

**YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN
VAIKUTUKSET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN SEKÄ HENGITYS-
JA VERENKIERTOELIMISTÖN SUORITUSKYKYYN**

Susanna Romu

Liikuntafysiologian pro gradu –tutkielma

Syksy 2001

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Susanna Romu. 2001. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmän sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn. Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. 77 s.

Kestävyysharjoittelun tiedetään parantavan hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa, lihasten oksidatiivista kapasiteettia ja rasvojen hapetuskykyä. Voimaharjoittelun on todettu aiheuttavan neuraalisia ja hypertrofisia adaptaatioita, joilla on vaikutusta voimankasvuun. Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu suhteellisen vähän. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ei ole todettu heikentävän kestävyysominaisuuksien kehittymistä, mutta voiman kasvua sen on todettu rajoittavan etenkin harjoittelun myöhemmässä vaiheessa.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmän sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn. Tutkimus kesti 22 viikkoa. Voimaryhmä (n=16, ikä 38±5 v) teki viikoittain kaksi voimaharjoitusta ja voima-kestävyysryhmä (n=11, ikä 37±5 v) kaksi voima- ja kaksi kestävyysharjoitusta viikossa. Voimaharjoittelu oli maksimi- ja nopeusvoimatyypistä. Kestävyysharjoitukset olivat peruskestävyys- ja intervalliharjoituksia, ja ne toteutettiin pyöräillen, juosten/kävelen tai hiihtäen. Seurantamittaukset sisälsivät antropometrian lisäksi neuromuskulaarisia ja hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykymittauksia. Voimaryhmän bilateraalin alaraajojen ojentajien isometrinen maksimivoima kasvoi 22% (p<.001) ja dynaaminen maksimikuorma (1 RM) 21 % (p<.001). Voima-kestävyysryhmän vastaavat arvot olivat 21 % (p<.001) ja 22 % (p<.001). Bilateraalisen maksimivoimasuorituksen aikainen integroitu elektromyograafinen (iEMG) aktivaatio (500-1500 ms) lisääntyi merkitsevästi (p<.01) voimaryhmällä sekä oikeassa vastus lateralis (VLO) - että vasemmassa vastus lateralis (VLV) -lihaksessa. Voima-kestävyysryhmällä vastaava iEMG-aktivaatio kasvoi merkitsevästi (p<.001) VLV-lihaksessa. IEMG-aika -käyrän alkuvaiheen iEMG-aktivaatio (0-100, 0-500) lisääntyi merkitsevästi (p<.05) voimaryhmällä, mutta ei voima-kestävyysryhmällä. Voimantuottonopeus kasvoi voimaryhmällä bilateraalisisessa maksimivoimasuorituksessa 67 % (p<.01) ja laski voima-kestävyysryhmällä 4%, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Voimantuottonopeuksien ja kehon rasvaprosenttien muutoksissa oli ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevä ero (p<.001). Voima-kestävyysryhmän maksimaalinen hapenottokyky kasvoi 18,5 % (p<.001) ja teho 17 % (p<.001).

Tulokset osoittavat, että aikaisemmin harjoittelemattomien keski-ikäisten miesten on mahdollista kehittää lihasten maksimivoimaa merkitsevästi kahdesti viikossa toteutetulla voimaharjoittelulla. Isometrisen ja dynaamisen alaraajojen ojentajien maksimivoiman lähes yhtä suuri kasvu ryhmien välillä osoittaa, että kestävyysharjoittelu ei heikennä voiman kehittymistä 21 viikon harjoitusjakson aikana. Ryhmien yhtä suuri voimankehitys selittyy suurilta osin voimaharjoitusstimuluksen aiheuttamasta samansuuruisesta kehityksestä. Voimantuottonopeuden erilaisuutta voidaan selittää ryhmien erilaisilla nopeaa rekrytointia kuvaavilla iEMG-aktiivisuuksilla. Tulosten perusteella voidaan todeta, että kestävyysharjoittelu estää voimantuottonopeuden kehittymistä. Synä tähän saattavat olla kestävyysharjoittelun aiheuttamat muutokset lihassolujakaumassa ja verenkierron hormonipitoisuuksissa. Jatkotutkimuksissa huomiota tulisi kiinnittää erityisesti harjoittelun kuormittavuuteen ja harjoitusjakson pituuteen.

Avainsanat: yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu, lihasten voimantuotto, iEMG-aktivaatio, voimantuottonopeus, maksimaalinen hapenottokyky

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO- LIHASJÄRJESTELMÄSSÄ LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ	8
2.1 Voimaharjoittelun vaikutusmekanismit hermo-lihasjärjestelmässä	8
2.2 Voimaharjoittelun aiheuttamat harjoitusvasteet hermostossa lyhyellä ja pitkällä aikavälillä	10
2.2.1 Motorisen yksikön toiminta ja voimankasvu	11
2.2.2 Lihaksiston aktivointi ja voima-aika –riippuvuus.....	11
2.2.3 Ristivaikutus ja bilateraalin vaje	14
2.2.4 Muita hermoston toiminnassa havaittuja harjoitusvasteita.....	14
2.3 Voimaharjoittelun aiheuttamat muutoksessa lihaksessa.....	15
2.3.1 Lihassolun hypertrofian ja hyperplasian vaikutus voimantuotto-ominaisuuksiin	16
2.3.2 Lihassolujen muutosten ja lihassolujakauman vaikutukset voimantuottoon.....	18
3 KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYS- JA VERENKIERTOELIMISTÖN TOIMINNASSA LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ	20
3.1 Kestävyysharjoittelun periaatteet.....	20
3.2 Kestävyysharjoittelun vaikutukset elimistön rakenteessa ja toiminnassa	21
3.2.1 Sydän- ja verenkiertoelimistö.....	21
3.2.2 Hengityselimistö	22
3.2.3 Lihaksisto	23

3.3	Kestävyysharjoittelun vaikutukset aerobiseen tehoon ja kapasiteettiin	24
3.3.1	Maksimaalinen hapenottokyky	25
3.3.2	Submaksimaalinen kestävyys.....	27
3.4	Kestävyysharjoittelun yhteys suorituksen taloudellisuuteen	28
4	YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET ELIMISTÖSSÄ LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ	29
4.1	Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistäminen.....	29
4.2	Voimaharjoittelun vaikutukset kestävyysuoritukseen.....	30
4.3	Kestävyysharjoittelun vaikutukset voimantuottoon.....	31
4.4	Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset hermo- lihaskäytön toimintaan	32
4.4.1	Lihassolujen muutokset ja hypertrofia	33
4.4.2	Voimantuoton muutokset.....	34
4.5	Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset kestävyyssominaisuuksiin	39
4.5.1	Maksimaalinen hapenottokyky	39
4.5.2	Submaksimaalinen kestävyys.....	40
4.6	Yhteenveto yhdistettyjen voima- ja kestävyysharjoittelututkimusten tuloksista	41
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	43
5.1	Tutkimuksen tarkoitus	43
5.2	Tutkimusongelmat	43
5.3	Tutkimushypoteesit.....	44
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	45
6.1	Koehenkilöt.....	45
6.2	Tutkimusasetelma	45

6.3	Tutkimusaikataulu.....	46
6.4	Harjoittelu	46
6.5	Seurantamittaukset.....	47
6.6	Muut mittaukset	49
6.7	Analysoitavat muuttujat	50
6.8	Tilastollinen analyysi.....	50
7	TULOKSET	51
7.1	Antropometria.....	51
7.2	Dynaaminen bilateraalin alaraajojen ojentajien maksimikuorma.....	51
7.3	Isometrinen bilateraalin alaraajojen ojennusvoima.....	52
7.3.1	Maksimivoima.....	52
7.3.2	Maksimaaliset iEMG:t	53
7.3.3	Maksimaalinen voimantuottonopeus.....	55
7.3.4	Antagonistien koaktivaatio	55
7.4	Oikean ja vasemman polven isometrinen koukistusvoima.....	56
7.4.1	Maksimivoima.....	56
7.4.2	Maksimaaliset iEMG:t.....	56
7.4.3	Maksimaalinen voimantuottonopeus.....	57
7.5	Kestävyyssuuttujat.....	57
7.5.1	Hapenottokyky	57
7.5.2	Teho	58
7.5.3	Syke	59
8	POHDINTA.....	61
8.1	Päätulokset	61
8.2	Voimantuotto	61
8.3	Lihasten aktivointi	63
8.4	Voimantuottonopeus.....	64
8.5	Kestävyyssominaisuudet.....	65
8.6	Antropometria.....	66

8.7 Yhteenveto	67
----------------------	----

LÄHTEET	68
---------------	----

1 JOHDANTO

Erillistä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu paljon. Voimaharjoittelun ja kestävyysharjoittelun on todettu aiheuttavan erilaisia adaptaatioita elimistössä. Kestävyysharjoittelu parantaa hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa, lihasten oksidatiivista kapasiteettia ja rasvojen hapetuskykyä. (Blomqvist & Saltin 1983; Hollozy & Coyle 1984; Taylor & Bachman 1998; Tanaka & Swensen 1998.) Voimaharjoittelu aiheuttaa lihaksissa neuraalisia ja hypertrofisia adaptaatioita, joiden on todettu ensisijaisesti vaikuttavan voiman kasvuun. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen ym. 1985; Komi 1986, Bell & Wenger 1992; Häkkinen 1994.)

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu suhteellisen vähän ja tutkimustulokset ovat olleet vaihtelevia. Tehtyjen tutkimusten tulkintaa on vaikeuttanut tutkimusasetelmien erilaisuus: harjoitusten muoto, ajoittaminen, frekvenssi, kesto ja intensiteetti sekä koehenkilöiden tausta ja tutkimusmuuttujien valinta. (Dudley & Fleck 1987; Leveritt ym. 1999.) Useimmissa tutkimuksissa yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla on todettu olevan rajoittava vaikutus voiman kehittymiseen etenkin harjoittelun myöhemmässä vaiheessa. Kestävyysominaisuuksien kuten maksimaalisen hapenottokyvyn kasvun suuruuteen yhdistetyllä harjoittelulla ei ole todettu kuitenkaan olevan vaikutusta. (Hickson 1980; Hickson ym. 1980; Dudley & Djamil 1985; Hunter ym. 1987; Hortobagyi ym. 1991; Bell ym. 1997.)

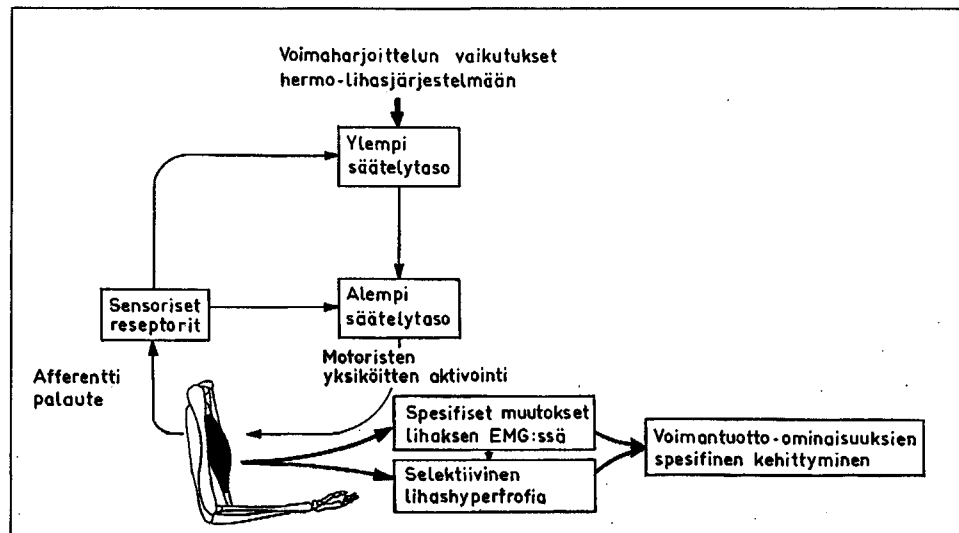
Tämän tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena on selvittää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyyn aiemmin harjoittelemattomilla. Lihasten voimantuoton kehittymisen ohella pyritään selvittämään aikaisemmin tutkimatonta lihasten aktivoitumista ja voimantuoton nopeutta. Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena on selvittää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn.

Tutkimuksen avulla pyritään löytämään tärkeää lisätietoa selvitettäessä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia elimistön toimintaan sekä etsittäessä mahdollisimman tehokkaita ja kehoa monipuolisesti kehittäviä harjoitusmenetelmiä.

2 VOIMAHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄSSÄ LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ

2.1 Voimaharjoittelun vaikutusmekanismit hermo-lihasjärjestelmässä

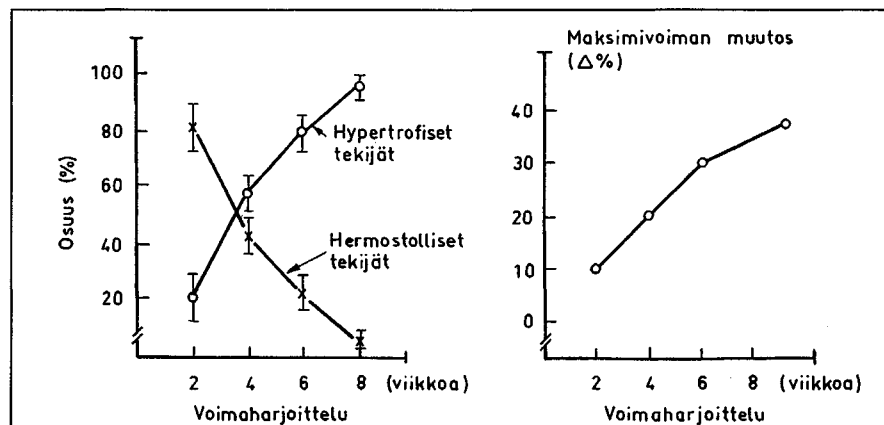
Voimaharjoittelu aiheuttaa toiminnallisia ja rakenteellisia muutoksia hermo-lihasjärjestelmässä etenkin aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä (Häkkinen 1994). Kuvassa 1 on havainnollistettu maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmään ja voimantuotto-ominaisuuksien kehittymiseen. (Enoka 1988.)



KUVA 1. Voimaharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmään ja voimantuotto-ominaisuuksien kehittymiseen. Voiman tuottaminen edellyttää hermoston ja lihaksiston vuorovaikutusta. (Enoka 1988.)

Voimaharjoittelun aiheuttamat parannukset suorituskyvyssä johtuvat hermostollisista (Moritani & DeVries 1979) ja/tai hypertrofisista (MacDougall ym. 1977; Häkkinen ym. 1981) tekijöistä. Hermostollisia muutoksia voidaan mitata analysoimalla harjoitetun lihaksen elektromyograafista (EMG) aktiivisuutta maksimaalisen lihassupistuksen aikana. Hypertrofisia muutoksia voidaan mitata analysoimalla lihassolujen kokoa neulabiopsia-tekniikalla tai analysoimalla lihaksen poikkipinta-alaa ultraäänien, magneettikuvan tai tietokonetomografian avulla. (Häkkinen 1994.)

Voimaharjoittelun akuutit harjoitusvasteet sekä lyhyen ja pitkän aikavälin harjoitusvasteet hermo-lihasjärjestelmässä ovat erilaisia. Maksimivoimaharjoituksen akuutti vaikutus aiheuttaa elimistössä hetkellisen väsymyksen, joka johtaa hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksien tilapäiseen heikkenemiseen. Häkkinen ym. (1988) ovat todenneet lihasten maksimaalisen aktivaation laskeneen välittömästi voimaharjoituksen jälkeen. Lihaskivaudin heikkeneminen osoittaa lihasten voimantuotto-ominaisuuksien heikkenemisen olevan hermostoperäistä. (Häkkinen ym. 1988; Häkkinen 1990, 45.) Maksimivoimaharjoittelun on todettu aiheuttavan voimankasvua sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Harjoittelun alkuvaiheessa hermostollisten muutosten on todettu vaikuttavan enemmän voimankasvuun kuin lihaksissa tapahtuvien muutosten. (Häkkinen & Komi 1983; Staron ym. 1994.) Kuvassa 2 on havainnollistettu hermoston ja lihaksiston vaikutukset voimankasvuun lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. (Moritani & DeVries 1979.) Myös hypertrofisilla tekijöillä on todettu olevan vaikutusta harjoittelun alkuvaiheen voiman kehitykseen. (Staron ym. 1991.)



KUVA 2. Hermostollisten ja hypertrofisten tekijöiden osuus voimankasvussa. (Moritani & DeVries 1979.)

Maksimivoimaharjoittelu voi olla joko neuraalista tai hypertrofista. On todettu, että 70-80 % teholla maksimivoimasta suoritettu harjoittelu laskee lihasten EMG-aktiivisuutta, kun taas 80-90 % maksimivoimasta suoritettu harjoittelu nostaa sitä. (Häkkinen ym. 1985.) Yli 80 % teholla suoritettua harjoittelua, jossa sarjat sisälsivät vain yhdestä kolmeen toistoa, on esimerkiksi Alexeevin ja Romanin (1983) sekä Vorobyevin (1988) tutkimuksissa havaittu alentavan lihasten hypertrofiaa. 60-80 % teholla suoritettulla

harjoittelulla, jossa sarjat sisälsivät 6-12 toistoa, on todettu olevan hypertrofisia vaikutuksia. (Häkkinen 1994.)

Nopeusvoimaharjoittelu eroaa periaatteiltaan maksimivoimaharjoittelusta: harjoituskuorman lisäksi on kiinnitettävä huomiota liikkeiden maksimaaliseen suoritusnopeuteen. Nopeusvoimaharjoittelussa kuormat ovat pieniä, vain 30-60 % maksimaalisesta voimantuotosta ja supistumisnopeudet suuria, jopa maksimaalisia. (Häkkinen 1994.) Nopeusvoimaharjoittelu aiheuttaa selvästi vähemmän lihasmassan kasvua kuin maksimivoimaharjoittelu. Vaikka yksittäisissä nopeusvoimaharjoitteissa lihasten hermostollinen aktivaatiotaso on hyvin korkea, jää lihasten aktivaatioaika kuitenkin kussakin yksittäisessä toistossa pienestä kuormasta johtuen hyvin lyhyeksi, jolloin hypertrofinen vaikutus lihassoluissa jää pieneksi. (Komi ym. 1982; Häkkinen 1989.) Nopeusvoimaharjoittelun spesifiset vaikutukset hermo-lihasjärjestelmän voimantuottoon voidaan havaita sekä konsentrisella voima-nopeus- että isometrisella voima-aika -käyrillä. (Häkkinen 1990, 127.)

2.2 Voimaharjoittelun aiheuttamat harjoitusvasteet hermostossa lyhyellä ja pitkällä aikavälillä

Hermostolla on todettu olevan tärkein merkitys voiman kehittymisessä. Voima ei ole yksinomaan lihaksen ominaisuus vaan enemminkin koko motorisen systeemin ominaisuus. On todettu, että voimantuotto voi kasvaa ilman lihaksen morfologisia muutoksia, mutta ei ilman hermoston vaikutusta. (Enoka 1988.) Voimaharjoittelun aiheuttamien harjoitusvasteiden on havaittu ilmenevän hermoston kaikilla tasoilla, korkeatasoisesta kontrollista motorisiin yksiköihin. Vaikka hermostolla on todettu olevan selvä vaikutus voimankasvuun, on osoittautunut vaikeaksi tunnistaa hermostossa tapahtuvien harjoitusvaikutusten eri tyyppisiä. (Enoka 1988; Enoka 1994, 315; Häkkinen 1994; Marks 1996.) Hermostollisten tekijöiden vaikutus voimankasvussa ilmenee liikkeiden taloudellisuuden ja lihasten maksimaalisen aktivaation paranemisena. (Enoka 1988.) Lihasten aktivaatiotasoa voidaan mitata epäsuorasti analysoimalla harjoitettujen lihasten elektromyograafista (EMG) aktiivisuutta maksimaalisen lihassupistuksen aikana. (Häkkinen 1994.)

2.2.1 Motorinen yksikkö ja voiman kasvu

Motorisen yksikön toiminnassa ja rakenteessa on havaittu voimaharjoittelun aiheuttamia hermostollisia harjoitusvasteita. Voimankasvulla ja motorisen yksikön aktiivisuudella on todettu olevan selvä yhteys. (Enoka 1988.) Jo vuonna 1938 Denny-Brown ja Pennybacker raportoivat suorituskyvyn riippuvan motoristen yksiköiden aktivoinnista. He puhuivat motoristen yksiköiden aktivoinnin yhteydessä säännöllisestä rekrytoinnista, jonka he tulkitsivat seuraavasti: Voiman lisääntyessä aktivoidaan tai rekrytoidaan ylimääräisiä motorisia yksiköitä. Tasannevaiheessa uusia motorisia yksiköitä ei aktivoida ja motoneuronien aktiopotentiaali pysyy aikaisemmalla tasolla. Lihaskasvun vähentyessä motoriset yksiköt inaktivoituvat. (Enoka 1994, 193.) Voimaharjoittelun alkuvaiheessa etenkin aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä on todettu kasvua motoristen yksiköiden synkronisaatiossa, jolla tarkoitetaan motoristen yksiköiden aktiopotentiaalien samanaikaista purkautumista. Voimaharjoittelun aiheuttama EMG-aktiivisuuden kasvu johtuu aktiivisten motoristen yksiköiden lisääntyneestä määrästä tai niiden syttymisfrekvenssistä. (Enoka 1988; Häkkinen 1994.)

2.2.2 Lihaksiston aktivointi ja voima-aika –riippuvuus

Voimaharjoittelun aiheuttaman voimankasvun on hermoston puolella todettu johtuvan lihasten parantuneesta aktivaatiosta tai oppimisesta ja liikkeiden taloudellisemmasta suoritustekniikasta. (Enoka 1988; Marks 1996.) Parantunutta lihaksen aktivaatiota on mitattu sähköisen signaalin, elektromyogrammin (EMG) avulla. Menetelmä perustuu lihassolujen aktiopotentiaalien välittymiseen solua ympäröivien kudosten kautta iholle, josta signaalia rekisteröidään elektrodien avulla. (Enoka 1988.) Rekisteröity signaali edustaa kyseessä olevan lihaksen toimivien motoristen yksiköiden synkronisaatiota. EMG-signaalia voidaan käyttää lihaksen kokonaisvaltaisen aktivoitumistason tai – määrän mittaamiseen, jolloin puhutaan integroidusta EMG:stä (iEMG) ja aktivoitumisnopeuden määrittämiseen, jolloin apuna käytetään EMG-aika –käyrää. (Häkkinen 1990, 27.)

EMG-muutoksia tutkivista voimaharjoittelututkimuksista on saatu hyvin erilaisia tuloksia: joissain tutkimuksissa voimaharjoittelulla ei ole havaittu mitään vaikutusta

EMG-arvoihin, kun taas toisissa EMG-arvoissa on todettu selvää kasvua. Suuret tulost vaihtelut johtuvat eroista harjoitusintensiteetissä, mitattavissa lihaksissa ja elektrodien sijainnissa. (Enoka 1988.)

