksimaalisen hapenottokyvyn testaamisella saadaan suhteellisen kattava kuva fyysisestä suorituskyvystä. Etenkin käsien lihaskestävyyden taso kertoo myös käsien maksimaalisesta voimasta. Jalkojen lihaskestävyyden perusteella ei voida tehdä yleistyksiä jalkojen maksimivoimasta, mutta toistokyykistyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn yhteys on huomattava. Isometrisen maksimivoiman ja lihaskestävyyden tuloksia tarkastellessa ei yksittäisen maksimivoimatestin perusteella voida tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä reserviläisen tai sotilaan fyysisestä suorituskyvystä. Toisaalta fyysisen suorituskyvyn indeksin tai lihaskuntoindeksin perusteellakaan ei voida päätellä sotilaan yleistä maksimivoimatasa. Toisin sanoen yhteydet isometrisen maksimivoiman ja lihaskunnan sekä kestäväyden välillä ovat lihasryhmien osalta tapauskohtaisia. Näin ollen sotilaan fyysisestä suorituskyvystä saataisiin luotettavampaa tietoa, jos testeissä olisi mukana jalkojen ja käsien maksimivoimaa mittaavat testit. Pelkkä puristusvoimatesti ei tämän tutkimuksen mukaan tuo lisäarvoa arvioitaessa sotilaan mahdollisuuksia selviytyä sotilaallisista tehtävistä. Sotilaallisista tehtävistä suoriutumisen ja maksimivoiman yhteyttä tutkittaessa maksimivoiman mittareina on käytetty etenkin penkkipunnerrusta ja jalkojen ojentajien maksimivoiman mittausta. Näiden ominaisuuksien mittaamisella ja tuloksia taustakirjallisuuteen vertaamalla olisi mahdollista syventää tietämystä suomalaisen sotilaan kenttäkelpoisuudesta.

10.8 Tutkimuksen merkitys ja käytännön sovellukset

Tutkimus tuo esille isometristen maksimivoimatestien käytettävyyden yhtenä sotilaan fyysisen toimintakyvyn mittarina. Nykyiset reserviläisille tarkoitetut testit eivät kaikilta osin ole riittävän kattavat, jotta sotilaan fyysistä toimintakykyä voisi arvioida luotettavasti pelkkien fyysisten testien perusteella. Etenkin tietyissä aselajeissa ja tehtävissä, joissa sotilas joutuu liikkumaan raskaassa varustuksessa kovilla tehoilla, maksimivoimatestit olisi perusteltua suorittaa. Pitkäaikaisella seurannalla ja testaamisella olisi mahdollista asettaa maksimivoimaratat maksimaalisen hapenottokyvyn tapaan. Saavuttamalla raja-arvot niin maksimivoiman kuin muidenkin testattavien ominaisuuksien osalta sotilaalla olisi fyysisten ominaisuuksien puitteissa mahdollisuus toimia tehokkaasti ja menestyksellisesti omassa tehtävässään. Pelkkä puristusvoimatesti ei kerro sotilaan maksimivoimatasoista riittävästi.

Tutkimusta olisi mahdollista laajentaa ja tarkentaa esimerkiksi tarkastelemalla muuttujia eri tilastomenetelmin. Lisäksi tutkimusta olisi mahdollisuus jatkaa tutkimalla tietyn taistelutekniikan tai sotilaallisen työn vaatimia fyysisiä ominaisuuksia, jotta kyseiset toiminnat tulisi suoritettua asetettujen rajojen puitteissa. Mahdollisuutena olisi esimerkiksi verrata eri koulutusjaksojen aikana toteutettujen fyysisten harjoitusohjelmien vaikutusta siihen, miten tietyn aselajin sotilas menestyy taisteluharjoituksissa. Näin voisi olla mahdollista löytää ideaali fyysisen kunnon ja sotilaskoulutuksen harjoitusohjelma tietyille aselajille. Lisäksi olisi mahdollista tutkia dynaamisten maksimivoimatestien käytettävyyttä sotilaan fyysisen kunnon testeissä.

LÄHTEET

- Ahtiainen, J & Häkkinen, K. 2004. Hermo- lihasjärjestelmän toiminnan mittaaminen. Teoksessa K. L. Keskinen., K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) Kuntotestauksen käsikirja. Tammer-Paino oy Tampere. 139.
- Ahtiainen, J., Mero, A. & Häkkinen, K. 2004. Voiman mittaaminen. Teoksessa A. Mero (toim.) Urheiluvallmennus. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
- Bassett D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 1, 70-84.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T .P., Burnham, R. & Quinney, H .A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied physiology* 81, 418-427.
- Bishop, D. & Jenkins, D.G. 1996. The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue at critical power. *Australian Journal of Science and medicine in Sport* 28(4), 101-105.
- Borghols, E. A. M., Dresen, M. H. W. & Hollander, A. P. 1978. Influence of Heavy Weight Carrying on the Cardiorespiratory System during Exercise. *European journal of Applied Physiology* 38, 161-169.
- Butler R. Crowell, H. Davis, I.M. 2003. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics* 18, 511-517.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. 1992. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73, 911-917.
- Dietz, V., Shmidtbleicher, D. & Noth, J. 1979. Neuronal mechanisms of human locomotion. *J. Neurophysiology* 42, 1212-1222.
- Dudley, G. A. & Djamil, R. 1985. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* 59(5), 1446-1451.

