

**LAJINOMAISEN KUORMITUKSEN VAIKUTUKSET LYÖNNIN VOIMAAN JA
SUORITUSTEKNIikkaAN NYRKKEILYSSÄ**

Aki Sipilä

Jyväskylän yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Pro gradu-tutkielma, VTE

Työnohjaajat

Keijo Häkkinen ja

Heikki Kyröläinen

Syksy 2005

TIIVISTELMÄ

Aki Sipilä. 2006. Lajinomaisen kuormituksen vaikutukset lyönnin voimaan ja suoritustekniikkaan nyrkkeilyssä. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Olympiatyylin nyrkkeilyn arvostelutapa asettaa entistä enemmän vaatimuksia nopeusvoima- ja nopeuskestävyysominaisuuksille, koska nämä ominaisuudet korostuvat entisestään ottelun ratkaisuerissä ja pitkissä turnauksissa.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin väsymyksen ilmenemistä lajinomaisessa kuormituksessa ja sen vaikutusta oikean suoran törmäysvoimaan, voimantuottoon, niiden saavuttamisaikoihin sekä lajitekniiseen suoritukseen. Tutkimukseen osallistui seitsemän maajoukkue-tason nyrkkeilijää. Lajinomaisen kuormitus tapahtui neljässä 2 minuutin jaksossa, joita seurasi yhden minuutin pituinen tauko. Taukojen aikana mitattiin oikean suoran törmäysvoima seinätyynyyn, jonka taakse oli kiinnitetty voimalevyanturit. Molempien jalkojen alla oli myös voimalevyanturit, joista kontrolloitiin jalkojen voimien muutoksia eri lyöntisuoritusten välillä. Koehenkilöiden lyöntisuoritukset voimamittausten aikana kuvattiin, joista analysoitiin lyöntitekniikassa tapahtuneita muutoksia. Kuormituksen aiheuttamia fysiologisia muutoksia kontrolloitiin syke- ja laktaattimittausten avulla.

Kuormituserien aikana ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja lyötyjen iskujen (keskimäärin 391 iskua/erä) tai sarjojen (13–14 sarjaa/erä) määrissä. Veren laktaattipitoisuudet ja sydämen lyöntitiheys nousivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) kaikkien kuormituserien välillä. Viimeisen kuormituserän jälkeen veren laktaattipitoisuus oli keskimäärin 13.5 mmol/l ja sydämen syke 197 krt/min. Oikean suoran törmäysvoima oli ennen kuormitusta (5 818 N) tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) voimakkaampaa kuin 1., 2. ja 3. kuormituserän jälkeen lyödyssä iskussa ja alhaisimmillaan se oli 2. kuormituserän jälkeen (5 101 N). Maksimaalisen törmäysvoiman saavuttamisaikojen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Maksimaalisen voimantuottonopeuden osalta havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0.01$) kaikkien kuormituserien ja ennen kuormitusta tehtyjen suoritusten välillä, joka oli alhaisimmillaan 1. kuormituserän jälkeen (514 041 N/s) ja suurinta ennen kuormitusta (635 975 N/s). Maksimaalisen voimantuottoajan kohdalla havaittiin tilastollisesti lähes merkitseviä tai merkitseviä ($p < 0.1-0.05$) eroja ennen kuormitusta ja kahden ensimmäisen kuormituserän välillä. Lyöntitekniikassa havaittiin selkeästi kehon painopisteen voimakkaampi siirtyminen eteenpäin väsymyksen lisääntyessä.

Tutkimuksen päätuloksena oli, että väsymyksen lisääntyessä oikean suoran törmäysvoima väheni. Lajitekniisen suorituksen heikkenemisen aiheutti jalkojen voimantuottokyvyn heikkeneminen väsymyksen lisääntyessä, jolloin nyrkkeilijät siirsivät kehonsa painopistettä voimakkaammin eteenpäin.

Avainsanat: nyrkkeily, törmäysvoima, syke, laktaatti

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	5
2	HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	6
2.1	Keskus- ja ääreishermosto	6
2.2	Motorinen yksikkö.....	6
2.3	Lihassolun rakenne ja toiminta	8
2.4	Energia-aineenvaihdunta.....	10
3	LIHASVÄSYMYS	12
3.1	Sentraalinen lihasväsymys	15
3.2	Perifeerinen lihasväsymys	16
3.3	Metabolisten muuttujien yhteys lihasväsymykseen	17
4	NYRKKEILYN KUORMITTAVUUS	20
4.1	Nyrkkeilyn yleispiirteet	20
4.2	Nyrkkeilyottelun kuormittavuus	21
4.3	Lajiharjoitteiden kuormittavuus.....	23
5	LYÖNTILIIKKEEN TOIMINTAMALLI.....	25
5.1	Lihasten aktivaatiomalli lyönnin aikana	27
5.2	Lyönnin voima.....	27
5.3	Lyönnin nopeus.....	28
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT	30

7	TUTKIMUSMENETELMÄT	31
7.1	Koehenkilöt.....	31
7.2	Tutkimusasetelma	31
7.3	Laktaatti ja sydämen lyöntitiheys	32
7.4	Lajinomainen kuormitus	32
7.5	Voimamittaukset.....	33
7.6	Lyöntitekniikka.....	33
7.7	Aineiston tilastollinen käsittely.....	33
8	TULOKSET	34
8.1	Lajinomainen kuormitus	34
8.2	Laktaatti ja sydämen lyöntitiheys	34
8.3	Lyöntivoimat.....	36
8.4	Lyöntitekniikka.....	38
9	POHDINTA	41
9.1	Valmennukselliset näkökohdat	44
9.2	Kritiikkiä tutkimuksen suorittamisesta	45
9.3	Jatkotutkimuksen aiheita.....	45
10	LÄHDELUETTELO	47

1 JOHDANTO

Nyrkkeily on ennen kaikkea taitoa vaativa kamppailulaji, missä asetetaan suuria vaatimuksia nopeuskestävyysominaisuuksille, räjähtävälle voimalle ja reaktiokyvyille. Hyvää aerobista kestävyyttä tarvitaan pohjana koville ja pitkille harjoituksille. Kilpailuotteluissa anaerobiset tekijät vaikuttavat nyrkkeilijän suorituskykyyn, sillä otteluiden pituus ja kova tempo asettavat vaatimuksia anaerobiselle energiantuotolle.

Olympiatyylin nyrkkeilyssä arvostelu tapahtuu nykyisin pistekonearvosteluna. Tässä systeemissä nyrkkeilijälle rekisteröityy osumapiste silloin kun vähintään kolme viidestä arvostelutuomarista ehdottaa 1,2 sekunnin marginaalille ottelijalle osumaa. Uusi arvostelutapa asettaa entistä enemmän vaatimuksia nopeusvoima- ja nopeuskestävyysominaisuuksille, koska nämä ominaisuudet korostuvat entisestään ottelun ratkaisuerissä ja pitkissä turnauksissa.

Väsymyksen ilmenemistä ottelu- ja harjoitustilanteissa on tutkittu nyrkkeilyn parissa jonkin verran, mutta tehdyt tutkimukset ovat keskittyneet lähinnä fysiologisiin muuttujiin (veren laktaatti ja sydämen syke). Tutkimuksissa on havaittu väsymyksen johtuvan lihaksen sisäisen happamuuden kasvusta. Sen sijaan väsymyksen vaikutusta itse lyöntisuoritukseen (nopeuteen, voimaan ja tekniseen suoritukseen) ei ole tutkittu lainkaan. Väsymyksen aiheuttamat muutokset lyöntin voimaan ja voimantuottoaikaan saattavat antaa lisätietoa nyrkkeilijöiden suorituskyvystä sekä sen säilymisestä lajinomaisen kuormituksen aikana.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää väsymyksen ilmenemistä lajinomaisessa kuormituksessa sekä sen vaikutusta oikean suoran maksimaaliseen törmäysvoimaan, voimantuottonopeuteen sekä suoritustekniikkaan.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

2.1 *Keskus- ja ääreishermosto*

Rakenteellisesti hermosto voidaan jakaa keskushermostoon ja ääreishermostoon. Toiminnallisesti jako voidaan tehdä puolestaan somaattiseen ja autonomiseen hermostoon. Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin. Keskushermoston päätehtävät ovat tulevien ja lähtevien neuraalisten signaalien summaaminen ja koordinoiminen sekä korkeiden aivotoimintojen suorittaminen. (Moore & Dalley 1999, 38.)

Tahdonalaisten liikkeiden ohjaaminen ja hienomotorinen säätely on kortikospinaalijärjestelmän (pyramidirata) tehtävä. Ekstrapyramidijärjestelmän (ekstrapyramidirata) tehtävänä on isojen lihasryhmien karkeamotorinen säätely, lihastonuksen ylläpitäminen, lihasten välisen toiminnan tarkka kontrolli sekä vastakaisten liikkeiden ja tasapainon säätely. (Enoka 2002, 229–239; Moore & Dalley 1999, 38-52.)

Ääreishermoston sensoriset (aistin-)hermot tuovat tietoa keskushermostolle mm. lihaksen pituudesta ja sen muutoksesta (lihassukkula) sekä lihaksen hetkellisistä voimatasoista (Golgin jänne-elin). Tällä reflektorisella järjestelmällä voidaan helpottaa tai vaikeuttaa supistumiskäskyä lihakseen. Lihassukkulan aktivoituminen lihasta venyttäessä mahdollistaa lihaksen tehokkaamman aktivoitumisen. Golgin jänne-elin taas toimii suojaimekanismina estäen liian suurten jännitysten syntymistä lihaksistoon. (Guyton 1986, 607–608.)

2.2 *Motorinen yksikkö*

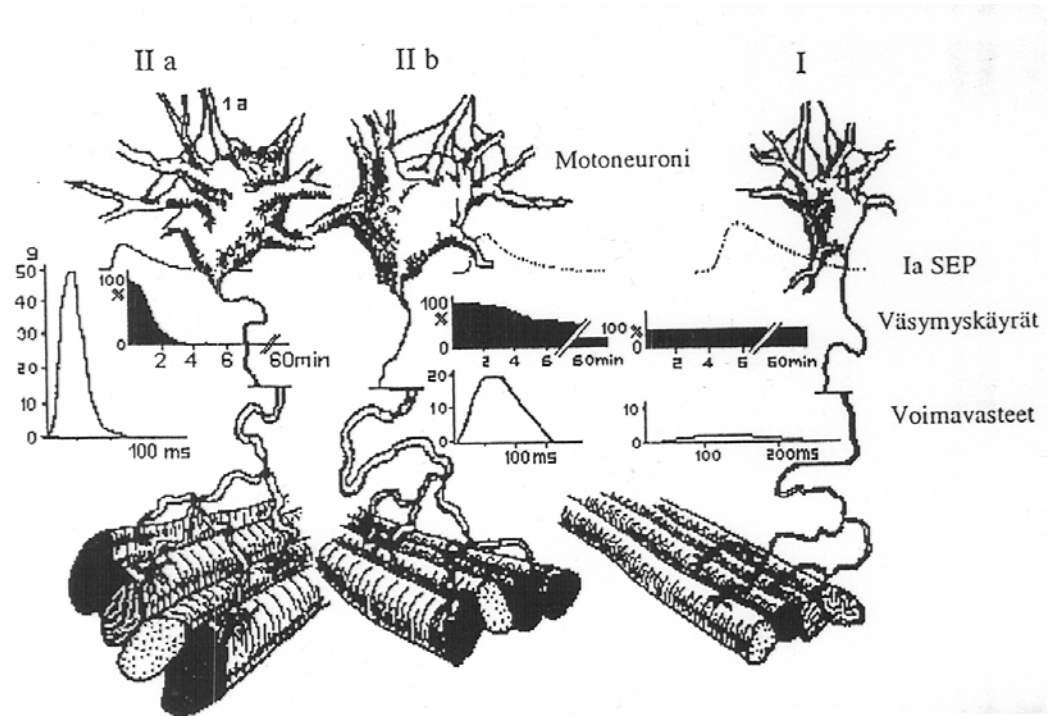
Motorinen hermo kuljettaa stimulusta, joka lopulta aiheuttaa lihaksen supistumisen. Liikehermosolu eli motorinen hermo muodostaa lihassolujen kanssa lihaksen toiminnallisen eli voimaa tuottavan yksikön. Motoriseksi yksiköksi kutsutaan motorista hermoa ja kaikkia sen käskyttämiä lihassoluja (Åstrand & Rodahl 1986). Motoristen yksiköiden koko eli hermotettavien lihassolujen määrä vaihtelee riippuen lihaksen toimintatarkoituksesta. Motorisen hermon stimulaatio saa

aikaan kaikkien sen hermottamien lihassolujen yhtäaikaisen supistumisen (Tortora & Grabowski 1996, 241).

Sähköinen viesti eli aktiopotentiaali leviää välittäjäaineen avulla hermosolusta lihassoluihin hermolihaskiitoskapselin kautta aiheuttaen lihassupistuksen. Koska aktiopotentiaali leviää hermosolun kaikkiin päätehaaroihin ja sitä kautta lihassoluihin, niin motorinen yksikkö toimii ”kaikki tai ei mitään” – periaatteella eli joko kaikki lihassolut supistuvat tai ei yksikään. Lisäksi aktiopotentiaali leviää lihassoluihin samanaikaisesti, joten lihassolut supistuvat lähes yhtäaikaisesti. (mm. Guyton 1986, 111; Häkkinen 1990, 12.)

Motorinen yksikkö tuottaa voimaa nopeasti toistuvilla supistuksilla eli lihassolu supistuu ja rentoutuu nopeassa tahdissa. Monesti hermotus on kuitenkin niin tiheää, etteivät lihassolut ehdi rentoutua ennen uutta supistumiskäskyä, jolloin tapahtuu voimantuoton kumuloituminen (tetanisaatio). Lihaksen voimantuottoa voidaan lisätä kasvattamalla yksittäisen motorisen yksikön syttymistiheyttä (frekvenssiä) tai lisäämällä (rekrytoimalla) uusia motorisia yksiköitä. (mm. Guyton 1986, 132; Häkkinen 1990, 12-13.)

Motoriset yksiköt voidaan kemiallisten ja mekaanisten ominaisuuksien mukaan jakaa karkeasti nopeisiin (IIa ja IIb) ja hitaisiin (I) yksiköihin. IIa-ryhmä koostuu nopeista glykolyyttis-oksidaatiivisista, IIb-ryhmä nopeista glykolyyttisistä ja I-ryhmä hitaista oksidaatiivisista lihassoluista (McArdle ym 1996; Wilmore & Costill 1999.). Nopeat motoriset yksiköt tuottavat voimaa enemmän ja relaxoituvat nopeammin kuin hitaat yksiköt. Toisaalta nopeat motoriset yksiköt väsyvät nopeammin kuin hitaat. (Edington & Edgerton 1976.)

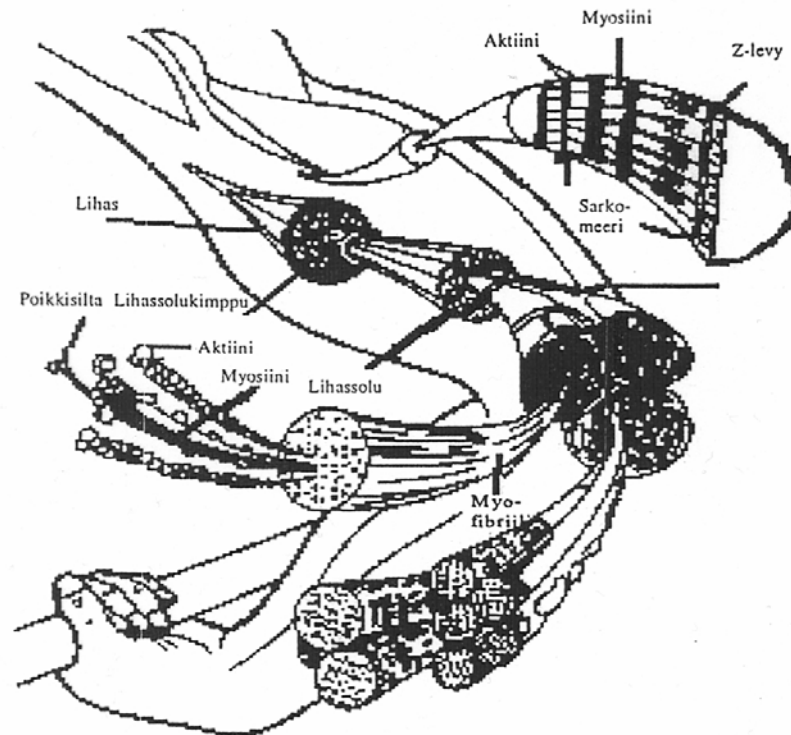


Kuva1. Motoristen yksiköiden jako nopeisiin (kaksi alatyyppiä) ja hitaisiin sekä niiden tuottamat voima-aikakäyrät ja väsymyksen sietokyky (muotoiltu lähteestä Edington & Edgerton 1976).