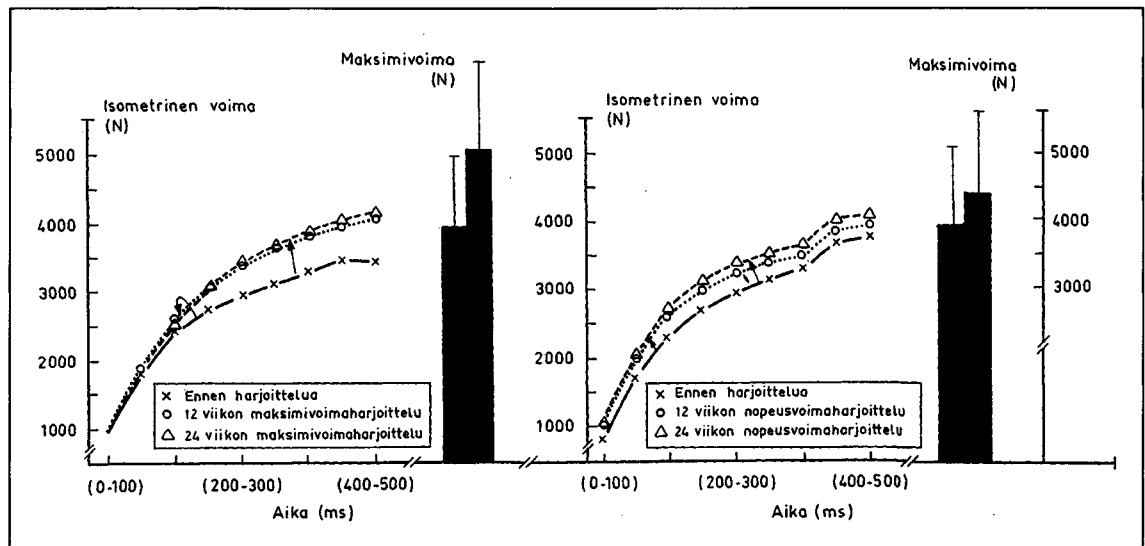
Huolimatta tutkimustulosten erilaisuudesta, useissa tutkimuksissa on todettu voimaharjoittelun aiheuttavan kasvua EMG- ja iEMG-arvoissa maksimaalisen isometrisen lihassupistuksen aikana. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen ym. 1983 Häkkinen ym. 1985.) Esimerkiksi Häkkinen ja Komi (1983) totesivat 16 viikon voimaharjoittelun kasvattaneen iEMG-arvoa sekä bilateraalissa että unilateraalissa isometrisessä voimantuotossa reisilihaksissa aktiivisilla koehenkilöillä. Merkitsevää ($p < 0.05$) kasvua ilmeni vain unilateraalissa voimantuotossa suorassa reisilihaksessa (8,2 %). Koehenkilöt harjoittelivat kolme kertaa viikossa, harjoittelu oli konsentrista ja eksentristä maksimivoimaharjoittelua. Nopeusvoimaharjoittelun on todettu myös kasvattavan EMG-aktiivisuutta. Häkkinen ym. (1985) totesivat 24 viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan merkitsevää ($p < 0.05$) iEMG:n kasvua reisilihaksissa (vastus medialis, vastus lateralis ja rectus femoris) kuntoilijoilla. Ensimmäisen 12 viikon aikana kasvu oli pientä, mutta jälkimmäisellä puoliskolla suurempaa. Koehenkilöt harjoittelivat kolme kertaa viikossa. Harjoittelu oli nopeusvoimatyyppistä ja sisälsi erilaisia lisäpainoin tehtyjä hyppysarjoja.

Useiden iEMG-tutkimusten perusteella oletetaan, että voimaharjoittelun aiheuttama lihasten voimankasvu saattaa johtua: 1) suurten alfa-motoneuroneiden kasvaneesta ärtyvyydestä, 2) alentuneesta estävien alfa-motoneuroneiden aktiivisuudesta, 3) voimistuneista liitoksista aistinelinten ja dendriittien välillä 4) muutoksista spinaalisen intoneuronin johtuvuudessa, 5) mahdollisista muutoksista motoneuroneiden rakenteessa ja biokemiassa, 6) parantuneesta kyvystä rekrytoida lisää motorisia yksiköitä tai 7) motoristen yksiköiden parantuneesta syttymisfrekvenssistä. (Marks 1996.)

Lihasten aktivointiin liittyy läheisesti myös lihasten voimantuottonopeus; kuinka nopeasti tuotetaan tietty voimataso. Voimaharjoittelun harjoitusvaikutuksia voidaan tutkia isometrisen voima-aika -käyrän avulla. Maksimivoimaharjoittelu johtaa muutoksiin pääasiassa voima-aika -käyrän voimapäässä. Maksimivoimaharjoittelun aiheuttaman voimankasvun myötä pystytään tietyssä ajassa tuottamaan enemmän voimaa kuin ennen harjoittelua. Käyrän yläpäässä tapahtuvissa muutoksissa on kysymys

suurista voimatasoista ja pitkäköistä voimantuottoajoista. (Häkkinen 1990, 122; Häkkinen 1994.)

Nopeusvoimaharjoittelun jälkeen käyrän muoto on erilainen. Nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset kohdistuvat pääasiassa voima-aika –käyrän alkuosiin, jolloin harjoittelun vaikutuksesta pystytään tuottamaan tietyssä lyhyessä ajassa enemmän voimaa kuin ennen spesifistä harjoittelua. Nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset voima-aika –käyrän voimapäässä jäävät pienemmiksi kuin tyypillisessä maksimivoimaharjoittelussa. Maksimivoima- ja nopeusvoimaharjoittelun muodostamat voima-aika –käyrät on nähtävissä kuvassa 3 (Häkkinen 1994.)



KUVA 3. Maksimivoima- ja nopeusvoimaharjoittelun muodostamat voima-aika –käyrät isometrisessä voimantuotossa. (Häkkinen 1994.)

Maksimaalisten voimaominaisuuksien kasvua isometrisen voima-aika –käyrän avulla ovat tutkineet muun muassa Thorstensson ym. (1976), Häkkinen ja Komi (1983) ja Häkkinen ym. (1985). Häkkinen ja Komi totesivat 16 viikon maksimivoimaharjoittelun laskeneen merkitsevästi ($p < 0.05$) voimantuottoaikaa absoluuttisilla voimatasoilla, kun kuormat olivat korkeita. Häkkinen ym. totesivat 24 viikon nopeusvoimaharjoittelun laskeneen merkitsevästi ($p < 0.05$) voimantuottoaikoja tietyillä absoluuttisilla voimatasoilla. Keskimääräinen parannus voimantuottoajoissa oli 18,2 %. Myös suhteellisilla voimatasoilla voimantuottoaikojen lasku oli merkitsevää ($p < 0.05$.)

2.2.3 Ristivaikutus ja bilateraallinen vaje

Voimaharjoittelun on todettu aiheuttavan lihaksissa ristivaikutusta ja bilateraalista vajausta. Ristivaikutuksella tarkoitetaan voimaharjoittelun aiheuttamia harjoitusvaikutuksia lihaksessa, jonka kontralateraalista lihasta on harjoitettu. (Enoka 1988; Enoka 1994, 317.) Esimerkiksi Moritanin ja DeVriesin (1979) kahdeksan viikkoa kestäneessä tutkimuksessa havaittiin olkapään koukistusvoimassa harjoitetussa lihaksessa 36,4 % voimanparannus, kun harjoittamattomassa lihaksessa parannus oli 24,7 %. Koehenkilöt harjoittelivat kaksi kertaa päivässä kolmena päivänä viikossa. Harjoittelu oli isometristä voimaharjoittelua, jossa kuorman intensiteetti oli 67 % maksivoimasta. (Moritani & DeVries 1979.) Myös muissa tutkimuksissa on saatu samansuuntaisia tuloksia. Ristivaikutuksen oletetaan olevan hermostoperäistä, koska harjoitetun lihaksen kontralateraalissa lihaksessa ei ole todettu EMG-aktiivisuutta eikä muutoksia lihassolualueissa tai entsyymiaktiivisuuksissa. (Enoka 1988.)

Päinvastoin kuin raajojen välisessä ristivaikutuksessa, bilateraalissa vajauksessa bilateraalisten lihasten vuorovaikutus heikentää voimantuottoa. (Enoka 1988.) Ohtsuki (1983) on tutkinut bilateraalista vajausta kyynärpäähän ojentajalihaksissa. Koeryhmä suoritti aluksi maksimaalisen isometrisen lihassupistuksen oikealla kädellä, sen jälkeen molemmilla käsillä yhtä aikaa ja lopuksi vasemmalla kädellä. Tuloksista ilmeni kummankin käden käyttämän maksimivoiman ja EMG-aktiivisuuden olevan matalampia bilateraalisen supistuksen aikana kuin unilateraalisten raajojen tekemän työn aikana. Bilateraallinen vaje oli 5-10 % maksimista. (Enoka 1994, 318.) Bilateraalisen vajeen oletetaan johtuvan hermostosta, koska bilateraalisen lihassupistuksen aikana on todettu agonistilihaksen EMG-aktiivisuuden laskua ja koaktiivisuuden nousua. (Enoka 1988.)

2.2.4 Muita hermoston toiminnassa havaittuja harjoitusvasteita

Koaktivaatio. Koaktivaatiolla tarkoitetaan antagonistilihaksen aktivoitumista agonistilihaksen supistuessa maksimaalisesti. (Enoka 1994, 316.) Carolan ja Cafarelli (1992) ovat tutkineet koaktivaatiota isometrisessä voimaharjoittelussa. He totesivat kahdeksan viikon tutkimuksessaan kaksipäisen reisilihaksen koaktivaation laskeneen

14,7 %:sta 11,5 %:iin polven ojentajien tehdessä maksimaalista isometristä työtä. Polvenojentajalihasten voima kasvoi kahdeksan viikon aikana 32,8 %. Tulokset osoittavat koaktivaation laskun olevan yhteydessä voimankasvuun. (Carolan & Cafarelli 1992.) Koaktivaation laskun katsotaan taas olevan yhteydessä liikkeiden taloudellisempaan suoritustekniikkaan. (Rutherford & Jones 1986.)

Koordinaatio. Rutherford ja Jones (1986) totesivat 12 viikon tutkimuksessaan voimankasvun johtuvan paremmasta koordinaatiosta. Koehenkilöt harjoittelivat 80%:n teholla maksimivoimasta sekä dynaamisesti että isometrisesti. Harjoittelu kohdistui polvenojentajalihaksiin. Voimankasvu oli miehillä 20 % ja naisilla 4 %. Harjoituskuorma taas kasvoi miehillä 200 % ja naisilla 240 %. Koska voima testattiin isometrisellä lihassupistuksella harjoittelun sisältäessä myös dynaamisia lihassupistuksia, johtuu harjoituskuorman suuri kasvu todennäköisesti koordinaation paranemisesta. Tämän adaptaation oletetaan olevan yhteydessä hermostoon.

Refleksien potentiaalit ja kuvitellut supistukset. Refleksien voimakkuudet voivat myös liittyä voimakasvuun. Refleksit ovat elimistön motorisia vastauksia aistiärsykeille. Voimaharjoituksen harjoitusvaikutukset voivat johtua lyhentyneistä refleksiajoista tai parantuneesta refleksiherkkyydestä. (Enoka 1994, 318.) Refleksivoimakkuuksia voidaan mitata iEMG:n avulla. (Häkkinen 1994.) Hermostoperäistä voimankasvua on havaittu myös lihassupistusten kuvittelusta. (Enoka 1994, 315.)

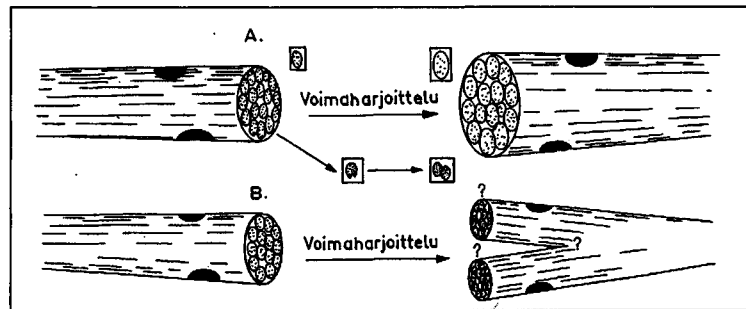
2.3 Voimaharjoittelun aiheuttamat muutokset lihaksessa

Voimaharjoittelun aiheuttamat lihasvoiman muutokset voivat hermoston lisäksi johtua lihaksessa tapahtuvista muutoksista, jotka kohdistuvat lihaksen 1) myofibrilleihin, 2) supistustekijöihin, myosiiniin ja aktiiniin, 3) entsyymiaktiivisuuteen ja metabolisiin tekijöihin, 4) mitokondrioihin, 5) rasvasoluihin, 6) glykogeenitasoihin, 7) verisuoniin ja 8) sidekudokseen. (Marks 1996.) Lihasvoiman kasvaessa tapahtuu hermo-lihasjärjestelmässä aina muutoksia. On todettu, että lihaksissa tapahtuvat muutokset ovat yhteydessä voimankasvuun vasta harjoittelun myöhemmässä vaiheessa. Voimaharjoittelun ensimmäisinä viikkoina hermoston osuus voiman muutoksissa on merkittävä, kuten kuvasta 2 voi nähdä. (Moritani & DeVries 1979.) Lihaksissa tapahtuvilla muutoksilla on lihasten kokoa kasvattava vaikutus. Lihaskoon kasvua

aiheuttavat hypertrofia ja hyperplasia. (Häkkinen 1994; Marks 1996.) Hermostossa ja lihaksissa tapahtuvien muutosten lisäksi yhtenä voimaeroja selittävänä tekijänä on pidetty lihasten ominaisjännitystä, jolla tarkoitetaan lihaksen luontaista voimaa. (Enoka 1994, 319.)

2.3.1 Lihassolun hypertrofian ja hyperplasian vaikutus voimantuotto - ominaisuuksiin

Voimaharjoittelu aiheuttaa aina jossain määrin lihassolujen kasvua eli hypertrofiaa. Yksittäisten lihassolujen kasvu johtuu myofibrillien koon ja lukumäärän kasvusta, johon vaikuttaa lihasta supistavien proteiinien, aktiini- ja myosiinofilamenttien lisääntynyt määrä. Voimaharjoittelun aiheuttama yksittäisten lihassolujen kasvu näkyy myös koko lihaksen poikkipinta-alan kasvuna, johon vaikuttaa osittain myös lihaksen sidekudoksen kasvu. (MacDougall 1986; Tesch 1988; Häkkinen 1990, 73; Häkkinen 1994; Marks 1996.) Joissain tutkimuksissa on havaittu, että systemaattinen monivuotinen voimaharjoittelu saattaisi lisätä lihassolujen määrää aiheuttamalla lihassolujen jakautumista kahtia pituussuunnassa. Tämän hyperplasiaksi kutsutun mekanismin yhteys voimankasvuun on epäselvä. (Häkkinen 1994.) Kuvassa 4 on havainnollistettu hypertrofian ja hyperplasian vaikutusmekanismit. (MacDougall 1986.)



KUVA 4. Lihassolujen hypertrofia (A) ja hyperplasia (B). (MacDougall 1986.)

Lihassolun poikkipinta-alan kasvun suuruus riippuu useista tekijöistä, kuten yksilön voimatasosta ennen harjoittelua, harjoittelun kestosta ja käytetystä harjoitusmenetelmästä. Aloitteijoilla muutaman viikon tai kuukauden voimaharjoittelu aiheuttaa aina hypertrofiaa. Voimaurheilijoilla hypertrofian saavuttaminen on sitä vastoin vaikeampaa. Oletetaan, että lihassolut voivat suurentua vain tiettyyn optimaaliseen maksimikokoonsa pitkäkestoisen voimaharjoittelun vaikutuksesta. (Häkkinen 1994.) Hypertrofiaa on todettu sekä dynaamisessa että isometrisessä

voimaharjoittelussa, mutta isometrisen voimaharjoittelun jälkeen sen on todettu olevan pienempää. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen & Komi 1983; Sale 1988.) Lisäksi nopeusvoimaharjoittelun on todettu aiheuttavan selvästi pienempää lihasmassan ja maksimivoiman kasvua kuin maksimivoimaharjoittelun. Tyypillinen lihaksen massaa ja maksimivoimaa kasvattava maksimivoimaharjoittelu tapahtuu raskailla kuormilla ja hitailla suoritusnopeuksilla, kun taas nopeusvoimaharjoittelu toteutetaan pienillä kuormilla ja nopeilla suoritusnopeuksilla. (Komi ym. 1982; Häkkinen 1994, 127,132.) Yksittäisissä nopeusvoimaharjoitteissa lihasten hermostollinen aktivaatiotaso on hyvin korkea, mutta lihasten aktivaatioaika kussakin yksittäisessä toistossa pienestä kuormasta johtuen lyhyt. Tämän vuoksi hypertrofinen vaikutus lihassoluissa jää pieneksi. (Häkkinen 1989.)

Dynaamisessa harjoittelussa hypertrofian on todettu monissa tutkimuksissa olevan merkitsevää. Staron ym. (1991) havaitsivat tutkimuksessaan kuuden viikon intensiivisen voimaharjoittelun aiheuttaneen hypertrofiaa vastus lateralis -lihaksessa kaikissa lihassolutyypeissä. Staron ja Johnson (1993) havaitsivat samassa lihaksessa 20 viikon harjoittelun jälkeen myös selvää hypertrofiaa. Hypertrofian suuruus oli I-tyyppin soluissa 15 %, Iía-tyyppin soluissa 45 % ja Iib-tyyppin soluissa 57 %. Voimaharjoittelun vaikutukset eri lihassolutyyppeihin ovat edellä mainittujen tutkimustenkin perusteella erilaisia. Kaikki lihassolut eivät saavuta samaa harjoitusvaikutusta. (Enoka 1994, 321.)

Lihaksen voimatuottokyvyn on todettu olevan suoraan verrannollinen lihassolujen läpimittaan (Ikai & Fukunaga 1968; Fitts ym. 1991). Aikaisemmissa tutkimuksissa hypertrofiaa on havaittu sekä nopeissa että hitaissa lihassoluissa, mutta hypertrofian on todettu olevan huomattavasti suurempaa nopeissa Iía-tyyppin soluissa kuin hitaissa I-tyyppin ja nopeissa Iib-tyyppin soluissa. (Costill ym. 1979; MacDougall 1980; Häkkinen ym. 1981; Staron ym. 1984.)

Hypertrofiaa aiheuttaviin ärsykkeisiin kuuluvat hormonaaliset, metaboliset ja mekaaniset tekijät, joista mekaanisilla tekijöillä on todettu olevan tärkein merkitys. Mekaanisten tekijöiden vaikutus perustuu voimaharjoittelun aiheuttamaan ärsykkeeseen, joka saa aikaan proteiinisynteesin kasvua ja aminohappojen tehokkaampaa hyväksikäyttöä. Metabolisten tekijöiden on todettu olevan tärkeämpiä kestävyysharjoittelussa kuin voimaharjoittelussa. Hormonaalisten tekijöiden ei ole

todettu olevan pääosassa hypertofiassa. Testosteroniarvoilla on kuitenkin todettu olevan merkitystä hypertrofian suuruuteen. Naisilla hypertrofian on todettu olevan pienempää kuin miehillä. Syyksi oletetaan pienempää seerumin testosteronitasoa. (Häkkinen 1994.)

2.3.2 Lihassolujen muutosten ja lihassolujakauman vaikutukset voimantuottoon

Hypertrofian ja hyperplasian lisäksi lihassolusuhteissa on voimaharjoittelun jälkeen havaittu muutoksia. On todennäköistä että voimaharjoittelun harjoitusärsyke ei ole riittävä muuntamaan hitaita soluja nopeiksi, mutta nopeiden lihassolujen alayksiköissä muuntuminen toisesta tyypistä toiseen on mahdollista. (Häkkinen 1994.) Useissa tutkimuksissa on erilaisten histokemiallisten ja elektroforeettisten menetelmien avulla todettu IIB-tyypin lihassolujen muuntumista IIA-tyypin soluiksi. (Staron ym. 1991; Staron & Johnson 1993; Staron ym. 1994; Marks 1996.)

Staron ym. (1991) totesivat tutkimuksessaan jo kuuden viikon harjoittelun alentaneen merkittävästi IIB-solujen määrää: ennen harjoittelua IIB-solujen osuus oli 24,9 % ja jälkeen 6,7 %. Myös pitkäkestoisen voimaharjoittelun jälkeen on löydetty vastaavanlaisia tuloksia. (Staron & Johnson 1993.) Staronin ym. (1994) tutkimuksen perusteella havaittiin, että solujen muuntumista tapahtui jo kahden viikon harjoittelun jälkeen kun taas lihassolujen poikkipinta-alassa tapahtuvat muutokset ilmenivät vasta 6-8 viikon harjoittelun jälkeen. IIB-solujen muuntuminen IIA-soluiksi kasvattaa luonnollisesti IIA/IIB lihassolusuhdetta, millä on todettu olevan vaikutusta lyhytkestoisen maksimaalisen suorituskyvyn parantumiseen. (Staron ym 1984.)

Lihaksen solujakaumalla ei ole havaittu olevan systemaattista yhteyttä maksimivoiman kehittymiseen. Tosin tutkimustulokset ovat olleet osittain ristiriitaisia. Oletetaan, että nopeasolukkoisten henkilöiden voimantuotto-ominaisuuksien kehittäminen olisi optimaalista, jos voimaharjoittelu toteutettaisiin lyhyemmissä jaksoissa kuin esimerkiksi enemmän hitaita lihassoluja omaavien henkilöiden. (Häkkinen 1990, 60.)

Vaikka lihaksen solujakaumalla ei ole todettu olevan yhteyttä voimankasvuun, on sillä kuitenkin todettu olevan yhteyttä voimantuottoaikaan ja -nopeuteen. Voimantuoton on osoitettu tapahtuvan lyhyemmässä ajassa henkilöillä, joiden lihaksistossa on enemmän nopeita kuin hitaita lihassoluja. Voima-aikakäyrän muoto on tällöin jyrkempi. (Viitasalo

& Komi 1978.) Lihaksen solujakauma vaikuttaa myös lihaksen kykyyn ylläpitää voimaa. Komi ym. (1982) totesivat, että enemmän hitaita soluja omaavat henkilöt pystyvät ylläpitämään samaa suhteellista voimatasoa kauemmin kuin enemmän nopeita soluja omaavat henkilöt.

Voimantuottonopeudessa lihassolujakaumalla on merkitystä pääasiassa suurilla supistumisnopeuksilla. Mitä enemmän lihas sisältää nopeita lihassoluja, sitä korkeammalla on voima-nopeus -käyrän nopeuspuoli. Kuten isometrisessä lihastyössä myös dynaamisessa lihastyössä lihaksen solujakaumalla on vaikutusta lihaksen väsymiseen. (Häkkinen 1990, 37-38.)

3 KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYS- JA VERENKIERTOELIMISTÖN TOIMINNASSA LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ

3.1 Kestävyysharjoittelun periaatteet

Useat eri tekijät vaikuttavat yksilön suorituskykykapasiteettiin. Saltinin (1969) mielestä niistä olennaisimpia ovat 1) energiantuotanto, 2) hermo-lihasjärjestelmän toiminta ja 3) psykologiset tekijät. Harjoittelu voidaan suunnitella parantamaan jokaista tekijää erikseen, kuten aerobisia prosesseja, lihasvoimaa tai taitoa, niiden vaikuttamatta kuitenkaan merkitsevästi toisiinsa. Tästä käytetään myös nimitystä harjoittelun spesifisyys: ne ominaisuudet kehittyvät, joita harjoitellaan. Tässä kappaleessa keskitytään kestävyysharjoittelun ja etenkin aerobisen kapasiteetin harjoitusvaikutuksiin. (Saltin 1969; McArdle ym. 1996, 393.)