- Dyrstad, S. M. & Soltvedt, R. 2006. Physical fitness and physical training during Norwegian military service. *Military medicine* 171(8), 736-741.
- Ferketich, A .K., Kirby, T .E. & Alway, S .E. 1998. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Scandinavian Physiological Society* 16, 259-267.
- Folland, J. P. 2007. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 37(2), 145-168.
- Fyysisen toimintakyvyn perusteet. Hallinnollinen määräys PVHSMK PEHENKOS 2008.
- Haisman, M. F. 1988. Determinants of Load Carrying ability. *Applied Ergonomics* 19(2), 111-121.
- Harman E. A., Gutekunst, D. J., Frykman, P. N., Sharp, M. A., Nindl, B. C., Alemany, J. A. & Mello, R. P. 2008. Prediction of simulated battlefield physical performance from field-expedient tests. *Military Medicine* 173(1), 36-41.
- Heikkilä, T. 2005. Tilastollinen tutkimus. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Hennessy, L. C. & Watson, W. S. 1994. The Interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of strength and Conditioning Research* 8(1), 12-19.
- Hickson, R.C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal on Applied Physiology*. 45, 255-263.
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiga, E. M., Kurowski, T .T. & Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology* 65(5), 2285-2290.
- Hirvonen, J. & Aura, O. 1989. Voima ja sen harjoittaminen. Teoksessa J. Kantola (toim.) *Suomalainen Valmennusoppi*. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino, 220-223.
- Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12(5), 288-295.

- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. 1984. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56, 4831-4838.
- Holopainen, M & Pulkkinen P. 2002. Tilastolliset menetelmät. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo.
- <http://www.likes.fi/pages/content/Show.aspx?id=90>. 11.11.2008.
- <http://www.mil.fi/liikunta>. 15.12.2008.
- http://www.verkkouutiset.fi/arkisto/Arkisto_2000/24.marraskuu/saku4700.htm. 20.10.2008.
- Häkkinen, K. 2003. Specificity of neuromuscular adaptations during heavy resistance and power training. Abstract. Proceedings of 8th Annual Congress of the European College of Sport Science, Sazbur, July 9-13, 2003. Teoksessa K. L. Leksinen., K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen Käsikirja*. Tampere: Tamer-Paino Oy. 126.
- Häkkinen, K. 2004. Hermo-lihasjärjestelmän voimantuoton biomekaaniset tekijät. Teoksessa K. L. Leksinen., K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen Käsikirja*. Tampere: Tamer-Paino Oy. 125-126.
- Häkkinen, K. & Komi, P. V. 1983. Changes in neuromuscular performance in voluntary and reflex contraction during strength training in man. *International Journal of Sports Medicine* 4, 282-288.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*. 89, 42-52.
- Häkkinen, K., Mäkelä, J. & Mero, A. 2004. Voima. Teoksessa A. Mero (toim.) *Urheiluvallmennus*. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
- Kokko, J. 2008. Vertaileva tutkimus taisteluvälineiden fyysisestä kuormittavuudesta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro Gradu -tutkielma.

Kraemer, W. J., Patton, J. F, Gordon, S. E., Harman, F. A., Deschenes, M. R., Reynolds, R., Newton, R. U., Triplett, N. T & Dziados J. E. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology* 78(3), 976-1080.

Kraemer, W. J., Mazzetti, S. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Bush, J. A., Marx, J. O., Dohi, K., Gomez, A. L., Miles, M., Fleck, S. J., Newton, R. U. & Häkkinen, K. 2001. Effects of resistance training on women's strength and occupational performances. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33(6), 1011-1025.

Kraemer, W. J., Vescovi, J. D., Volek, J. S., Nindl, B. C., Newton, R. U., Patton, J. F., Dziados, J. E., French, D. N. & Häkkinen, K. 2004. Effects of Concurrent Resistance and Aerobic Training on Load-Bearing Performance and the Army Physical Fitness Test. *Military Medicine* 169, 994-999.

Kyröläinen, H. 1998. Liikuntabiologinen näkökulma toimintakykyyn. Teoksessa J. Toiskallio (toim.) *Toimintakyky sotilaspedagogiikassa*. Vaasa: Ykkös-Offset Oy, 25-28.

Legg, S. J. & Duggan, A. 1996. The effects of basic training on aerobic fitness and muscular strength and endurance of British Army recruits. *Ergonomics* 39(12), 1403-1418.

Lieber, R L. 1992. *Skeletal muscle Structure and Function*. Baltimore: Williams & Wilkins.

MacDougall, J. D., Ward, G. R., Sale, D. G. & Sutton, J. R. 1977. Biochemical adaptations of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *Journal of Applied Physiology* 43(4), 700-703.

McArdle W. D. 2001. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance* / William D. Mc Ardle, Frank I. Katch Victor L. 5th edition. Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle W. D. 2007. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance* / William D. Mc Ardle, Frank I. Katch Victor L. 6th edition. Lippincott Williams & Wilkins.

