

**YHDISTETYN VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITUKSEN
HARJOITUSJÄRJESTYKSEN JA HARJOITUSAJANKOHDAN
VAIKUTUKSET ALARAAJOJEN VOIMANTUOTTOON JA
LIHASSMASSAAN**

Jari-Pekka Malinen

Valmennus- ja testausopin

Pro-gradu tutkielma

Kevät 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja

Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Malinen, Jari-Pekka (2015). Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan vaikutukset alaraajojen voimantuottoon ja lihasmassaan. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin Pro gradu –tutkielma, 80 s.

Voima- ja kestävyysharjoitus yhdistetään usein samaan harjoitukseen, koska kyseisiä ominaisuuksia tarvitaan monissa urheilulajeissa sekä niitä pidetään tärkeinä yleisen terveyden kannalta. Harjoitusjärjestyksellä ja harjoitusajankohdalla saattaa kuitenkin olla merkitseviä vaikutuksia ominaisuuksien kehittymiseen, sillä ensin suoritettu harjoite aiheuttaa akuutin väsymyksen, joka saattaa heikentää jälkimmäisen harjoitteen laatua ja fyysinen suorituskyky vaihtelee päivän aikana. Näistä syistä tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan pitkäaikaisia vaikutuksia suorituskykyyn ja lihasmassaan.

52 aikaisemmin harjoittelematonta miestä (18–40 v.) suoritti 24 viikon mittaisen tutkimusjakson. Heidät jaettiin viiteen ryhmään, joista neljä ryhmää suoritti saman yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoitusohjelman niin, että harjoitusjärjestys oli joko kestävyys ennen voimaa tai päinvastoin ja harjoitusajankohtana oli joko aamu tai ilta. Viides ryhmä oli kontrolliryhmä. Koehenkilöiltä mitattiin maksimaalinen voima dynaamisessa ja isometrisessä jalkaprässissä, maksimaalinen isometrinen polven ojennus- ja koukistusvoima, ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala, alaraajojen rasvaton massa sekä maksimaalinen hapenottokyky. Mittaukset suoritettiin viikoilla 0, 12 sekä 24 ja ne tehtiin aina sekä aamulla että illalla.

Päätuloksena oli, että kaikilla harjoitusryhmillä maksimaalinen voimantuottokyky dynaamisessa jalkaprässissä kehittyi 24 viikon aikana merkitsevästi niin aamu- kuin iltatesteissä ($p < 0.01$) riippumatta harjoitusjärjestyksestä tai harjoitusajankohdasta. Myös lihasmassa kasvoi merkitsevästi kaikilla harjoitusryhmillä harjoitusjakson aikana ($p < 0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa voimantuoton tai lihasmassan kehittymisessä missään testissä. Kuitenkin trendinä oli, että voima kehittyi paremmin, kun harjoitusjärjestyksenä oli V+K ja harjoitusajankohtana ilta. Lihasmassa näyttäisi kehittyvän puolestaan hieman enemmän iltaharjoitteluryhmillä. Myös hapenottokyky kehittyi merkitsevästi kaikilla harjoitusryhmillä aamutesteissä ($p < 0.05$) ja kaikilla paitsi I(V+K) ryhmällä iltatesteissä ($p < 0.05$). Hapenottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän aamutesteissä K+V harjoitusjärjestyksellä ja myös iltatesteissä oli samankaltainen trendi havaittavissa.

Tutkimuksen perusteella suunnitelmallisella yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoittelulla saadaan aikaan positiivisia muutoksia sekä voimantuotto- että kestävyys suorituskykyyn, kun harjoitusfrekvenssi on 2-3 kertaa viikossa. Harjoitusjärjestyksellä tai harjoitusajankohdalla ei ole merkitsevää vaikutusta voimantuottokykyyn kehittymiseen, mutta suorittamalla voimaharjoitus ennen kestävyyttä illalla saattaa olla hieman parempi. Hapenottokyvyn kannalta puolestaan olisi suotuisampaa tehdä kestävyys ennen voimaa aamulla.