Harjoitusvaikutusten aikaansaamiseksi elimistöä on ylikuormitettava ja sen homeostaasia järkytettävä. Kestävyysharjoittelussa tämä tapahtuu harjoitustehon, harjoituksen keston ja tiheyden avulla. Harjoitusvaikutusten ansiosta elimistö tottuu muutamien viikkojen kuluessa uuteen suoritusasteeseen, jonka jälkeen tarvitaan entistä voimakkaammat harjoitusärsykkeet ylikuormituksen aikaansaamiseksi. Fyysinen harjoitusvaikutus syntyy kuormituksen ja senjälkeisen levon yhteisvaikutuksesta. (Rusko 1989; McArdle ym. 1996, 393.)

Kestävyysharjoittelu perustuu eri kestävyysominaisuuksien harjoittamiseen. Peruskestävyyden harjoittelussa on tavoitteena parantaa lihasten rasvojen käyttökykyä ja kehittää lihasten oksidatiivista kapasiteettia. Optimaalinen harjoitusteho on aerobinen kynnysteho ja harjoituksen kesto yhdestä kahteen tuntiin ja siitä eteenpäin. Vauhtikestävyysharjoitukset kehittävät hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa, lihasten oksidatiivista ja glykolyyttistä kapasiteettia ja maitohapon eliminaatiota. Harjoitusteho vaihtelee aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välillä. Harjoituksen kesto riippuu harjoituksen tehosta ja luonteesta. Tasavauhtisen, lähellä anaerobista kynnystehoa olevan harjoituksen sopiva kesto on 30-60 minuuttia. Intervallityyppisessä

harjoituksessa voidaan syketasoa nostaa joka toistolla. Maksimikestävyysharjoittelussa tehostuu hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta ja maksimaalinen hapenottokyky kasvaa. Harjoitus toteutetaan yleensä 3-10 minuutin intervalleina tai 10-45 minuutin tasavauhtisina harjoituksina. Harjoitusteho on vähintään anaerobisella kynnyksellä. (Rusko 1989.)

3.2 Kestävyysharjoittelun vaikutukset elimistön rakenteessa ja toiminnassa

3.2.1 Sydän- ja verenkiertoelimistö

Kestävyysharjoittelu aiheuttaa muutoksia sydän- ja verenkiertoelimistön toiminnassa ja rakenteessa. Sydämen koon ja pumppauskapasiteetin on todettu kasvavan kestävyysharjoittelun myötä. (Saltin 1969.) Sydämen tilavuuden kasvua on havaittu erityisesti vasemman kammion osalta. Sydämen seinämien paksuudessa ei ole havaittu muutoksia, joten sydämen tilavuuden kasvu johtunee kammion lisääntyneestä massasta. (Åstrand & Rohdahl 1986, 449.) Kestävyysurheilijoilla on todettu olevan 30-35 % suurempi kammion tilavuus kuin harjoittelemattomilla kontrollihenkilöillä. (Blomqvist & Saltin 1983.)

Sydämen koon kasvun seurauksena kestävyysharjoittelu aiheuttaa myös iskutilavuuden, minuuttitilavuuden sekä laskimoiden ja valtimoiden välisen happipitoisuuseron kasvua, mutta maksimisykkeessä ei sen sijaan ole havaittu muutoksia, kuten taulukosta 1 voi nähdä. (Saltin 1969; Rowell 1969; Rowell 1986, 261.) Kestävyysharjoittelu aiheuttaa sykkeen laskua sekä levossa että rasituksessa. Koska kestävyysharjoittelun aikana sydämen iskutilavuus kasvaa, tiettyä kuormitusta vastaava minuuttitilavuus saavutetaan alhaisemmalla sykkeellä. Tämä aiheuttaa työsykkeen laskua ja siten työkapasiteetin parantumista. Sykkeen laskun oletetaan johtuvan muun muassa sympaattisen hermoston alentuneesta aktiivisuudesta ja sydänlihaksen parantuneesta taloudellisuudesta. Koska harjoitus ei muuta minuuttitilavuutta levossa, mutta kasvattaa iskutilavuutta, myös leposykkeen on todettu laskevan harjoittelun vaikutuksesta. (Åstrand & Rohdahl 1986, 452-453.)

TAULUKKO 1. Maksimaalisen hapenottokyvyn, sykkeen, iskutilavuuden ja minuuttitilavuuden erot kolmella eritasoisella ryhmällä. (Rowell 1969.)

Ryhmä	Hapenottokyky (L/min)	Syke (krt/min)	Iskutilavuus (mL)	Minuuttitilavuus (L/min)
Sydänpotilaat	1,6	190	50	9,5
Harjoittelemattomat	3,2	200	100	20,0
Kestävyysurheilijat	5,2	190	160	30,4

Kudosten hapensaanti riippuu sydämen minuuttitilavuudesta, hemoglobiinin määrästä ja kudosten kyvystä irrottaa tarjolla oleva happi hemoglobiinista. Kestävyysharjoittelu lisää merkittävästi veren hapenkuljetuskapasiteettia. Punasolujen tilavuus ja hemoglobiinipitoisuus pysyvät usein muuttumattomina ja punasolujen lukumäärä ja plasmavolyymi lisääntyvät, minkä seurauksena myös kokonaisverimäärä lisääntyy. Harjoittelu lisää myös kudosten difosfoglyseraattientsyymi-pitoisuutta (2,3-DPG), joka parantaa hapen irtoamista hemoglobiinista. 2,3-DPG –entsyymien määrän kasvun oletetaan olevan yhteydessä alentuneeseen erytropoietiniin tuotantoon ja aiheuttavan alentunutta hemoglobiinipitoisuutta urheilijoilla. Kestävyysurheilijoilla on todettu usein alhaisia hemoglobiiniarvoja. (Saltin 1969; Åstrand & Rohdahl 1986, 450-452.)

3.2.2 Hengityselimistö

Kestävyysharjoittelulla on todettu oleva suhteellisen pieni vaikutus keuhkojen toimintaan. Keuhkojen ventilaatiokyky ei rajoita suorituskyykyä maksimaalisessa rasituksessa. (Åstrand & Rohdahl 1986, 455.) Tutkimusten mukaan harjoittelulla ei ole vaikutusta keuhkojen kokonaiskapasiteettiin, vitaalikapasiteettiin tai uloshengitystilavuuteen. Ventilaatio sen sijaan kasvaa harjoittelun myötä, mikä johtuu hengitystiheyden kasvusta. (Saltin 1969.) Ainoastaan uimareilla ja sukeltajilla on todettu vitaalikapasiteetin kasvua. (Saltin 1969; McArdle ym. 1996, 225.) Keuhkojen diffuusiokapasiteettiin harjoittelulla on sen sijaan todettu olevan vaikutusta. Diffuusiokapasiteetin on todettu kasvavan maksimaalisen minuuttitilavuuden kasvun seurauksena. Toinen kaasujensiirtymiseen liittyvä piirre, johon harjoittelulla on vaikutusta, on keuhkorakkuloiden ja valtimoiden välinen happipitoisuustaso. Harjoittelun on havaittu madaltavan tätä tasoa ja parantavan näin ventilaatio-perfuusio – suhdetta. (Saltin 1969.)

Normaalia suuremmat keuhkotilavuudet ja hengityskapasiteetit joillain urheilijoilla saattavat johtua perimästä tai hengityslihasten voimistumisesta. On todettu, että kestävyysharjoittelu saattaa parantaa hengityskapasiteettia. Tämä saattaa johtua aerobisten entsyymien lisääntyneestä määrästä ja ventilaatiolihasparantuneesta oksidaatiokapasiteetista. Tutkimukset ovat myös osoittaneet kestävyysharjoittelun parantavan sisäänhengityslihasten kapasiteettia synnyttää voimaa ja ylläpitää tiettyä sisäänhengityspainetta. Näiden edellä mainittujen adaptaatioiden on todettu laskevan hengityslihasten laktaattitasoja. (McArdle ym. 1996, 226.)

3.2.3 Lihaksisto

Säännöllinen kestävyysharjoittelu aiheuttaa luurankolihasissa merkittäviä muutoksia, kuten mitokondrioiden määrän, kapillaaritiheyden ja oksidatiivisten entsyymien aktiivisuuden lisääntymistä. Lihaksissa tapahtuvien muutosten seurauksena tapahtuu merkittäviä muutoksia myös aineenvaihdunnassa. Kestävyysharjoittelun on todettu parantavan ATP:n muodostuskykyä oksidatiivisessa fosforylaatioissa, vähentävän laktaatin muodostumista annetulla työteholla, lisäävän myoglobiinin ja lihaksen sisäisen triglyseridin määrää, lisäävän lipoproteiinilipaasin aktiivisuutta, hidastavan lihaksen glykokeenin ja verensokerin hyväksikäyttöä ja suurentavan rasvojen hapetuskykyä. (Holloszy & Coyle 1984; Åstrand & Rohdahl 1986, 457; Taylor & Bachman 1998; Tanaka & Swensen 1998.)

Kestävyysharjoittelun vaikutuksista lihassolujen hypertrofiaan ja lihassolusuhteisiin on saatu ristiriitaisia tutkimustuloksia. Useissa tutkimuksissa on todettu, että kestävyysharjoittelu ei muuta I-tyyppin lihassolujen suhteellista osuutta eikä muuta I-tyyppin lihassolujen kokoa. Useissa tutkimuksissa on päinvastaisesti todettu kestävyysharjoittelun aiheuttavan I-tyyppin lihassoluissa hypertrofiaa. Tutkimustulosten erot saattavat johtua koehenkilöiden kuntotasosta, koska lihassolut kasvavat yleensä aina aloittelijoilla, mutta urheilijoilla lihassolujen koko saattaa pienentyä tai pysyä ennallaan harjoittelun vaikutuksesta. Lihassolujen koon ja lihassolusuhteiden lisäksi kestävyysharjoittelu vaikuttaa myofibrillien supistumisominaisuuksiin alentamalla II-tyyppin lihassolujen maksimaalista lyhenemisnopeutta ja heikentämällä kaikkien

lihassolutyypin huippujännityksen kehittymistä. (Tanaka & Swensen 1998; Taylor & Bachman 1998.)

Monet aineenvaihdunnallisista adaptaatioista johtuvat tiettyjen entsyymiaktiivisuuksien muutoksista. Kestävyysharjoittelun on todettu lisäävän entsyymien määrää ja aktiivisuutta lihassoluissa. Kestävyysharjoittelun aiheuttamalla mitokondrioiden määrän ja koon kasvulla on todettu olevan tärkeä merkitys luurankolihasen aineenvaihdunnassa. Kestävyysharjoittelu aiheuttaa muutoksia mitokondrioiden entsyymiaktiivisuuksissa lisäämällä muun muassa luurankolihasessa mitokondrioiden hengitysentsyymien tasoa ja pyruvaattien hapetuskykyä. Kestävyttä harjoitelleilta koehenkilöiltä on lisäksi löydetty merkkientsyymien aktiivisuutta rasvahappojen hapetuskanavasta, sitruunahappokierrosta ja hengitysketjusta. (Holloszy & Coyle 1984; Åstrand & Rohdahl 1986, 459; Taylor & Bachman 1998.) Mitokondrioita on todettu olevan eniten I-tyypin lihassoluissa, joiden entsyymiaktiivisuus on keskimäärin kaksi kertaa niin korkea kuin II-tyypin lihassoluissa. (Holloszy & Coyle 1984.)

Kestävyysharjoittelulla on vaikutusta myös energia-aineenvaihduntaan. Useissa tutkimuksissa on todettu, että harjoitelleilla koehenkilöillä glykogeenivarastot tyhjenevät huomattavasti hitaammin kuin harjoittelemattomilla koehenkilöillä. Alentunut hiilihydraattien käyttö johtuu rasvojen tehokkaammasta hyväksikäytöstä, mikä taas heijastuu alentuneesta hiilidioksidin ja hapen suhteesta (RQ). On todettu, että glykogeenivarastojen tyhjeneminen on yhteydessä väsymiseen pitkäkestoisessa suorituksessa. Rasvojen tehokkaampi hyväksikäyttö säästää glykogeenivarastoja ja pidentää näin suorituskykyä. (Holloszy & Coyle 1984.)

3.3 Kestävyysharjoittelun vaikutukset aerobiseen tehoon ja kapasiteettiin

Kestävyysharjoittelun vaikutuksia aerobiseen kapasiteettiin voidaan Rowellin (1986, 258) mukaan mitata toiminnallisen tai suorituskyvyn kriteerin perusteella. Toiminnallinen kriteeri mittaa muutoksia maksimaalisessa hapenottoakyvyssä, johon liittyvät minuuttitilavuus, iskutilavuus, lihaksen veren virtaus ja hapensaanti sekä valtimoiden ja laskimoiden happipitoisuuden ero. Suorituskyvyn kriteeri kuvaa kykyä suorittaa submaksimaalista työtä annetulla intensiteetillä ja kestolla (työkapasiteetti).

Maksimaalinen hapenottokyky on hyvä aerobisen kapasiteetin mittari, mutta se ei välttämättä ennusta parhaiten kestävyysuorituskykyä. Kestävyysurheilijoilla vuosien harjoittelu vakiinnuttaa maksimaalisen hapenottokyvyn tietylle tasolle. Parannukset suorituskyvyssä on selitettävissä tällöin submaksimaalisen kestävyuden, taloudellisuuden ja voiman parantumisena. (Hickson ym. 1980; Paavolainen 1999, 17.)

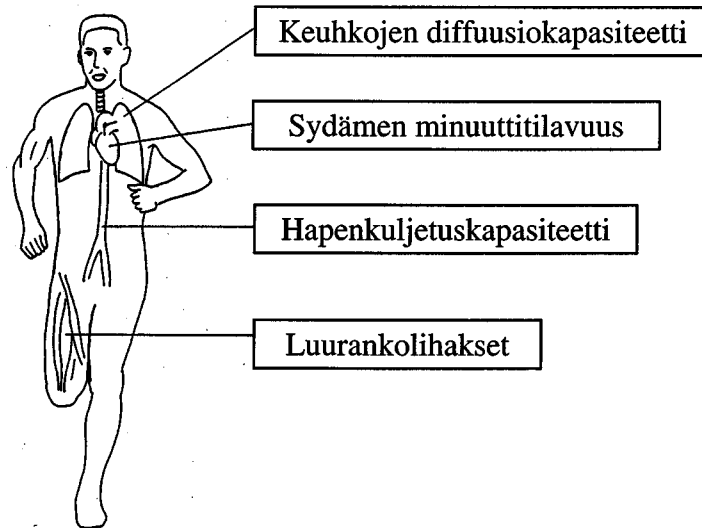
3.3.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) määritellään korkeimmaksi arvoksi, jonka elimistö voi ottaa happea ja käyttää hyväksi maksimaalisessa rasituksessa. Se on yksi päämuuttujista, jonka avulla arvioidaan verenkierto- ja hengityselimistön kuntoa ja kestävyysurjoittelun vaikutuksia. (Bassett & Howley 1999.) Kestävyysurjoittelun on todettu parantavan maksimaalista hapenottokkyä. (Holloszy & Coyle 1984; Rowell 1986, 259; Åstrand & Rohdahl 1986, 453.) Monet tekijät vaikuttavat maksimaalisen hapenottokyvyn kasvun suuruuteen. Tärkeimpiä niistä ovat koehenkilön kuntotaso ja maksimaalinen hapenottokyky ennen harjoittelun aloittamista sekä koehenkilön ikä. (Rowell 1986, 259.)

On todettu, mitä enemmän maksimaalinen hapenottokyky on alle 45 ml/kg/min, sitä suurempia voivat suhteelliset ja absoluuttiset parannukset olla. Tutkimuksessa, johon osallistui 39 koehenkilöä, paranivat maksimaalisen hapenottokyvyn arvot 16 %:a (44→51 ml/kg/min) 2-3 kuukauden harjoittelun vaikutuksesta. (Clausen 1977, 259.) Jos maksimaalinen hapenottokyky on 50-60 ml/kg/min, kahden tai kolmen kuukauden harjoittelun aiheuttamat parannukset voivat olla vain muutaman prosentin luokkaa (Saltin 1969). Kestävyysurheilijoilla maksimaalinen hapenottokyky on aikaisemman harjoittelun ansiosta korkealla, jopa yli 80 ml/kg/min. Pitkäaikaisella harjoittelulla ei voida enää paljon vaikuttaa hapenottokyvyn arvoihin. Ne pysyvät ennallaan tai niissä tapahtuu pieniä muutoksia. (Saltin 1969; Rowell 1974, 259.)

Hapen kulkeutuminen ilmasta mitokondrioihin sisältää monta vaihetta, joista jokainen voi vaikuttaa maksimaaliseen hapenottokkyyn. Fysiologiset tekijät, jotka voivat rajoittaa maksimaalista hapenottokkyä on havainnollistettu kuvassa 5 Niitä ovat

keuhkojen diffuusiokapasiteetti, sydämen minuuttitilavuus, hapenkuljetuskapasiteetti ja luurankolihakset. (Bassett & Howley 1999.)



KUVA 5. Fysiologiset tekijät, jotka mahdollisesti rajoittavat maksimaalista hapenottokykyä rasituksen aikana. (Bassett & Howley 1999.)

Tärkeimpänä maksimaalista hapenottokykyä rajoittavana tekijänä pidetään sydän- ja verenkiertojärjestelmän kapasiteettia kuljettaa happea kudoksille. Kestävyysharjoittelu kasvattaa verenvirtausta ja siten myös hapenkuljetusta. On arvioitu, että 70-85 % maksimaalista hapenottokykyä rajoittavista tekijöistä on yhteydessä sydämen maksimaaliseen minuuttitilavuuteen ja iskutilavuuteen. Valtimoiden ja laskimoiden happipitoisuuserolla on minuuttitilavuutta pienempi rajoittava vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn. (Saltin 1969; Bassett & Howley 1999.)

Keuhkojen toiminta ei ole merkittävä maksimaalista hapenottokykyä rajoittava tekijä. Merenpinnan tasolla keuhkojen toiminta ei yllä maksimaaliselle tasolle. Jopa maksimaalisessa rasituksessa valtimoiden happisaturaatio jää 95 %:iin. Korkeassa ilmanalassa ja keuhkosairauksien yhteydessä keuhkojen toiminta sen sijaan rajoittaa selvästi maksimaalista hapenottokykyä. (Bassett & Howley 1999.)

Kestävyysharjoittelulla on vaikutusta lihasten rakenteeseen ja toimintaan. Lihasten aineenvaihdunnalliset tekijät rajoittavat maksimaalista hapenottokykyä enemmän kestävyysuomituskykyä. (Bassett & Howley 1999.)

3.3.2 Submaksimaalinen kestävyys

Submaksimaalisella kestävyydellä tarkoitetaan suorituskyyä, joka suoritetaan tietyllä alle maksimaalisen hapenottokyvyn olevalla intensiteetillä. Intensiteetti voi olla esimerkiksi laktaatti- tai ventilaatiokynnys tai tietty suhteellinen osuus maksimaalisesta hapenottokyvystä. Kestävyysharjoittelu parantaa maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi submaksimaalista kestävyysuorituskyyä. On todettu, että maksimaalinen hapenottokyky kasvaa harjoittelun vaikutuksesta kaksi ensimmäistä kuukautta, minkä jälkeen kasvu pysähtyy. Submaksimaalista kestävyyttä voi sen sijaan kehittää vuosia. Maksimaalista hapenottokykyä pidetäänkin kestävyysuorituskyyvyn kehittymisen ylärajana. (Hollooszy & Coyle 1984; Bassett & Howley 1999.)

Kestävyysharjoittelu parantaa kykyä ylläpitää mahdollisimman suurta suhteellista osuutta maksimaalisesta hapenottokyvystä pitkän aikaa. Esimerkiksi kestävyyttä harjoitelleet henkilöt pystyivät ylläpitämään 87 %:n tehoa maksimaalisesta hapenottokyvystä tunnin, kun harjoittelemattomat henkilöt pystyivät pitämään yllä 50 % :n tehoa vastaavan ajan. Harjoittelun aiheuttamat suorituskyyvyn parannukset johtuvat pääasiassa aineenvaihdunnallisista syistä. Harjoittelu alentaa laktaattipitoisuuksia samalla intensiteetillä suoritettussa kestävyysuorituskyyssä. Lisäksi kestävyysharjoittelu parantaa rasvojen hyväksikäyttöä submaksimaalisella tasolla säästäten glykogeeniä. Submaksimaalisen kestävyuden on havaittu olevan voimakkaasti yhteydessä mitokondrioiden toimintaan, oksidatiiviseen kapasiteettiin ja glykogeenivarastoihin lihaksissa sekä korkeaan I-tyypin lihassolujen suhteelliseen osuuteen ja rasvojen tehostuneeseen hyväksikäyttöön. (Hollooszy & Coyle 1984; Åstrand & Rohdahl 1986, 420; Rowell 1986, 277; Bassett & Howley 1999; Paavolainen 1999, 21.)

Minuuttivilavuuden on todettu pysyvän muuttumattomana submaksimaalisen rasituksen aikana. (Rowell 1974, 259; Clausen 1977, 259.) Minuuttivilavuus pysyy suhteellisen vakiona sykkeessä ja iskutilavuudessa tapahtuvien muutosten avulla. Kestävyysharjoittelu alentaa sykettä ja nostaa iskutilavuutta tietyllä intensiteetillä tehdyssä kestävyysuorituskyyssä. Sykkeen lasku johtuu iskutilavuuden kasvusta ja minuuttivilavuuden pysymisestä muuttumattomana submaksimaalisessa rasituksessa.

Sykkeen laskun on todettu olevan yhteydessä myös valtimoiden alentuneisiin noradrenaliinipitoisuuksiin. (Rowell 1986, 267)

Myös keuhkojen toiminnassa on havaittu harjoittelun aiheuttamia muutoksia. Alhaisella intensiteetillä tehdyssä kestävyysuorituksessa keuhkojen ventilaatio ei muutu harjoittelun vaikutuksesta, mutta raskaammassa rasituksessa ventilaation on todettu laskevan tietyllä harjoitusintensiteetillä. (Åstrand & Rohdahl 1986, 455-456.)

3.4 Kestävyysharjoittelun yhteys suorituksen taloudellisuuteen

Hyötysuhde määrittää yleisesti tehdyn mekaanisen työn suhteena kulutettuun energiaan. Kestävyyslajeissa hyötysuhteen sijasta käytetään usein taloudellisuuden käsitettä, joka ilmaistaan maksimaalisella hapenottokyvyllä saavutettuna nopeutena tai matkana. (Bassett & Howley 1999.) Teknisesti helpoissa lajeissa harjoittelulla ei ole todettu olevan suurta vaikutusta taloudellisuuden parantumiseen. Yksilöiden väliset erot taloudellisuudessa voivat kuitenkin olla merkittäviä. Erot johtuvat biomekaanisista, fysiologisista ja hermo-lihasjärjestelmän adaptaatioista. Mitä vaikeampi laji on kyseessä, sitä suuremmat ovat yksilöiden väliset erot ja sitä suurempaa on harjoittelun vaikutus taloudellisuuteen. (Åstrand & Rohdahl 1986, 465; Paavolainen 1999, 22.)