- Malmberg, J., Fogelholm, M., Kyröläinen, H., Lepistö, P., Lipponen, J., Mäntysaari, M., Palvalin, K., Pietilä, H., Santtila, M. & Suni, J. 2004. Reservin fyysinen suorituskyky 2003. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P. & Hurley, B. F. 1991. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23(6), 739-743.
- McCarthy, J. P., Agre, J. C., Graf, B. K., Pozniak, M. A. & Vailas, A. C. 1995. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 27(3), 429-436.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A. & Agre, J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34(3), 511-519.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. (toim.) 2004. Urheiluvallmennus. Jyväskylä.
- Nicholas, T.R. & Houk, J.C. 1976. Improvement in linearity and regulation of stiffness that results from actions reflex. *Journal of Neurophysiology* 39, 119-142.
- Niemi, M., Virtanen, I. & Vuorio, E. 1995. Solu- ja molekyylibiologia. Porvoo: WSOY.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist S-E. 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 15. uudistettu painos. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- Nindl, B. C., Leone, C. D., Tharion, W., Johnson, R. F., Castellani, J., Patton, J. F. & Montain, S. J. 2002. Physical performance responses during 72 h of military operational stress. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 34, 1814-1822.
- Ohrankämnen, O. 2005. Puristusvoimamittauksen merkitys sotilaiden kenttäkelpoisuuden määrittämisessä – teoreettinen tarkastelu. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja. 2008. Pääesikunta, Henkilöstöasato.

- Rayson, M., Holliman, D. & Belyavin, A. 2000. Development of physical selection procedures for the British Army. Phase 2: relationship between physical performance tests and criterion tasks. *Ergonomics* 43(1), 73-105.
- Rusko, H. Kestävyys ja sen harjoittaminen. Teoksessa H. Kantola (toim.) *Suomalainen Valmennusoppi 2*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino oy.
- Sale, D. G. 1988. Neural adaptation to resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 20(5), 135-145.
- Sale, D. G., MacDougall, J. D., Jacobs, I. & Garner, S. 1990b. Interaction between concurrent Strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 68(1), 260-270.
- Saltin, B. & Gollnick, P. D. 1983. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. Teoksessa L. Peachey., R. Adrian & S. Geiger. (toim.) *Handbook of physiology*. American Physiological Society 555-631.
- Santtila, M., Kyröläinen, H. & Häkkinen, K. 2008. Changes in maximal and explosive strength, EMG and muscle thickness of lower and upper extremities induced by 8-week combined strength and endurance training in soldiers. *Journal of strength & conditioning research*. (in print).
- Schantz, P. 1982. Capillary supply in hypertrophied human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica* 114, 635-637.
- Simpson, R. J. & Gray, S. C. 2006. Physiological variables and performance markers of serving soldiers from two "elite" units of the British Army. *Journal of Sports Sciences* 24(6), 597-604.
- Straron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel J. E., Hagerman, F. C. & Hikida, R. S. 1994. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 76, 1247-1255.
- Taistelija 2005-Fyysisen suorituskyvyn tutkimustoiminta 2003. Maanpuolustuskorkeakoulu.

Tanaka, H. & Swensen, T. 1998. Impact of Resistance Training on Endurance Performance. A New Form of Cross-Training? *Sports Medicine* 25(3), 191-200.

Tesch, P. A. & Karlsson, J. 1985. Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *Journal of Applied Physiology* 59(6), 1716-20.

Tech, P. A. 1988. Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 20(5), 132-134.

Toiskallio, J. 1998. *Sotilaspedagogiikan Perusteet*. Puolustusvoimien kehittämiskeskus. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Westcott, W. L., Annesi, J. J., Skaggs, J. M., Gibson, J. R., Reynolds, R. D. & O'Dell, J. P. 2007. Comparison of two exercise protocols on fitness score improvement in poorly conditioned Air Force personnel. *Source Perceptual & Motor Skills* 104(2), 629-36.

Williams A.G., Rayson, M. P. & Jones D. A. 2002. Resistance training and the enhancement of the gains in material-handling ability and physical fitness of British Army recruits during basic training. *Ergonomics* 45, 267-279.

Wilmore, J. & Costill, D. 2004. *Physiology of sport and exercise*. 3dr ed. Printed in Hong Kong.