Avainsanat: yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitus, harjoitusjärjestys, harjoitusajankohta, voimantuotto, lihasmassa

SISÄLTÖ

JOHDANTO	6
1 VOIMAHARJOITTELU	8
1.1 Hermostolliset adaptaatiot.....	9
1.2 Rakenteelliset adaptaatiot.....	11
1.3 Hormonaaliset adaptaatiot.....	14
2 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU.....	16
2.1 Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen vaikutukset suorituskyyyn	16
2.2 Harjoitusjärjestyksen vaikutukset yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa	21
3 PÄIVÄN AJANKOHTA	25
3.1 Päivän ajankohdan vaikutukset suorituskyyyn	25
3.2 Päivän ajankohdan vaikutukset adaptaatioihin	29
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	34
4.1 Tutkimuskysymykset	34
4.2 Hypoteesit	34
5 MENETELMÄT	36
5.1 Koehenkilöt.....	36
5.2 Tutkimuksen kulku	36
5.3 Mittaukset.....	38
5.3.1 1RM dynaaminen jalkaprässi.....	38
5.3.2 Maksimaalinen isometrinen jalkaprässi	39
5.3.3 Voimantuottonopeus	39
5.3.4 Unilateraalinen maksimaalinen isometrinen polvenojennus ja -koukistus .	40

5.3.1	Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala	41
5.3.2	Alaraajojen rasvaton massa.....	41
5.3.3	Maksimaalinen hapenottokyvyn testi.....	41
5.4	Harjoittelu	42
5.5	Tilastollinen analysointi	43
6	TULOKSET	44
6.1	Maksimivoima	44
6.1.1	Dynaaminen jalkaprässi	44
6.1.2	Isometrinen jalkaprässi.....	48
6.1.3	Isometrinen polvenojennus	50
6.1.4	Isometrinen polvenkoukistus	52
6.2	Voimantuottonopeus	54
6.3	Lihasmassa	55
6.3.1	Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala	55
6.3.2	Alaraajojen rasvaton massa.....	56
6.4	Maksimaalinen hapenottokyky	58
6.5	Vuorokaudenajankohdasta johtuva vaihtelu voimantuotto-ominaisuuksissa	60
7	POHDINTA	62
7.1	Muutokset maksimaalisessa voimantuottokyvyssä.....	62
7.2	Muutokset voimantuottonopeudessa.....	66
7.3	Muutokset lihasmassassa	67
7.4	Muutokset hapenottokyvyssä	68
7.5	Muutokset vuorokaudenaikaisessa voimantuottokyvyssä.....	69
7.6	Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet	70

7.7 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset	70
8 LÄHTEET.....	72

JOHDANTO

Molempia niin voima- kuin kestävyysominaisuuksia pidetään tärkeinä sekä monissa urheilulajeissa että myös tavallisten ihmisten hengitys- ja verenkierron sekä tuki- ja liikuntaelinten terveyden kannalta. Muun muassa UKK-instituutin terveystieteiden tutkimukseen kuuluu kestävyyskunto- sekä lihaskuntoharjoitteita samalle viikolle. (UKK-instituutti.) Voima- ja kestävyysharjoittelun yhdistäminen samaan harjoitukseen voi olla ajankäytön kannalta järkevää. On kuitenkin havaittu, että ensimmäisenä suoritettu harjoite aiheuttaa akuuttia väsymystä, jonka seurauksena toisena suoritettavan ominaisuuden kehittyminen saattaisi olla heikentynyttä, koska jälkimmäisen harjoitteen laatu heikkenee (Leveritt ym. 1999). Tästä seuraa kysymys, onko harjoitusjärjestyksellä vaikutusta voima- ja kestävyysominaisuuksien kehittymiseen, jos harjoittelujärjestys pidetään pitkän aikaa samana.

Yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun on havaittu tuottavan positiivisia vaikutuksia molempiin ominaisuuksiin aiemmin harjoittelemattomilla miehillä ja naisilla (Schumann ym. 2014a, Häkkinen ym. 2003 & Bell ym. 2000) ja kestävyysurheilijoilla (Mikkola ym. 2007, Taipale ym. 2014). Toisaalta on havaittu myös, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu johtaa heikentyneeseen kehitykseen voimassa verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (mm. Hickson 1980). Suorituskyvyn kehittyminen riippuu kuitenkin paljolti harjoittelun volyymistä, intensiteetistä, frekvenssistä ja minkä tyyppistä harjoittelua suoritetaan (Wilson ym. 2012).

Lisäksi lyhyen maksimaalisen fyysisen suorituskyvyn on havaittu vaihtelevan päivän aikana tiettyssä rytmissä. Esimerkiksi maksimaalisen voimantuoton on havaittu olevan heikoimmillaan aamusta ja parhaimmillaan illasta. (Drust ym. 2005.) Lisäksi on havaittu, että voimantuottokykyyn voidaan vaikuttaa harjoittelemalla tiettyinä vuorokaudenaikana. Voimantuottokyky kehittyy eniten ja on parhaimmillaan vuorokaudenaikana, jolloin sitä on harjoittanut säännöllisesti. (Soussi ym. 2002.)

Yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoittelua harjoittelua on tutkittu paljon ja jo yli 30 vuotta sitten Hickson (1980) havaitsi ensimmäisenä, että voiman kehittyminen on heikentynyt yhdistetyssä harjoittelussa verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun. Harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan (aamu vs. ilta) vaikutuksia yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa ei kuitenkaan ole tutkittu niin paljoa. Näin ollen tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan vaikutuksia voimantuoton ja lihasmassan muutoksiin yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa.

1 VOIMAHARJOITTELU

Voimaharjoittelu on maailmanlaajuisesti käytetty liikuntamuoto, jolla pyritään parantamaan hermolihasjärjestelmän suorituskykyä, terveyttä, muuttamaan kehonkoostumusta ja parantamaan urheilu suoritusta. Pitkäaikainen säännöllinen voimaharjoittelu lisää voimantuotto kykyä. Tämä johtuu niin hermostollisista kuin lihaksen rakenteellisista adaptaatioista. (Folland & Williams 2007.)

Voimaharjoittelu voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: maksimaaliseen voimaharjoitteluun, jolla pyritään pääsääntöisesti kehittämään hermolihasjärjestelmän yhteistoimintaa sekä hypertrofiseen voimaharjoitteluun, jolla pyritään stimuloimaan lihasten kasvua. Muuttamalla harjoituksen volyyymiä ja intensiteettiä voidaan saada aikaan haluttuja adaptaatioita. Valituilla harjoituksilla, toistojen ja sarjojen lukumäärällä, käytetyillä painoilla ja sarjapalautusten pituuksilla pystytään vaikuttamaan volyyymiin ja intensiteettiin. Maksimaalisessa voimaharjoituksessa sarjassa käytetään 1-5 toistoa intensiteetin ollessa 80–100%:a 1RM painosta ja sarjojen välillä pidetään pitkä 3-5 minuutin palautuminen. Hypertrofisessa voimaharjoituksessa puolestaan käytetään 8-12 toiston sarjoja intensiteetin ollessa 60–80%:a 1RM painosta ja lyhyitä 1-2 minuutin palautuksia. Lisäksi hermolihasjärjestelmän yhteistoimintaan tähtäävää harjoittelua voidaan suorittaa räjähtävällä voimantuottoharjoituksella, jossa tarkoituksena on kehittää nopeaa voimantuottoa. Tällaisessa harjoituksessa käytetty kuorma on 30–80%:a 1RM painosta ja liikkeen suoritusnopeus on maksimaalinen. Voimaharjoitusta, jossa käytetään kuormia 0–60 %:a 1RM painosta ja toistoja yhdessä sarjassa on 10–30, kutsutaan kestovoimaharjoitukseksi ja sillä pyritään kehittämään lihaksen aineenvaihduntaa. (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 155–161, Mero ym. 2007, 258–264.)

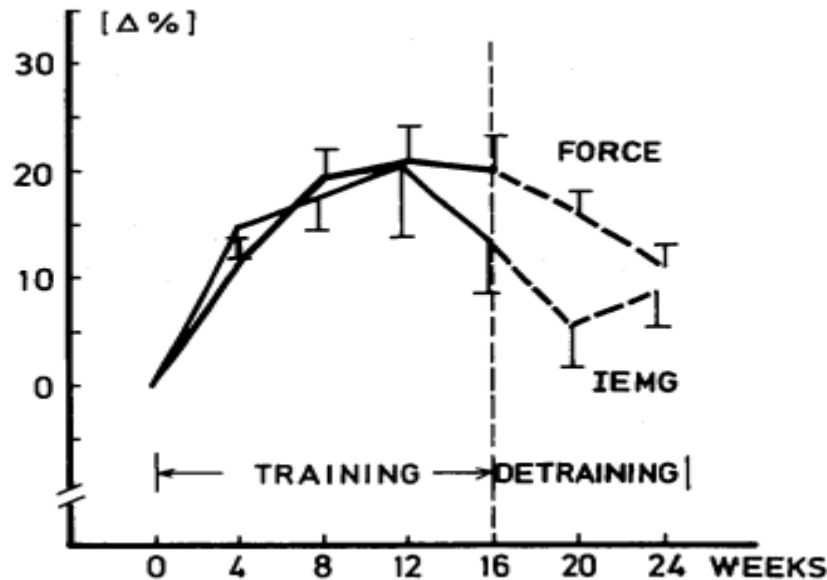
1.1 Hermostolliset adaptaatiot

Hermoston adaptaatiota voimaharjoitteluun on tutkittu laajasti ja ne muodostavat tärkeän osan voiman kehittämisessä (Gabriel ym. 2006). Hermostollisiin adaptaatioihin kuuluvat koordinaation kehittyminen harjoitettavassa liikkeessä eli agonistilihasten maksimaalinen ja oikea-aikainen aktivointi sekä synergisti-, stabiloivien ja antagonistilihasten riittävä ja oikea-aikainen aktivointi. Agonistilihaksen aktivoinnin kehittyminen tapahtuu lisäämällä motoristen yksiköiden syttymistiheyttä sekä rekrytoimalla uusia motoristisia yksiköitä. (Folland & Williams 2007.)