Ihmisen luurankolihakset muodostuvat sekä nopeista että hitaista motorisista yksiköistä siten, että niiden lukumäärä ja prosentuaalinen osuus eri lihaksissa vaihtelee. Samoin eri henkilöiden välillä on suurta vaihtelua motoristen yksiköiden suhteen. Nopean solusuhteen omaavan henkilön tiedetään olevan nopeampi useiden lihasten osalta verrattuna hitaan solusuhteen omaavaan ihmistyyppiin. (Guyton 1986, 1013–1014.)

2.3 Lihassolun rakenne ja toiminta

Luurankolihas muodostuu lihassolukimpuista, jotka rakentuvat yksittäisistä lihassoluista. Lihassolun voidaan havaita koostuvan useista toistuvista jaksoista, sarkomeereista, jotka ovat lihaksen supistuvan komponentin perusyksikköjä. Vierekkäisiä sarkomeereja erottaa toisistaan Z-levy (Guyton & Hall 2001). Lihassolut ovat täynnä pituussuuntaisia myofibrillejä, jotka puolestaan koostuvat kahdenlaisista myofilamenteista: aktiinifilamenteista (ohut filamentti) ja myosiinifilamenteista (paksu filamentti) (Enoka 2002, 219–222). Kuvassa 2 on esitetty lihaksen rakenne.



Kuva 2. Lihaksen rakenne (Häkkinen 1990).

Sähköinen supistuskäskeä lihakseen tulee motorista hermoa pitkin. Hermolihaskimppuun kautta käskeä leviää lihassolun päihin ja sen jälkeen T-tubulusjärjestelmän kautta solun sisäosiin. Sisäosissa supistuskäskeä saa aikaan kalsiumin vapautumisen, joka mahdollistaa kemiallisten välisilltojen muodostumisen aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä. Tämän jälkeen välisillat vetävät aktiini- ja myosiinifilamentteja toistensa lomaan lyhentäen sarkomeeria. Peräkkäisten sarkomeerien lyhentäminen lyhentää myös koko lihasta. Lihassupistus vaatii energiaa, joka saadaan lihakseen varastoituneesta välittömästä energianlähteestä adenosiinitrifosfaatista (ATP). ATP pilkkoutuu lihassupistuksessa ADP:ksi (adenosiinidifosfaatiksi) vapauttaen samalla energiaa. Supistuskäsken loputtua lihas rentoutuu, mikä vaatii myös energiaa. (Guyton 1986, 123.)

Aktiini- ja myosiinifilamenttien väliset sillat ja sidekudosrakenteet kykenevät varastoimaan elastista energiaa, joka voidaan lihaksen aktiivisen venytyksen jälkeisessä supistuksessa käyttää hyväksi voiman tuotossa. Supistuksen tulee

kuitenkin seurata välittömästi venytystä, sillä muuten varastoitunut potentiaalienergia muuttuu lämmöksi. (Komi ym. 1984.)

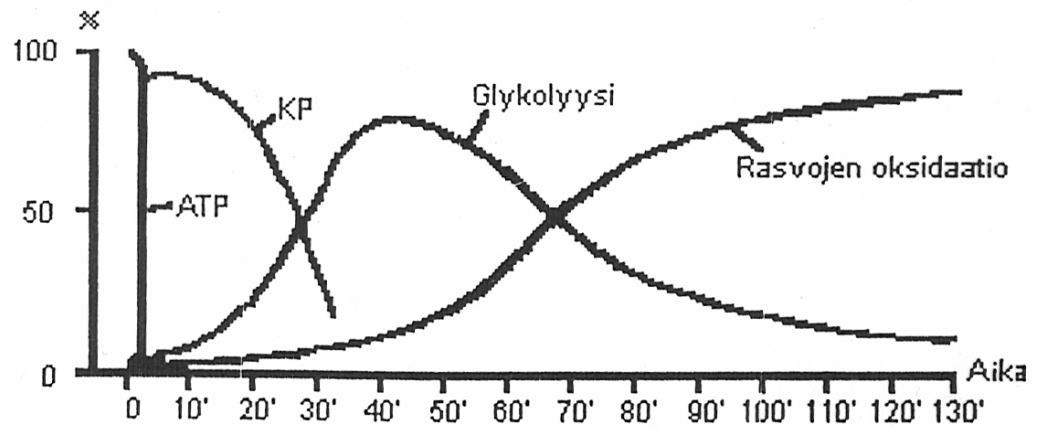
2.4 Energia-aineenvaihdunta

Voimantuotossa käytetyt energialähteet voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin energianlähteisiin. Ensin mainittuja ovat ATP ja KP (kreatiinifosfaatti), jälkimmäisiä hiilihydraatit ja rasvat ja poikkeustapauksessa proteiinit. Eri energialähteiden käyttö intensiivisessä työssä on kuvattu kuvassa 3. (mm. Guyton 1986, 129-130 ja Häkkinen 1990, 19.)

Välittömiä energianlähteitä lihaksissa on melko rajoitetusti. Maksimaalisessa lihastyössä ATP käytetään loppuun jo muutamissa sekunneissa, joten uutta ATP:a täytyy uudelleen muodostaa heti suorituksen alusta lähtien. Yhdessä ATP- ja KP-varastot riittävä noin 5-10 sekunnin maksimaalisen lihastyön suorittamiseen ja varastojen lähes täydellinen palautuminen tapahtuu 4-5 minuutissa. ATP:a ja KP:a käytettäessä ei synny maitohappoa, vaikka työ onkin anaerobista. (mm. Guyton 1986, 1010; Häkkinen 1990, 19.)

Seuraava tapa muodostaa ATP:a on glykolyysi, jolloin käytetään lihaksen omia glykogeenivarastoja tai veren lihakseen kuljettamaa glukoosia anaerobisesti. Tässä energianmuodostustavassa muodostuu palamistuotteena maitohappoa, joka edelleen hajoaa laktaatiksi ja vetyioneiksi. Vetyionit laskevat lihaksen pH:ta, mikä aiheuttaa lihasväsymystä. Glykolyysin avulla energiaa saadaan aikaan noin 45 sekunnin ajaksi. (mm. Guyton 1986, 1010; Häkkinen 1990, 19-20.)

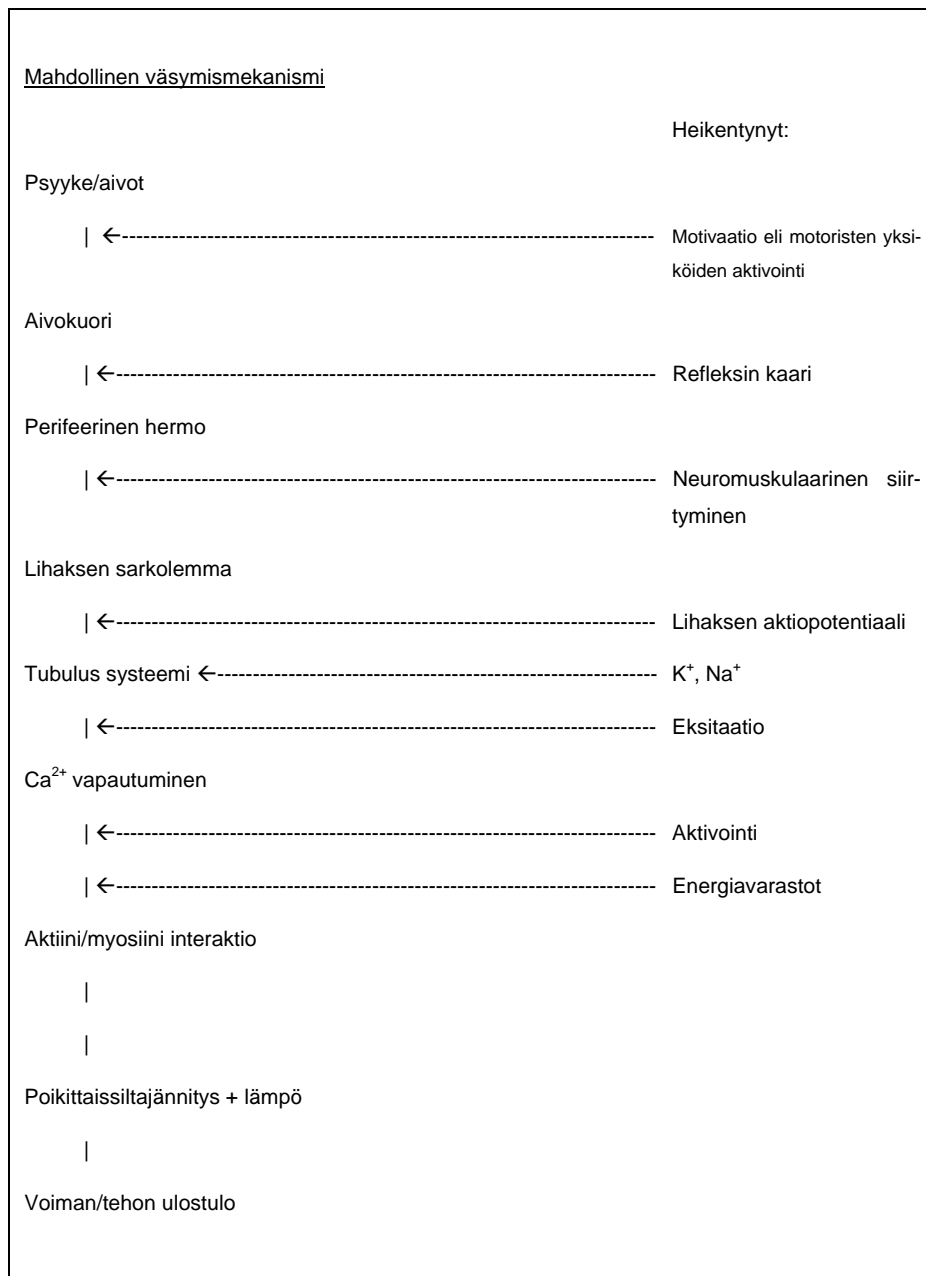
Aerobisesti ATP:a voidaan uudelleen muodostaa lihasten ja maksan glykogeenivarastoista tai elimistön rautavarastoista. Tämä energiantuottotapa tulee hallitsevaksi noin kahden minuutin kuluttua lihastyön alusta. Työn teho aerobisella lihastyötavalla on vain kohtuullista, mutta se voi jatkua useita tunteja. Käytännössä kaikki energianmuodostustavat tapahtuvat heti suorituksen alusta päällekkäin, mutta suorituksen kesto ja intensiteetti määräävät pääenergialähteen. (mm. Guyton 1986, 815; Häkkinen 1990, 20.)



Kuva 3. Eri energialähteiden osuus energiantuotannosta maksimaalisessa, intensiivisessä lihastyössä (mukailtuna lähteestä Keul ym. 1969).

3 LIHASVÄSYMYS

Lihaskehittäjä toimii voimaa. Jatkuva ja toistettu lihaskäynnitys aikana ilmenevää voimantuoton laskua kutsutaan väsymykseksi (Edwards 1981). Ennen tätä vastetta esiintyy kuitenkin useita tapahtumia ja tapahtumaketjuja, jotka vaikuttavat väsymiseen ja sen suuruuteen. Useat tutkimukset osoittavat, että väsyminen ei johdu ainoastaan yhden, vaan useiden mekanismien toiminnan pettämisestä (Enoka 2002, 374).



Kuva 4. Kaavakuva ihmisen lihassupistukseen liittyvistä toiminnoista (Edwards 1981).

Väsymykseen liittyvät muutokset lihaksen toiminnassa Edwardsin (1981) mukaan ovat:

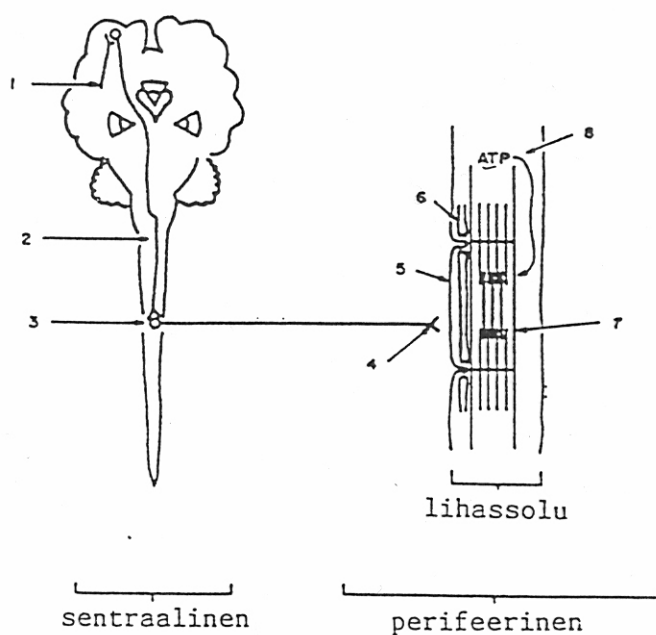
- 1) Voiman/tehon tuoton lasku
- 2) Relaksaationopeuden hidastuminen
- 3) Muutokset supistustekijöissä
- 4) Sähköisen toiminnan vaihtelu

Edellä mainittujen tekijöiden suuruus riippuu suuresti mittausolosuhteista ja lihaksen väsyttämistavasta. Väsymykseen liittyy erilaisia prosesseja sekä keskushermostokomennoissa että perifeerisissä mekanismeissa. Mainitut tekijät luokitellaan sentraalisiksi ja perifeerisiksi taulukossa 1. (Bigland-Ritchie ym. 1981.)

Taulukko 1. Väsymyksen fysiologinen luokittelu (Cipa Foundation Symposium No 82).

VÄSYMYS	ILMENEMISMUOTO	MEKANISMI
1. Sentraalinen	Voimaa ja lämpöä tuotetaan vähemmän tahdonalaisella lihassupistuksella kuin sähköstimulaatiolla.	Epäonnistuminen motoristen yksiköiden rekrytoinnissa ja/tai frekvenssissä.
2. Perifeerinen	Sama voiman lasku tai lämmön tuotto sekä tahdonalaisesti että sähköstimulaatiolla.	
a) Korkea taajuus	Valikoitunut voiman lasku korkea taajuuksisella stimulaatiolla	Heikentynyt neuromuskulaarinen transmissio ja/tai lihaksen aktiopotentiaalin kulku.
b) Matala taajuus	Valikoitunut voiman lasku matala taajuuksisella stimulaatiolla.	Heikentynyt eksitaatio/ kontraktio koplaus.