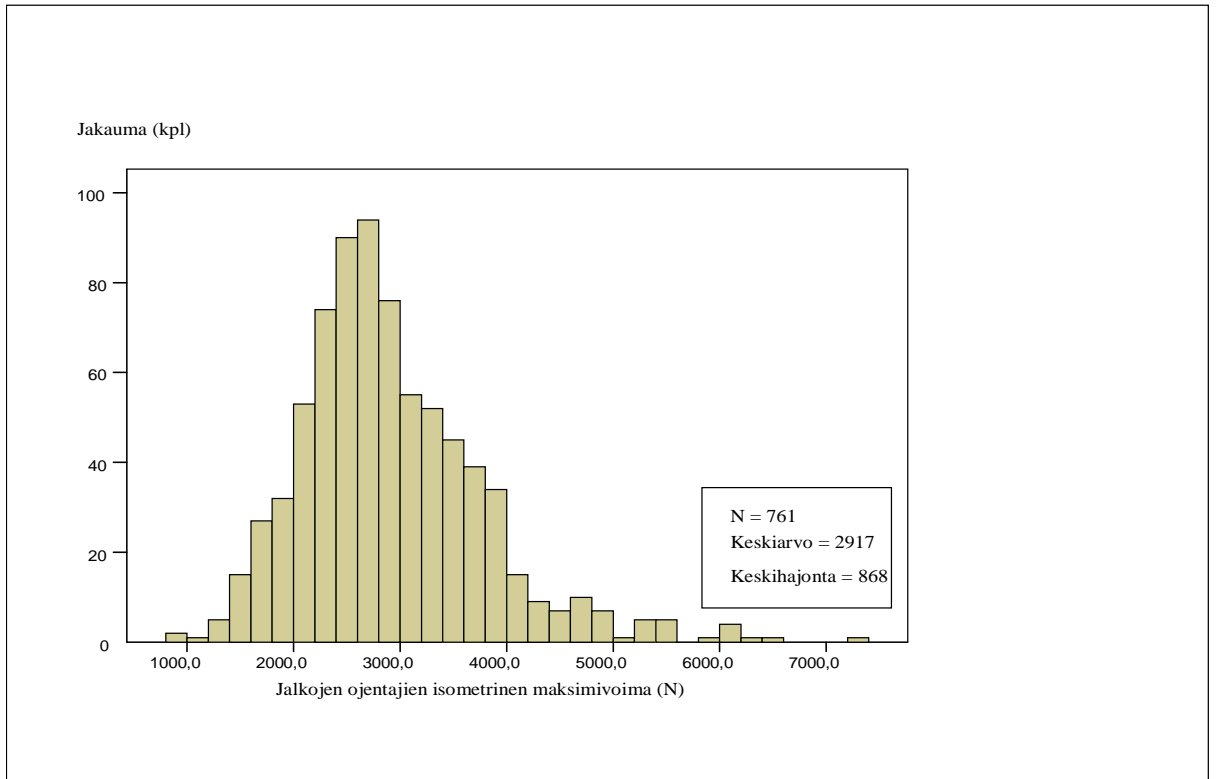
Puolustusvoimien kuntotestaajan käsikirja. Pääesikunta, henkilöstöosasto, 2008.

Pääesikunnan Koulutusosaston Pysyväisasiakirja; PEKOULOS:n PAK 4:3:1/1.5.1999.