Juoksun taloudellisuuden on osoitettu parantuvan monipuolisella juoksuharjoittelulla, joka on sisältänyt pitkäkestoisia ja intervallityyppisiä harjoituksia sekä mäkiharjoituksia. Taloudellisuuden parantumisen on oletettu johtuvan parantuneesta hyötysuhteesta, juoksumatolla juoksemiseen totumisesta, juokсутekniikan ja aerobisen energiankäytön muutoksista sekä motoristen yksiköiden optimaalisesta väräyksestä. Joissain tutkimuksissa juoksun taloudellisuuden on todettu korreloivan merkitsevästi juoksusuorituksen kanssa. Näin on erityisesti kestävyysurheilijoilla, joiden maksimaaliset hapenottokyvyn arvot ovat samat. Useissa tutkimuksissa taloudellisuuden ja kestävyysuorituksen väliltä ei vastaavaa yhteyttä ole kuitenkaan löytynyt. (Paavolainen 1999, 22.)

4 YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET ELIMISTÖSSÄ LYHYELLÄ JA PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ

4.1 Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistäminen

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu vähän ja tutkimustulokset ovat olleet hyvin vaihtelevia (Dudley & Fleck 1987). Tutkimustulosten vertailua on vaikeuttanut tutkimusasetelmien erilaisuus. Harjoitustapa, harjoitusten frekvenssi, intensiteetti ja kesto sekä koehenkilöiden tausta ja muuttujien valinta ovat erilaisia eri tutkimuksissa. Tutkimuksia on tehty sekä urheilijoilla että aikaisemmin systemaattisesti harjoittelemattomilla koehenkilöillä. (Leveritt ym. 1999.)

Yhdistetyn harjoittelun vaikutukset riippuvat tavasta, miten kaksi harjoitusmuotoa on yhdistetty. Osa aikaisemmista tutkimuksista on tutkinut harjoittelun jaksottamista ja harjoitusten suoritusjärjestystä (Bell ym. 1988; Sale ym 1990a; Collins & Snow 1993) ja osa on keskittynyt vertailemaan yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutusten eroja verrattuna erilliseen voima- ja kestävyysharjoitteluun. (Hickson 1980; Dudley & Djamil 1985; Hickson ym. 1988; Nelson ym. 1984; McCarthy ym. 1995; Bell ym. 2000.) Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että yhtäaikainen voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa olla tehokkaampaa kuin jaksottaminen, mutta pidempiaikaisessa harjoittelussa voiman ja kestävyuden kehittyminen voivat estyä yhtäaikaisessa harjoittelussa. (Hickson 1980; Dudley & Djamil 1985; Hunter ym. 1987.)

On mahdollista, että luurankolihaksisto ei voi adaptoitua optimaalisesti kahteen vastakkaiseen harjoitusärsykkeeseen, kun niitä harjoitetaan yhtä aikaa. Toisaalta yhtäaikainen voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa vuorovaikutuksellaan mieluummin edistää kuin estää voiman ja kestävyuden kehittymistä. (Sale ym. 1990b.) Voiman ja kestävyuden optimaalinen yhdistäminen on kuitenkin tärkeää urheilulajeissa, joissa vaaditaan erityisesti sekä voimaa että kestävyyttä (Bell ym. 1991; Bell ym. 1997.) Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua käytetään lisäksi armeijan harjoituksissa

(Kraemer ym 1995), ja vammojen tai kardiovaskulaaristen sairauksien kuntoutuksessa. (McCartney ym. 1991.)

4.2 Voimaharjoittelun vaikutus kestävyysasuoritukseen

Kestävyysarjoittelu parantaa suorituskykyä suorituksessa, joka tehdään matalalla kuormalla ja korkealla toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän lihasvoimaa ja anaerobista tehoa. Voimaharjoittelu parantaa päinvastaisesti suorituskykyä suorituksessa, joka tehdään korkealla kuormalla ja alhaisella toistomäärällä ja jossa vaaditaan vain vähän kestävyysominaisuuksia. (Dudley & Djamil 1985.) Monissa kestävyyslajeissa urheilijat tarvitsevat pitkäkestoisten kestävyyskapasiteetin lisäksi lihasvoimaa ja anaerobista tehoa. (Burke 1983.)

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että voimaharjoittelulla on kestävyysarjoitteluun verrattuna olematon vaikutus maksimaalisen hapenottokyvyn kasvuun. (Hickson ym. 1980; Hurley ym. 1980.) Vaikka maksimaalinen hapenottokyky on hyvä aerobisen kapasiteetin mittari, ei sillä välttämättä pystytä ennustamaan suorituskykyä. Hicksonin ym. (1980) tutkimuksessa 10 viikon voimaharjoittelujakson jälkeen kestävyysasuoritusajat paranivat huomattavasti, vaikka maksimaaliset hapenottokyvyn arvot pysyivät muuttumattomina: pyöräilyssä 47 % ja juoksussa 12 %. Kestävyysasuorituskyvyn paranemisen syyksi oletettiin jalkojen voiman ja tehon kasvua. Myös Hicksonin ym. (1988) myöhemmässä tutkimuksessa, jossa kestävyysurheilijoiden harjoitusohjelmaan lisättiin voimaharjoittelua, todettiin sekä lyhyt- että pitkäkestoisen pyöräilyasuorituksen paranemista. Suorituskyvyn paranemisen arveltiin johtuvan jalkavoimien 30 % kasvusta. Pitkäkestoisen pyöräilyasuorituksen paranemista voimaharjoittelun avulla havaitsivat myös Marcinic ym. (1991). Heidän tutkimuksessaan 75 % :n teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä suoritettun pyöräilyn aika parani 33 %. Huomioitavaa on, että edellämaituissa tutkimuksissa maksimaalisessa hapenottokyvyssä tapahtui vain keskimäärin 2 % :n muutos. (Tanaka & Swensen 1998.)

Voimaharjoittelu on havaittu parantavan myös anaerobista pyöräilytehoa. Wingaten anaerobisen tehon testillä harjoittelemattomilla koehenkilöillä, sotilailla ja uimareilla on

todettu 6-17 % kasvua pyöräilytehossa voimaharjoittelujakson jälkeen. (Inbar ym. 1981; Petersen ym. 1984; Kraemer ym. 1995.)

Voimaharjoittelun vaikutuksia on tutkittu myös juoksussa. On todettu, että anaerobinen teho on tärkein kestävyysjuoksua määrittävä tekijä, jos urheilijoiden maksimaaliset hapenottokyvyt ovat samoja. (Bulbulian ym. 1986.) Ensimmäisissä tutkimuksissa, joissa tutkittiin voimaharjoittelun vaikutuksia juoksusuoritukseen, koehenkilöt olivat aikaisemmin harjoittelemattomia. Voimanharjoittelun havaittiin parantavan jalkojen voimaa keskimäärin 25 % ja lyhytkestoista juoksusuoritusta noin 10 %, kun maksimaalinen hapenottokyky pysyi muuttumattomana. (Tanaka & Swensen 1998.) Myös aikaisemmin harjoitelleilla on voimaharjoittelu parantanut jalkojen voimaa, lyhytkestoista juoksusuoritusta ja anaerobista tehoa. Hicksonin ym. (1988) tutkimuksessa, jossa kestävyysurheilijoiden harjoitusohjelmaan lisättiin voimaharjoittelua, todettiin jalkojen voiman lisääntyneen 30 % ja lyhytkestoisen juoksusuorituksen parantuneen 13 %. Hunter ym. (1987) havaitsivat voimaharjoittelun lisäävän jalkojen voimaa 40 % ja parantavan vertikaalihyppysuoritusta 15 %. Tulokset olivat yhteydessä parantuneeseen juoksusuoritukseen. Sekä Hicksonin ym. (1988) että Hunterin ym. (1987) tutkimuksista ei havaittu voimaharjoittelun muuttavan maksimaalista hapenottokykyä.

Voimaharjoittelun on todettu parantavan myös uintisuoritusta. Monissa tutkimuksissa on havaittu ylävartalon voimatason ja/tai tehon korreloivan korkeasti uintinopeuden kanssa 23-400 m matkoilla. Korrelaatiot ovat lyhyemmillä matkoilla olleet 0.87 ja pidemmillä matkoilla 0.63. (Tanaka & Swensen 1998.)

4.3 Kestävyysharjoittelun vaikutukset voimantuottoon

Kestävyysharjoittelun vaikutuksia voimaominaisuuksiin on tutkittu vähän. On todettu, että kestävyysharjoittelu, kuten juoksu, pyöräily ja uinti lisäävät mitokondrioiden ja myoglobiinin määrää lihaksessa, parantaa maksimaalista hapenottokykyä ja pitkäkestoista suorituskapasiteettia aiheuttamatta kuitenkaan hypertrofiaa tai voimantuoton kasvua. (Hollooszy & Booth 1976.) Kestävyysharjoittelun on havaittu estävän voimantuoton kehittymistä. Useissa tutkimuksissa kestävyysharjoittelun jälkeen mitatuissa voimamuuttujissa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta. (Hickson 1980;

Hunter ym. 1987; Nelson ym. 1984; McCarthy ym. 1995;.) Muutamissa tutkimuksissa on kestävyysharjoittelun kuitenkin todettu parantavan voimaominaisuuksia. (Rosler ym. 1986; Moroz & Houston 1987.)

Intensiivisen kestävyysharjoittelun on todettu muuttavan lihassolusuhdetta kasvattamalla hitaita soluja ja heikentämällä nopeiden solujen rakennetta (Green ym. 1984; Luginbuhl ym. 1984.) Syyksi tähän arvellaan katabolisten hormonien lisääntyntä määrää kestävyysharjoittelun vaikutuksesta. (Bell ym. 2000.) Koska nopeat lihassolut tuottavat enemmän voimaa (Häkkinen 1990, 13), voi voimantuoton heikkenemistä kestävyysharjoittelun vaikutuksesta pitää mahdollisena. Urheilijoille, joiden laji vaatii räjähtävää tai maksimaalista voimaa, voi intensiivinen kestävyysharjoittelu olla jopa vahingollista. (Hickson 1980; Dudley & Fleck 1987.) Toisaalta kestävyysharjoittelu voi parantaa kykyä ylläpitää tiettyä voimatasoa suhteellisen pitkään tai kykyä toistaa tiettyjä voimatasoja useita kertoja peräkkäin suhteellisen lyhyillä palautusajoilla. (Goldberg ym. 1975; Häkkinen 1990, 41.)

4.4 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset hermo-lihasjärjestelmän toimintaan

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on todettu heikentävän voiman kehittymistä. (Hickson 1980; Dudley & Djamil 1985.) Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että lyhytaikainen voima- ja kestävyysharjoittelu (<7-10 viikkoa) aiheuttaa samanlaiset adaptaatiot kestävyudessa ja voimassa. (Hickson 1980; Hunter ym. 1987; Bell ym. 1991.) Vasta 7-12 viikkoa kestäneen yhdistetyn harjoittelun on todettu heikentävän voiman kehittymistä. (Dudley & Djamil 1985; Hortobagyi ym. 1991; Hennessy & Watson 1994; Kraemer ym. 1995; Bell ym. 1998.) Nelson ym. (1984) ovat saaneet päinvastaisia tuloksia. Heidän tutkimuksessaan yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei heikentänyt voiman kehittymistä vaan kestävyysominaisuuksien.

Voimantuoton muutoksiin vaikuttavat sekä neuraaliset eli hermostolliset että hypertrofiset tekijät. Aikaisemmissa tutkimuksissa on tutkittu yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia lihassolujen muutoksiin ja hypertrofiaan.

Neuraalisista voimantuoton muutoksiin vaikuttavista tekijöistä on vain oletuksia, mutta ei aikaisempaa tutkimustietoa. (Leveritt ym. 1999.)

4.4.1 Lihassolujen muutokset ja hypertrofia

Aikaisempien tutkimusten mukaan voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun lihassolumuutokset ovat lähes samanlaisia. (Nelson ym. 1984; Sale ym. 1990b; Kraemer ym. 1995.) Esimerkiksi Kraemerin ym. (1995) tutkimuksessa sekä voima- että voimakestävyysryhmässä tapahtui IIB-tyyppin lihassolujen muuntumista IIA-tyyppin soluiksi, kuten kuvasta 6 voi nähdä. Harjoittelujakson lopussa lähes kaikki IIB-tyyppin solut olivat muuntuneet IIA-tyyppin soluiksi kummallakin ryhmällä.

<u>Ryhmä</u>	<u>Lihassolujen jakautuminen</u>	<u>Poikkipinta-ala</u>
VK	IIA ← IIB	↑ IIA
V	IIA ← IIB	↑ IIA, IIC
K	IIC ← IIA ← IIB	↓ I, IIC

KUVA 6. Lihassolutyypin muuntuminen ja poikkipinta-alat voima-kestävyysryhmässä (VK), voimaryhmässä (V) ja kestävyysryhmässä (K). (Kraemer ym. 1995.)

Pienet erot voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun aiheuttamissa lihassolumuutoksissa on muun muassa Nelsonin ym. (1990) ja Salen ym. (1990b) tutkimuksissa liitetty häiriöttömään voiman kehittymiseen yhdistetyssä voima- ja kestävyysarjoittelussa. Edellä mainituissa tutkimuksissa on lihassolujen erottelemisessa käytetty hyväksi histokemiallista tekniikkaa, jonka luotettavuus ei ole paras mahdollinen. Tekniikka jättää usein pienet muutokset huomioimatta. (Leveritt ym. 1999.)

Aikaisempien tutkimusten mukaan voimaharjoittelu aiheuttaa lihassoluissa hypertrofiaa. (Häkkinen ym. 1981; MacDougall, Elder & Sale 1980.) Kestävyysarjoittelun hypertrofisista vaikutuksista on aikaisemmista tutkimuksista sen sijaan saatu ristiriitaista tuloksia. Yhdistetyn voima- ja kestävyysarjoittelun on todettu

muodostavan erillisistä voima- ja kestävyysharjoittelun adaptaatioista poikkeavat adaptaatiot lihaksistossa. (Hunter ym. 1987; Leveritt ym. 1999.)

On todettu, että yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa sekä erillisissä voima- ja kestävyysharjoittelussa tapahtuu hypertrofiaa eri lihassoluissa. (Nelson ym. 1984; Kraemer ym. 1995.) Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset lihassolujen hypertrofiaan ovat kuitenkin epäselvät. Hajonnat eri tutkimusasetelmien ja -tulosten välillä ovat suuria. (Leveritt ym. 1999.) Kraemerin ym. (1995) tutkimus osoitti voimaharjoittelun aiheuttaneen hypertrofiaa I-, IIa- ja IIb-tyyppien lihassoluissa, kun taas kestävyysharjoittelun todettiin aiheuttaneen hypertrofiaa I- ja IIc-tyyppien lihassoluissa. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun havaittiin aiheuttaneen hypertrofiaa ainoastaan IIa-tyypin soluissa. Nelsonin ym. (1990) mukaan yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu sekä kestävyysharjoittelu aiheuttivat merkitsevää hypertrofiaa I-, IIa- ja IIb- tyyppien lihassoluissa, voimaharjoittelu aiheutti hypertrofiaa ainoastaan IIb-tyypin lihassoluissa. Sale ym. (1990a) raportoi lihaksen kokonaispoikkipinta-alan olevan yhtä suuri yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ja voimaharjoittelun jälkeen. (Leveritt ym. 1999.)

4.4.2 Voimantuoton muutokset

Aikaisemmin systemaattisesti harjoittelemattomilla koehenkilöillä tehdyissä tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu on parantanut voimantuottoa kuten taulukosta 2 voi nähdä. Taulukon 2 tutkimusten tuloksista on havaittavissa, että sekä voima- että voima-kestävyysryhmillä on voimaominaisuudet parantuneet merkitsevästi lähtötasosta. (Hickson 1980; Dudley & Djamil 1985; Nelson ym. 1984; McCarthy ym. 1995; Bell ym. 2000.) Vain Bellin ym. (2000) ja McCarthyn ym. (1995) tutkimuksissa voima- ja voima-kestävyysryhmän voimantuotto parani lähes samanlaisesti.

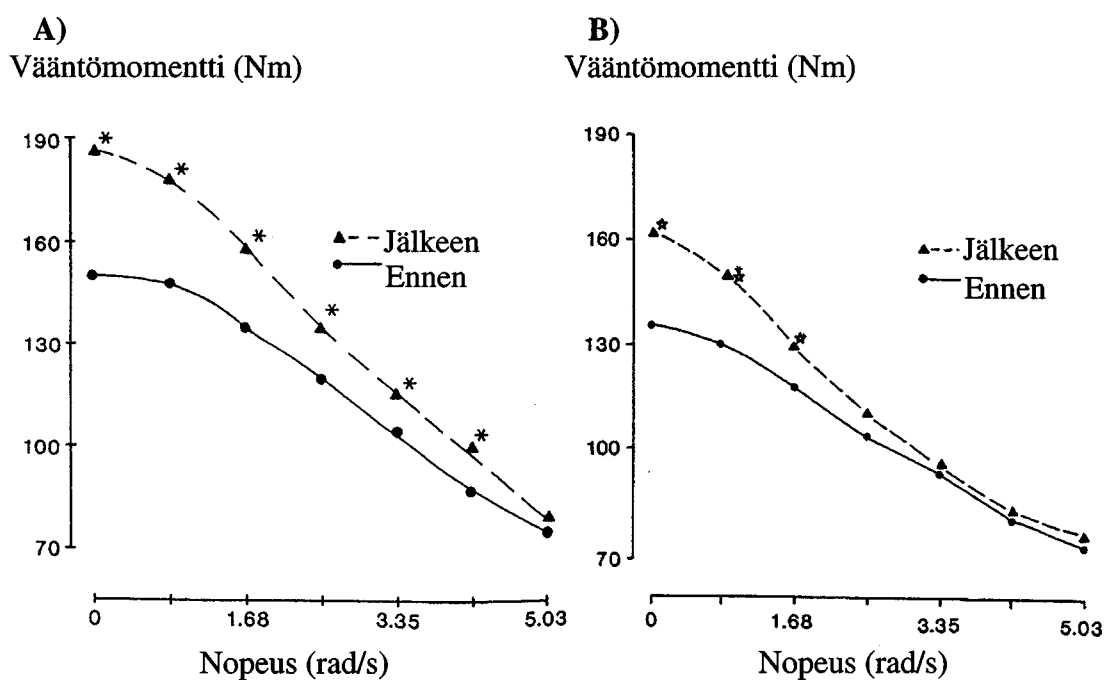
TAULUKKO 2. Tutkimustuloksia yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista voima- ja kestävyysominaisuuksiin aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä.

TUTKIJAT	TUTKIMUSASETELMA (Tutkimuksen kesto, koeryhmät, harjoittelu)	TULOKSET	
		VOIMA	KESTÄVYYS
BELL, G.J. ym. (2000)	12 viikkoa; 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 intervallityyppinen 3 min työtä/ 3 min lepoa, sarjoja 4-7, VK-ryhmä: 3 VH+3 KH/vko em. tavalla.	Maksimaalinen bilateraalinen jalkaprässi ja unilateraalinen polven ojennus paranivat merkittävästi V- ja VK-ryhmällä. K-ryhmän jalkaprässissä näkyi merkittävä kasvua 6 viikon kohdalla.	VO _{2max} parani merkittävästi K- ja VK-ryhmissä 12 viikon aikana. V-ryhmällä ei tapahtunut merkittäviä muutosta.
DUDLEY, G.A. & DJAMIL, R. (1985)	7 viikkoa; Koeryhmät: V, K, VK; Harjoittelu: V-ryhmä: 3 VH/vko 2 sarjaa max toistot/30 s kulmanopeus 4.19 rad /1, K-ryhmä: 3 KH/vko pp-ergometrillä intervallityyppistä harjoittelua 5 min työtä/5min lepoa, sarjoja 5, VK-ryhmä: 3 VH+3 KH/vko em. tavalla.	Maksimaalinen polvenojennusvoima parani merkittävästi V-ryhmällä kaikilla nopeuksilla 0.00-4.19 rad/s. VK-ryhmällä vai nopeuksilla 0.00, 0.24 ja 1.68 rad/s.	K- ja VK-ryhmän VO _{2max} parani merkittävästi sekä suhteellisesti 16,2% ja 18,7% että absoluuttisesti 16,9% ja 20,9%.
HICKSON, R.C. (1980)	10 viikkoa; Koeryhmät: V, K, VK; Harjoittelu: V-ryhmä: 5 VH/vko 3-5 sarjaa, toistoja 5-20 riippuen liikkeestä, vastus 80% max, palautus 3 min, K-ryhmä: 6KH/vko 3 yhtäjaksoista+3 intervallityyppistä harjoitusta, VK-ryhmä: 5 VH+6 KH/vko em. tavalla.	Keskimääräinen voima parani V- ja VK-ryhmällä 7 viikkoa. V-ryhmän kehitys jatkui koko 10 viikkoa, kasvu 44%. VK-ryhmän kehitys pysähtyi 7 viikon jälkeen ja kääntyi laskuun 9 ja 10 viikon aikana. K-ryhmän voima ei parantunut.	K- ja VK-ryhmän välillä ei ollut merkittävä ero VO _{2max} kasvussa. Parannus oli 23% K- ja 18% VK-ryhmällä pp-ergometrillä ja 17 molemmilla juosten. V-ryhmän VO _{2max} ei tapahtunut muutosta.
McCARTHY, J.P. ym. (1995)	10 viikkoa; Koeryhmät: V, K, VK; Harjoittelu: V-ryhmä: 3 VH/vko 8 liikettä, 3 sarjaa, toistoja 6 maksimaalista, palautus 60-90 s; K-ryhmä: 3 KH/vko yhtäjaksoista pyöräilyä pp-ergometrillä 50 min; VK-ryhmä: 3 VH/vko+3 KH/vko em. tavalla, molemmat harjoitukset tehdään samana päivänä.	Isometrinen polvenojennusvoima kasvoi merkittävästi V- ja VK-ryhmällä, mutta ei K-ryhmällä. Isotonisessa voimassa tapahtui merkittävä kasvua V- ja VK-ryhmässä, mutta ei K-ryhmässä.	Absoluuttinen ja suhteellinen VO _{2max} parani merkittävästi kaikilla ryhmillä (p<0.007).
NELSON, A.G. ym. (1984)	20 viikkoa; Koeryhmät: V, K, VK; Harjoittelu: V-ryhmä: 4 VH/vko 3 sarjaa, toistoja 6, vastus 30%/s, K-ryhmä: 4 KH/vko yhtäjaksoista pyöräilyä pp-ergometrillä 1 tunti, VK-ryhmä: 4 VH/vko+4 KH/vko em. tavalla, molemmat harjoitukset tehdään samana päivänä.	Voima kasvoi merkittävästi V- ja VK-ryhmässä (p<0.05), VK-ryhmässä kasvu oli suurempaa.	VO _{2max} parani merkittävästi sekä V- että VK-ryhmässä. K-ryhmässä kasvu oli suurempaa.

V= voimaryhmä, K= kestävyysryhmä, VK= voima-kestävyysryhmä, C= kontrolliryhmä

VH= voimaharjoitus, KH= kestävyysharjoitus

Hicksonin (1980) tutkimuksessa havaittiin, että voima- ja voima-kestävyysryhmän voimantuotto parani samanlaisesti seitsemän viikkoa, mutta sen jälkeen voimaryhmän kehitys jatkui ja voima-kestävyysryhmän kehitys pysähtyi ja kääntyi laskuun. Dudleyn ja Djamilin (1985) tutkimuksessa voimaryhmän voimantuotto oli kasvanut selvästi enemmän kuin voima-kestävyysryhmän. He totesivat kuvan 7 mukaisesti voimaryhmän voimantuoton parantuneen voima-kestävyysryhmää enemmän erityisesti suuremmilla kulmanopeuksilla. Nelson ym. (1984) saivat tutkimuksessaan päinvastaisia tuloksia. Heidän tutkimuksensa mukaan yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu paransi voimantuoton kehittymistä. Myös Hunter ym. (1987) on tutkinut aikaisemmin harjoittelemattomia koehenkilöitä ja todennut 12 viikon tutkimuksessaan voima- ja voima-kestävyysryhmän parantaneen voimantuottoa merkitsevästi sekä penkkipunnerruksessa että jalkakyykyssä. Jalkakyykyyn tulokset paranivat voimaryhmällä suhteessa enemmän kuin voima-kestävyysryhmällä.