Hermoston aktivaation kehittyminen on erityisen suurta voimaharjoittelun aloittamisen ensimmäisinä viikkoina. Vaikka jo yksittäinen voimaharjoitus tuottaa hypertrofisen vasteen ja käynnistää proteiinisynteesin, niin merkitsevää lihaksen hypertrofiaa ei ole mitattavissa ensimmäisten viikkojen aikana voimaharjoittelun aloittamisesta. Näinä ensimmäisinä viikkoina voimaharjoittelun aloittamisesta voima kasvaa kuitenkin merkitsevästi, mikä viittaa siihen, että hermostolliset adaptaatiot ovat tärkeitä varsinkin voimaharjoittelun aloittamisen ensimmäisillä viikoilla. (Gabriel ym. 2006.)

Voimaharjoittelun on havaittu lisäävän agonistilihasten aktivaatiota suorituksen aikana (KUVA 1). Aktivaation lisääntyminen voi tapahtua joko lisäämällä motoristen yksiköiden syttymistiheyttä tai rekrytoimalla uusia yksiköitä. Motoristen yksiköiden rekrytoinnin ja syttymistiheyden kasvua tapahtuu voimaharjoittelun seurauksena, joka johtuu kasvaneesta hermostollisesta aktivoinnista selkäydintasolla tai kortikaalisellatasolla. Useissa tutkimuksissa pinta EMG:n on havaittu kasvavan voimaharjoittelun seurauksena ja tätä pidetään merkinä kasvaneesta hermostollisesta aktiivisuudesta lihakseen. Tämä kasvu on suurinta 3–4 viikon aikana voimaharjoittelun aloittamisesta varsinkin aiemmin harjoittelemattomilla henkilöillä. (Gabriel ym. 2006, Folland & Williams 2007.) Antagonistilihasten aktiivisuuden muuttumiselle harjoittelun seurauksena ei ole havaittu selkeää linjaa. Toistaiseksi onkin epäselvää, kumpi on tärkeämpää lihaksen maksimaalinen voimantuotto (mahdollisimman

vähäinen antagonistilihasten aktivointi) vai nivelen stabiliteetti (antagonistilihasten riittävän suuri aktivaatio). (Gabriel ym. 2006.)



KUVA 1. Muutokset maksimaalisessa voimassa isometrisessä jalkaprässissä ja oikean jalan polven ojentajalihasten (suora, ulompi ja sisempi reisilihas) keskimääräisessä EMG:ssä 16 viikon harjoittelun ja 8 viikon harjoittelun lopettamisen aikana (Häkkinen & Komi 1983).

Tutkimusten perusteella ihmiset eivät kykene tahdonalaisesti aktivoimaan lihaksia maksimaalisesti. Tästä käytetään termiä "epätäydellinen motoristen yksiköiden aktivointi" ja tämä voi johtua molemmista niin motoristen yksiköiden rekrytoinnin kuin syttymistiheyden epätäydellisyydestä. Voimaharjoittelun avulla pystytään kehittämään tahdonalaista lihasten aktivointia. Tätä on tutkittu antamalla koehenkilöille maksimaalisen tahdonalaisen lihassu-
pistuksen aikana yksi tai useampi supramaksimaalinen sähköstimulus lihakseen aktivoimaan lihassoluja, jotka eivät ole jo aktivoituneet. Supramaksimaalisten sähköstimulusten on havaittu tuottavan n. 2-5 %:n lisäyksen voimantuottoon. (Knight & Kamen 2001, Gabriel ym. 2006.)

Motoristen yksiköiden syttymistiheyden parantuminen on yksi syy voimantuoton nopealle kehitymiselle voimaharjoittelun aloittamisen ensimmäisillä viikoilla. Kamen & Knight

(2004) havaitsivat syttymistiheyden merkittävän kasvun ulommasta reisilihaksesta jo ennen varsinaisen harjoittelun aloittamista kahden alkutestin välillä, jotka suoritettiin viikon välein toisistaan. Kuuden viikon harjoittelujakson aikana syttymistiheydessä ei enää havaittu tilastollisesti merkitsevää kasvua, mutta suunta oli kuitenkin kasvava. (Kamen & Knight 2004.) Myös Van Cutsem ym. (1998) havaitsivat kasvua motoristen yksiköiden syttymistiheydessä räjähtävän voimaharjoittelun seurauksena. He havaitsivat harjoittelun lisäävän motoristen yksiköiden syttymistiheyttä liikkeen alku hetkellä.