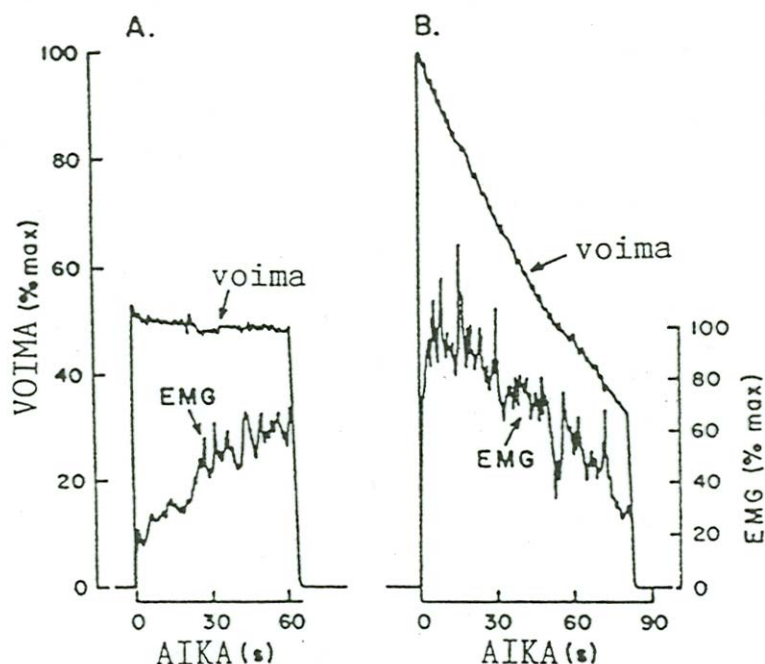
Hermolihasjärjestelmän osia lihasväsymyksen mahdollisina aiheuttajina voidaan tarkastella osa-alueittain seuraavasti: 1. alueet, jotka kuljettavat sähköisen viestin aivoista lihaksille (1-5), 2. supistuvan komponentin energian saannista huolehtivat aineenvaihdunnalliset ja kemialliset prosessit (7-8) ja 3. eksitaatio-kontraktio-koplausprosessi (6.). (Bigland-Ritchie 1981.)



Kuva 5. Hermolihasjärjestelmän mahdolliset väsyvät osat: 1. Eksitaatio motoriselle korteksille, 2. eksitaatio alemmille motoneuroneille, 3. motoneuronien eksitabiliteetti, 4. neuromuskulaarinen transmissio, 5. sarkolemman eksitabiliteetti, 6. eksitaatio-kontraktio-koplaus, 7. supistuva mekanismi ja 8. energiavarastot. (Bigland-Ritchie 1981).

EMG-signaalin ja voimamittausten yhdistämisellä voidaan selvittää mm. voimantuoton ajoitusta, taloudellisuutta ja väsymyksen luonnetta. IEMG/voima-suhteen avulla voidaan määrittää suorituksen taloudellisuutta ja väsymyksen luonnetta. Voimanlaskun tapahtuessa samanaikaisesti sähköisen aktiivisuuden kanssa, johtuu väsymys eksitaation heikkenemisestä. Väsymys on silloin lihasupistusmekanismeissa kun elektroninen aktiivisuus ei laske voiman vähentyessä (Bigland-Ritchie 1981). Ainakin osa lisääntyvästä EMG aktiivisuudesta submaksimaalisessa supistuksessa voidaan selittää uusien motoristen yksiköiden rekrytoinnilla (Edwards & Lippold 1956) ja näin muutoksilla aktiopotentiaalin koossa ja synkronisaatiossa (Edwards & Lippold 1956). Väsymys maksimaalisessa supistuksessa johtuu ensisijaisesti riittämättömästä elektrisestä aktivaatiosta (Stephens & Taylor 1972). Voiman lasku on suurin piirtein käänteisessä suorassa suhteessa henkilön maksimaaliseen voimaan ja se voi heijastaa yksi-

öllisiä eroja lihaslujujakautamassa sekä suhteellisessa hypertrofian asteessa (Bigland-Ritchie 1981).



Kuva 6. EMG:n ja voiman käyttäytyminen kun ylläpidetty voima on erilainen: a) submaksimaalinen tai b) maksimaalinen (Bigland-Ritchie 1981).

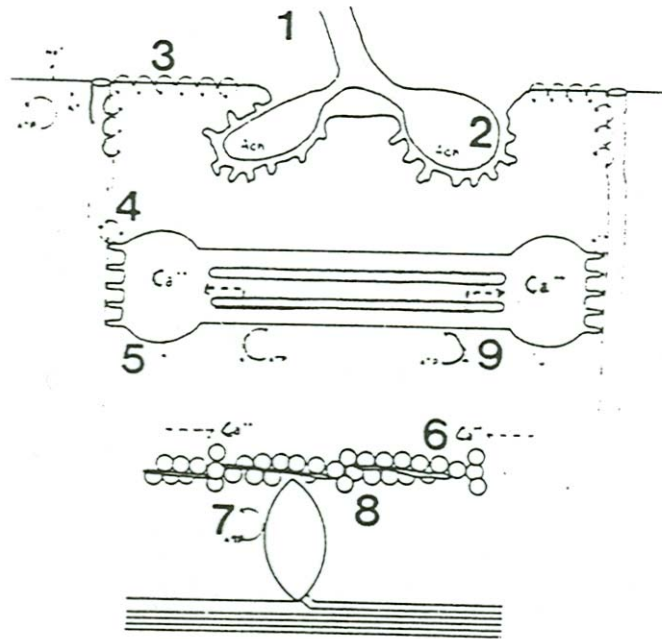
3.1 Sentraalinen lihasväsymys

Sentraalisen lihasväsymyksen tekijöitä ovat motivaatio, heikentynyt sähköisten signaalien välittyminen selkäydintasolla ja heikentynyt motoristen yksiköiden aktivointi (Bigland-Ritchie ym. 1978). Asmussen (1979) määrittelee sentraalisen väsymisen keskushermoston kyvyttömyydeksi täysin aktivoida lihasta omalla tahdonvoimallaan. Gandevia (1992) määrittää sentraalisen väsymyksen myös progressiiviseksi tahdonalaisen käskytyksen laskuksi. Osa lihasväsymyksestä tapahtuu distaalisesti hermo-lihasliitokseen nähden, mutta vaihteleva määrä sentraalisen aktivaation häiriötä johtuu riittämättömästä neuraalisesta käskytyksestä. Sentraalista väsymistä esiintyy varsinkin submaksimaalisilla kuormilla ja väsymisen pitkittyessä. Nopeusvoimatyyppinen väsyminen johtuu ensisijaisesti sentraalisista tekijöistä, koska nopeusvoimarasituksessa hermoston aktivaatio-taso on hyvin korkea ja lihasten aktivaatioaika puolestaan hyvin lyhyt (Häkkinen 1990).

Sentraalinen väsymys voidaan todeta vertaamalla maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa sähköisellä stimulaatiolla aiheutettuun voimantuottoon (Bigland-Ritchie ym. 1978) tai lisäämällä stimulaatiota tahdonalaiseen supistukseen (Chapman ym. 1978). Sentraalinen väsymys ilmenee siten, että voimaa tuotetaan tahdonalaisella supistuksella vähemmän kuin sähköstimulaatiolla. Väsymysmekanismina on tällöin epäonnistuminen motoristen yksiköiden rekrytoinnissa ja/tai syttymistäajuudessa. Hyvin motivoituneella, nuorella ja terveellä henkilöllä havaitaan yleensä vähän sentraalista väsymystä, sillä usein syyt ovat toisaalla (Bigland-Ritchie 1981).

3.2 Perifeerinen lihasväsymys

Perifeerisen väsymyksen tekijöitä ovat perifeeristen hermojen toiminnan heikkeneminen, aktiopotentialin välittymisen heikkeneminen hermolihaskytkössä, lihassolujen sähköisen aktiviteetin lasku tai lihassolun sisäisen toimintakyvyn lasku (Gibson & Edwards 1985). Perifeerinen väsymys johtuu useimmiten toimintahäiriöstä motorisella päätelevyllä, sarkolemassa, T-tubuleissa, sarkoplasmisessa retikulumissa sekä säätelevissä ja supistuvissa proteiineissa (Green 1987). Kuvassa seitsemän käy ilmi perifeerisen väsymyksen mahdolliset sijaintipaikat Greenin (1987) mukaan.



Kuva 7. Perifeerisen väsymyksen sijaintipaikat. 1. Presynaptiset toimintahäiriöt, 2. kykenemättömyys aikaansaada aktiopotentiaalia motorisella päätelevyllä, 3. sarkolemmen toimintahäiriö ylläpitää aktiopotentiaalia, 4. eksitaationkytkennän puute T-tubulen ja sarkoplasmisen retikulumin välillä, 5. kalsiumin vapautumisen estyminen sarkoplasmiselta retikulumilta, 6. troponiinin vähentynyt sitoutuminen kalsiumiin, 7. poikittaissiltojen toimintahäiriö, 8. viivästynyt poikittaissiltojen eroaminen ja sarkoplasmisen retikulumin estynyt kalsiumin uudelleen kertyminen. (Green 1987)

Perifeeriseen lihasväsymykseen ensisijaisesti liittyviä prosesseja ovat yleensä ne, jotka esiintyvät sarkolemmen ja T-tubuluskalvon depolarisaation jälkeen (Fitts & Metzger 1988). Näissä Ca^{2+} :lla on tärkeä rooli, koska se säätelee lihaksen aktiivisuutta ja voiman tuottoa. Solunsisäisen Ca^{2+} määrä riippuu Ca^{2+} :n vapautumisesta sarkoplasmisesta retikulumista sekä sen poistumisprosessista. Poistamisprosessi riippuu Ca^{2+} -pumpun toiminnasta sekä Ca^{2+} sitovien proteiinien aktiivisuudesta. Ca^{2+} vapautuminen sarkoplasmisesta retikulumista johtaa siis lihaksen supistumiseen ja sen poistaminen lihaksen relaksoitumiseen. Solunsisäisen kalsiumin vapautumisen pieneneminen on todettu olevan yhteydessä väsymiseen ja voiman tuoton heikkenemiseen. Kaikki tekijät, jotka vaikuttavat Ca^{2+} vapautumiseen tai poistamiseen vaikuttavat osaltaan myös väsymiseen ja sen suuruuteen (Hill ym. 2001).

3.3 Metabolisten muuttujien yhteys lihasväsymykseen

Kun lihas alkaa työskennellä täydellä teholla, sen aineenvaihdunta kiihtyy moninkertaiseksi (20 – 500-kertaiseksi) riippuen lihastyypistä. Tämän johdosta aineenvaihduntaan liittyvien lähtöaineiden (esim. ATP ja KP) ja tuotteiden (esim. laktaatti, fosfaatti P_i ja vetyioni) konsentraatiot muuttuvat. Näiden muutosten ja

lihaksen voimantuoton heikkenemisen eli lihasväsymyksen välillä on havaittu olevan kahdenlaisia riippuvuuksia: 1) korkeaenergistien lähtöaineiden määrän lasku johtaa energiasta riippuvaisten toimintojen heikkenemiseen ja 2) hajoamistuotteiden kerääntyminen lihakseen johtaa lihasväsymykseen. (Westerblad ym. 1991.)

Maitohappoa muodostuu ja kerääntyy lihaksiin seuraavissa olosuhteissa: 1) korkea energiantarve, 2) energiavaatimusten nopea vaihtelu ja 3) hapen riittämättömän saatavuus. Maitohappo hajoaa lähes täydellisesti normaalissa fysiologisessa pH:ssa vetyioneiksi ja laktaatti-ioneiksi. Tämän vuoksi vetyioneita muodostuu suhteessa yhtä paljon kuin laktaattia. Suurimman osan vetyioneista kudokset puskuroivat, mutta pieni osa (0.001%) jää vapaiksi ioneiksi ja aikaansaavat pH:n laskun noin 6.4-6.6 intensiivisessä kuormituksessa. Laktaatti-ioneilla ei tiedetä olevan vaikutusta energia-aineenvaihduntaan tai supistusmekanismiin. Kuitenkin pH:n lasku vaikuttaa kemiallisen energian muuttumiseen mekaaniseksi työksi (Sahlin 1986). pH:n laskun on esitetty suoraan aiheuttavan voimantuottokyvyn heikkenemisen eli lihasväsymyksen. Syynä tähän on se, että pH:n lasku aiheuttaa poikittaissiltojen määrän vähenemisen ja/tai yhden poikittaissillan tuottaman voiman vähenemisen. Toisaalta yhä esiintyy ristiriitaisia tutkimustuloksia siitä, onko pH merkittävä tekijä lihasväsymyksessä. Tätä osoittavat se, että pH:n ja voiman palautuminen tapahtuvat eri nopeudella ja se, että pH:n laskeminen lihasväsymystä vastaavalle tasolle käyttämällä CO₂ ei vähennä voimantuottokykyä niin paljon kuin normaali lihasväsymys (Fitts 1994).

Korkea vetyionikonsentraatio laskee KP:n määrää suoraan kreatiinikinaasitasapainon kautta ja epäsuorasti lisäämällä ADP:n määrää. Happamuuden vaikutus glykolyysiin ja KP-tasoon johtaa ADP:n uudelleenfosforisoitumisen hidastumiseen ja ADP:n määrän nousuun lihaksessa yli normaalitason. Edelleen ADP:n määrän kasvu heikentää Na-K-ATP:aasin toimintaa johtaen muuttuneeseen ioniseen tasapainoon solukalvon ympärillä lisäten solunulkoisen kaliumin määrää ja solunsisäisen natriumin määrää. Tämä johtaa membraanipotentialin laskuun, joka estää supistusprosessin aktivaation. Lihasväsymys johtuu siis ADP:n uudelleenfosforisoitumisen riittämättömyydestä ja sen aiheuttamasta esteestä aktivaatioprosessissa tai eksitaatio-kontraktiokoplauksessa. (Sahlin 1986.)

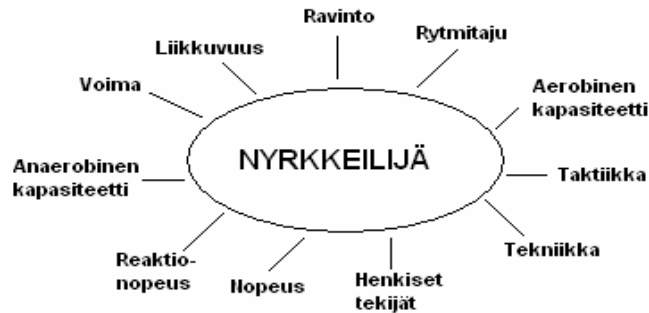
Vetyionikonsentraation kasvun on todettu olevan osallisena relaksaatioajan pitenemiseen (Sahlin 1983; Westerblad & Allen 1992). Syynä tähän on pH:n lasku, joka muuttaa poikittaissiltojen kinetiikkaa (Westerblad & Lännegren 1991). Lisäksi pH:n lasku heikentää sarkoplasmisen retikulumin ATP:aasia ja kalsiumin takaisinottopumpun toimintaa (Byrd ym. 1989).

4 NYRKKEILYN KUORMITTAVUUS

4.1 *Nyrkkeilyn yleispiirteet*

Nyrkkeily on urheilulaji, jossa lihaksissa tapahtuu voimakkaita jännityksiä ja liikuminen on tehokasta ja dynaamista. Ottelutilanne asettaa suuria vaatimuksia keskushermostolle ja vegetatiiviselle hermostolle. Nyrkkeilyssä tarvitaan sekä aerobista että anaerobista energian muodostamista. Nyrkkeilyn harrastamisen on havaittu aiheuttavan huomattavan aerobisen kapasiteetin kasvun. Keskitason nyrkkeilijöillä maksimaalinen $\dot{V}O_2$ on noin 54 ml/kg/min ja huipputason nyrkkeilijöillä se vaihtelee 60.5 ja 76.0 ml/kg/min välillä. (Repnikov 1983.)