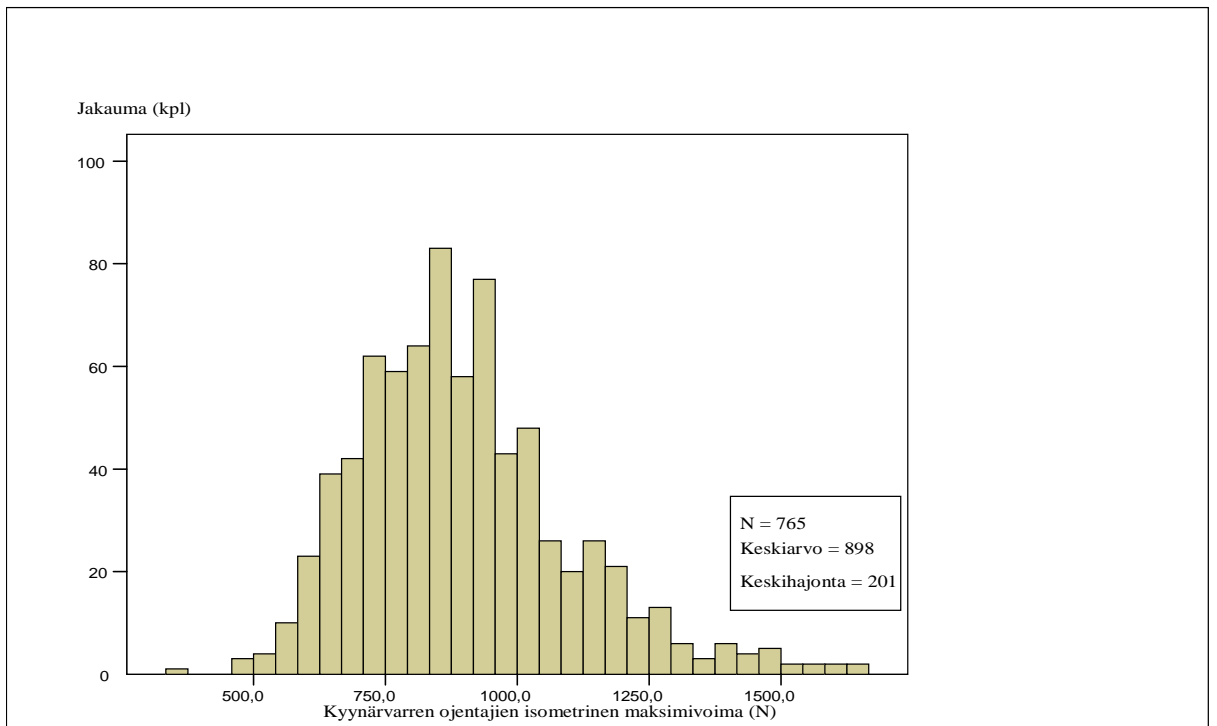
LIITTEET

Fyysisten suorituskykytestien jakaumataulukot

Fyysisten suorituskykytestien jakaumataulukot

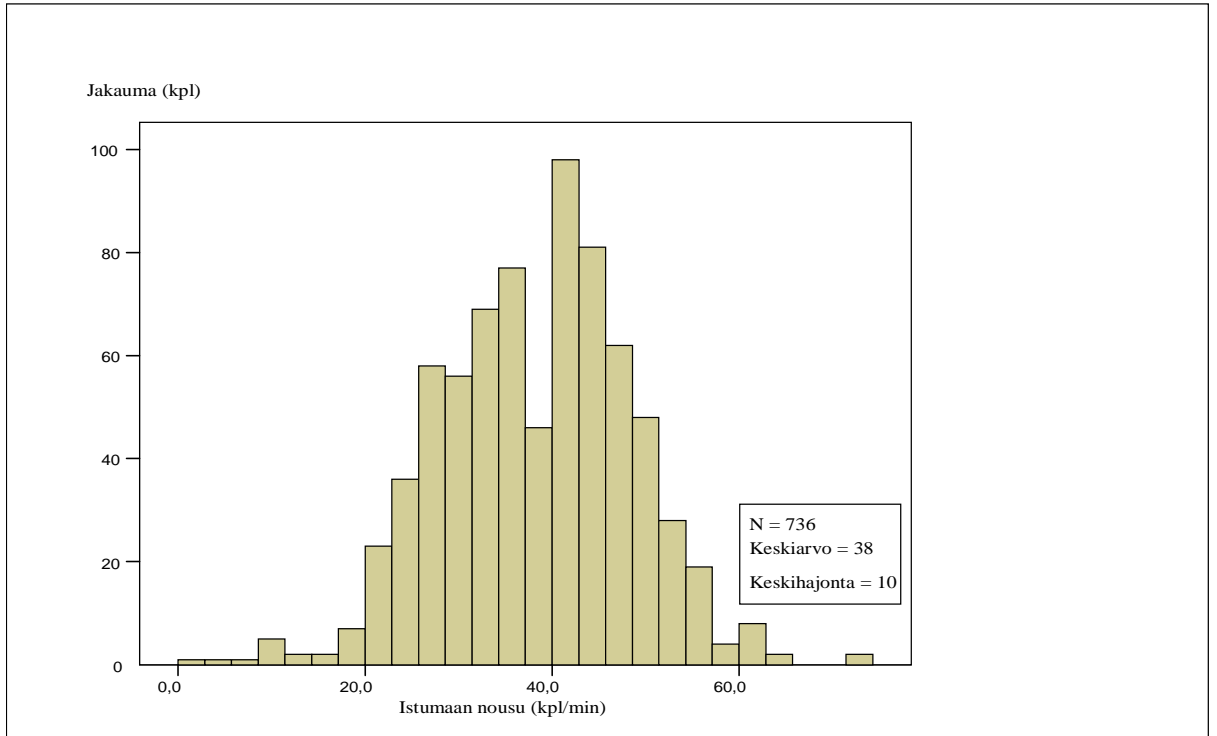


Kuva 1. Jakauma jalkojen isometrisistä maksimivoimatuloista.

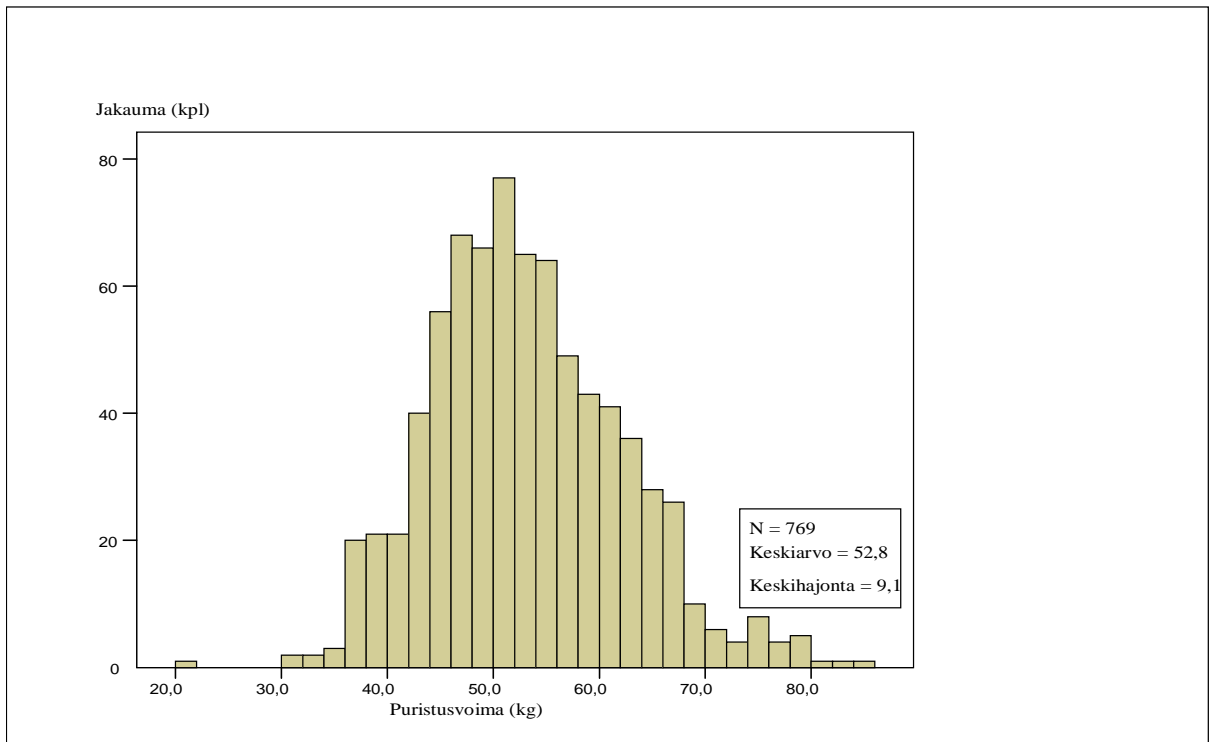


Kuva 2. Jakauma kyynärvarren ojentajine isometrisistä maksimivoimatuloista.