KUVA 7. Voimantuoton muutokset voimaryhmällä (A) ja voima-kestävyysryhmällä (B). Voimaryhmän voimantuotto parani voima-kestävyysryhmää enemmän erityisesti suurilla kulmanopeuksilla. (Dudley & Djamil 1985.)

Taulukon 2 mukaisilla koeasetelmilla on tutkittu myös aikaisemmin harjoitelleita koehenkilöitä. Useissa tutkimuksissa voimantuotto on parantunut sekä voima- että voima-kestävyysryhmässä. (Hennessy & Watson 1994; Kraemer ym. 1995; Bell ym. 1997; Bell ym. 1998.) Bell ym. (1997) ovat tutkineet 16 viikon tutkimuksessaan

soutajia. Tutkimuksessa todettiin, että voima-kestävyysryhmän, joka harjoitteli kolme kertaa viikossa voimaa ja kolme kertaa viikossa kestävyyttä eri päivinä, bilateraalinen jalkaprässi (1 RM) parani merkitsevästi 4, 8, 12 ja 16 viikon jälkeen. Jalkaprässin tulos oli merkitsevästi suurempi viikkojen 8 ja 12 jälkeen kuin ennen harjoittelua ja viikolla 4. Voimaryhmän, joka harjoitteli kolme kertaa viikossa voimaa, bilateraalinen jalkaprässi parani sen sijaan merkitsevästi koko 16 viikon ajan. Suhteellinen voimankasvu oli samanlaista kummassakin ryhmässä.

Myös Kraemer ym. (1995) ovat tutkineet harjoitteluita koehenkilöitä 12 viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan. Sekä voima-, kestävyys- että voima-kestävyysryhmä harjoitteli neljä kertaa viikossa. Voima-kestävyysryhmä suoritti voima- ja kestävyysharjoituksen samana päivänä. 12 viikon harjoittelun jälkeen voima- ja voima-kestävyysryhmällä tapahtui merkitsevää kehitystä bilateraaliossa jalan ojennuksessa (1 RM), jossa suhteelliset parannukset olivat $34,40 \pm 11,40$ % ja $34,40 \pm 8,61$ %; jalkaprässissä, jossa suhteelliset parannukset olivat $30,00 \pm 7,67$ % ja $19,50 \pm 9,50$ % sekä penkkipunnerruksessa. Kraemerin tutkimus osittain tukee Hicksonin (1980), Hunterin ym. (1987) ja Dudleyyn & Djamilin (1985) tuloksia voimantuoton heikentymisestä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksesta; voimaryhmän suhteelliset parannukset olivat huomattavasti suuremmat kuin voima-kestävyysryhmän. Samansuuntaisia tuloksia ovat saaneet myös Hennessy & Watson (1994) ja Bell ym. (1998).

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu myös aikaisempaa kestävyysharjoittelutaustaa omaavilta koehenkilöiltä. Hunter ym. (1987) totesivat voimantuoton kehittyvän parhaiten koeryhmässä, jossa koehenkilöiden kestävyysharjoitteluun lisättiin voimaharjoittelua. Edellä mainitun koeryhmän penkkipunnerrus parani merkitsevästi ($p < 0,05$) enemmän kuin aikaisemmin harjoittele mattomien koehenkilöiden muodostamissa voima- ja voima-kestävyysryhmissä. Jalkakyykyssäkin tulokset olivat merkitsevästi parempia kuin aikaisemmin harjoittele mattoman voima-kestävyysryhmän, mutta samansuuntaisia kuin aikaisemmin harjoittele mattoman voimaryhmän. Myös Hicksonin ym. (1988) tutkimuksessa aikaisemmin kestävyysurheilua harrastaneiden harjoitusohjelmaan lisättiin voimaharjoittelua. Voimantuotto parani voimaharjoittelun myötä 27 % jalkakyykyssä, 37 % polven ojennuksessa ja 25 % polven koukistuksessa.

Edellä mainittujen koeasetelmien lisäksi yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu erilaisin yhdistelmin. Bell ym. (1988 ja 1991) ovat tutkineet voima- ja kestävyysharjoittelun jaksottamista soutajilla. Tutkimuksissa tutkittiin kestävyuden ja nopea- sekä hidastempoisen voimaharjoittelun jaksottamista. Molemmat tutkimukset kestivät 10 viikkoa. Molemmissa tutkimuksissa oli kaksi ryhmää, toinen ryhmä suoritti ensin viiden viikon voimaharjoittelujakson ja sen jälkeen viiden viikon kestävyysharjoittelujakson, kun taas toinen ryhmä suoritti jaksot toisin päin. Tulokset osoittivat voimaharjoittelun aiheuttavan merkitsevää kasvua polvenojennus- ja koukistusvoimassa molemmissa ryhmissä huolimatta harjoitusjärjestyksestä. Ensin voimaharjoittelujakson tehneillä voimankasvu polvenojennuksessa oli 8,1% ja kestävyysharjoittelujakson jälkeen tehneillä 11,7%.

Collins & Snow (1993) ja Sale ym. (1990a) ovat tutkineet voima- ja kestävyysharjoittelua samana tai eri päivinä. Collins ja Snow (1993) tutkivat seitsemän viikon tutkimuksessaan onko samana päivänä suoritettujen voima- ja kestävyysharjoituksen suoritusjärjestyksellä eroa aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä. Tuloksista ilmeni, että suoritusjärjestyksellä ei ole merkitystä. Tulokset paranivat merkitsevästi penkkipunnerruksessa, olkaprässissä, jalkaprässissä ja havisväännössä huolimatta siitä oliko ensin tehty voima- vai kestävyysharjoitus. Salen ym. (1990a) tutkimuksessa todettiin voimankasvun olevan merkitsevästi suurempaa, kun voima- ja kestävyysharjoittelu suoritetaan eri päivinä eikä samana ($p < 0.009$).

Mainittujen tutkimusten lisäksi muutamassa tutkimuksessa on havaittu muutoksia kestovoimassa. Hortobagyi ym. (1991) totesivat matala- ja korkeavastuksisen kuntopiiriharjoittelun parantavan kuntotestiarvoja. Kahden minuutin aikana suoritettujen toistomäärien paranivat istumaannousussa keskimäärin 10,8 toistoa ja punnerruksessa 14,2 toistoa. Sale ym. (1990b) tutkimuksessa todettiin yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun parantavan 80 % maksimivoimasta suoritettujen toistojen määrää (152%) enemmän kuin voimaharjoittelun yksinään (81 %).

4.5 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset kestävyysominaisuuksiin

Useimmissa tutkimuksissa yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun ei ole todettu heikentävän kestävyysominaisuuksien kehittymistä. (Leveritt ym. 1999.) Kestävyysominaisuuksien muutoksia tutkittaessa yleisimmin tutkittuja aiheita ovat olleet maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) ja submaksimaalinen kestävyysuoritus. (Dudley & Fleck 1987; Leveritt ym. 1999.)

4.5.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Aikaisemmin systemaattisesti harjoittelemattomilla koehenkilöillä tehdyissä tutkimuksissa yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei ole heikentänyt kestävyysominaisuuksien kehittymistä kuten taulukosta 2 voi nähdä. (Hickson 1980; Dudley & Djamil 1985; Nelson ym. 1984; McCarthy ym. 1995; Bell ym. 2000.) Nelson ym. (1984) tosin olettivat tutkimuksensa perusteella, että yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla saattaa olla negatiivinen vaikutus kestävyuden kehittymiseen. Taulukon 2 tuloksista on havaittavissa, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei ole heikentänyt maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymistä verrattuna kestävyysharjoitteluun. Kaikissa taulukon tutkimuksissa kestävyys- ja voima-kestävyysryhmän VO_{2max} parani merkitsevästi. Myös Hunter ym. (1987) on tutkinut aikaisemmin harjoittelemattomia koehenkilöitä ja todennut 12 viikon tutkimuksessaan kestävyys- ja voima-kestävyysryhmän parantaneen maksimaalista hapenottokykyä merkitsevästi.

Taulukon 2 mukaisilla koeasetelmilla on tutkittu myös urheilijoita ja aktiivisia liikunnan harrastajia. Myöskään harjoitelleilla koehenkilöillä yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei ole heikentänyt kestävyysominaisuuksien kehittymistä. (Bell ym. 1997; Kraemer ym. 1995.) Bell ym. (1997) totesivat 16 viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun parantaneen merkitsevästi soutuajien maksimaalista hapenottokykyä ja ventilaatiota verrattuna lähtötasoon ($p < 0.05$). Kraemer ym. (1995) totesivat samoin 12 viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan. Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu paransi merkitsevästi

arnejan ohjelmoidulla ohjelmalla harjoitteleiden koehenkilöiden maksimaalista hapenottokykyä. Kestävyysryhmän parannus oli $11,82 \pm 3,90$ % ja voimakestävyysryhmän $7,69 \pm 4,50$ %.

Edellä mainittujen koeasetelmien lisäksi yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua on tutkittu erilaisin yhdistelmin. Bell ym. (1988 ja 1991) ovat tutkineet nopea- ja hidastempoisen voimaharjoittelun sekä kestävyysharjoittelun jaksottamista soutajilla. 10 viikon tutkimuksessa, jossa toinen ryhmä harjoitteli ensin viisi viikkoa kestävyyttä ja sen jälkeen viisi viikkoa voimaa ja toinen ryhmä päinvastoin, todettiin maksimaalisen hapenottokyvyn kasvua kummallakin ryhmällä. Viiden viikon kestävyysharjoittelujakson jälkeen suoritetun voimaharjoittelujakson todettiin laskeneen kestävyysominaisuuksia.

Collins & Snow (1993) ja Sale ym. (1990a) ovat tutkineet voima- ja kestävyysharjoittelua samana tai eri päivinä. Collins ja Snow (1993) tutkivat seitsemän viikon tutkimuksessaan onko samana päivänä suoritettujen voima- ja kestävyysharjoituksen suoritusjärjestyksellä merkitystä. Tulokset osoittivat maksimaalisen hapenottokyvyn parantuneen merkitsevästi aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä huolimatta siitä onko ensin tehty voima- vai kestävyysharjoitus. Salen ym. (1990a) tutkimuksessa todettiin, että maksimaalisen hapenottokyvyn kannalta ei ole merkitystä tekeekö voima- ja kestävyysharjoitukset samana vai eri päivinä. Sekä absoluuttiset että suhteelliset maksimaaliset hapenottokyvyt paranivat merkitsevästi aikaisemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä.

4.5.2 Submaksimaalinen kestävyys

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista submaksimaaliseen kestävyYTEEN on tutkittu vähän. Bell ym. (1988, 1991) ovat raportoineet tutkimuksissaan, joissa tutkittiin kestävyYDEN sekä hidas- että nopeatempoisen voimaharjoittelun jaksottamista soutajilla, kestävyysharjoittelun aiheuttaneen merkitsevää laskua submaksimaalisessa sykkeessä ja laktaatissa. Voimaharjoittelun jälkeen kestävyysominaisuuksissa todettiin merkitsevää laskua. Ferketich ym. (1998)

taas totesivat tutkiessaan iäkkäitä, aikaisemmin harjoittelemattomia naisia submaksimaalisen pyöräilysuorituksen parantuneen 396 % yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen, kun kestävyysharjoittelun jälkeen parannus oli vain 165 %. Submaksimaalisen sykkeen todettiin laskevan 13 % voima-kestävyys- ja 8 % kestävyysryhmällä verrattuna lähtötasoon. Myös Hortobagyi ym. (1991) ovat havainneet yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun parantavan submaksimaalista suorituskykyä aikaisemmin harjoitelleilla koehenkilöillä. He totesivat alhaisella ja korkealla vastuksella suoritettua kuntopiiriharjoittelun parantavan kahden mailin juoksusuoritusta merkitsevästi ($p < 0.05$). Juoksuaika parani keskimäärin 145,5 sekuntia.

Kestävyysurheilijoilla, joiden maksimaaliset hapenottoyvyn arvot ovat samanlaisia, voimaharjoittelun lisäämisen harjoitteluun on todettu parantavan submaksimaalista suoritusta merkitsevästi. Hickson ym. (1988) tutkimuksessa yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu paransi lyhytkestoista pyöräilysuoritusta 11 % ja juoksusuoritusta 13%. Pitkäkestoinen kestävyys parani uupumukseen suoritettussa pyöräilyssä 20 %.

4.6 Yhteenveto yhdistettyjen voima- ja kestävyysharjoittelututkimusten tuloksista

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksista hermo-lihasjärjestelmän toimintaan on vaikea vetää selvää johtopäätöstä. Osa tutkimuksista tukee oletusta, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu heikentää voiman kehitystä, kun taas osa toteaa ettei yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla ole merkitystä voimantuoton kehittymisen kannalta. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun voimantuottoa heikentävään vaikutukseen on löydetty monia selityksiä. Yhtenä mahdollisena selityksenä voidaan pitää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun aiheuttamaa lihassolujakauman muutosta, joka johtaa alentuneeseen lihaksen poikkipinta-alaan. Lihassolumuutoksien on tutkimusten mukaan havaittu johtuvan katabolisten hormonien lisääntyneestä määrästä. (Kraemer ym. 1995; Bell ym. 2000.) Toisena selityksenä voidaan pitää harjoittelun aiheuttamaa yliharjoittelutilaa, joka voi johtua kroonisesta glykogeenin puutteesta. (Gollnick & Hermansen 1973.) Kolmantena selityksenä voidaan pitää lihaksen hermostollisia ja luontaisia ominaisuuksia. Perrine ja Edgerton (1978) olettivat hermostoperäisen jännitystä rajoittavan mekanismin olevan suurin tekijä, joka vaikuttaa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa voiman kehittymiseen hitaalla nopeudella mutta ei nopealla.

Yhdistetyn voima- ja kestävyys­harjoittelun vaikutuksista hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaan on johtopäätösten tekeminen sen sijaan helpompaa. Useimpien tutkimusten mukaan yhdistetyllä voima- ja kestävyys­harjoittelulla ei ole kestävyysominaisuuksien kehittymistä heikentävää vaikutusta. (Leveritt ym. 1999.)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

5.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena on selvittää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hermo-lihasjärjestelmän suorituskykyyn aiemmin systemaattisesti harjoittelemattomilla miehillä. Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun aiheuttamaa voimaominaisuuksien kehittymistä verrataan pelkän voimaharjoittelun vastaaviin arvoihin. Lihasen voimantuoton kehittymisen ohella pyritään selvittämään aikaisemmin tutkimatonta lihasen aktivoitumista ja voimantuoton nopeutta. Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena on selvittää yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn. Tutkimus toteutetaan kahden erillisen tutkimuksen, voima- ja voima-kestävyys – tutkimuksen avulla.

Tutkimuksen avulla pyritään lisäksi löytämään tärkeää lisätietoa selvitettäessä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia elimistön toimintaan sekä etsittäessä mahdollisimman tehokkaita ja kehoa monipuolisesti kehittäviä harjoitusmenetelmiä.

5.2 Tutkimusongelmat

Tutkimuksen perusteella keskitytään seuraavien ongelmien tarkasteluun:

1. Miten isometriset ja konsentriset maksimivoimaominaisuudet kehittyvät lyhyellä ja pitkällä aikavälillä
2. Miten kestävyysominaisuudet kehittyvät lyhyellä ja pitkällä aikavälillä
3. Miten isometriset ja konsentriset maksimivoimaominaisuuksien muutokset eroavat voimaryhmän ja voima-kestävyysryhmän välillä
4. Miten voima-aika –käyrän muutokset eroavat voimaryhmän ja voima-kestävyysryhmän välillä
5. Onko agonistien ja antagonistien aktivoinnin muutoksilla yhteyttä voimantuottoon voimaryhmässä ja voima-kestävyysryhmässä

6. Onko voima-kestävyyssryhmässä voima- ja kestävyysmuuttujien välillä yhteyttä

5.3 Tutkimushypoteesit

Työhypoteesi 1: Kestävyysominaisuudet kehittyvät koko yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelujakson ajan lineaarisesti.

Työhypoteesi 2: Voimaominaisuudet kehittyvät yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelujakson alussa nopeasti, mutta tasaantuvat myöhemmin.

Työhypoteesi 3: Voimaryhmän voimaominaisuudet kehittyvät enemmän kuin voima-kestävyys –ryhmän.

Työhypoteesi 4: Voima-kestävyyssryhmässä voimaominaisuudet kehittyvät suhteellisesti enemmän kuin kestävyysominaisuudet.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

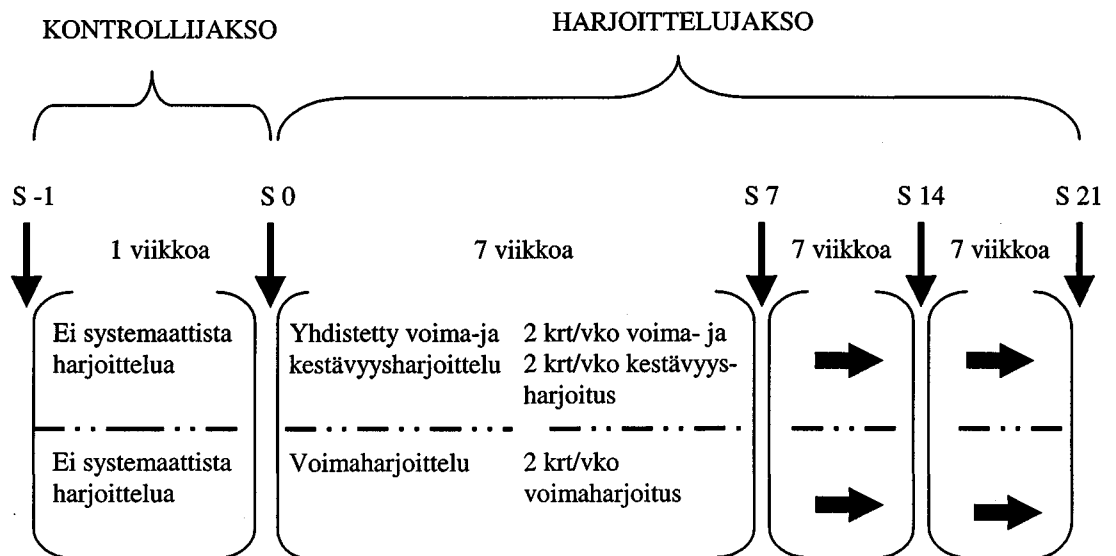
6.1 Koehenkilöt

Voimatutkimuksessa oli koehenkilöinä 16 ja voima-kestävyystudkimuksessa 11 aikaisemmin systemaattisesti harjoittelematonta miestä. Voimaryhmän ja voima-kestävyyssryhmän koehenkilöiden tiedot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Voimaryhmän (n=16) ja voima-kestävyyssryhmän (n=11) koehenkilöiden keskimääräiset taustatiedot tutkimuksen alussa.

	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasva%
Voimaryhmä	38±5	179±5	84±15	20±5
Voima-kestävyyssryhmä	37±5	181±8	89±13	23±5

6.2 Tutkimusasetelma



KUVA 8. Tutkimusasetelma. S=seurantamittaus.

Tutkimusasetelma (kuva 8) koostuu kahdesta erillisestä tutkimuksesta, voima- ja voima-kestävyys –tutkimuksesta. Molemmat tutkimukset toteutettiin samanlaisen mittausprotokollan mukaan.

6.3 Tutkimusaikataulu

Voima-kestävyystutkimus toteutettiin 5.2. – 13.7.2001 välisenä aikana. Voimatutkimuksen mittaukset on suoritettu vuoden 2000 aikana vastaavaan ajankohtaan. Molemmat tutkimukset kestivät 22 viikkoa, joista harjoitteluviikkoja oli 21 ja kontrolliviikkoja yksi. Seurantamittauksia oli kuvan 8 mukaisesti kontrollijaksossa viikoilla –1 ja 0 ja harjoittelujaksossa viikoilla 7, 14 ja 21. Kontrollijakson aikana koehenkilöt jatkoivat normaalia liikuntaharrastustaan, joka ei sisältänyt systemaattista voima- ja kestävyysharjoittelua.

6.4 Harjoittelu

Voima-kestävyystutkimuksessa koehenkilöt harjoittelivat neljä kertaa viikossa. Harjoittelu sisälsi kaksi voimaharjoitusta ja kaksi kestävyysharjoitusta. Voimaharjoitukset suoritettiin Jyväskylän monitoimitalon kuntosalilla ohjaajan opastuksella. Harjoituspäiviä olivat maanantai ja torstai. Harjoitusten kesto oli noin tunti. Taulukossa 4 on havainnollistettu voimaharjoittelun eteneminen harjoitusjakson aikana. Jokainen voimaharjoitus sisälsi 6-8 harjoitetta, jotka sisälsivät 2-5 sarjaa. Harjoite- ja sarjapalaute oli 2-3 minuuttia.

TAULUKKO 4. Voimaharjoittelun eteneminen harjoittelujakson aikana. Harjoituskuorma kasvoi progressiivisesti koko harjoitusjakson ajan. S=seurantamittaus.

Viikko	7 ⇨	11 ⇨	14 ⇨	18 ⇨	21 ⇨	25 ⇨	28
Testit	S0		S7		S14		S21
Voima	40-60%	60-70%	60-70%	60-80%	70-80%	70-80%	
Nopeus-voima			40-60%	40-60%	40-60%	40-60%	

Kestävyysharjoittelu oli monipuolista kestävyysliikuntaa. Toteutettavia lajeja olivat juoksu, kävely, pyöräily ja hiihto. Harjoituksen kesto oli harjoitusjakson alussa noin puoli tuntia, mutta loppua kohti se piteni aina puoleentoista tuntiin asti. Toinen kestävyysharjoituksista oli tasavauhtinen peruskestävyysharjoitus ja toinen intervallityyppinen. Kestävyysharjoittelupäiviä olivat tiistai/keskiviikko ja perjantai/lauantai/sunnuntai. Kestävyysharjoittelua seurattiin joka toinen viikko. Seurantaharjoittelu tehtiin polkupyöräergometrillä. Kestävyysharjoittelussa käytettiin apuna sykemittaria, jotta oikeaa harjoitustehoa olisi helpompi ylläpitää. Koska koehenkilöillä ei ollut systemaattista harjoittelutaustaa, pyrittiin jokaiselle koehenkilölle suunnittelemaan sekä voima- että kestävyysharjoittelussa heidän kuntotasoaan vastaava harjoitusohjelma. Harjoituskuormat määräytyivät esimitausten perusteella. Sekä voima- että kestävyysharjoitusohjelmia muutettiin progressiivisesti noin neljän viikon välein. Koehenkilöt pitivät harjoituspäiväkirjaa kaikista tekemistään harjoituksista.

Vuonna 2000 toteutetussa voimatutkimuksessa koehenkilöt harjoittelivat kaksi kertaa viikossa. Molemmat harjoitukset olivat voimaharjoituksia ja tehtiin saman ohjelman mukaisesti kuin voima-kestävyystutkimuksessa. Kestävyysharjoittelua ei siis tehty.