Nyrkkeilyssä tekniikan hallitseminen nousee harjoiteltavista ominaisuuksista avainasemaan. Harjoittelussa tulisi tähdätä nyrkkeilytekniikan monipuoliseen osaamiseen. Tekniikkaharjoitukset voidaan toteuttaa yksin, pareittain tai valmentajan kanssa. Taktiikka on tekniikan soveltamista käytäntöön eli vastustajaan. Taktiikan kehittäminen tapahtuu paritekniikka-, rajoitetussa ottelu- tai avoimessa otteluharjoituksessa. Nopeuden harjoittaminen keskittyy lähinnä räjähtävän ja reaktionopeuden kehittämiseen. Kestävyysharjoittelussa täytyy kehittää sekä aerobisia että anaerobisia ominaisuuksia ja tämän lisäksi nopeuskestävyyden harjoittaminen on ottelukestävyyden kannalta tärkeitä (kuva 8.). Nyrkkeilyssä voimaharjoittelun tarve on ollut aina kiistanalainen eli tarvitaanko sitä ja kuinka paljon. Iskusuorituksen voimakkuuteen vaikuttaa monia tekijöitä: tekniikka, voima, iskun oikea-aikaisuus sekä iskijän ja vastustajan liikesuunnat. (Pallaspuuro 1985.)



Kuva 8. Eri tekijöitä, jotka vaikuttavat nyrkkeilijän suorituskykyyn (Yman ym. 1992).

4.2 Nyrkkeilyottelun kuormittavuus

Nyrkkeilyotteluiden luonne voi olla hyvin erilainen. Nykysuuntaus pakottaa nyrkkeilijän hyökkäämään ja puolustamaan koko ajan, jos aikoo menestyä kansainvälisellä tasolla. 10–12 vuotta sitten nyrkkeilijä iski ottelun aikana 160-180 lyöntiä, nykyään nyrkkeilijä iskee keskimäärin 215-240 lyöntiä ottelussa. Vallitseva otteluetäisyys on nykyisin puolietäisyys, joka vaatii jatkuvaa aktiivisuutta hyökkäyksessä ja puolustuksessa (Hromov 1985). Vuoden 1991 EM-kilpailuissa tehtiin tutkimus ottelun aikana lyötyjen iskujen määrästä. Lyödyt iskut suhteutettiin rekisteröityihin osumapisteisiin, jolloin saatiin laskettua osumaprosentti (taulukko 2.). Lyöntimäärät vaihtelivat sarjoittain merkittävästi, sillä suurin iskemäärä oli 51 kg-sarjassa (keskimäärin 305 iskua/ottelu) ja pienin 91 kg-sarjassa (keskimäärin 176 iskua/ottelu). Kaikki painoluokat huomioon ottaen keskimääräinen lyöntimäärä oli 242 iskua/ottelu. Parhaimmat osumaprosentit olivat sarjoissa +91 kg (13.2%) ja 60 kg (10.2%) sekä huonoin sarjassa 48 kg (7.5%). Euroopan mestarit erottuivat erinomaisista osumaprosenteista, joiden keskiarvo oli 12.1% (Yman ym. 1992).

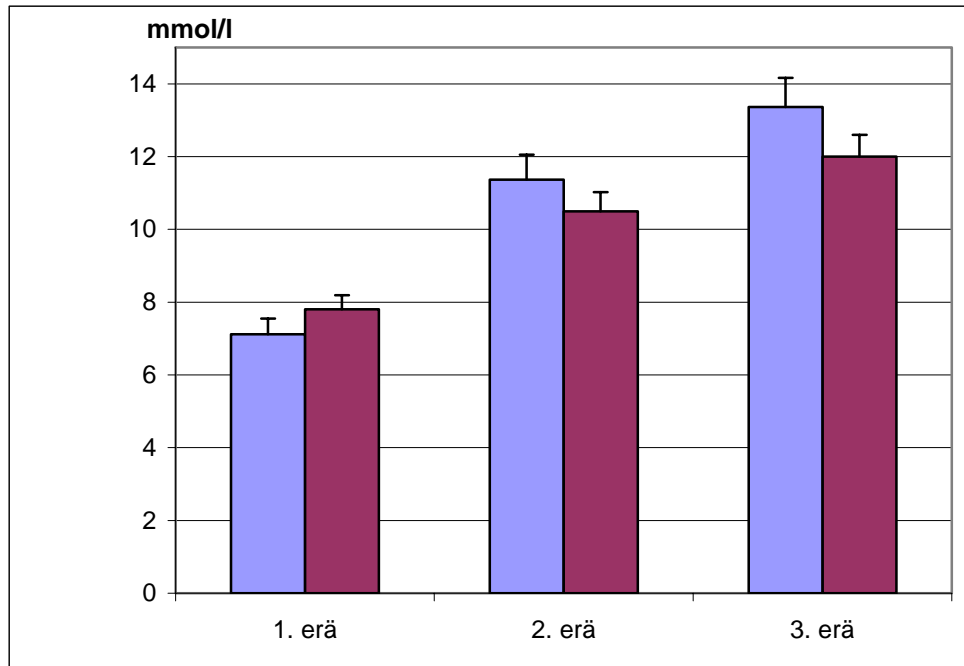
Taulukko 2. EM-kilpailuiden (1991) keskiarvoiset iskumäärät ja osumaprosentit painoluokittain (Yman ym. 1992)

Painoluokka	Iskut/ottelu	Rekisteröidyt osumat	Osumaprosentti
48 kg	240	18	7.5
51 kg	305	26	8.5
54 kg	261	22	8.4
57 kg	292	23	7.9
60 kg	224	23	10.2
63,5 kg	247	21	8.5
67 kg	236	21	8.5
71 kg	214	18	8.4
75 kg	264	24	9.1
81 kg	221	21	9.5
91 kg	176	17	8.7
+ 91 kg	224	23	13.2

Keul ym. (1972) ovat tutkineet nyrkkeilijöiden veren laktaattipitoisuuksia 3x3 minuuttia kestävän otteluharjoituksen aikana ja sen jälkeen. Ottelun aikana määritettiin telemetrisesti myös ottelijoiden sydämen lyöntitiheys kunkin erän lopussa. Ensimmäisen erän päätyttyä laktaattiarvot olivat keskimäärin 7.12 mmol/l ja sydämen lyöntitiheys oli 180 krt/min. Toisen ja kolmannen erän jälkeen vastaavat arvot olivat 11.37 mmol/l ja 185 krt/min sekä 13.36 mmol/l ja 187 krt/min.

Hirvonen ym. (1985) tutkivat nyrkkeilyottelun kuormittavuutta 10 maajoukkue-tason nyrkkeilijän avulla. Nyrkkeilyottelussa veren laktaattipitoisuudet nousivat seuraavasti 7.8 ± 1.7 mmol/l (1. erä), 10.5 ± 1.9 mmol/l (2. erä) ja 12.0 ± 1.3 mmol/l

(3. erä) (kuva 9.). Sydämen lyöntitiheys oli keskimäärin 174 krt/min (1. erä), 181 krt/min (2. erä) ja 186 krt/min (3. erä).



Kuva 9. Veren laktaattipitoisuudet 3x3 minuutin erien jälkeen (Hirvonen ym. 1985 = tumma pylväs ja Keul ym. 1972 = vaalea pylväs).

Nyrkkeilyn otteluaika muuttui vuoden 1997 alussa siten, että ottelun aikana otellaan viisi 2 minuutin erää yhden minuutin erätauoin. Uuden otteluaajan kuormittavuutta on tutkittu veren laktaattipitoisuuden ja sydämen lyöntitiheyden avulla. Veren laktaattipitoisuus oli keskimäärin 1. erän jälkeen 4.19 mmol/l, 3. erän jälkeen 6.95 mmol/l ja 5. erän jälkeen 9.41 mmol/l. Sydämen lyöntitiheys oli keskimäärin 179 krt/min (1. erä), 184 krt/min (2. erä), 190 krt/min (3. erä), 192 krt/min (4. erä) ja 195 krt/min (5. erä). (Sipilä 1996.)

4.3 Lajiharjoitteiden kuormittavuus

Harjoittelu koostuu voimaa, nopeutta, nopeuskestävyyttä, kestävyyttä ja tekniikkaa kehittävästä harjoitteista. Nämä ominaisuudet jaetaan eri osa-alueisiin, esimerkiksi nopeuskestävyysharjoittelu jaetaan maitohapottomiin ja maitohapollisiin harjoitteisiin, voimaharjoittelu jaetaan perus-/maksimivoimaa, voimakestävyyttä ja nopeusvoimaa kehittäviin harjoitteisiin. Eri lajit asettavat erilaisia vaatimuksia maitohapolliselle energiantuotolle, mikä tulee huomioida lajien nopeus-

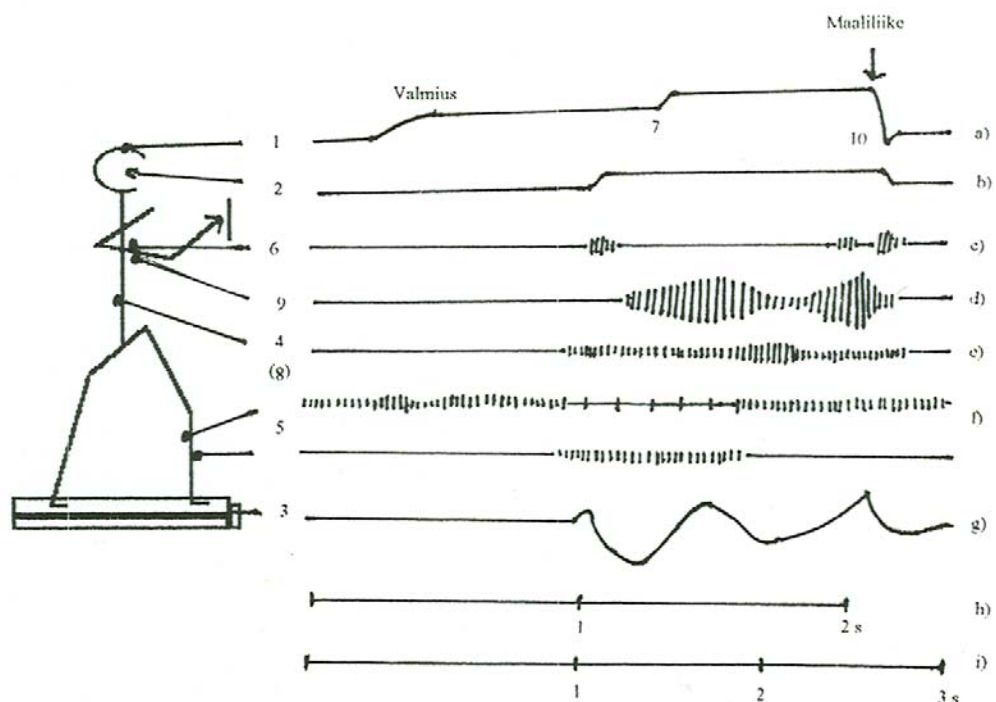
kestävyysharjoittelun suunnittelussa ja toteutuksessa. Vastaavasti nopeusvoimaharjoittelussa tulee huomioida lajien erilaiset vaatimukset biomekaanisten muuttujien (voimantuottoaika, nivelkulmat ym.) suhteen. (Pallaspuro 1985.)

Nyrkkeilyssä lajikestävyyttä kuvaavana testini käytettiin ennen Suomessa seuraavanlaisia testejä: 3x3´/1´ kuormitusaika, säkin ja kääntöpaikan välinen etäisyys 2 metriä, säkkiä lyötiin 4-5 iskun sarja kilpailutekniikan omaisesti, lyöntisarjojen välillä kierrettiin kääntöpaikassa oleva kartio (säkkiä kohti liikuttiin eteenpäin ja säkiltä poispäin taaksepäin). Veren laktaattipitoisuudet olivat kuormituserittäin seuraavanlaiset: 5.2±2.3 mmol/l, 6.7±2.5 mmol/l ja 7.8±1.7 mmol/l. Sydämen lyöntitiheys oli kuormituserittäin: 180±3 krt/min, 190±4 krt/min ja 195±4 krt/min. (Pallaspuro 1985.)

Uuden otteluaajan (5x2´/1´) myötä lajikestävyystestiä muutettiin Suomessa seuraavanlaiseksi: 5x2´/1´ kuormitusaika, säkin ja kääntöpaikan välinen etäisyys 2 metriä, säkillä iskettiin viiden sekunnin ajan lyöntejä vuorokäsin, lyöntisarjojen välillä kierrettiin kääntöpaikassa oleva kartio (säkkiä kohti liikuttiin eteenpäin ja säkiltä poispäin taaksepäin). Veren laktaattipitoisuudet olivat keskimäärin seuraavat: 8.0 mmol/l (1.erä), 9.6 mmol/l (3.erä) ja 10.5 mmol/l (5. erä). Sydämenlyöntitiheys oli kuormituserittäin: 183, 184, 187, 189 ja 192 krt/min. (Sipilä 1996.)

5 LYÖNTILIIKKEEN TOIMINTAMALLI

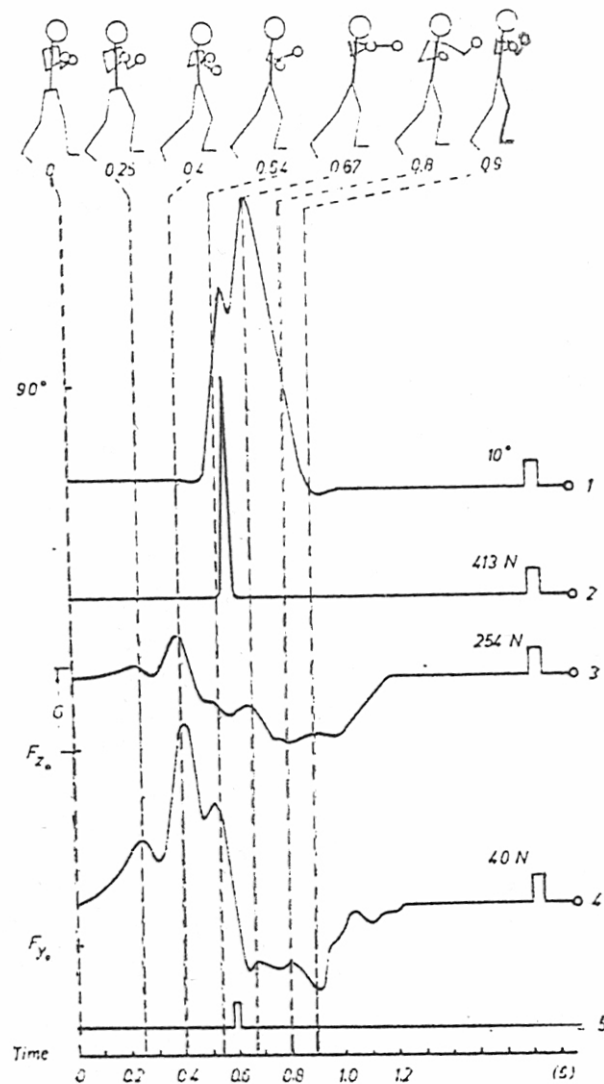
Lyöntiliike koostuu opitusta lihaskoordinaatiomallista. Yksittäistä lyöntiä edeltää vartalon lihaksissa molemminpuolinen esiaktiivisuus sekä tasapainon säätö. Maaliin suunnatussa yhden käden liikkeessä on tärkeitä säilyttää kehon tasapaino. Kapeassa jalka-asennossa lihasten aktiivisuus on huomattavasti suurempaa kuin leveässä jalka-asennossa. Lyöntiliikkeen alkuasennossa valmiushermotus on riippuvainen vartalon asennosta liikkeen alussa. Vartalo pidetään tasapainossa siten, että taaempana oleva jalka aktivoituu tasapainon säätelymiseen. Lyöntiliikkeessä vartalon ja pään kiertoliikkeet tapahtuvat samanaikaisesti. Käden ojennusliikkeen loppuvaiheessa nyrkki suljetaan tiiviiksi sormen koukistajalihasten avulla. (Jung 1984.)