LIITE 1 2(5)

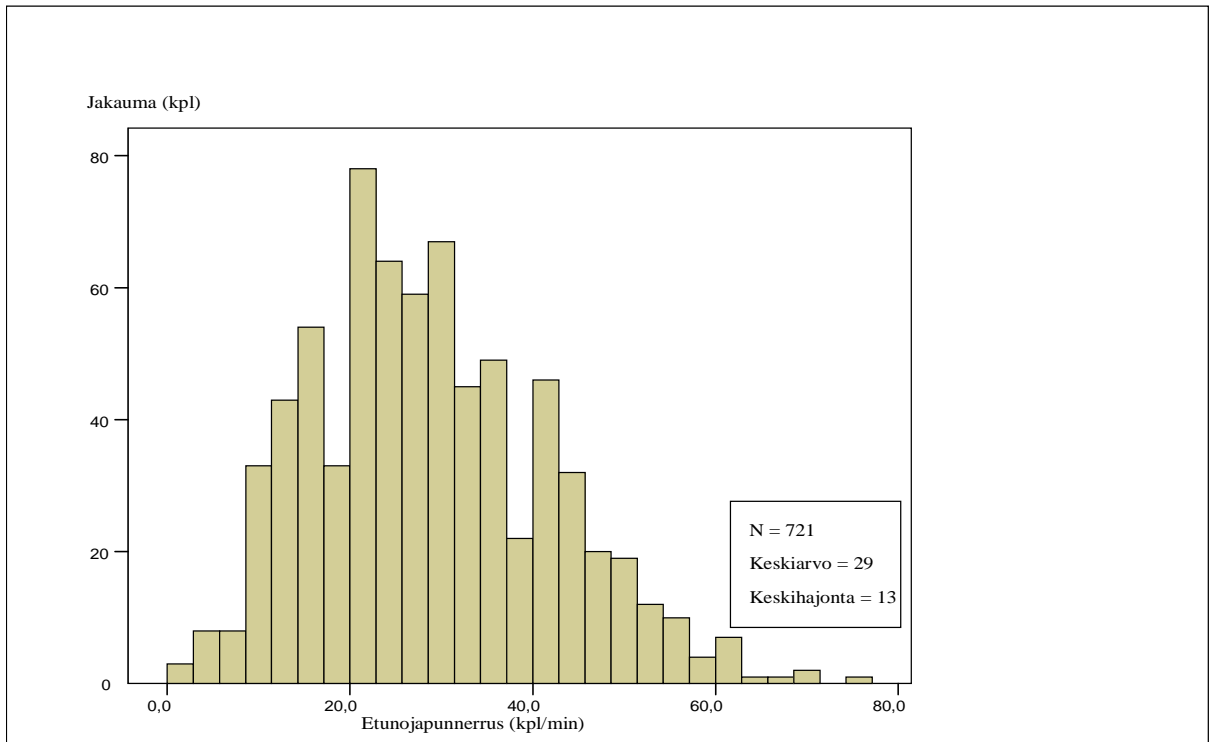


Kuva 3. Jakauma minuutin istumaan nousutestin tuloksista.