6.5 Seurantamittaukset

Seurantamittaukset jaettiin kahteen osa-alueeseen: 1) neuromuskulaariset suorituskykymittaukset, joita oli tutkimuksen aikana viisi kertaa (viikot -1, 0, 7, 14, 21) ja 2) hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykymittaukset, joita oli tutkimuksen aikana neljä kertaa (viikot 0, 7, 14, 21). Seurantamittaukset olivat samoja jokaisella mittauskerralla sekä kontrolli- että harjoitusjaksossa.

1) Neuromuskulaariset suorituskykymittaukset

- Alaraajojen ojentajalihasten (leg extention) maksimaalinen bilateraallinen isometrinen voima ja voima-aika käyrä mitattiin elektromeekaanisella voimadynamometrillä polvikulman ollessa 107° ja lonkkakulman ollessa 110°.

- Alaraajojen ojentajalihasten (leg extention) maksimaalinen konsentrinen voima (1 RM) mitattiin dynamometrillä (David 210) polvikulman ollessa 60-80°.
- Polven koukistajalihasten (knee flexion) unilateraalinen maksimaalinen isometrinen voima ja isometrinen voima-aikakäyrä mitattiin voimadynamometrissä (David 200) oikeasta ja vasemmasta jalasta polvikulmalla 107°.
- Elektromyograafiset mittaukset:

Alaraajojen ojentajalihasten bilateraalisen voimantuottomittauksen yhteydessä rekisteröitiin kyseessä olevan lihasryhmän sähköinen aktiivisuus (EMG) pintaelektrodeilla agonistilihaksista proksimaali-keski- ja distaalialueelta (vastus lateralis - ja rectus femoris -lihakset) EMG:n avulla analysoitiin maksimaalinen tahdonalainen hermostollinen aktiivisuus (integroitu EMG) ja hermostollisen aktiivisuuden tuottonopeus (EMG-aikakäyrä). Lisäksi rekisteröitiin EMG-aktiivisuus antagonistilihaksista (biceps femoris -lihas) agonistilihasten ojennuksen aikaisen antagonistilihasten inhibition (koaktivaatio) tutkimiseksi.

Polven koukistajalihasten voimantuoton yhteydessä rekisteröitiin lihasryhmän sähköinen aktiivisuus (EMG) pinta-elektrodeilla (Beckman miniature-sized skin electrodes 650437, Illinois, USA) agonistilihaksista (biceps femoris -lihas) maksimaalisen tahdonalaisen hermostollisen aktiivisuuden ja hermostollisen aktiivisuuden tuottonopeuden analysoimiseksi.

Jokaisen testiliikkeen EMG- ja voimasignaalit tallennettiin tietokoneelle (486 DX-100) ja nauhurille (Racal 16). Tietokoneelta signaalit analysoitiin Cudas-tietokoneohjelmalla. EMG-aktiivisuuksien tallennusta varten iholle asetettiin bipolaariset pintaelektrodit pituussuuntaisesti edellä mainittujen lihasten motorisiin pisteisiin. Motoriset pisteet etsittiin sähköisesti ärsyttämällä ja niiden paikat merkittiin tarkkaan

seurantatutkimuksen vaatimuksen mukaisesti tatuoimalla. Voima- ja EMG-signaalien puhtautta tarkkailtiin testiliikkeiden aikana oskilloskoopin (DSO 1604) avulla.

2) Hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskyky

Hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintaa seurattiin maksimaalisen hapenottokykytestin avulla. Testi suoritettiin polkupyöräergometrillä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen tiloissa. Pyöräilyn aloituskuorma oli 100 W. Kuormaa lisättiin kahden minuutin välein 25 W aina uupumukseen asti. Mitattavia muuttujia olivat hapenottokyky, anaerobinen ja aerobinen kynnyks, syke, teho ja laktaatti. Aerobinen ja anaerobinen kynnyks määritettiin Liite ry:n ohjeiden mukaisesti laktaatin ja hengityskaasujen avulla. Teho määräytyi pyöräilykuorman mukaan. Hengityskaasut analysoitiin Sensormedics ohjelmalla (Vmax series 229, Kalifornia, USA). Laktaattien analysoinnissa käytettiin Eppendorfin™ Ebio 6666 –analysointilaitetta. Sykettä mitattiin sykemittarilla (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy). Kontrollimittauksen avulla määritettiin koehenkilöille oikeat harjoitustehot.

6.6 Muut mittaukset

Seurantamittausten lisäksi koehenkilöille tehtiin muita mittauksia, joita olivat

1) Kliiniset mittaukset

Koehenkilöiden lääkärintarkastuksessa suljettiin pois hormonaalisen ja neuromuskulaarisen järjestelmän patologiset tilat. Tutkimukseen ei otettu säännöllistä hormonilääkitystä eikä beta-salpaajalääkitystä käyttäviä henkilöitä. Lisäksi mitattiin leposyke standardoiduissa olosuhteissa koko seurantajakson ajan. Tutkimuksen koehenkilöiden valinnassa noudatettiin yleisesti käytettyjä vasta-aiheita liikunnalle.

2) Antropometria

Koehenkilöiden painon ja pituuden lisäksi määritettiin kehon rasvaprosentti ihopoimu -mittauksilla. Rasvaprosentti laskettiin neljän pisteen menetelmällä. Mitattavia kohtia olivat käsivarren ojentaja- ja koukistajalihaksen, lapaluun alareunan ja suoliluunharjun ihopoimut. (Durnin & Womersley 1967.)

6.7 Analysoitavat muuttujat

Analysoitaviksi muuttujiksi valittiin voimista alaraajojen isometrinen bilateraalin maksimivoima ja konsentrinen bilateraalin maksimikuorma (1 RM) sekä oikean ja vasemman polven koukistajalihasten unilateraalinen maksimaalinen isometrinen voima. Lisäksi valittiin edellä mainittujen voimien voimantuottonopeudet. EMG-muuttujiksi valittiin alaraajojen isometrisen bilateraalin maksimivoiman iEMG-aktiivisuudet aikaväleiltä 0-100, 0-500 ja 500-1500 ms oikean ja vasemman jalan vastus lateralis -lihaksista. Lisäksi valittiin oikean ja vasemman polven koukistajalihasten isometrisen maksimivoiman iEMG-aktiivisuudet aikaväliltä 500-1500 ms biceps femoris -lihaksista.

Hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykymittauksista valittiin analysoitaviksi muuttujiksi syke, hapenottokyky ja teho maksimaalisella tasolla, anaerobisella ja aerobisella kynnyksellä. Muista mittauksista valittiin muuttujiksi kehonpaino ja rasvaprosentti sekä leposyke.

6.8 Tilastollinen analyysi

Tuloksista analysoitiin keskiarvot ja keskihajonnat. Kontrollijakson ja harjoittelujakson seurantamittausten tuloksia analysoitiin ANOVA:n toistomittausten varianssianalyysillä. Kontrollijakson seurantamittausten analysoinnissa käytettiin apuna studentin t-testiä. Voima-kestävyysryhmän voimamuuttujien ja kestävyysmuuttujien välisiä korrelaatiota mitattiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla.

7 TULOKSET

7.1 Antropometria

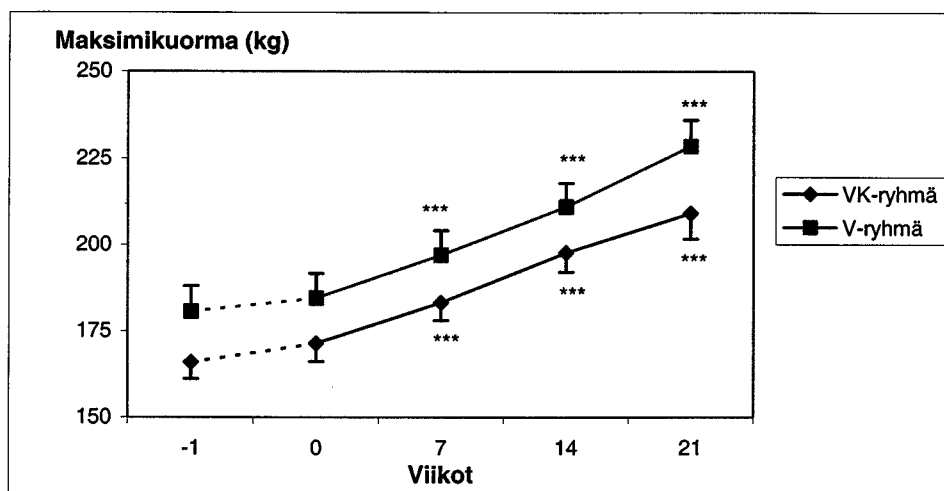
TAULUKKO 5. Kehonpainon ja rasvaprosentin muutokset 21 viikon aikana voima- ja voima-kestävyysryhmissä ($p < .05$ ja *** $p < .001$ verrattuna 0-mittaukseen).*

Viikko	VOIMARYHMÄ		VOIMAKESTÄVYYSRYHMÄ	
	Paino (kg)	Rasva %	Paino (kg)	Rasva %
0	83,9±15,0	20,1±4,9	88,6±12,9	22,5±4,5
7	84,6±15,8	20,3±4,9	88,2±11,9	21,6±4,5 *
14	85,1±16,3	20,6±5,2	88,1±11,9	21,3±4,5 ***
21	85,9±18,1	20,4±5,3	87,3±11,5	20,2±4,4 ***

Voimaryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kehonpainossa eikä kehon rasvaprosentissa harjoitusjakson aikana. Voimakestävyysryhmälläkään ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kehonpainossa 21 viikon aikana, mutta kehon rasvaprosentti laski tilastollisesti merkitsevästi ($p < .001$) (taulukko 5). Kehon rasvaprosentin prosentuaalisessa muutoksessa 21 viikon aikana oli voima- ja voimakestävyysryhmän välillä merkitsevä ero ($p < .001$).

7.2 Dynaaminen bilateraallinen alaraajojen ojentajien maksimikuorma (1 RM)

Kontrollijakson aikana (viikot -1-0) kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta dynaamisessa 1 RM:n (=yhden toiston maksimi) maksimikuormassa 21 viikon harjoitusjakson aikana yhden toiston maksimikuorma kasvoi voimaryhmällä 21 % (184±29 vs. 228±29 kg, $p < .001$) ja voimakestävyysryhmällä 22 % (171±17 vs. 209±24 kg, $p < .001$) (kuva 9). Dynaamisen maksimikuorman prosentuaalisessa muutoksessa ei ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

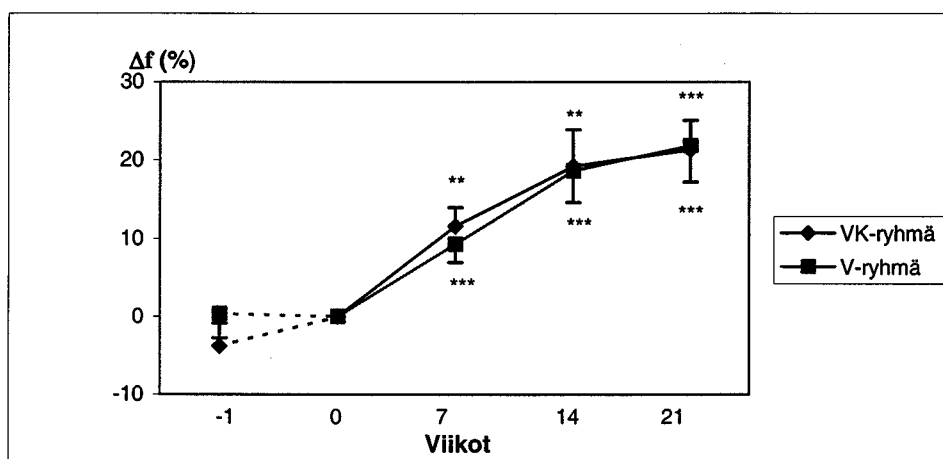


KUVA 9. Dynaamisen maksimikuorman muutokset voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (*** $p < .001$ verrattuna 0-mittaukseen).

7.3 Isometrinen bilateraalin alaraajojen ojennusvoima

7.3.1 Maksimivoima

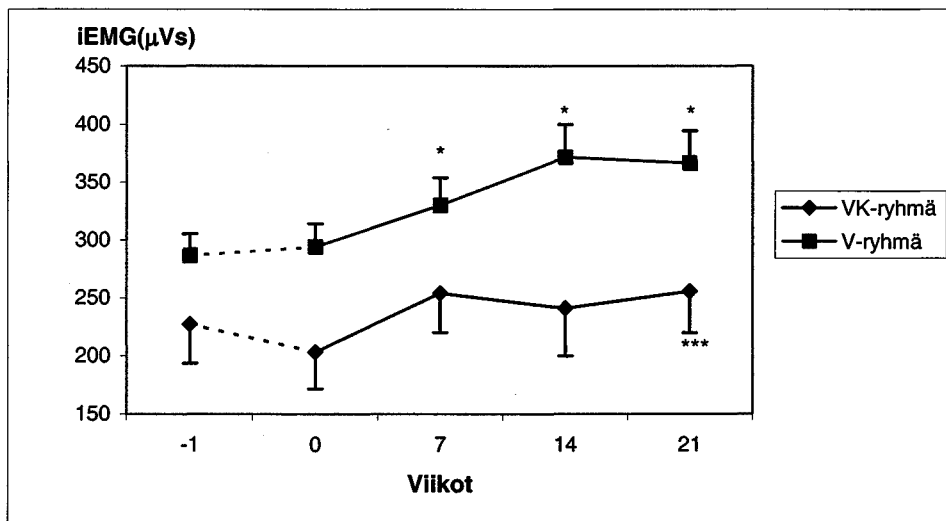
Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta isometrisessä maksimivoimassa. 21 viikon harjoitusjakson aikana isometrinen maksimivoima kasvoi voimaryhmällä 22 % (2258 ± 487 vs. 2699 ± 370 N, $p < .001$) ja voima-kestävyysryhmällä 21 % (2769 ± 519 vs. 3334 ± 542 N, $p < .001$) (kuva 10). Maksimivoiman prosentuaalisessa muutoksessa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.



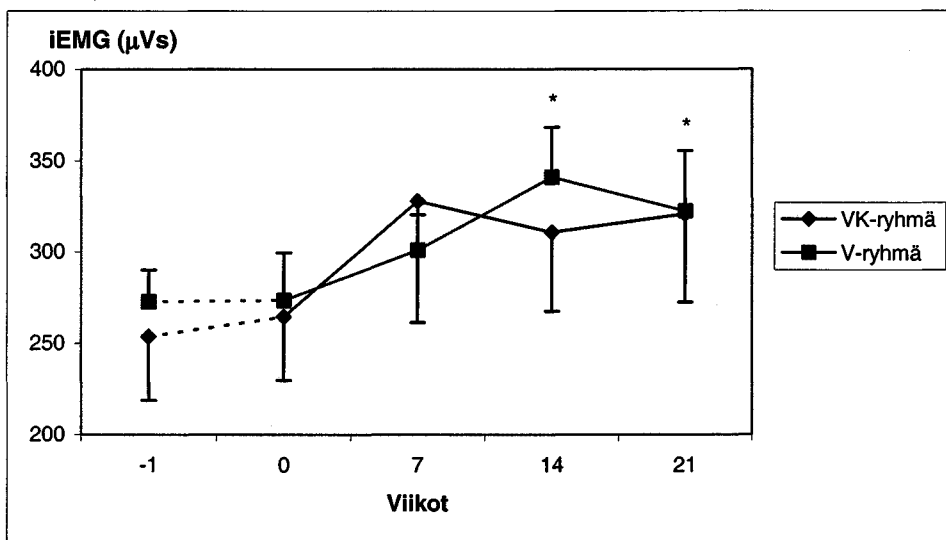
KUVA 10. Isometrisen maksimivoiman suhteelliset muutokset (Δf) voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (** $p < .01$ ja *** $p < .001$ verrattuna 0-mittaukseen).

7.3.2 Maksimaaliset iEMG:t

Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta tutkittujen lihasten iEMG-aktiivisuuksissa. Voimaryhmän oikean jalan vastus lateralis (VLO) -lihaksen maksimivoimasuorituksen aikainen iEMG-aktiivisuus (500-1500 ms) kasvoi harjoitusjakson aikana 26% (294 ± 83 vs. 367 ± 108 μ Vs, $p < .01$) (kuva 11). Voima-kestävyysryhmällä vastaavan lihaksen iEMG-aktiivisuus kasvoi 29% (203 ± 100 vs. 256 ± 112 μ Vs, $p < .001$). Vasemman jalan vastus lateralis (VLV) -lihaksen



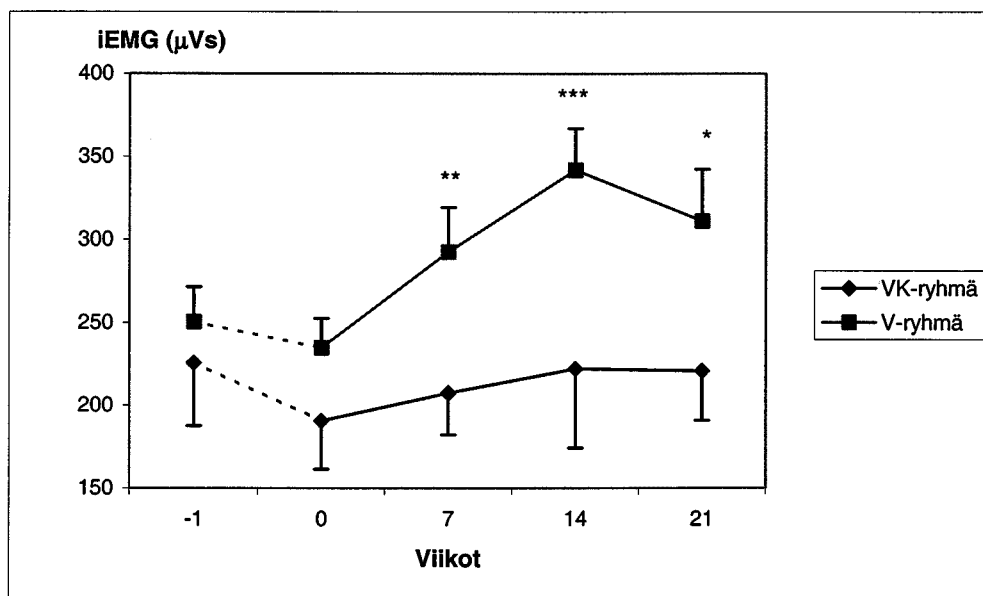
KUVA 11. VLO-lihaksen iEMG-aktiivisuuden muutokset aikavälillä 500-1500 ms voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (** $p < .001$ verrattuna 0-mittaukseen)



KUVA 12. VLV-lihaksen iEMG-aktiivisuuden muutokset aikavälillä 500-1500 ms voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (* $p < .05$ verrattuna 0-mittaukseen).

maksimivoimasuorituksen aikainen iEMG-aktiivisuus (500-1500 ms) kasvoi harjoitusjakson aikana voimaryhmällä 19% (273 ± 108 vs. 322 ± 129 μ Vs, $p < .05$) (kuva 12). Voima-kestävyysryhmässä vastaavan lihaksen iEMG-aktiivisuus kasvoi 22% (264 ± 109 vs. 321 ± 153 μ Vs), mutta kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

VLO-lihaksen iEMG-aktivaatio kasvoi iEMG-aika -käyrän alkuvaiheessa (0-500 ms) voimaryhmällä 67% (235 ± 71 vs. 311 ± 117 μ Vs, $p < .05$) (kuva 13). Voima-kestävyysryhmällä vastaavan lihaksen iEMG-aktiivisuus kasvoi 26% (191 ± 93 vs. 221 ± 94 μ Vs), mutta kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää. VLV-lihaksen iEMG-aktiivisuus kasvoi iEMG-aika -käyrän alkuvaiheessa (0-500 ms) voimaryhmällä 97% (215 ± 94 vs. 272 ± 124 μ Vs, $p < .05$ viikoilla 0-7 ja 0-14) ja voima-kestävyysryhmällä 24% (232 ± 104 vs. 280 ± 168 μ Vs), mutta kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää.



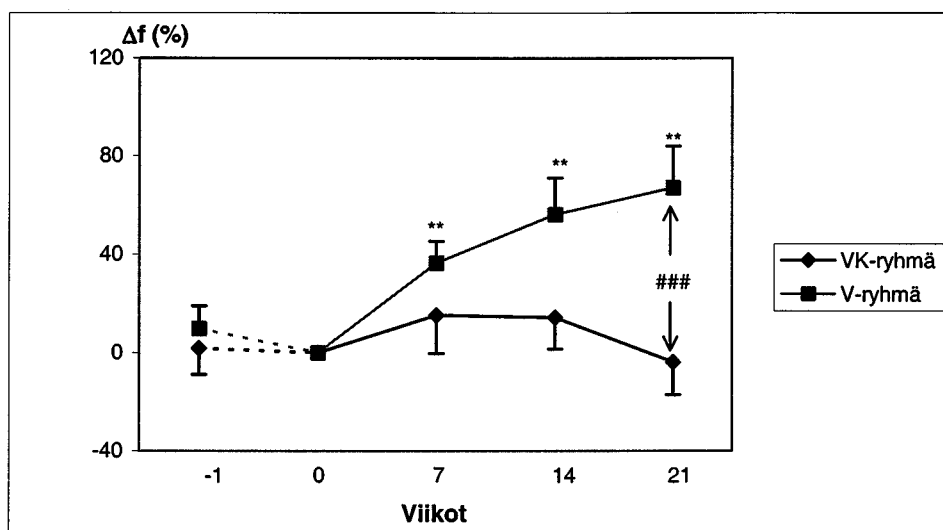
KUVA 13. VLO-lihaksen iEMG-aktiivisuuden muutokset aikavälillä 0-500 ms voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (* $p < .05$, ** $p < .01$ ja *** $p < .001$ verrattuna 0-mittaukseen)

IEMG-aika -käyrän alkuvaiheessa (0-100 ms) voimaryhmän VLO -lihaksen iEMG-aktiivisuuden kasvu oli 180 ± 90 vs. 254 ± 131 μ Vs, mutta kasvu oli tilastollisesti merkitsevää ($p < .01$) vain viikoilla 0-14. Voima-kestävyysryhmällä VLO-lihaksen iEMG-aktiivisuuden kasvu oli vastaavalla aikavälillä 171 ± 98 vs. 208 ± 125 μ Vs, mutta kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää. VLV-lihaksen iEMG-aktiivisuuden kasvu oli

voimaryhmällä 145 ± 93 vs. 230 ± 139 μVs ($p < .05$) ja voima-kestävyysryhmällä 182 ± 80 vs. 229 ± 197 μVs , joskaan kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää.

7.3.3 Maksimaalinen voimantuottonopeus

Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta maksimivoimasuorituksen maksimaalisessa voimantuottonopeudessa. 21 viikon harjoitusjakson aikana maksimaalinen voimantuottonopeus kasvoi voimaryhmällä tilastollisesti merkitsevästi 67% (11429 ± 4171 vs. 16459 ± 4764 N/s, $p < .01$) ja laski voima-kestävyysryhmällä 4% (17388 ± 5051 vs. 15611 ± 5810 N/s) (kuva 14). Voimantuottonopeuden prosentuaalisessa muutoksessa 21 viikon aikana ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ($p < .001$).



KUVA 14. Maksimaalisen bilateraalisin voimantuottonopeuden suhteelliset muutokset (Δf) voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (** $p < .01$ verrattuna 0-mittaukseen ja ### $p < .001$ verrattuna ryhmien välillä).