Kuva 10. Lyöntiliikkeen toimintamalli: a) aivotoiminnan yhteydet lyöntiliikkeeseen, b) katseen kiinnitys, c) käden nosto, d) käden ojennus, e) asento- ja ryhtimekanismit, f) seisomismekanismit, g) voimalevy, h) nyrkin isku ja i) näyttöliike. (Jung 1984)

Joch ym. (1981) analysoivat oikean suoran toimintamallia. He havaitsivat, että perusasennossa ($t = 0$ ms) kehon kokonaispainosta noin 80 % oli takimmaisella jalalla. Lyönnin valmistelu alkoi kehon painopisteen taakseviennillä, jonka kesto

oli 400 ms. Tätä seurasi 580 ms kestävä kiihdytysvaihe. Kyynärkulma pysyi paikallaan perusasennosta lähtiessä noin 480 ms ja vaati vielä 100 ms ennen kuin kokonainen impulssi siirtyi. Kiihdytysmatkasta oli suoritettu noin 50 % ennen kuin kyynärkulma alkoi kasvaa. Lyönnin lakipisteessä kyynärkulma oli 130 astetta, jos säkkiä liikutettiin niin kyynärkulma alkoi kasvaa edelleen. Lyönnin loppuvaiheessa kehon massa siirtyi etummaiselle jalalle, jolloin takimmaisella jalalla oli erittäin vähän painoa.



Kuva 11. Oikean suoran muuttujien arvoja: 1. kyynärkulma, 2. lyönnin voima, 3. vertikaalinen voima (takimmainen jalka), 4) horisontaalinen voima (takimmainen jalka) ja 5. triggaus signaali. (Joch ym. 1981)

5.1 Lihasten aktivaatiomalli lyönnin aikana

Lajien kehittämisen kannalta on hyvä tietää lihasten spesifinen rooli ja lihasaktivaatiomallit lajisuorituksessa. EMG-tutkimusten avulla voidaan selvittää lihasaktivaatiomallit ja näiden avulla voidaan tehostaa nimenomaan lajissa tarvittavien lihasten harjoittamista.

Valentino ym. (1990) tutkivat lihasten aktivaatiomalleja nyrkkeilyssä. Lyöntisuorituksina tässä tutkimuksessa olivat vasen suora sekä vasen ja oikea alakoukku vartaloon tai päähän. Lyöntisuoritukset iskettiin nyrkkeilyssä. EMG-tutkimuksessa tutkittiin kolmen eri lihaksen aktivaatiomalleja kyseisissä lyöntisuorituksissa. Tutkittavat lihakset olivat m. trapezius, m. deltoideus sekä m. m. triceps. Lihasaktivaatiomalleista havaittiin, että m. trapezius oli aktiivisin lihas kaikissa lyöntisuorituksissa ja m. deltoideus oli aktiivisempi kuin m. triceps, joka oli aktiivisimmillaan alakoukussa vartaloon.

Picchio ym. (1985) tutkivat suoran lyönnin, alakoukun ja yläkoukun lihasaktivaatiomalleja. Tutkittavat lihakset olivat m. deltoideus, m. biceps brachii, m. triceps brachii ja ylemmät m. spinous. Suorassa lyönnissä aktiivisin lihas oli m. deltoideus ja samanaikaisesti havaittiin aktiivisuutta m. triceps brachiissa ja ylemmissä m. spinouksessa. Alakoukussa m. deltoideus ja ylemmät m. spinous olivat aktiivisimmat sekä myöhemmässä vaiheessa lyöntiä m. biceps brachii aktivoitui. Yläkoukussa m. deltoideuksen aktiivisuus hallitsi, jota seurasi ylempien m. spinouksen aktiivisuus. Myöhemmässä vaiheessa m. biceps brachii oli aktiivinen ja m. triceps brachiissa oli vain lievää aktiivisuutta.

5.2 Lyönnin voima

Venäläisillä nyrkkeilijöillä on tutkittu lyönnin voimaan vaikuttavaa synkronisaatiota käden, vartalon ja jalkojen välillä. Lyöntiliikkeen voima aikaansaadaan jalkojen ojennuksella, vartalon kierrolla ja käden liikkeellä. Tutkimuksessa vertailtiin näiden kolmen osatekijän osuutta lyönnin voimaan eritasoisilla nyrkkeilijöillä (taulukko 3). Huipputason nyrkkeilijät tuottivat lyöntinsä voimasta 38 % jalan ojentamisella kun vastaavasti aloittelijoilla vastaava prosenttiosuus oli 16. Aloittelijat tuottivat lyöntivoimansa pitkälti käden ojennuksella, jonka osuus oli 38 %. Huipputason nyrkkeilijöillä käden ojennuksen osuus oli 24 %. Tulokset osoitta-

vat, että nyrkkeilijän tason noustessa käsien, vartalon kierron ja jalkojen koordinaatio paranee sekä sen, että jalkojen osuus on tärkeää huipputason nyrkkeilijöillä. (Filimonov ym. 1985.)

Taulukko 3. Nyrkkeilijän tason merkitys lyönnin osatekijöiden suuruuteen (%) (Filimonov ym. 1985).

Luokka	Käden ojennus	Vartalon kierto	Takimmaisena jalan ojennus
Huipputaso	24.2	37.4	38.4
I luokka	25.9	41.8	32.3
II ja III luokka	38.0	45.5	16.5

Nyrkkeilijöiden lyöntivoimaa tutkittaessa havaittiin sen olevan riippuvainen nyrkkeilijöiden tasosta. Huipputaso nyrkkeilijöiden oikean suoran voima oli 3453 N ja vastaavasti kansallisen tason sekä aloittelijoiden lyöntivoima oli 3023 N ja 2932 N. Lineaarisen regressioanalyysin mukaan yhden kilon painonlisäys kasvatti lyöntivoimaa 26.61 N. Nyrkkeilijät pystyvät lyömään lujempaa silloin kun lyönti suuntautui vartaloon eikä päähän (Joch ja muut 1981). Englannissa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin raskaan sarjan maailmanmestarin lyönnin voimaa. Lyönnin kontaktivoiman huippu oli 4096 N ja voimapiikin tuottoaika oli 14 ms (Atha ym. 1985).

5.3 Lyönnin nopeus

Whitting ym. (1988) havaitsivat tutkimuksissaan lyönnin keskimääräiseksi nopeudeksi 5.9–8.2 m/s. Huippunopeus saavutettiin 8-21 ms ennen kontaktia, jolloin nopeus oli 6.6–12.5 m/s. Lyönnin kesto oli kaikissa lyönneissä 139±22 ms. Olkapään nopeus oli suurempi suorassa (1.8 m/s) kuin koukussa (1.3 m/s), mutta olkapään huippunopeus saavutettiin koukussa aikaisemmin kuin suorassa (22 vs. 29 ms). Kyynärpäänivelen nopeuksissa ei ollut merkittäviä eroja, mutta rannenivelen nopeus oli koukussa suurempi kuin suorassa (8.2 vs. 5.9 m/s). Samoin huippunopeus oli suurempi koukussa (12.5 vs. 6.6 m/s) ja se saavutettiin 13 ms aikaisemmin kuin suorassa.

Taulukko 4. Nopeusparametrit vasemmasta suorasta hanskalla sekä ilman hanskaa lyötynä. (Whitting ym. 1988)

Piste	Parametri	Ilman hanskaa	Hanskalla
Olkapää	Nopeus kontaktihetkellä	2.0 m/s	1.8 m/s
	Huippunopeus	2.4 m/s	2.4 m/s
	Huippunopeuden saavuttamisaika ennen kontaktia	40 ms	39 ms
Kyynärpää	Nopeus kontaktihetkellä	5.5 m/s	5.7 m/s
	Huippunopeus	6.0 m/s	6.0 m/s
	Huippunopeuden saavuttamisaika ennen kontaktia	15 ms	7 ms
Ranne	Nopeus kontaktihetkellä	6.3 m/s	5.9 m/s
	Huippunopeus	6.6 m/s	6.3 m/s
	Huippunopeuden saavuttamisaika ennen kontaktia	7 ms	9 ms
Käsi/hanska	Nopeus kontaktihetkellä	6.6 m/s	5.9 m/s
	Huippunopeus	7.2 m/s	6.6 m/s
	Huippunopeuden saavuttamisaika ennen kontaktia	9 ms	8 ms

Atha ym. (1985) tutkivat erään ammattilaisnyrkkeilijän lyönnin voimaa ja nopeutta. Lyönnin kesto oli 100 ms ja nyrkin nopeus osumahetkellä oli 8.9 m/s. Nyrkin huippukiihtyvyys ennen kontaktia oli 90 m/s^2 ja nyrkin palautumisnopeus lyönnin jälkeen 1.8 m/s. Joch ym. (1981) saivat tutkimuksissaan lyönnin kestoksi myös 100 ms, mutta nyrkin palautumisen kesto aika oli riippuvainen nyrkkeilijän tasosta (446 vs. 663 ms).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää 1) väsymyksen ilmenemistä lajinomaisessa kuormituksessa ja sen vaikutusta oikean suoran 2) törmäysvoimaan, 3) voimantuottonopeuteen, 4) niiden saavuttamisaikoihin sekä 5) lyöntitekniikkaan.

Tutkimuksen ongelmat olivat seuraavat:

- 1) Mikä on nyrkkeilyn lajinomaisen kuormituksen fysiologinen vaste?
- 2) Miten väsymys vaikuttaa jalkojen ja iskukäden voimantuottoon?
- 3) Vaikuttaako kuormitus oikean suoran tekniseen lajisuoritukseen?

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli seitsemän suomalaista maajoukkue-tason nyrkkeilijää. Koehenkilöiden antropometrisistä muuttujista mitattiin paino, pituus ja rasvaprosentti. Koehenkilöiden paino mitattiin elektronisella vaa'alla 100 gramman tarkkuudella. Pituus mitattiin seisten seinään kiinnitetyllä mittanauhalla puolen sentin tarkkuudella. Rasvaprosentti määritettiin olkavarren ojentajan, haislihaksen, lavanaluksen ja suoliluun harjanteen ihopoimujen summasta (Durnin & Womersley 1974).

Taulukko 5. Koehenkilöiden antropometriset tiedot.

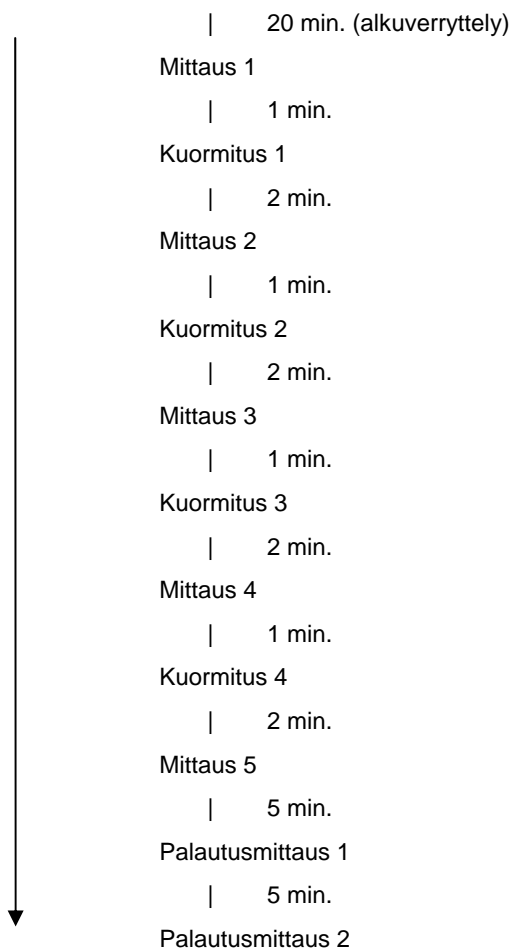
	KESKIARVO	KESKIHAJONTA
IKÄ (v.)	20.7	3.9
PITUUS (cm)	175.7	6.7
PAINO (kg)	67.7	9.9
BMI	21.8	1.8
RASVA-%	9.4	1.4

7.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa peruskuntokaudella vuonna 1999. Tutkimusasetelma oli suunniteltu siten, että testin kesto ja palautumisjaksot olivat kaikilla koehenkilöillä samankaltaiset (taulukko 6). Voimamittauksia tehtiin viisi kertaa, joista ensimmäinen suoritettiin ennen kuormitusta ja loput neljä välittömästi kaksi minuuttia kestävän lajinomaisen kuormitusten jälkeen. Voimamittausten jälkeen otettiin verinäyte sormenpäästä veren laktaattianalyysia varten. Näihin mittauksiin oli käytettävissä yksi minuutti (nyrkkeilyottelun erätauon ajan). Neljää ensimmäistä mittausta seurasi kahden minuutin pituinen lajinomainen kuormitusjakso. Viidennen mittauksen jälkeen suoritettiin kaksi palautusmittausta (5 ja 10 minuuttia), joiden päätyttyessä otettiin verinäyte sormenpäästä. Sydämen syketiheys rekisteröitiin sykemittarin avulla koko testin ajan.

Taulukko 6. Tutkimusasetelman kuvaus.

Tutkimuslomakkeen täyttö ja antropometriset mittaukset



7.3 *Laktaatti ja sydämen lyöntitiheys*

Laktaatin (La) määrittystä (Biochemica Boehringer GMBH, Mannheim Germany) varten otettiin verinäyte sormenpäältä ennen kuormitusta ja jokaisen voimamittauksen jälkeen sekä kahdessa palautusmittauksessa. Sydämen lyöntitiheys mitattiin sykemittarin (Sport Tester PE-3000, Polar Electro, Kempele Finland) avulla koko mittausjakson ajalta.

7.4 *Lajinomainen kuormitus*

Kokonaiskuormitusaika oli otteluajanmukaisesti 4x2'11'. Liikkuminen tapahtui säkin ja kääntöpaikan välillä, joiden etäisyys toisistaan oli kaksi metriä. Säkillä lyöntejä iskettiin suoria 5 sekunnin ajan vuorokäsin kilpailutekniikan omaisesti ja lyöntisarjojen välillä käytiin kiertämässä kartio (säkkiä kohti liikuttiin eteenpäin ja sieltä pois päin taaksepäin). Kuormitusjaksot kuvattiin videolle (Panasonic, Ja-

pan; 25 kuvaa/s.), josta laskettiin koehenkilöiden isku- ja sarjamäärät jokaisesta kuormituserästä.

7.5 Voimamittaukset

Lyöntivoiman mittauksessa nyrkkeilijä seiso valitsemallaan etäisyydellä seinätyynystä. Jalkojen paikat merkittiin markkereilla, jolloin jalka-asento ja etäisyys olivat kaikissa lyöntisuorituksissa samat. Molempien jalkojen alla oli voimalevyanturit (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto), joista rekisteröitiin alustaan kohdistuvia voimia 3-dimensionaalisesti. Lyönnin törmäysvoima mitattiin seinätyynyn takana olevan voimalevyanturin avulla. Koehenkilö löi kolme yksittäistä oikea suoraa ennen kuormitusta ja jokaisen kuormituserän jälkeen. Lyöntisuoritus tapahtui maksimaalisesti ja kilpailutekniikanomaisesti.

7.6 Lyöntitekniikka

Koehenkilöiden lyöntisuoritukset voimamittauksen aikana kuvattiin NAC-kameralla (200 kuvaa/sekunti). Tämän jälkeen video digitoitiin ja siitä otettiin pysäytyskuvia koehenkilöiden lyöntitekniikan analysointia varten.