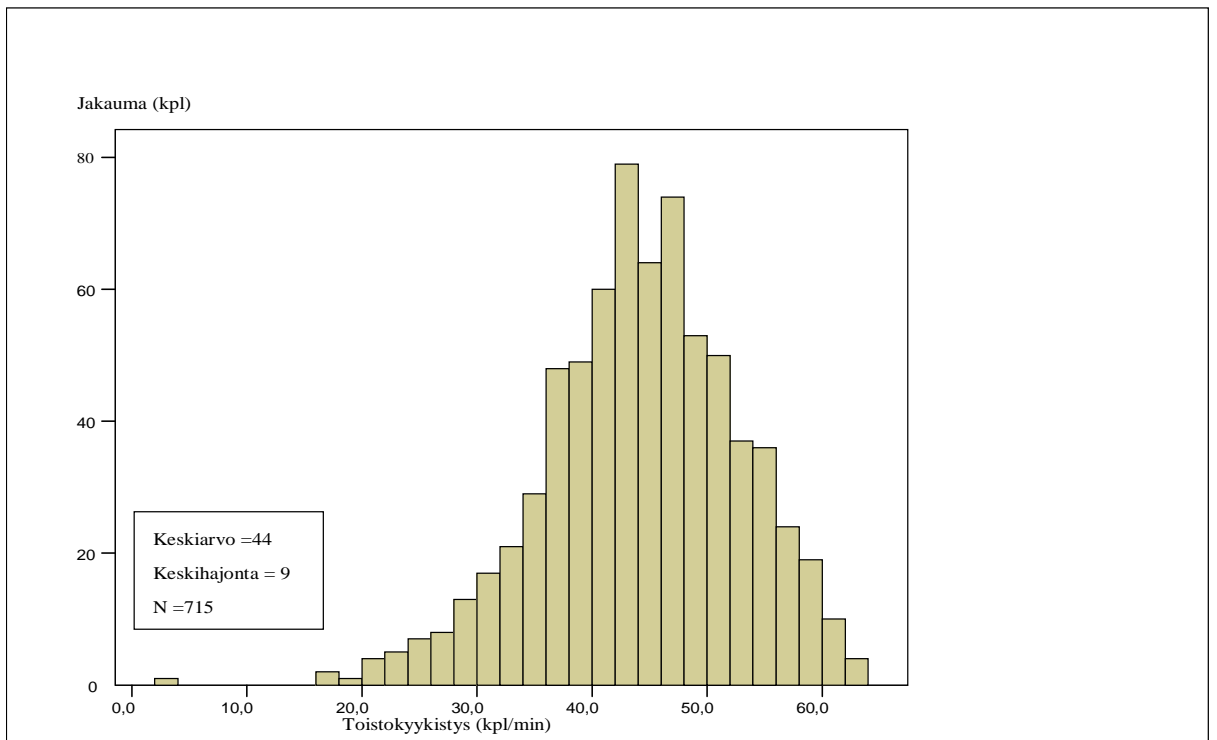


Kuva 4. Jakauma puristusvoimatestin tuloksista.

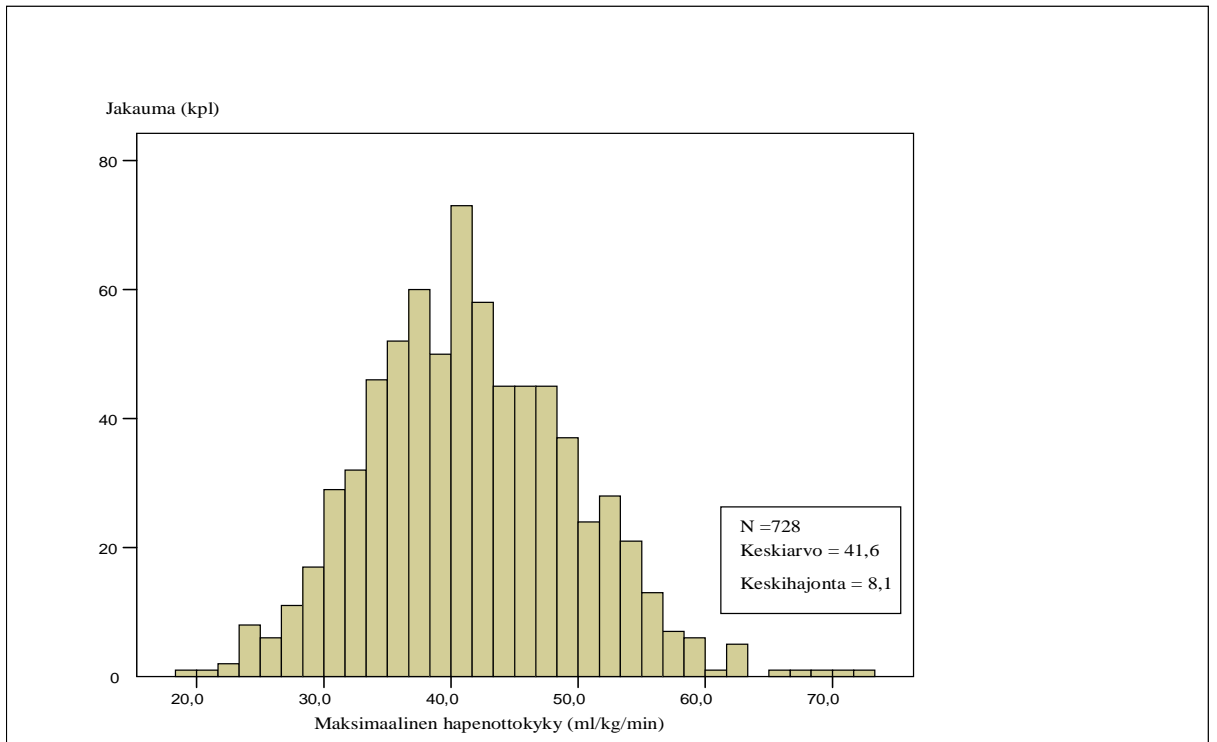
LIITE 1 3(5)