7.3.4 Antagonistien koaktivaatio

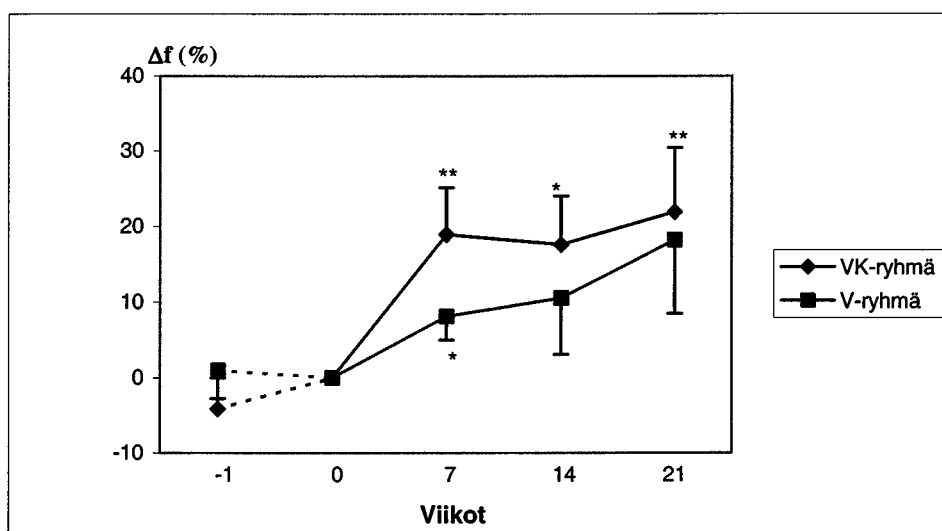
Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia bilateraalisin alaraajojen ojennuksen aikaisten antagonistilihaksien koaktivaatioprosenteissa. Harjoitusjakson aikana aikavälillä 500-1500 ms voima-kestävyysryhmän bilateraalisin alaraajojen ojennuksen aikaisen BFO-lihaksen

koaktivaatioprosentin muutos ($27\pm 10\%$ vs. $21\pm 8\%$) oli tilastollisesti merkitsevä ($p < .05$). Voimaryhmän vastaava muutos ($37\pm 35\%$ vs. $48\pm 39\%$) ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

7.4 Oikean ja vasemman polven isometrinen koukistusvoima

7.4.1 Maksimivoima

Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia isometrisissä oikean ja vasemman polven maksimaalisissa koukistusvoimissa. 21 viikon harjoitusjakson aikana voimaryhmän isometrinen oikean polven koukistusvoima kasvoi 18% (348 ± 64 vs. 395 ± 67 N, $p < .05$ viikoilla 0-7) (kuva 15) ja vasemman polven 7% (358 ± 54 vs. 374 ± 61 N). Voima-kestävyysryhmässä oikean polven koukistusvoima kasvoi 22% (302 ± 62 vs. 362 ± 78 N, $p < .01$) (kuva 15) ja vasemman 24% (314 ± 60 vs. 385 ± 80 N, $p < .01$).



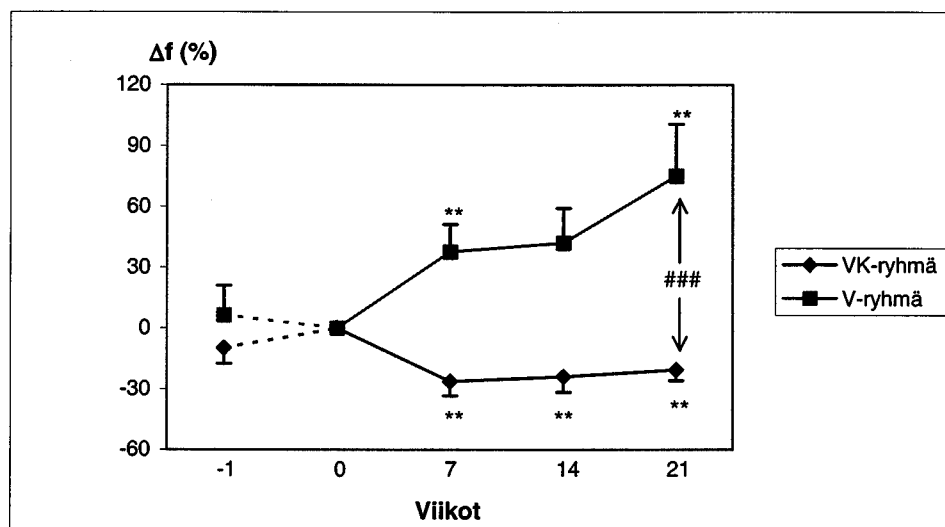
KUVA 15. Isometrisen oikean polven maksimaalisen koukistusvoiman suhteelliset muutokset (Δf) voima- ja voima-kestävyysryhmässä harjoitusjakson aikana (* $p < .05$ ja ** $p < .01$ verrattuna 0-mittaukseen)

7.4.2 Maksimaaliset iEMG:t

Koko tutkimuksen aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta oikean jalan biceps femoris (BFO) – eikä vasemman jalan biceps femoris (BFV) –lihasten iEMG-aktiivisuuksissa..

7.4.3 Maksimaalinen voimantuottonopeus

Kontrollijakson aikana kummallakaan ryhmällä ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia maksimaalisten koukistusvoimien maksimaalisissa voimantuottonopeuksissa. 21 viikon harjoitusjakson aikana voimaryhmän oikean polven maksimaalinen voimantuottonopeus kasvoi 68% (3433 ± 1644 vs. 4835 ± 2098 N/s, $p < .05$) (kuva 16) ja vasemman 75% (2757 ± 1098 vs. 4267 ± 1760 N/s, $p < .01$). Voima-kestävyysryhmällä oikean polven maksimaalinen voimantuottonopeus laski 19% (3356 ± 427 vs. 2649 ± 676 N/s, $p < .05$) ja vasemman 21% (3271 ± 619 vs. 2538 ± 439 N/s, $p < .01$). Maksimaalisten voimantuottonopeuksien prosentuaalisissa muutoksissa ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevää ero sekä oikeassa että vasemmassa jalassa ($p < .001$).



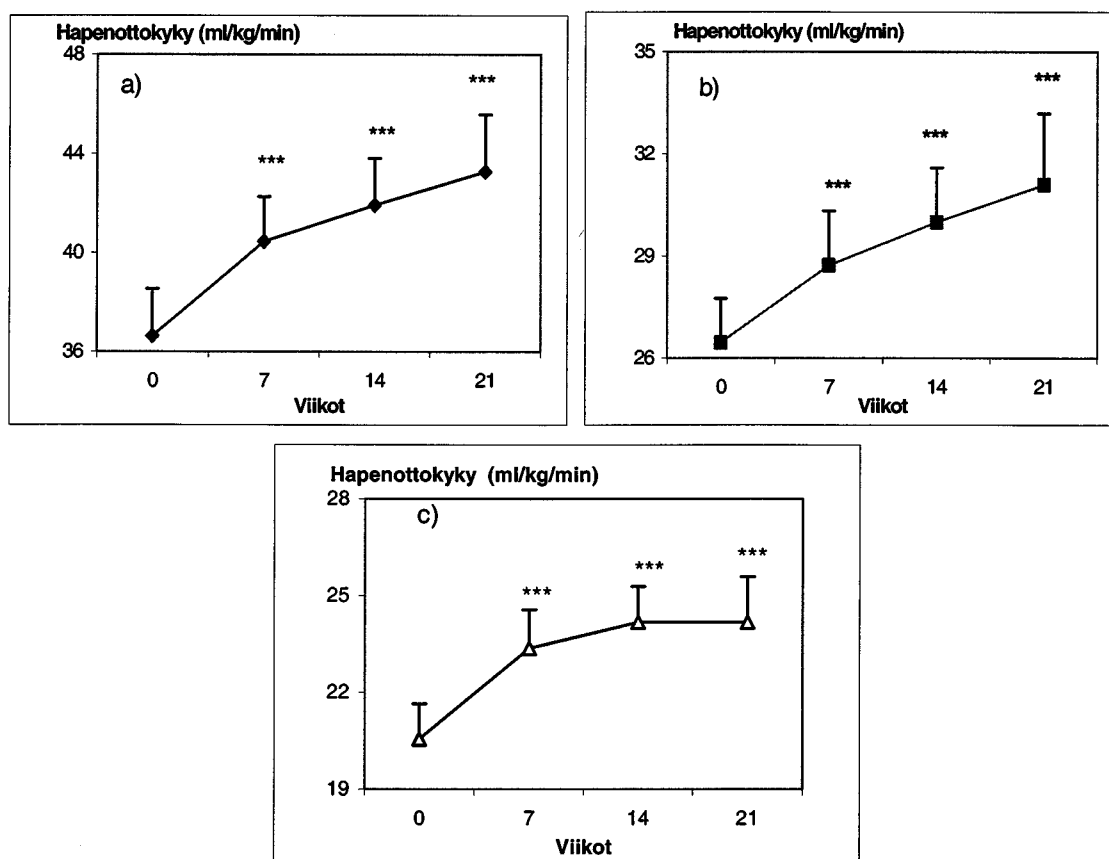
KUVA 16. Oikean polven isometrisen unilateraalisen maksimaalisen voimantuottonopeuden suhteelliset muutokset (Δf) voima- ja voima-kestävyysryhmän välillä harjoitusjakson aikana (** $p < .01$ verrattuna 0-mittaukseen ja ### $p < .001$ verrattuna ryhmien välillä).

7.5 Kestävyysmuuttujat

7.5.1 Hapenottokyky

Hapenottokyky kasvoi voima-kestävyysryhmässä 21 viikon harjoitusjakson aikana tilastollisesti merkitsevästi ($p \leq .001$) siten, että maksimaalinen hapenottokyky kasvoi

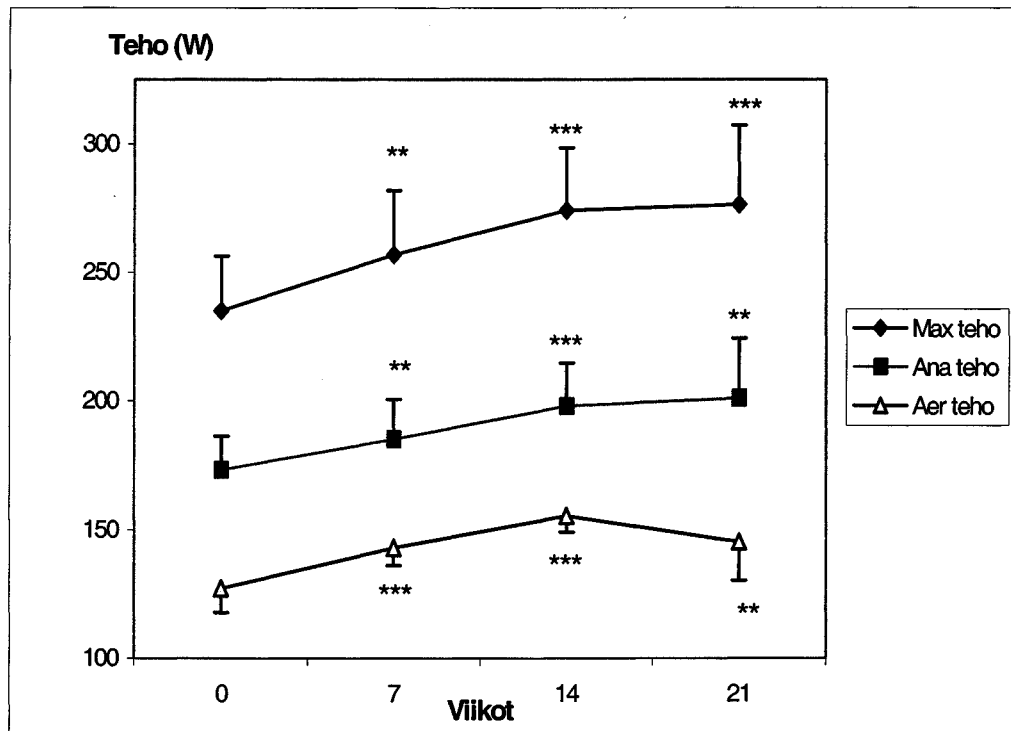
18,5% ($36,6 \pm 6,0$ vs. $43,3 \pm 7,3$ ml/kg/min), anaerobisen kynnyksen hapenottokyky 17% ($26,4 \pm 4,3$ vs. $31,1 \pm 6,6$ ml/kg/min) ja aerobisen kynnyksen hapenottokyky 18% ($20,5 \pm 3,6$ vs. $24,2 \pm 4,6$ ml/kg/min (kuva 17). Vastaavat muutokset ilmaistuna litroina minuutissa olivat maksimaalisessa suorituksessa 17% ($3,2 \pm 0,3$ vs. $3,7 \pm 0,3$ l/min), anaerobisella kynnyksellä 16% ($2,3 \pm 0,2$ vs. $2,7 \pm 0,3$ l/min) ja aerobisella kynnyksellä 17% ($1,8 \pm 0,1$ vs. $2,1 \pm 0,2$ l/min).



KUVA 17. a) Maksimaalinen hapenottokyky, b) anaerobisen kynnyksen hapenottokyky ja c) aerobisen kynnyksen hapenottokyky harjoitusjakson aikana (***) $p \leq 0,001$ verrattuna 0-mittaukseen).

7.5.2 Teho

Teho kasvoi voima-kestävyysryhmässä 21 viikon harjoitusjakson aikana tilastollisesti merkitsevästi kaikilla eri kynnyksillä ($p < 0,01$). Tehon kasvu oli maksimaalisessa suorituksessa 17% ($236,5 \pm 21,3$ vs. $276 \pm 30,8$ W), anaerobisella kynnyksellä 16% ($173,3 \pm 13,1$ vs. $201,0 \pm 23,3$ W) ja aerobisella kynnyksellä 14% ($127,2 \pm 9,4$ vs. $145,3 \pm 15,1$ W) (kuva 18).

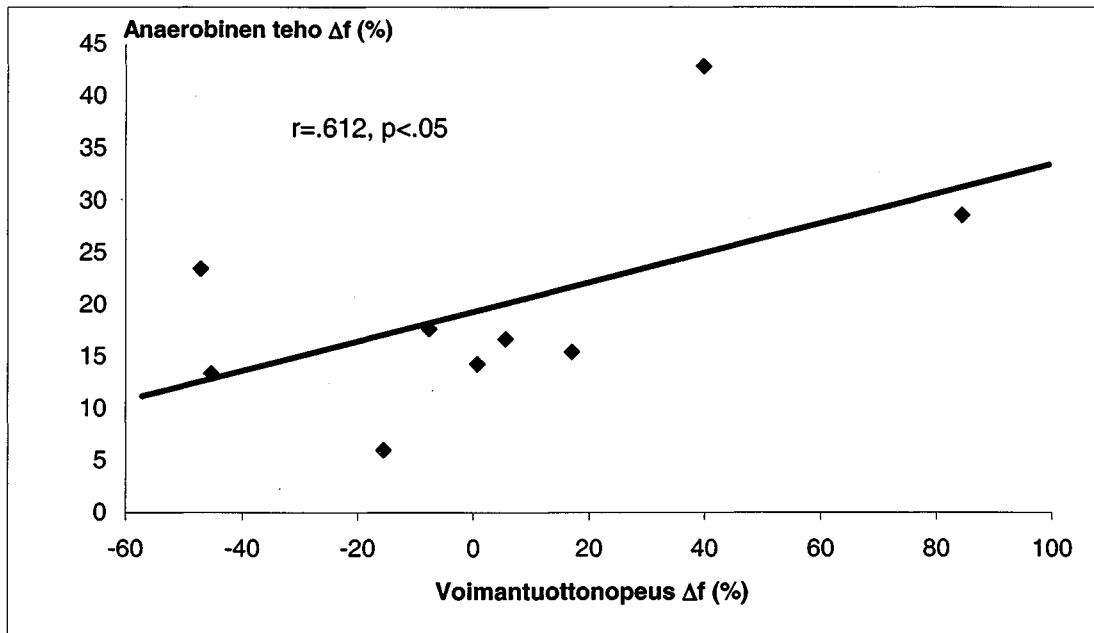


KUVA 18. Teho maksimaalisessa (max)suorituksessa, anaerobisella (ana) kynnyksellä ja aerobisella (aer) kynnyksellä (***) $p \leq 0.001$ ja **) $p < 0.01$ verrattuna 0-mittaukseen).

Maksimitehon, anaerobisen sekä aerobisen tehon muutokset 21 viikon harjoitusjakson aikana korreloivat maksimihapenottokyvyn (ml/kg/min) muutosten kanssa ($r = .898$, $p < .001$; $r = .689$, $p < .01$ ja $r = .708$, $p < .05$). Maksimitehon muutokset korreloivat myös litroina minuutissa ilmaistun hapenottokyvyn muutosten kanssa ($r = .778$, $p < .01$). Lisäksi isometrisen bilateraalisen alaraajojen ojennuksen maksimaalisen voimantuottonopeuden (N/s) muutokset 21 viikon harjoitusjakson aikana korreloivat anaerobisen tehon muutosten kanssa ($r = .612$, $p < .05$) (kuva 19).

7.5.3 Syke

Maksimisyke (191 ± 8 vs. 189 ± 12 sykettä/min) sekä anaerobiset (164 ± 15 vs. 163 ± 14) ja aerobiset (142 ± 17 vs. 140 ± 14) kynnyssykkeet eivät muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi 21 viikon harjoitusjakson aikana voima-kestävyysryhmällä. Sekä voima-kestävyysryhmän että voimaryhmän leposykkeet laskivat, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.



Kuva 19. Isometrisen bilateraalisien alaraajojen ojennuksen maksimaalisen voimantuottonopeuden ja anaerobisen tehon muutosten korrelaatio 21 viikon harjoitusjakson aikana.

8 POHDINTA

8.1 Päätulokset

Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat, että 1) voima- ja voimakestävyysryhmien bilateraalin isometrisen alaraajojen ojentajien maksimivoima kehittyi kahdesti viikossa toteutetulla voimaharjoittelulla 21 viikon aikana yhtä paljon. Voimankasvua voidaan selittää paljolti maksimi iEMG-aktiivisuuksien samanlaisella kehitymisellä kummallakin ryhmällä. 2) Maksimaalinen voimantuottonopeus kehittyi voimaryhmällä selvästi enemmän kuin voima-kestävyysryhmällä harjoittelujakson aikana. Voimantuottonopeuden kehityksen erilaisuus selittynee osittain sillä, että nopeaa aktivaatiokykyä kuvaavan iEMG-aika -käyrän alkuosa parani merkitsevästi voimaryhmällä, kun taas voima-kestävyysryhmällä ei ollut havaittavissa selvää kehittymistä. Näin ollen kestävyysharjoittelulla näyttäisi olevan voimantuottonopeuden kehittymistä heikentävä vaikutus. 3) Voima-kestävyysryhmän sekä voima- että kestävyysominaisuudet kehittivät harjoitusjakson aikana lähes yhtä paljon.

8.2 Voimantuotto

21 viikon hermostollis-hypertrofisen voimaharjoittelujakson tuloksena sekä voima että voima-kestävyysryhmän alaraajojen ojentajalihasten isometrinen maksimivoima ja konsentrisen yhden toiston maksimikuorma (1RM) kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi. Isometrinen maksimivoima kasvoi voimaryhmällä 22% ja voima-kestävyysryhmällä 21% ja vastaavasti konsentrisen 1 RM kasvoi voimaryhmällä 21% ja voima-kestävyysryhmällä 22%. Niin ikään polven isometrinen koukistusvoima kasvoi molemmilla ryhmillä. Isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman lisääntyminen oli oletettavaa, koska koehenkilöillä ei ollut aikaisempaa voimaharjoittelutaustaa. Tässä tutkimuksessa maksimivoiman kehityksessä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä. Aikaisemmin harjoittelemattomien keski-ikäisten miesten on täten mahdollista kehittää lihasten maksimivoimaa merkitsevästi vain kahdesti viikossa, mutta riittäväällä ja progressiivisesti kasvavalla intensiteetillä toteutetulla voimaharjoittelulla. Tätä käsitystä tukee myös Häkkisen ym. (2000) tutkimus.

Samansuuruinen voimankehitys ryhmien välillä osoittaa myös että kestävyysharjoittelu ei heikennä voiman kehittymistä voima-kestävyysryhmässä 21 viikon harjoitusjakson aikana, kun harjoittelu sisältää kaksi voimaharjoitusta viikossa. Vastaavanlaisia tutkimustuloksia, joissa sekä voima- että voimakestävyysryhmä ovat parantaneet yhtä paljon voimankasvua ovat saaneet Hunter ym. (1987), Nelson ym. (1990) ja Sale ym. (1990a ja b). McCarthy ym. (1995) ja Bell ym.(2000) ovat saaneet myös tutkimustuloksia, jossa merkitsevää voimankasvua havaittiin molemmilla ryhmillä koko tutkimuksen ajan.

Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa maksimivoimien prosentuaalinen kasvu on ollut samansuuruista kuin tässä tutkimuksessa, mutta voima- ja voima-kestävyysryhmän välillä on ollut suurempia eroja. (Hickson 1980; Sale ym. 1990b; Kraemer ym. 1995.) Esimerkiksi Salen ym. (1990) tutkimuksessa voimaryhmä paransi 11 viikon aikana konsentrista yhden toiston maksimikuormaa 30,2%, kun voima-kestävyysryhmä paransi vain 20,4%. Lisäksi joissain tutkimuksissa, kuten Nelsonin ym. (1990) tutkimuksessa voiman kasvu on ollut huomattavasti suurempaa. Nelsonin ym. (1990) 20 viikon tutkimuksessa voimaryhmä paransi maksimivoimaansa 60% ja voima-kestävyysryhmä 69%. Tulosten tulkinnessa ja eri tutkimusten välisissä vertailuissa on kuitenkin aina otettava huomioon koehenkilöiden lähtötaso ja voimaharjoittelutausta, harjoitustapa, harjoituksen intensiteetti, frekvenssi ja määrä sekä voimaharjoittelutapa, jolla maksimivoimaa mitataan.

Lähes kaikki aikaisemmat tutkimukset ovat kestäneet 7-12 viikkoa tämän tutkimuksen kestäessä 21 viikkoa. Lisäksi useassa aikaisemmissa tutkimuksissa voimaryhmällä on ollut vähintään kolme voimaharjoitusta ja voima-kestävyysryhmällä kolme voimaharjoitusta ja kolme kestävyysharjoitusta viikossa. Tässä tutkimuksessa voimaryhmä harjoitteli kaksi kertaa ja voima-kestävyysryhmä neljä kertaa viikossa. Tässä tutkimuksessa tapahtunut isometrisen ja konsentrisen maksimivoiman 21-22% kasvu kummallakin ryhmällä on merkittävää, kun ottaa huomioon, että harjoittelu sisälsi vain kaksi voimaharjoitusta viikossa. Verrattaessa tulosta aikaisempien tutkimusten tuloksiin näyttäisi siltä, että harjoitusmäärien noustessa yhdistetyllä voima-kestävyysharjoittelulla on tietty yläraja, johon elimistö voi sopeutua. Kun harjoitusmäärät nousevat, voimaharjoitteluryhmän tulokset usein paranevat ja voima-kestävyysryhmän tuloksissa on havaittavissa heikentymistä. Näin kävi esimerkiksi

Hicksonin (1980) 10 viikon tutkimuksessa, jossa koehenkilöt tekivät voimaryhmässä viisi voimaharjoitusta ja voima-kestävyysryhmässä viisi voima- ja kuusi kestävyysharjoitusta viikossa. Tutkimustulokset osoittivat, että voimaryhmän voimaominaisuudet kehittyivät koko 10 viikon ajan, mutta voima-kestävyysryhmän voimankehitys kääntyi laskuun seitsemän viikon jälkeen. Näyttäisi siltä, että jos aikaisemmin systemaattisesti harjoittelemattomien koehenkilöiden harjoitusohjelma sisältää 11 viikoittaista harjoitusta, ei väsymystä ja yllirasittumista voi välttää. Gollnick ym. (1973) tukevat tätä väitettä. Heidän mielestään voimankehityksen heikentyminen on saattanut johtua kroonisesta glykokeenin puutteesta. Useat aikaisemmat tutkimukset ovat raportoineet kestävyysharjoittelun olevan syynä voimantuoton heikkenemiseen voima-kestävyysryhmässä. (Dudley & Djamil 1985; Hortobagyi ym. 1991; Hennessy & Watson 1994; Kraemer ym. 1995; Bell ym. 1998.)