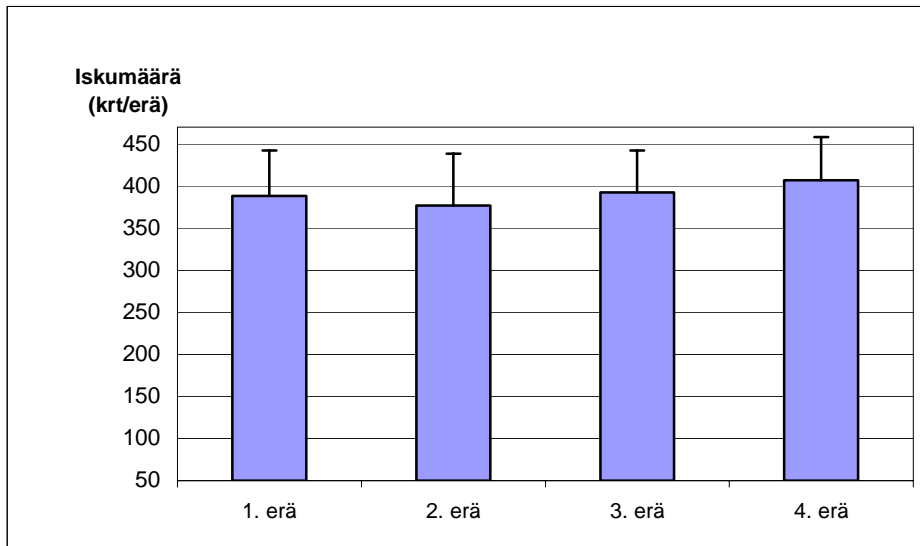
7.7 Aineiston tilastollinen käsittely

Aineiston käsittelyyn käytettiin SPSS tilasto-ohjelmaa. Aineistosta taulukoitiin tavanomaiset tilastolliset muuttujat: keskiarvot ja keskihajonnat. Merkitsevyyksien määrittämiseen ryhmien välillä käytettiin toistomittausten Anova testiä. Merkitsevyydet p arvoilla * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ ja *** $p < 0.001$. Lisäksi huomioitiin pienen koehenkilöjoukon vuoksi myös lähes merkitsevät, suuntaa antavat $\alpha p < 0.1$ arvot.

8 TULOKSET

8.1 Lajinomainen kuormitus

Lajinomaisen kuormituksen aikana iskumäärien erot kahden minuutin kestoisten kuormituserien välillä eivät vaihdelleet suuresti (kuva 12). Koehenkilöt löivät kuormituserien aikana keskimäärin 391 iskua/erä. Neljännen kuormituserän aikana saavutettiin suurin iskumäärä (407 iskua/erä) ja vastaavasti toisen erän aikana iskumäärä oli pienin (377 iskua/erä). Kuormituserien iskumäärät eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi. Iskusarjojen määrässä ei ollut myöskään eroavaisuuksia, sillä kaikkien koehenkilöiden sarjojen määrä oli kuormituserien aikana 13 – 14.

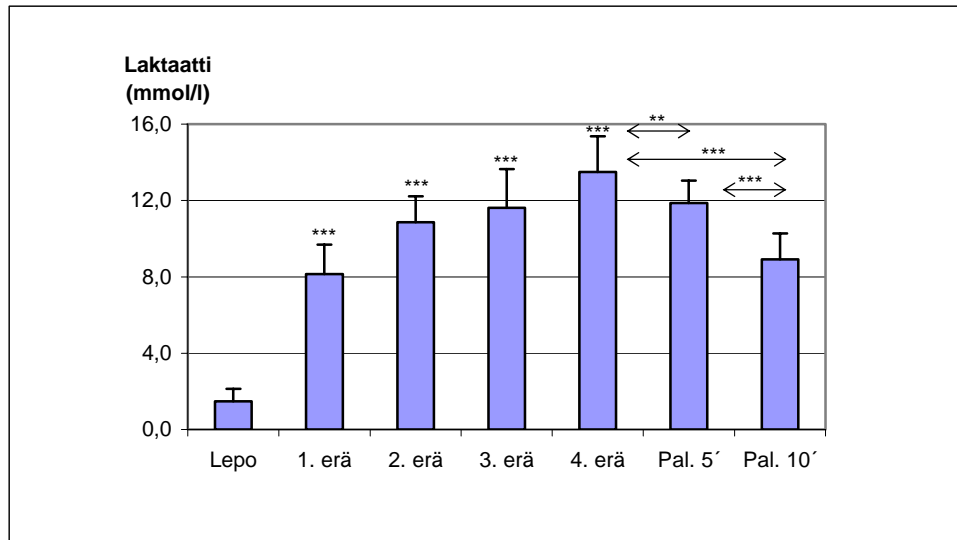


Kuva 12. Lyöntimäärät kuormituserittäin.

8.2 Laktaatti ja sydämen lyöntitiheys

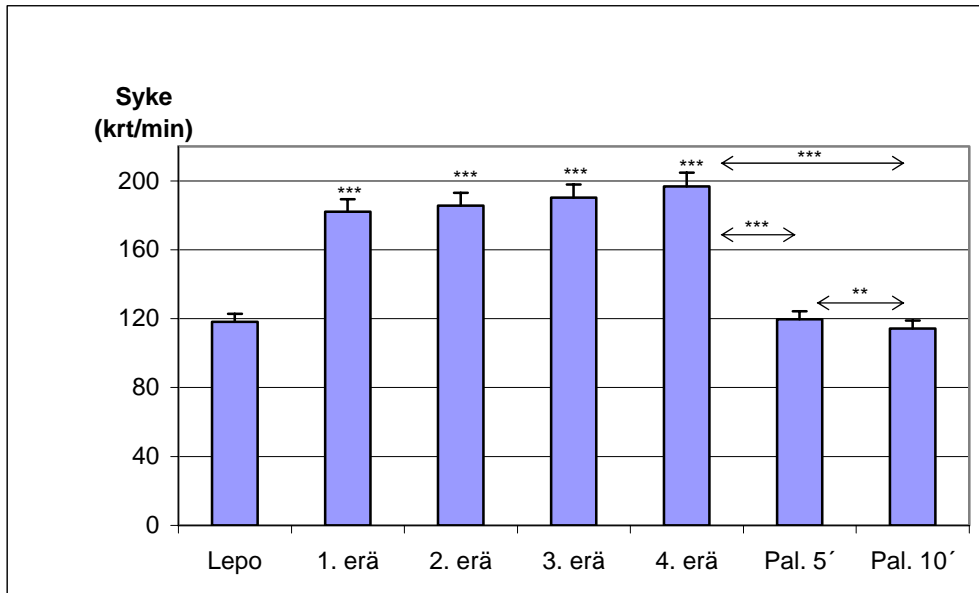
Veren laktaattiarvot nousivat jokaisen kuormitusjakson aikana. Arvojen nousu oli merkitsevää ($p < 0.001$) kaikkien kuormituserien välillä. Ensimmäisen kuormituserän jälkeen veren laktaattiarvo oli keskimäärin 8.1 mmol/l ja viimeisen kuormituserän jälkeen laktaattiarvo oli noussut keskimäärin 13.5 mmol/l-tasolle (kuva 13). Laktaatin poistumiskyvyn arvioinnissa 5 minuutin palautumisen jälkeen poistumiskyky oli kohtalaisella tasolla ja 10 minuutin palautumisjakson jälkeen hyvällä tasolla. Tilastollisesti laktaattipitoisuudet vähenivät merkitsevästi sekä 5 ($p < 0,01$) ja 10 ($p < 0.001$) minuutin palautuksen aikana verrattuna viime-

sen kuormituserän arvoon. Laktaattipitoisuus väheni myös tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) verrattessa 5´ ja 10´ palautuksia toisiinsa.



Kuva13. Veren laktaattipitoisuudet.

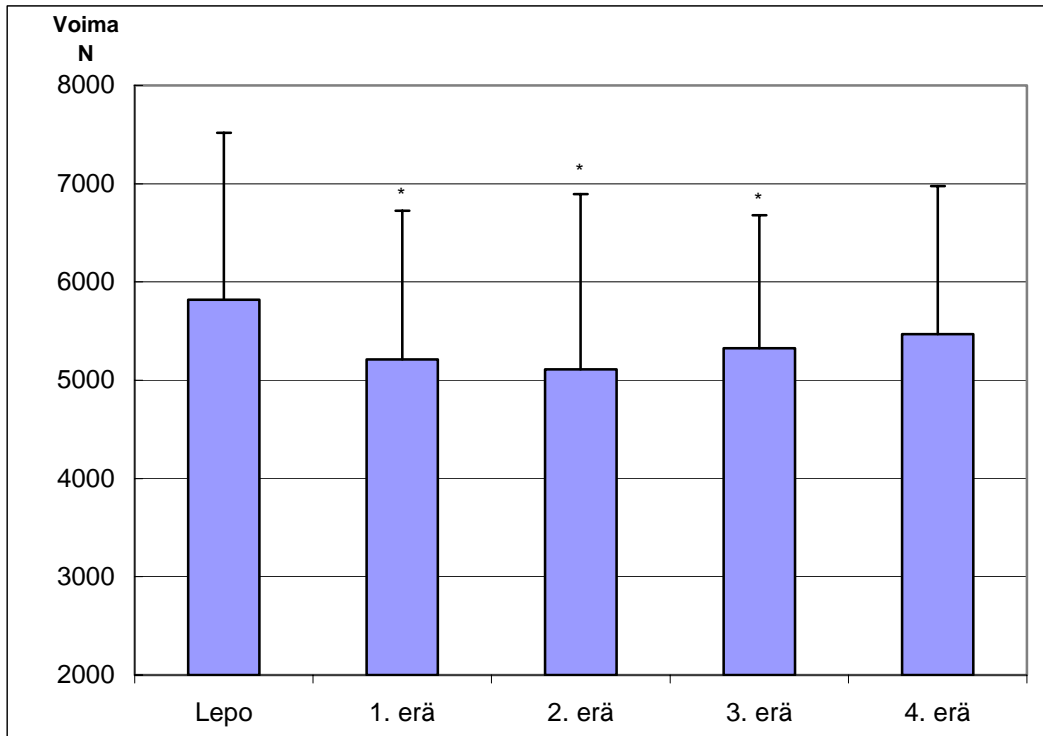
Sydämen lyöntitiheys kasvoi vastaavasti jokaisen kuormitusjakson välillä. Syketiheyden nousu oli merkitsevää ($p < 0.001$) kaikkien kuormituserien välillä. Korkeimmillaan sydämen lyöntitiheys oli neljännen kuormituserän jälkeen (keskimäärin 197 krt/min) ja syketiheys nousi keskimäärin 5 yksikköä/kuormituserä (kuva 14). Palautussykkeet olivat 5 ja 10 minuutin palautusjaksojen jälkeen alle lähtötason ja tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) alhaisempia kuin viimeisen kuormituserän jälkeen. Sydämen lyöntitiheys aleni myös tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.01$) palautusjaksoja (5´ ja 10´) verratessa.



Kuva 14. Sydämen lyöntitiheys.

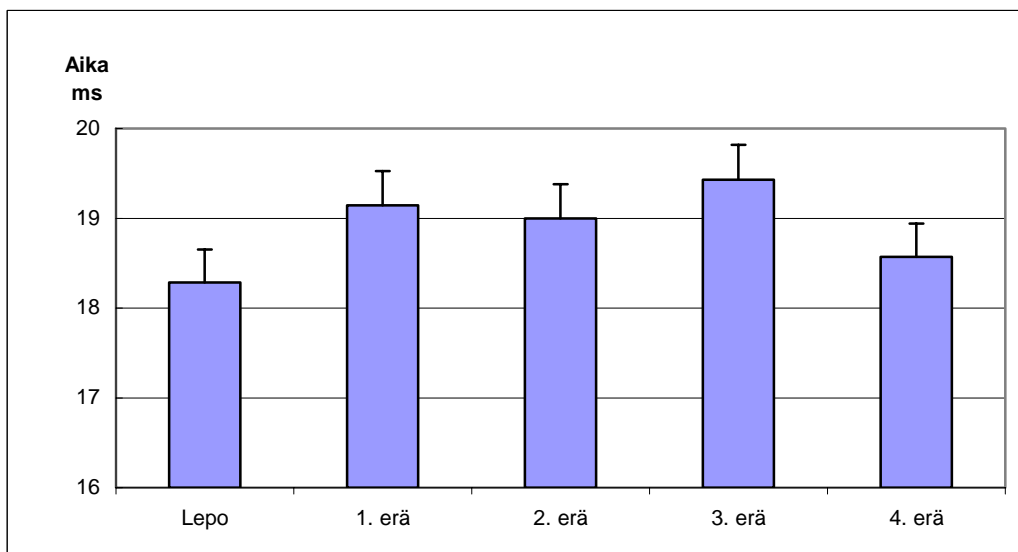
8.3 Lyöntivoimat

Voimamittauksissa lyönnin törmäysvoimissa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja. Ennen kuormitusta lyödyn oikean suoran törmäysvoima oli merkitsevästi ($p < 0.05$) suurempi kuin 1., 2. ja 3. kuormituserän jälkeen lyödyssä iskussa. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu ennen kuormitusta lyötyä törmäysvoimaa verrattaessa 4. kuormituserän jälkeisiin törmäysvoimiin. Suurin törmäysvoima saavutettiin ennen kuormitusta (5 818 N) ja vastaavasti alhaisin törmäysvoima oli toisen kuormituserän jälkeen (5 110 N) (kuva 15).



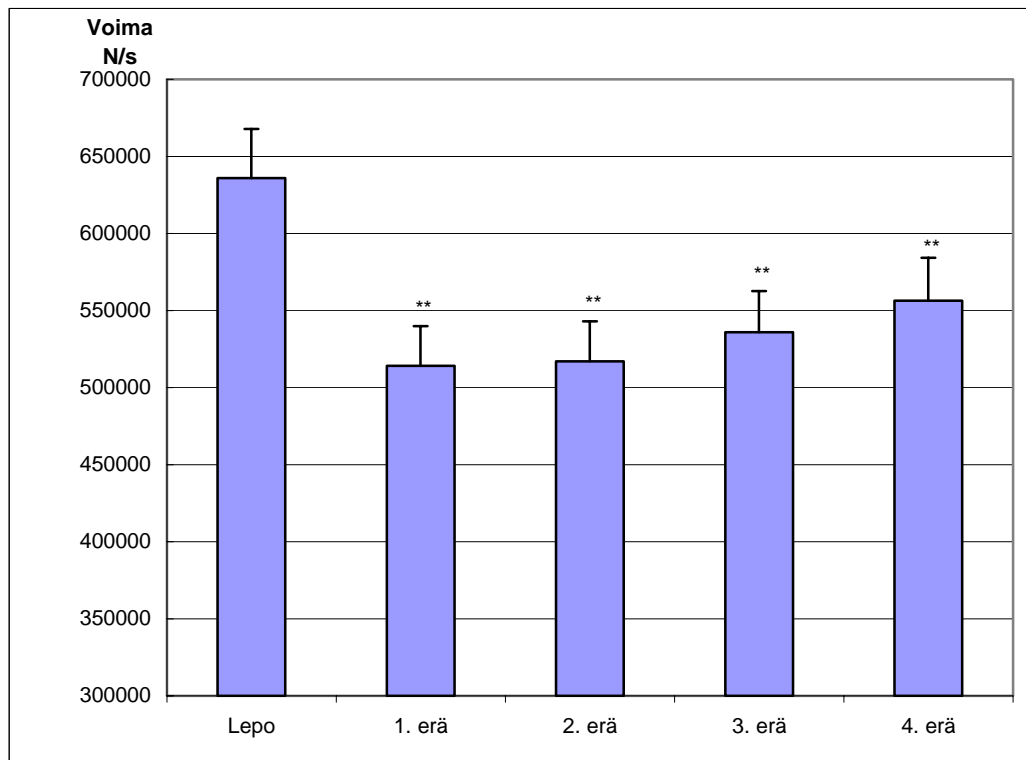
Kuva 15. Oikean suoran törmäysvoimat.

Maksimaalisen törmäysvoiman saavuttamisaikojen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Ennen kuormitusta maksimaalinen törmäysvoima saavutettiin nopeimmiten (18,3 ms) ja kolmannen kuormituserän jälkeen saavuttamisaika kesti pisimpään (19,4 ms) (kuva 16).