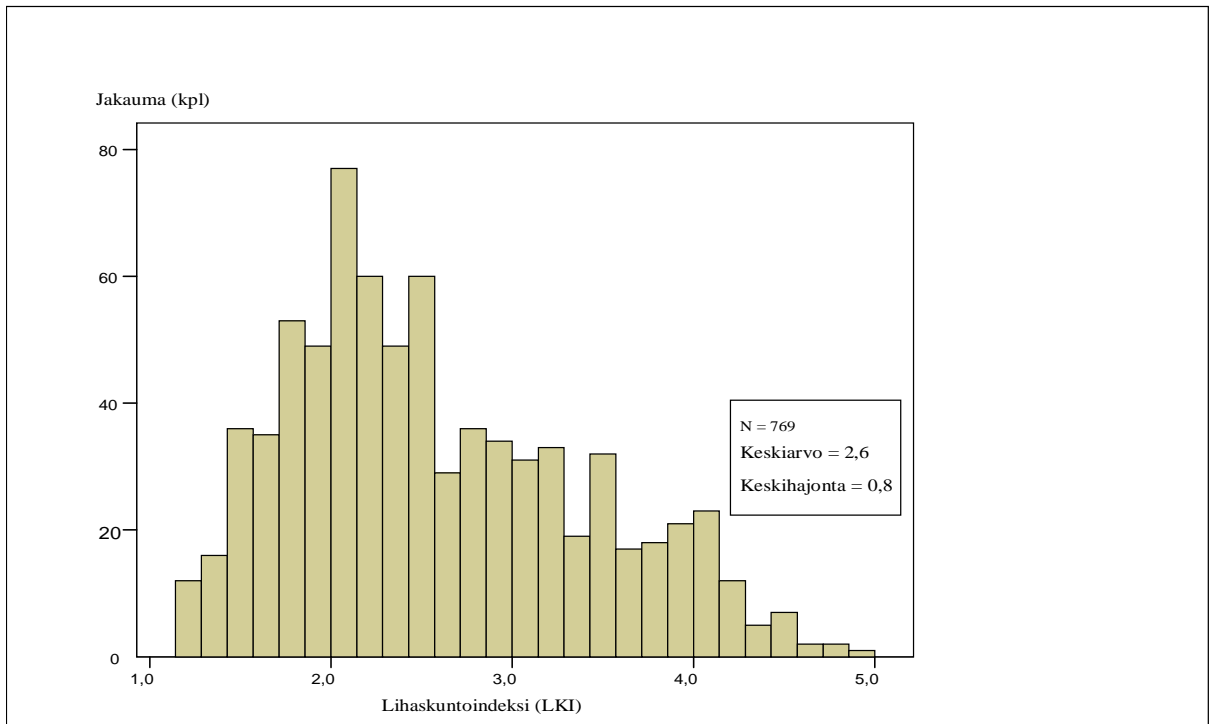
Kuva 5. Jakauma minuutin etunojapunnerrustestin tuloksista.



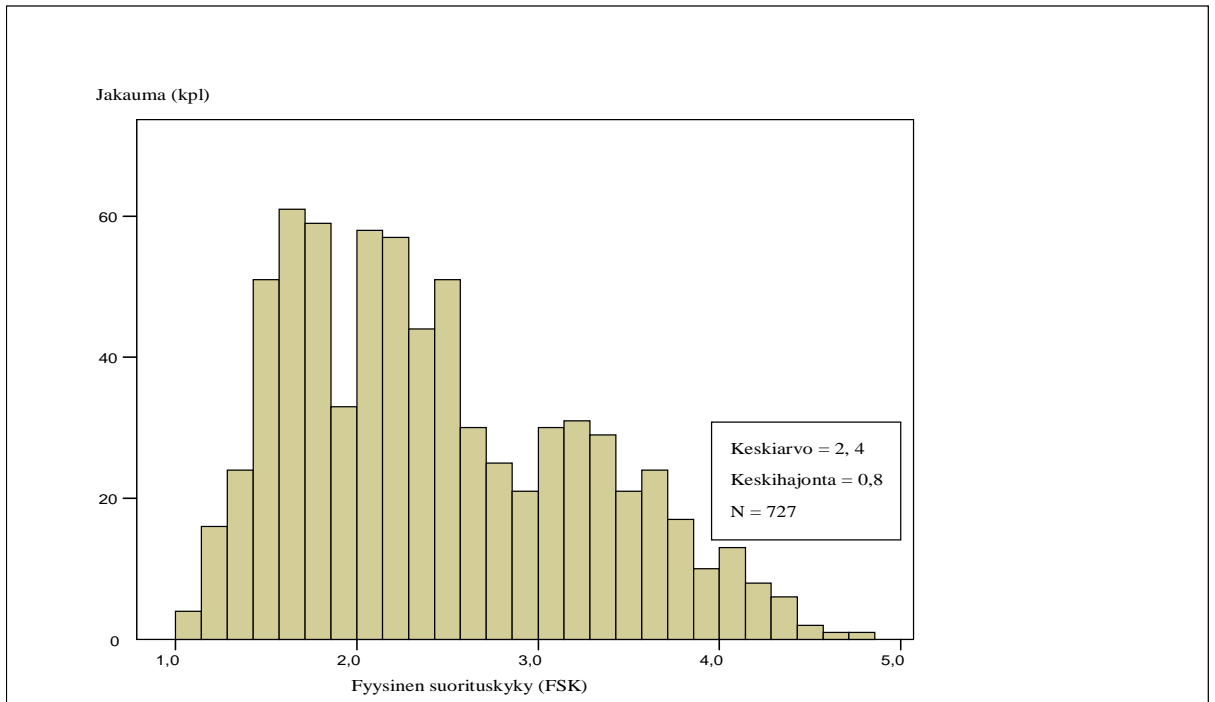
Kuva 6. Jakauma minuutin toistokyykistystestin tuloksista.



Kuva 7. Jakauma maksimaalisen hapenottoikyyn testin tuloksista.



Kuva 8. Lihaskuntoindeksin jakauma.



Kuva 9. Fyysisen suorituskykyindeksin jakauma.