8.3 Lihasten aktivointi

Mitattujen agonistilihasen (VLO ja VLV) neuraalinen voluntaarinen maksimiaktivaatio lisääntyi isometrisessä bilateraalissa reiden ojennuksessa molemmilla ryhmillä. VLO-lihaksen maksimi iEMG-aktiivisuus kasvoi merkitsevästi kummallakin ryhmällä, joskin VLV-lihaksessa kasvu oli merkitsevää vain voimaryhmällä. Oikean ja vasemman polven koukistusten maksimi iEMG-aktiivisuuksissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kummallakaan ryhmällä harjoitusjakson aikana. Isometrisen bilateraalisen alaraajojen ojentajien maksimivoiman samansuuruinen kehitys kummallakin ryhmällä näyttäisi selittyvän suurilta osin voimaharjoitusstimuluksen aiheuttamasta samansuuruudesta kehityksestä. Koska hypertrofiaa ei tässä tutkimuksessa mitattu, ei voida tietää sen yhteyttä maksimivoiman ja iEMG:n kehittymiseen. Nopeaa rekrytointia kuvaavat iEMG-aktiivisuudet lisääntyivät vain voimaryhmällä. Tämä selittänee eroja voimantuottonopeuksien kehityksissä harjoitusjakson aikana. Kestävyysharjoittelu todennäköisesti heikentää lihasaktivaation kehittymistä nopeutta vaativissa liikkeissä.

Voimaharjoittelun aiheuttaman voimankasvun on varsinkin harjoitusjakson alussa todettu johtuvan lihasten parantuneesta aktivaatiosta tai oppimisesta ja liikkeiden taloudellisemmasta suoritustekniikasta. Keskushermoston parantunut lihasten aktivointikyky on seurausta motoristen yksiköiden synkronisaation kasvusta,

tehokkaammasta rekrytoinnista ja lisääntyneestä aktiivisuudesta sekä alfa-motoneuroneiden ja motoristen päätelevyjen lisääntyneestä ärtyvyydestä. (Enoka 1988; Marks 1996.) Useissa tutkimuksissa on todettu voimaharjoittelun aiheuttavan kasvua EMG-aktiivisuuksissa maksimaalisen isometrisen lihassupistuksen aikana. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen ym. 1983; Häkkinen ym. 1985.) Voimaharjoittelun ensimmäisinä viikkoina hermostolla on todettu olevan lihaksistoa keskeisempi merkitys voiman muutoksissa. (Moritani & DeVries 1979; Häkkinen & Komi 1983; Staron ym. 1994.) Tässä tutkimuksessa kestävyysharjoittelu ei heikentänyt maksimi iEMG:n kasvua, mutta sen sijaan nopeaa rekrytointia kuvaavan iEMG-aktiivisuuden kehitystä se näytti rajoittavan.

8.4 Voimantuottonopeus

21 viikon harjoitusjakson aikana alaraajojen ojentajien maksimaalinen voimantuottonopeus kasvoi voimaryhmällä peräti 67%, mutta laski voimakestävyysryhmällä 4%. Tulokset olivat samansuuntaisia myös oikean ja vasemman polven koukistajien voimantuottonopeuksissa. Voimaryhmällä havaittiin iEMG-aika -käyrän alkupäässä merkitsevää kehitystä harjoitusjakson aikana, kun taas voimakestävyysryhmällä ei selvää kehitystä ollut havaittavissa. Tämä johtuu osittain siitä, että harjoittelu sisälsi maksimivoiman ohella myös nopeusvoimaharjoittelua. Nopeusvoimaharjoittelun on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu lisäävän EMG-aktiivisuutta (Häkkinen ym. 1985). Koska ryhmien harjoittelu erosi ainoastaan kestävyysharjoittelun osalta, on perusteltua todeta, että kestävyysharjoittelu estää voimantuottonopeuden kehittymistä. Tätä havaintoa tukee myös Dudleyn ja Djamilin (1985) tutkimus. Heidän seitsemän viikkoa kestäneessä tutkimuksessaan voimaryhmä paransi polvenojennusvoimaansa merkitsevästi kaikilla nopeuksilla (0.00-4,19 rad/s), kun voima-kestävyysryhmä paransi vain hitailla nopeuksilla (0.00-1,68 rad/s).

Sytä miksi voimantuottonopeus kehittyy voimaryhmällä mutta ei voimakestävyysryhmällä on esitetty monia. Bell ym. (1997 ja 2000) ovat todenneet, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saattaa muuttaa lihassolujakaumaa. Niin ikään verenkierron hormonipitoisuuksissa on havaittu tapahtuvan muutoksia, jotka aiheuttavat muutoksia lihaksiston anabolia/katabolia tilassa. Nelson ym. (1990) ja Kraemer ym. (1995) ovat todenneet voimaharjoittelun ja yhdistetyn voima-kestävyysharjoittelun

aiheuttavan hypertrofiaa eri lihassoluissa, mikä saattaa myös osittain vaikuttaa voimantuottonopeuden kehittymiseen. Voima-kestävyysryhmän voimantuottonopeuden kehittymistä voivat myös estää voima- ja kestävyysharjoittelun vastakkaiset harjoitusvasteet. Salen ym (1990b) mukaan elimistön voi olla vaikea adaptoitua kahteen erilaiseen harjoitusärsykkeeseen.

8.5 Kestävyysominaisuudet

21 viikon monipuolisen kestävyysharjoittelujakson tuloksena voima-kestävyysryhmän kestävyysominaisuudet paranivat lineaarisesti koko harjoitusjakson ajan. Maksimaalinen hapenottokyky parani suhteellisesti 18,5% ja absoluuttisesti 17%. Myös anaerobisen ja aerobisen kynnyksen hapenottokyvyt paranivat merkitsevästi. Teho kasvoi 21 viikon harjoitusjakson aikana merkitsevästi vastaavilla kynnyksillä. Maksimisykkeet sekä anaerobiset ja aerobiset kynnyssykkeet eivät muuttuneet merkitsevästi harjoitusjakson aikana. Kestävyysominaisuuksien kehittyminen oli erittäin oletettavaa, koska terveillä, keski-ikäisillä koehenkilöillä ei ollut aikaisempaa systemaattista harjoittelutaustaa. Lähes samansuuruista kehitystä hapenottokyvyssä voima-kestävyysryhmällä ovat havainneet Hickson (1980), Dudley & Djamil (1985) ja McCarthy ym. (1995). Heidän tutkimuksensa tosin kestivät vain 7-10 viikkoa ja harjoitusmäärät olivat suurempia kuin tässä tutkimuksessa.

Huomionarvoista tässä tutkimuksessa on, että voima-kestävyysryhmän voima- ja kestävyysominaisuudet kehittyivät lähes yhtä paljon toisiinsa verrattuna. Lähes kaikissa aikaisemmissa tutkimuksissa voiman ja kestävyuden kehityksessä on ollut suuret erot. (Hickson 1980; Nelson ym. 1990; Sale ym. 1990a ja b; McCarthy ym. 1995; Kraemer ym. 1995;) Esimerkiksi Nelsonin ym. (1990) 20 viikon tutkimuksessa voima-kestävyysryhmän voima parani 69% ja hapenottokyky vain 6,5%. Kraemerin ym. (1995) 12 viikon tutkimuksessa voiman kehitys oli voima-kestävyysryhmällä 19,5% ja hapenottokyvyn 7,7%. Toisaalta McCarthy ym. (1995) tutkimuksessa voima-kestävyysryhmän isometrinen voima kasvoi 7% ja hapenottokyky 19%. Voima-kestävyysryhmien voima- ja kestävyysominaisuuksien kehittymistä vertailtaessa on taas huomioitava erot tutkimusasetelmissa. Harjoitusjakson pituus ja harjoittelun kuormittavuus vaikuttavat siihen, miten elimistö sopeutuu harjoitteluvaikutuksiin.

Tässä tutkimuksessa harjoitusjakso oli pidempi ja harjoitusmäärät pienempiä kuin useissa muissa tutkimuksissa. Harjoitusmäärien pienuus saattaa osittain selittää voima- ja kestävyysominaisuuksien samansuuruisia kehityksiä. Kaksi voimaharjoittelukertaa viikossa riittää Häkkisen ym. (2000) mukaan kehittämään aikaisemmin systemaattisesti harjoittelemattomien keski-ikäisten miesten maksimivoima-arvoja. Kaksi voimaharjoittelukertaa myöskin antaa lihaksille aikaa palautumiseen ja kestävyysharjoittelun toteuttamiseen. Tähän tutkimukseen näyttäisi löytyneen koehenkilöiden harjoittelutaustaan nähden sopiva tutkimusasetelma, koska tutkimustuloksissa ei ollut havaittavissa ylläkirjituksen oireita.

Tämän tutkimuksen kestävyystulosten tulkintaa heikentää vertailuryhmän puute, koska tutkimusasetelma ei sisältänyt pelkkää kestävyysryhmää. Näin ollen ei siis voida kuin spekuloida olisiko kestävyysryhmän kestävyysominaisuudet parantuneet enemmän kuin voima-kestävyysryhmällä. Useissa tutkimuksissa kestävyys- ja voima-kestävyysryhmän kestävyysominaisuudet ovat parantuneet merkitsevästi, mutta kestävyysryhmän parannukset ovat olleet muutaman prosentin suurempia. (Hickson 1980; Nelson ym. 1990; McCarthy ym. 1995; Kraemer ym. 1995.) Koska voimaryhmälle ei tehty kestävyystestejä, ei voida myöskään tietää mikä vaikutus voimaharjoittelulla olisi mahdollisesti saattanut ollut polkemistehoon. Tässä tutkimuksessa todettiin isometrisen bilateraalisien alaraajojen ojennuksen maksimaalisen voimantuottonopeuden muutosten korreloivan ($r=.612$, $p<.05$) anaerobisen tehon muutosten kanssa 21 viikon aikana. Myös reisilihasten voimankasvun on havaittu parantavan polkemistehoa. (Hickson ym. 1980; Marcinik ym. 1991.)

8.6 Antropometria

Tässä tutkimuksessa 21 viikon harjoittelu ei aiheuttanut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kehonpainossa kummallakaan ryhmällä, mutta voima-kestävyysryhmän kehon rasvaprosentti sen sijaan laski merkitsevästi. Voima- ja voima-kestävyysryhmän välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero kehon rasvaprosentin prosentuaalisessa muutoksessa 21 viikon aikana. Tulokset viittaavat siihen, että voima-kestävyysharjoittelun avulla voidaan pienentää kehon rasvaprosenttia. On huomioitavaa, että voima-kestävyysryhmä harjoitteli neljä kertaa viikossa ja voimaryhmä vain kaksi

kertaa. Voima-kestävyysryhmän harjoittelun kuormittavuus ja energiankulutus oli tämän perusteella myös todennäköisesti suurempaa kuin voimaryhmän. Myös Hickson (1980) ja McCarthy ym. (1995) ovat havainneet voima-kestävyysryhmän rasvaprosentin laskeneen voimaryhmää enemmän.

8.7 Yhteenveto

Yhteenvetona tutkimustuloksista voidaan todeta, että 21 viikon yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei hidasta maksimivoiman ja kestävyysominaisuuksien kehittymistä. Sen sijaan pelkkä voimaharjoittelu kehittää voimantuottonopeutta ja neuraalista aktivaatioita selvästi enemmän kuin yhdistetty voima-kestävyysharjoittelu. Näin ollen kestävyysharjoittelu ei heikennä voiman ja kestävyuden kehittämistä, mutta saattaa estää voimantuottonopeuden kehittymisen.

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelututkimusta jatkettaessa mielenkiinnon kohteena olisi tämän tutkimuksen kaltainen tutkimusasetelma, jossa harjoitusmäärää nostettaisiin kolmeen voima- ja kolmeen kestävyysharjoitukseen viikossa. Pysyisivätkö voima- ja kestävyysmuutosten profiilit samanlaisina vai olisiko väsymystä havaittavissa. Kestävyysryhmän ottaminen mukaan ja kestävyystestien tekeminen myös voimaryhmälle lisäisi huomattavasti tutkimuksen sisältöä. Lisäksi olisi mielenkiintoista toteuttaa tutkimusasetelma eri lajien urheilijoille. Miten aikaisemmin systemaattisesti harjoitelleilla yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu vaikuttaisi hermo- lihasjärjestelmän ja hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyyn.

LÄHTEET

- Alexeev, V. & Roman, R. (1983). Different methods of training for an increase in muscle mass in weight-lifters. *Soviet Sports Review* 18: 118.
- Bassett, D.R. & Howley, E.T. (1999). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(1): 70-84
- Bell, G.J., Attwood, K., Syrotuik, D. & Quinney, H.A. (1998). Physiological adaptations to high and low stroke training in rowers. *Journal of Sports Medicine and Rehabilitation Training* 7: 345-353.
- Bell, G.J., Petersen, S.R., Wenger, H.A. & Quinney, H.A. (1988). Sequencing of endurance and high-velocity strength training. *Canadian Journal of Sports Sciences* 13(4): 214-219.
- Bell, G.J., Petersen S.R., Wessel, J., Bagnall, K. & Quinney, H.A. (1991). Adaptations to endurance and low velocity resistance training performed in a sequence. *Canadian Journal of Sports Sciences* 16(3): 186-192.
- Bell, G.J., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I. & Quinney, H. (1997). Effect of strength training and concurrent strength strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11(1): 57-64.
- 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.

- Bell, G.J. & Wenger, H.A. (1992). Physiological adaptations to velocity controlled resistance training. *Sports Med* 13: 234-244
- Blomqvist, C.G. & Saltin, B. (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology* 45: 169.
- Bulbulian, R., Wilcox, A.R. & Darabos, B.L. (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Medicine in Science and Sports Exercise* 18(1): 107-118.
- Burke, E.B. (1983). Improved cycling performance through strength training. *National Strength & Conditioning Association Journal* 5(3): 6-7, 70-71.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73(3): 911-917.
- Clausen, J.P. (1977). *Teoksessa: Human Circulation*. Oxford University Press, New York, Oxford Sivu 259.
- Collins, M.A. & Snow, T.K. (1993). Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of Sports Sciences* 11(6): 485-491.
- Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F., Lesmes, G.R. & Witzmann, F.A. (1979). Adaptations in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology* 46: 96-99.
- Denny-Brown & Pennybacker (1938). *Teoksessa: Enoka, R.M. (1994). Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Dudley, G.A. & Djamil, R. (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of Applied Physiology* 59(5): 1446-1451

- Dudley, G.A. & Fleck, S.J. (1987). Strength and endurance training. Are they mutually exclusive? *Sports Medicine* 4: 79-85.
- Durnin, J & Womersley, Y. (1967). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition* 32: 77-97.
- Enoka, R.M. (1988). Muscle strength and its development. New perspectives. A review. *Sports Medicine* 6: 146-168.
- Enoka, R.M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Ferketich, A.K., Kirby, T.E. & Always, S.E. (1998). Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiology of Skandinavia* 164: 259-267.
- Fitts, R.H., McDonald, K.S. & Schluter, J.M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of Biomechanics* 24: 11-12.
- Goldberg, A.L., Etlinger, J.D., Goldspink, D.F. & Jablecki, C. (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports* 7: 185-198.
- Gollnick, P.D., & Hermansen, L. (1973). Biochemical adaptations to exercise: anaerobic metabolism. *Teoksessa: Exercise and Sports Sciences Reviews* (toim. J.H. Wilmore) New York: Academic 1: 1-43.
- Green, H.J., Klug, G.A., Reichman, H., Seedorf, U. & Wiehrer, W. (1984). Exercise-induced fiber type transitions with regard to myosin, parvalbumin, and sarcoplasmic reticulum in muscles of the rat. *Pfluegers Archives* 400: 432-438.

- Hellebrandt, F. & Houtz, S. (1956). Mechanisms of muscle training in man: Experimental demonstration of the overload principle. *Physical Therapy Review* 36(6): 371-383.
- Hennessy, L.C. & Watson, A.W.S. (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8: 12-19.
- Hickson, R.C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology* 45: 255-263
- Hickson, R.C., Dvorak, B.A., Gorostiaga, 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.
- Hickson, R.C., Rosenkoetter, M.A. & Brown, M.M. (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12(5): 336-339
- Holloszy, J. & Booth, F.W. (1976). Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annual Review of Physiology* 38: 273-295.
- Holloszy, J. & Coyle, E. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56(4): 831-838.
- Hortobagyi, T., Katch, F.I. & Lachance, P.F. (1991). Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31: 20-30.
- Hunter, G., Demment, R. & Miller, D. (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 27(3): 269-275.

- Hurley, B.F., Seals, D.R. & Ehsani, A.A. (1980). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Medicine in Science and Sports Exercise* 12: 483-488.
- Häkkinen, K. (1989). Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training: A review. *Journal of Sports Medicine* 29(9).
- Häkkinen, K. (1990). *Voimaharjoittelun perusteet*. Gummerrus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
- Häkkinen, K. (1994). Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine* 6(3): 161-198.
- 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., Komi, P.V. & Alen, M. (1985). Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiology of Skandinavia* 125: 587-600.
- Häkkinen, K., Komi, P.V. & Tesch, P.A. (1981). Effect of combined concentric and eccentric training and detraining on force time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scandinavian Journal of Sport Sciences* 3: 50-58.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology* 57: 133-139.

- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W.J., Newton, R.U. & Alen, M. (2000). Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *Journal of Gerontology: Biol Sci* 55 A (2): B95-B105.
- Ikai, M. & Fukunaga, T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurements. *European Journal of Applied Physiology* 26: 26-32.
- Inbar, O., Kaiser, P. & Tesch, P. (1981). Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *International Journal of Sports Medicine* 2: 154-159.
- Komi, P.V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine* (suppl) 7: 10.
- Komi, P., Karlsson, J., Tesch, P, Suominen, H. & Heikkinen, E. (1982). Effects of heavy resistance and explosive type strength training methods on mechanical, functional and metabolic aspects of performance. *Teoksessa: Exercise and Sport Biology* (toim. P. Komi). Human Kinetics Publishers, Champaign, III.
- Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K., 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): 976-989.
- Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B.K. & Logan, P.A. (1999). Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Medicine* 28(6): 413-427.
- Luginbuhl, A.J., Dudley, G.A. & Staron, R.S. (1984). Fiber type changes in rat skeletal muscle after intense interval training. *Histochemistry* 81: 55-58.

- MacDougall, J. (1986). Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. *Teoksessa: N. Jones (toim.)*, 269-288. Human Kinetics Publishers.
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.D., Sale, D.G., Moroz, J. & Sutton, J.R. (1977). Skeletal muscle hypertrophy and atrophy with respect to fibre type in humans. *Canadian Journal of Applied Science* 2(4): 229. (Abstract)
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.B., Sale, D.G., Moroz, J. & Sutton, J. (1980). Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *European Journal of Applied Physiology* 43: 25-34.
- Marcinic, 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 and Science in Sports and exercise* 23(6): 739-743.
- Marks, R. (1996). Effects of strength training on the structural and functional properties of human muscle: a review. *Sports Medicine and Training Rehabilitation* 7: 49-60.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. (1996). *Exercise Physiology: energy, nutrition and human performance*. Williams & Wilkins, Baltimore, USA.
- 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 and Science in Sports and Exercise* 27(3): 429-436.
- McCartney, N., McKelvie, R.S., Haslan, D.R. & Jones, N.L. (1991). Usefulness of weight training in improving strength and maximum power output in coronary artery disease. *American Journal of Cardiology* 67: 939-945.
- Moritani, T. & DeVries, H.A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58: 115-130.

- Moroz, D.E. & Houston, M.E. (1987). The effects of replacing endurance running training with cycling in female runners. *Canadian Journal of Sport Science* 12: 131-135.
- Nelson, A.G., Conlee, R.K., FACSM, Arnall, D.A., Loy, S.F. & Silvester, L.J. (1984). Adaptations to simultaneous training for strength and endurance (abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16: 184
- Ohtsuki (1983). Teoksessa: Enoka, R.M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Paavolainen, L. (1999). *Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of running performance in endurance athletes*. Studies in sport, physical education and health 63. Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä ja ER-paino Ky, Lievestuore.
- Perrine, J.J. & Edgerton, V.R. (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 10: 159-166.
- Petersen, S.R., Miller, G.D. & Wenger, H.A. (1984). The acquisition of muscular strength: the influence of training velocity and initial VO_{2max} . *Canadian Journal of Applied Sport Science* 9(4): 176-180.
- Rosler, K., Conley, K.E., Howald, H., Gerber, C. & Hoppeler, H. (1986). Specificity of leg power changes to velocities used in bicycle endurance training. *Journal of Applied Physiology* 61: 30-36.
- Rowell, L.B. (1969). Circulation. *Medicine and Science in Sports* 1: 15.
- Rowell, L.B. (1974). Teoksessa: *Human Circulation*. Oxford University Press, New York, Oxford. Sivu 259.

- Rowell, L.B. (1986). *Human Circulation*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Rusko, H. (1989). Teoksessa: Suomen Olympiakomitea (toim.): Suomalainen valmennusoppi: Harjoittelu.. Gummerrus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. Sivut 156-160.
- Rutherford, O. & Jones, D. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology* 55: 100-115.
- Sale, D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20(5): 135-145.
- Sale, D.G., Jacobs, I., MacDougall, J.D & Garner, S. (1990a). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2(3): 348-356.
- 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. (1969). Physiological effects of physical conditioning. *Medicine and Science in Sports* 1(1): 50-56.
- Staron, R.S., Hikida, R.S. & Hagerman, F.C. (1984). Human skeletal muscle adaptability to various workloads. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 32: 146-154.
- Staron, R.S. & Johnson, P. (1993). Tutkimuksessa: Staron ym. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 76(3): 1247-1255.
- Staron, 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(3): 1247-1255.

Staron, R.S., Leonardi, M.J., Karapondo, D., Malicky, E.S. & Falkel, J.E., Hagerman, F.C., Hikida, R.S. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology* 70: 631-640.

Tanaka, H. & Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance – A new Form of cross-training? A review. *Sports Medicine* 25(3): 191-200.

Taylor, A.W. & Bachman, L. (1998). The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24(1): 41-53.

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

Thorstensson, A. (1976). Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiology of Skandinavia* 443: 45.

Viitasalo, J. & Komi, P. (1978). Force-time characteristics and fibre composition in human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology* 40: 7-15.

Vorobyev, A. (1988). Weightlifting: Number and tempo of barbell lifts in training. *Soviet Sports Review* 23: 42.

Åstrand, P.O. & Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise*, third ed. New York: McGraw-Hill Book Company.