Kuva 16. Maksimaalisen törmäysvoiman saavuttamisaika.

Maksimaalisen voimantuottonopeuden osalta havaittiin merkittäviä eroja ($p < 0.01$) kaikkien kuormituserien ja ennen kuormitusta tehtyjen suoritusten välillä. Maksimaalinen voimantuotto oli suurinta ennen kuormitusta (635 975 N/s) ja alhaisinta 1. kuormituserän jälkeen (514 041 N/s) (kuva 17).



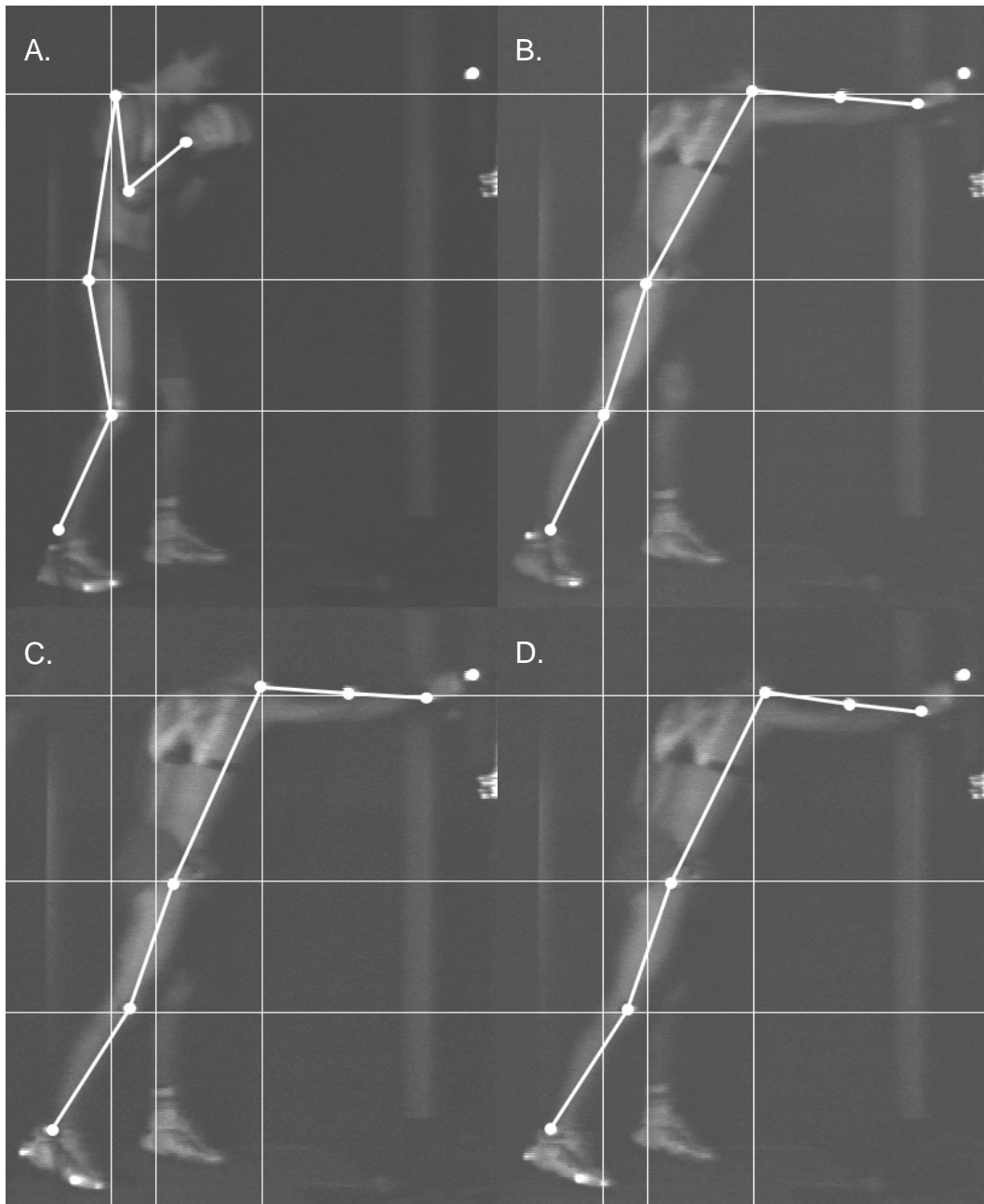
Kuva 17. Maksimaalinen voimantuottonopeus.

Maksimaalisen voimantuottoajan kohdalla havaittiin tilastollisesti lähes merkitseviä tai merkitseviä ($p < 0.1-0.05$) eroja ennen kuormitusta ja kahden ensimmäisen kuormituserän välillä. Maksimaalinen voima tuotettiin nopeimmin ensimmäisen kuormituserän jälkeen (6.4 ms) ja hitaammin kolmannen ja neljännen kuormituserän jälkeen (7.7 ms).

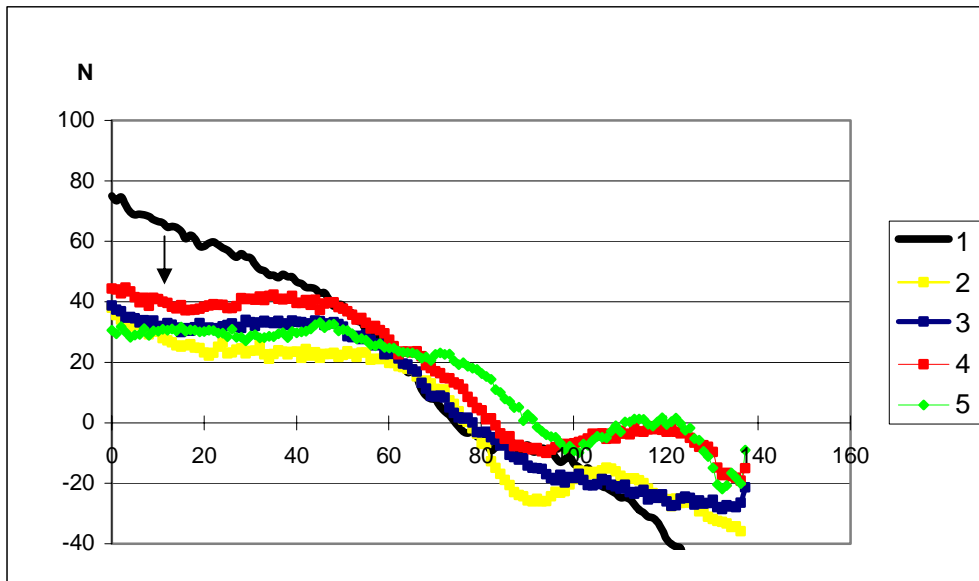
8.4 Lyöntitekniikka

Lyöntitekniikkaa analysoidessa havainnoitiin lyöntisuorituksissa tapahtuvia muutoksia. Väsymyksen lisääntyessä lyöntisuorituksessa oli selkeästi havaittavissa painon voimakkaampi siirtyminen eteenpäin (kuva 18). Lyöntiliikkeen tekniikan seuraamisen lisäkontrollina seurattiin jalkojen voimia. Molempien jalkojen alla oli voimalevyanturit, joista tarkkailtiin x-, y- ja z-suuntaisia voimia. Selkeimmät erot olivat havaittavissa y-suuntaisissa voimissa. Ennen kuormitusta tapahtu-

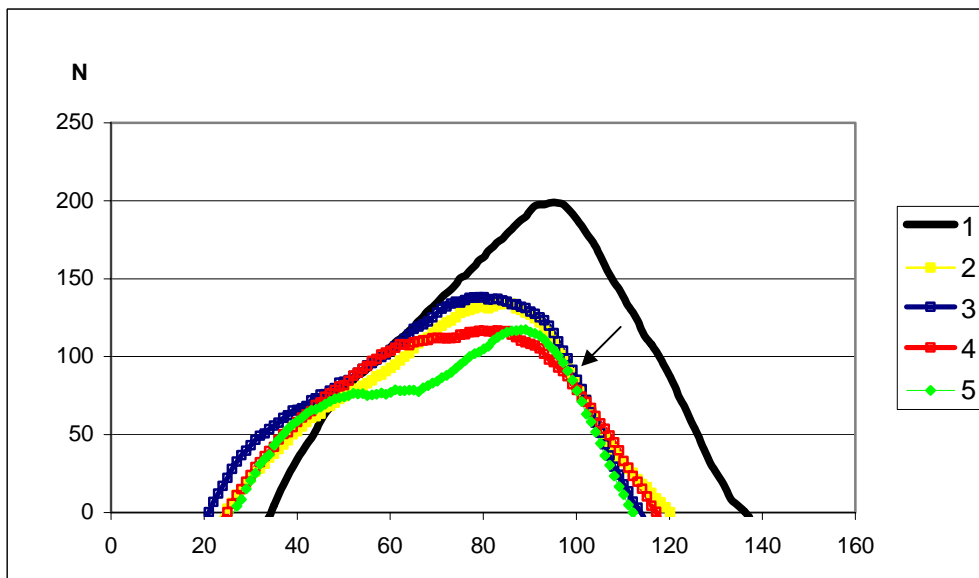
neessa lyönnissä tuotettiin oikealla jalalla eniten y-suuntaista voimaa ennen lyönnin kontaktihetkeä (kuva 19). Vastaavasti lyönnin loppuvaiheessa vasemman jalan y-suuntainen voima oli suurinta ennen kuormitusta tapahtuneessa lyönnissä (kuva 20). Lyöntiliikkeen palautumisvaiheessa havaittiin, että tasapainon saavuttaminen oli huomattavasti hitaampaa jälkimmäisten kuormituserien jälkeen.



Kuva 18. Alkuasento (A.), lyöntiliike levossa (B.), 2. kuormituserän (C.) ja 4. kuormituserän jälkeen (D.).



Kuva 19. Oikean jalan voima-aikakäyrät.



Kuva 20. Vasemman jalan voima-aikakäyrät.

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätulokset osoittavat, että lajinomainen kuormitus (4x2 min.) heikentää lyönnin törmäysvoimaa ja lajiteknistä suoritusta. Lajinomaisessa kuormituksessa veren laktaattipitoisuus ja sydämen syke nousivat kaikkien kuormituserien aikana tilastollisesti merkitsevästi. Kuormituserien aikana lyötyjen iskujen ja sarjojen määrät eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Veren laktaattipitoisuus nousi ensimmäisen kuormituserän aikana keskimäärin 8.1 mmol/l-tasolle ja viimeisen kuormituserän jälkeen pitoisuus oli keskimäärin 13.5 mmol/l-tasolla. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna laktaattipitoisuudet olivat 1. kuormituserän jälkeen samalla tasolla, mutta nousivat korkeammalle tasolle viimeisten erien aikana (Hirvonen ym. 1985, Sipilä 1996). Ottelutilanteissa tehtyyn tutkimukseen verrattaessa voidaan havaita laktaattipitoisuuksien nousseen korkeammalle tasolle kaikissa kuormituserissä (Sipilä 1996).

Veren laktaattipitoisuuksien tulkinnassa on huomioitava koehenkilöiden taso, harjoitustausta, motivaatio ja testin ajankohta. Nyt tehdyssä tutkimuksessa kaikki koehenkilöt olivat kansainvälisen tason nyrkkeilijöitä ja heidän motivaationsa ko. testiin oli erinomainen. Testin ajankohta oli kesäkuussa, jolloin koehenkilöillä oli takana siirtymäkausi harjoittelussa ja he olivat juuri aloittaneet uuden peruskuntokauden. Tehoharjoitteita ei siis ollut tehty yli kuukauteen. Verrattaessa laktaattiarvoja ottelutilanteissa tehtyihin tutkimuksiin on huomioitava, että otteluissa ne voivat vaihdella merkittävästi riippuen ottelun temposta ja vastustajan tasosta.

Sydämen lyöntitaajuus nousi tasaisesti kaikkien kuormituserien aikana. Kuormitusmalli johti väsymyksen kumulatiiviseen lisääntymiseen, joten sydämen syke kasvoi sen mukaisesti ja olikin viimeisen kuormituserän jälkeen lähellä maksimaalista tasoaan. Syketaajuudet olivat kuormituserien jälkeen samalla tasolla verrattaessa aikaisempiin tutkimuksiin (Hirvonen ym. 1985, Keul ym. 1972, Sipilä 1996).

Lyöntimäärä kuormituserissä oli alhaisimmillaan 2. kuormituserän aikana, jonka jälkeen se nousi 3. ja 4. kuormituserässä määrällisesti suuremmaksi kuin 1. kuormituserässä. Keskimääräisesti 3. ja 4. kuormituserässä lyöntimäärä kasvoi

30 iskuja eli noin 2 iskuja/sarja. Iskumäärin vaikuttavia tekijöitä olivat väsymys ja suoritustekniikka. Lyöntimäärien kasvun määräävänä tekijänä olivat suoritustekniikan muutokset. Iskuja lyötiin jälkimmäisissä kuormituserissä enemmän, mutta lyöntiteho laski niistä merkittävästi. Iskut suoritettiin jälkimmäisissä kuormituserissä pääosin käsillä eikä enää kyetty käyttämään jalkojen ja/tai keskivartalon apua lyöntisuorituksissa. Lyöntisarjojen määrässä ei havaittu eroa. Jaloilla jaksettiin tehdä töitä samalla suoritusnopeudella koko kuormituksen ajan.

Törmäysvoimissa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja ennen kuormitusta lyödyn oikea suoran ja 1., 2. sekä 3. kuormituserien välillä. Viimeisen kuormituserän jälkeisissä törmäysvoimissa ei ollut tilastollista merkitsevyyttä verrattaessa niitä ennen kuormitusta tehtyyn suoritukseen. Törmäysvoima oli kuitenkin suurin ennen kuormitusta tapahtuneessa iskussa ja alhaisimmillaan 2. kuormituserän jälkeen.

Törmäysvoimien muutokset kuormituserien välillä on selitettävissä väsymyksen, psyykkisten tekijöiden ja suoritustekniikan muutoksilla. Kuormituksesta seurannut voimakas hajoamistuotteiden (laktaatti ja vetyionit) kerääntyminen lihakseen johti lihasväsymykseen. Veren pH:n lasku aiheutti voimantuottokyvyn heikkenemistä kaikilla koehenkilöillä. Syynä tähän on se, että pH:n lasku aiheuttaa poikittaissiltojen määrän vähenemisen ja/tai yhden poikittaissillan tuottaman voiman vähenemisen (Fitts 1994). Toinen merkittävä voimantuottokyvyn heikkenemiseen vaikuttanut tekijä oli Ca^{2+} vapautumisen heikkeneminen. Solunsisäisen Ca^{2+} vapautumisen pienenemisen on todettu olevan yhteydessä väsymiseen ja voimantuoton heikkenemiseen. Kaikki tekijät, jotka vaikuttavat Ca^{2+} vapautumiseen tai poistumiseen vaikuttavat osaltaan myös väsymisen suuruuteen ja voimantuoton laskuun (Hill ym. 2001). Psykkisillä tekijöillä on osittain selitettävissä, että törmäysvoimat kasvoivat jälkimmäisissä kuormituserissä verrattuna kahteen ensimmäiseen kuormituserään. Maksimaalisen lyöntisuorituksen lyöminen seinätyynyyn aiheuttaa erittäin suuren kuormituksen kämmenen ja ranteen luille. Nyrkit ovat nyrkkeilijöille tärkein ”työväline” urheilusuorituksessa. Käsivamman syntymisen riski on kohtuullisen suuri silloin, kun lyödään maksimaalisesti lähes joustamattomaan maaliin. Näin ollen koehenkilöillä oli testin alkuvaiheessa voimakkaampia estotiloja maksimaalisen lyöntisuorituksen tekemiseen kuin testin jälkimmäisissä kuormituserissä. Väsymystila oli testin

loppuvaiheessa jo niin suuri, että erilaiset pelko- ja estotilat eivät vaikuttaneet enää niin vahvasti koehenkilöiden psyykkeeseen.

Maksimaalisen törmäysvoiman saavuttamisajoissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja kuormituserien välillä. Ennen kuormitusta maksimaalinen törmäysvoima saavutettiin nopeimmin ja kolmannen kuormituserän jälkeen se kesti vastaavasti pisimpään. Saavuttamisaikojen hidastumisen syynä voidaan pitää sentraalisia tekijöitä. Sentraalinen väsymys johtaa keskushermoston toiminnan vajavuuteen, joka ei kykene käskyttämään motoneuroneja normaalisti (Enoka 2002). Hermostollisen käskyttävyyden väheneminen johti siihen, että koehenkilöiden nopeustasot laskivat kuormituksen ja väsymyksen lisääntyessä. Viimeisen kuormituksen jälkeen tehdyssä mittauksessa koehenkilöt saivat motivoitua itsensä paremmin, jolloin motoneuroneiden käskyttäminen onnistui paremmin sentraalisella tasolla.

Maksimaalisen voimantuottonopeuden osalta havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja kaikkien kuormituserien ja ennen kuormitusta tehdyn suorituksen välillä. Maksimaalinen voimantuottonopeus oli suurimmillaan ennen kuormitusta ja alhaisinta ensimmäisen kuormituserän jälkeen. Muutokset ovat selitettävissä väsymyksen ja psyykkisten tekijöiden muutoksilla. Samoin kuin törmäysvoimissa voimakas hajoamistuotteiden kerääntyminen lihaksiin aiheutti voimantuoton alenemisen (Fitts 1994). Jälkimmäisissä erissä psyykkisten estojen väheneminen edesauttoi voimakkaamman ja rohkeamman suorituksen tekemisen.

Maksimaalisissa voimantuottoajoissa havaittiin tilastollisesti lähes merkitseviä ja merkitseviä eroja ennen kuormitusta ja kahden ensimmäisen kuormituserän välillä. Maksimaalinen voima tuotettiin nopeinten ensimmäisen kuormituserän jälkeen ja eniten siihen tarvittiin aikaa kolmannen ja neljännen kuormituserän jälkeen. Voimantuottoaikoihin vaikuttava nopeustason aleneminen johtui neuronisesta väsymyksestä, joka vaikuttaa erityisesti nopeisiin motorisiin yksiköihin. Metabolisilla tekijöillä on myös suora yhteys tähän ilmiöön.

Lyöntitekniikassa havaittiin eroja väsymyksen lisääntyessä. Väsymyksen lisääntyessä lyöntisuorituksessa oli selkeästi havaittavissa kehon painopisteen voimakkaampi siirtyminen eteenpäin. Jalkojen voimia tarkkailtaessa selkeimmät erot olivat havaittavissa vaakasuuntaisissa (eteen-taakse) voimissa. Ennen

kuormitusta lyödyssä oikeassa suorassa tuotettiin oikealla jalalla eniten vaakasuuntaista voimaa ennen lyönnin kontaktihetkeä. Vastaavasti lyönnin loppuvaiheessa vaakasuuntainen voima oli suurinta ennen kuormitusta tapahtuneessa lyöntisuorituksessa. Lyöntiliikkeen palautumisvaiheessa havaittiin, että tasapainon saavuttaminen oli huomattavasti hitaampaa jälkimmäisten kuormituserien jälkeen.

Väsymyksen lisääntyessä tasapainon säilyttäminen oli vaikeampaa kuin ennen kuormitusta. Jalkojen lihaksia jouduttiin tällöin käyttämään enemmän tasapainon säilyttämiseen, jolloin varsinaiseen lyöntisuoritukseen ei kyetty hyödyntämään jalkojen lihasten voimantuottoa niin paljon kuin ennen kuormitusta. Tämän lisäksi väsymyksen aiheuttanut lihasten ja veren happamuus vaikutti voimantuotto-ominaisuuksien heikkenemiseen (Fitts 1994). Koehenkilöt kompensoivat väsymyksen aiheuttamaa voimantuotto-ominaisuuksien alenemista lyöntisuoritusten teknisillä muutoksilla. Kuvasta 18 on selkeästi havaittavissa, että lyöntisuorituksissa kehon painopiste siirtyi kokonaisuudessaan eteenpäin enenevässä määrin kuormituserien lisääntyessä. Väsymyksen lisääntyessä lantion ja polven nivelpisteet ovat huomattavasti edempänä kuin levossa lyödyssä lyönnissä. Viimeisen kuormituserän jälkeisessä lyöntisuorituksessa myös olkapään nivelpiste on edempänä ja kyynärpään nivelpiste alempana kuin aikaisemmin lyödyissä iskuissa. Näin koehenkilöt pystyivät kehon painopistemuutoksen avulla lisäämään lyönnin voimaa. Tämä tekninen muutos lyöntisuorituksessa aiheutti vaikeuksia tasapainossa ja ennen kaikkea vaikeudet korostuivat lyöntisuorituksen palautumisvaiheessa. Filimovin ym. (1985) mukaan nyrkkeilijöiden taso on todennettavissa käsien, vartalon kierron ja jalkojen koordinaatiosta sekä kyvystä tuottaa voimaa jaloilla lyöntisuorituksessa. Levossa suoritettussa lyönnissä koehenkilöt suorittavat lyöntisuorituksensa huipputason mukaisesti, mutta väsymyksen lisääntyessä lyöntisuorituksen tekninen taso laski alempaan luokkaan.

9.1 Valmennukselliset näkökohdat

Ottelutilanteessa tasapainon säilyttäminen on erittäin tärkeää. Yksittäisiä iskuja ja sarjoja lyödessä tasapainon säilyttäminen korostuu, koska lyöntitilanteista on pystyttävä siirtymään nopeasti ja suojatusti pois. Toisaalta jatkohyökkäyksiä

tehtäessä tasapainon on myös oltava kunnossa edellisten lyöntisuoritusten jälkeen. Tasapainon menettäminen lyöntisuorituksen aikana altistaa nyrkkeilijän helpommin vastustajan vastaiskuihin. Väsymyksen lisääntyessä oikean käden palautumisrata muuttui siten, ettei käsi palautunut suoraviivaisesti kontaktin jälkeen leualle. Laajentunut palautumiskaari heikentää huomattavasti nyrkkeilijän suojausta. Tämän lisäksi lyöntisarjojen lyöminen myös hidastuu, koska käden palautumisaika lisääntyy. Väsymyksen aiheuttamat lihasperäiset ja tekniset muutokset aiheuttavat voiman, voimantuoton ja nopeuden sekä oman puolustuksen heikkenemistä.

Jalkojen nopeus- ja lihaskestävyysominaisuuksien merkitys kasvaa kova tempoisissa kansainvälisissä otteluissa ja turnauksissa. Valmennuksellisesti olisi ehdottomasti huomioitava enemmän kehittäviä harjoitteita jalkalihasten harjoittamiseen. Tällä hetkellä jalkojen harjoittaminen perustuu pitkälti lajinomaisten harjoitteiden tekemiseen. Harjoitusohjelmaa tehtäessä ja toteuttaessa olisi syytä huomioida erilaisia tukiharjoitteita, jotka kehittäisivät jalkojen nopeus- ja lihaskestävyysominaisuuksia. Näiden ominaisuuksien kehittäminen edesauttaisi lajitekniikan ja tehon säilymisen paremmin ratkaisevissa päätöserissä ja pitkissä kansainvälisissä turnauksissa.

9.2 Kritiikkiä tutkimuksen suorittamisesta

Koehenkilöiden määrä olisi voinut suurempi, jotta tutkimustulokset olisivat tilastollisesti luotettavammat. Eri painoluokissa olevien nyrkkeilijöiden vertaileminen ei myöskään onnistunut näin pienellä koeryhmäjoukolla.

Kuormitusmallia olisi voinut miettiä enemmän ottelunomaisemmaksi, jotta tulokista olisi voinut paremmin tehdä suorja johtopäätöksiä kilpailutekniikkaan ja sen muutoksiin sekä niistä seuraaviin muutoksiin voimatuotto-ominaisuuksissa. Testin ajankohta olisi voinut olla myös kilpailukaudella, jolloin koehenkilöiden maksimaalinen suorituskyky olisi ollut paremmalla tasolla.

9.3 Jatkotutkimuksen aiheita

Jatkotutkimuksissa voitaisiin kuormitus tehdä ottelunomaisesti. Olisi mielenkiintoista myös tutkia lyöntisuorituksen lihasaktivaatiomalleja ja niiden muutoksia

EMG-mittausten avulla. Tutkimuksen kohteena voisi olla myös erilaiset lyöntitekniikat (suorat, ala- ja yläkoukut) sekä mahdolliset yksinkertaiset lyöntisarjat.

10 LÄHDELUETTELO

- Asmussen, E. (1976) Muscle fatigue. *Med. and Sci. in Sports*, 11, 4, 313-321.
- Atha, J., Yeadon, M.R., Sandover, J. & Parsons, K.C. (1985) The damaging punch. *British Medical Journal*, vol. 291, 1756-1757.
- Bigland-Ritchie, B., Jones, D.A., Hosking, G.R. & Edwards, R.H.T. (1978) Central and peripheral fatigue in maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clin.Sci.Nol. Med.*, 54, 604-616
- Bigland-Ritchie, B. (1981) EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exr.Sport Sci.Rev.*, 9, 75-117.
- Byrd, S.K., McCutcheon, L.J., Hodgson, D.R. & Gollnick, P.D. (1989) Altered sarcoplasmic reticulum function after high-intensity exercise. *J.Appl.Physiol.*, 67, 2072-2077.
- Chapman, A.E. & Caldwell, G.E. (1984) Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *J.Biomechanics*, 16(1), 79-83.
- Durnin, J.V.G.A. & Womersley, J. (1974) Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.*, 32, 77-97.
- Edington, D. & Edgerton, V.R. (1976) *The biology of physical activity*. Boston: Houghton Mifflin Co.
- Edwards, R.H.T. (1981) Human muscle function and fatigue. Human muscle fatigue: physiological mechanisms. *Ciba Foundation Symposium*. 82, 1-18, Pitman Medical, London
- Edwards, R.G. & Lippold, D.C.J. (1956) The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. *J.Physiol.*, 132, 677-681.
- Enoka, R.M. (2002) *Neuromechanics of human movement*. 3rd edition. Human Kinetics Publishers, Champaign IL.
- Filimonov, V.I., Koptsev, K.N., Husyanov, Z.M. & Nazarov, S.S. (1985) Means of increasing strength of the punch. *NSCA Journal*, vol. 7(6), 65-66.

- Fitts, R.H. (1994) Cellular Mechanics of muscle fatigue. *Physiol.Rev.* 74(1), 49-94.
- Fitts, R.H. & Metzger, J.M. (1988) Mechanisms of muscular fatigue. In: J.R. Poortmans (ed.), *Principles of exercise biochemistry*. Basel: Karger.
- Gandevia, S. (1994) Some general peripheral factors affecting human motor-neural output in neuromuscular fatigue. *Sports Medicine*, 13(2), 93-98.
- Gibson, H. & Edwards, R. (1985) Muscular exercise and fatigue. *Sports Med.*, 2, 120-132.
- Green, H. (1987) Neuromuscular aspects of fatigue, *Can.J.Spt.Sci.*, 12(suppl. 1), 7S-19S.
- Guyton, A.C. (1986) *Textbook of Medical Physiology*. W.B. Saunders Company
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2001) *Textbook of Medical Physiology*. 10th edition.
- Hill, C.A., Thompson, M.W., Ruell, P.A., Thom, J.M. & White, M.J. (2001). Sarcoplasmic reticulum function and muscle contractile character following fatiguing exercise in humans. *J. Physiol.*, 531(3): 871-878.
- Hirvonen, J., Holappa, H. & Pallaspuuro, E. (1985) Nyrkit viuhumaan. Valmennus ja kuntoilu, 44-45.
- Hromov, N. (1985) TUL:n nyrkkeilyvalmentajakoulun luentomateriaali. Keskus.
- Häkkinen, K. (1990) *Voimaharjoittelun perusteet*. Gummerus kirjapaino Oy.
- Joch, W., Fritche, P. & Krause, I. (1981) Biomechanical analysis of punching in boxing. In: Morecki, A., Fidelus, K., Kenzior, K. & Wit, A. (toim.) *Biomechanics VII-A*. Baltimore: University Park Press, 343-349.
- Jung, R. (1984) Haltung und Bewegung beim Menschen. *Physiologie. Pathophysiologie, Gangentwicklung und Sporttraining*. Springer-Verlag. 29-34.
- Keul, J., Doll, E. & Kepler, D. (1969) *Muskelstoffwechsel*. Munchen: Johan Ambrosius Barth.

- Keul, J., Doll, E. & Keppler, D. (1972) Energy metabolism of human muscle. Karger. Basel.
- Komi, P.V. (1984) Physiological and biomechanical correlates of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. Teoksessa Terjung, R. (toim.) Exercise and Sport Science Reviews (vo. 12). The Collamore Press, USA, 81-121.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. (1996) Exercise Physiology. 4th edition, Baltimore: Williams & Wilkins. 13-14, 102-103, 130, 189, 315-355.
- Moore, K.L. & Dalley, A.F. (1999) Clinically Oriented Anatomy. 4th edition. Lippincott Williams & Williams, Philadelphia, USA.
- Pallaspuro, E. (1985) Nyrkkeilyn seuravalmentajakoulu – B-lajiosa. Suomen nyrkkeilyliitto.
- Pallaspuro, E. (1995) Nyrkkeilyn lajikestävyystesti. Varalan urheiluopisto.
- Picchio, A.A., Zin, R. & Sarbini, S. (1985) Le Lesioni traumatiche della spalla e sel gomito nel pugilato. Italian Journal of sports traumatology, 7/(3), 189-193.
- Repnikov (1983) Olympic Solidarity –seminaari. Neuvostoliiton urheilukomitea.
- Sahlin, K. (1983) Effects of acidosis on energy metabolism and force generation in skeletal muscle. Teoksessa Knuttgen, H.G., Vogel, H.G. & Poortmans, J. (toim.) Biochemistry of exercise, Int.Ser.Sports Science. Champaign: Human Kinetics, 151-160.
- Sahlin, K. (1986) Muscle fatigue and lactic acid accumulation. Asta Physiol.Scand., 128(suppl. 556), 83-91.
- Sipilä, A. (1996) Seminaarityö. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos.
- Stephens, J.A. & Taylor, A. (1972) Fatigue of maintained voluntary muscle contractions in man. J.Physiol., 220, 1-18.
- Tortora, G.J. & Grabowski, S.R. (1996) Principles of anatomy and physiology. 8th edition.

- Valentino, B., Esposito, L.C. & Fabozzo, A. (1990) Electromyographic activity of muscular group in movements specific to boxing. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30, 160-162.
- Westerblad, H. & Lännegren, J. (1991) Slowing of relaxation during fatigue in single mouse muscle fibers. *J.Physiol. (Lod.)*, 434, 323-336.
- Westerblad, H., Lee, J.A., Lännegren, J. & Allen, D.G. (1991) Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *Am.J.Physiol.*, 261(Cell physiol. 30), C195-C209.
- Westerblad, H. & Allen, D.C. (1992) Changes of intracellular pH due to repetitive stimulation of single fibers from mouse skeletal muscle. *J.Physiol. (Lod.)*, 434, 323-336.
- Whiting, W.C., Gregor, R.J. & Finerman, G.A. (1988) Kinematic analysis of human upper extremity movements in boxing. *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 2, 130-136.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (1999) *Physiology of Sport and Exercise*. 2nd edition, Champaign IL: Human Kinetics Publishers. 28-79.
- Yman, M. & Starring, C. (1992) Vinnande tekniska kvaliteter. En undersökning av boxares slagprecision. Svenska boxningförbundet.
- Åstrand, P-O; & Rodahl, K. (1986) *Textbook of work physiology*. McGraw-Hill Book Company. USA.