Synkronoinnilla kuvataan, kuinka yhtäaikaisesti aktiiviset motoriset yksiköt syttyvät (Folland & Williams 2007). Voimaharjoittelun on havaittu parantavan synkronisaatiota ja sen uskotaan johtuvan kehittyneestä laskevasta radasta motoriselta aivokuorelta sekä pikkuaivoista. Vaikka lisääntynyt synkronisaatio ei suoraan lisää voimantuottoa, se saattaa olla suotuisaa, kun tarvitaan nopeaa voimantuottoa. Lisääntynyt motoristen yksiköiden synkronisaatio voimantuoton alkuvaiheessa parantaisi siis voimantuotonopeutta liikkeen alkuvaiheessa. Lisäksi synkronisaatiolla uskotaan olevan hyvin tärkeä rooli, kun liikkeen suorittamiseen tarvitsee koordinoita useita eri lihasryhmiä. (Semmler 2002.)

Lihaspistuksen alussa on havaittu lyhyellä aika välillä (2-5 ms) toisistaan kaksi peräkkäistä piikkiä EMG:ssä. Näitä kutsutaan "doubleteiksi" ja niitä havaitaan erityisesti, kun voimantuotonopeus on suuri. Näiden "doublettien" määrän on havaittu kasvavan voimaharjoittelun seurauksena ja niiden lisääntyminen on yksi mahdollinen syy voimantuoton kehittymiseen. (Van Cutsem ym. 1998, Gabriel ym. 2006.)

1.2 Rakenteelliset adaptaatiot

Ensisijainen rakenteellinen adaptaatio liittyy lihaksen koon kasvuun niin koko lihastasolla kuin lihassolutasolla. Hypertrofiassa lihassolun koko kasvaa, koska lihasfibrillien koko ja lukumäärä kasvavat. Muita rakenteellisia adaptaatioita ovat muutokset lihassolutyypissä, lihasarkkitehtuurissa, lihasfilamenttien tiheydessä, jänteiden ja tukikudosten rakenteessa sekä hyperplasia. (Folland & Williams 2007.) Hypertrofian aikana lihaksen supistuvat ja

myös supistumattomat osat kasvavat. Hypertrofia supistuvissa osissa tapahtuu lisäämällä lihasfibrillejä ja sarkomeereja joko sarjaan tai rinnan. Erityisesti eksentrisen voimaharjoittelun on havaittu aiheuttavan lihasfibrillien ja sarkomeerien lisääntymistä sarjaan. Suurin osa hypertrofiasta on kuitenkin lihasfibrillien ja sarkomeerien lisääntymistä rinnan ja tämä aiheuttaa lihaksen poikkipinta-alan kasvua. Riittävän suuri voimaharjoitus aiheuttaa häiriötilan lihasfibrilleissä ja niitä ympäröivässä solun ulkopuolisessa välitilassa. Tästä seuraa monimutkainen myogeneettisten tapahtumien ketjureaktio, joka lopulta johtaa lihasfibrillien supistuvien osien aktiinin ja myosiinin koon ja lukumäärän kasvuun. Aktiinin ja myosiinien koon ja lukumäärien kasvu, suurentaa lihasfibrillejä ja siten lihaksen poikki pinta-alaa. Hypertrofiaa voi myös tapahtua lihaksen supistumattomissa osissa esim. nesteen määrän kasvu, glykogeenin pitoisuuden kasvu ja endmysium tukikudoksen kasvu. Tätä kutsutaan sarkoplastiseksi hypertrofiaksi. (Schoenfeld 2010.)

Lihaksen eliniän aikana sen lihassolut eivät korvaudu uusilla lihassoluilla, vaan lihassolut korjaavat itseään ja se onkin tärkeää lihasmassan säilymisen kannalta. Korjaus tapahtuu muodostamalla uutta lihasproteiinia ja hajottamalla vanhaa lihasproteiinia. Hypertrofiaa tapahtuu, kun proteiinisynteesi on hajotusta suurempaa. Tärkeässä roolissa hypertrofian tapahtumisen kannalta ovat satelliittisolut. Nämä solut ovat lihassolun alkumuotoja, jotka ovat mitoottisesti uinuvia. Satelliittisolut sijaitsevat lihassolun solukalvon ja lihassolun ulkopuolisessa soluväliaineessa. Nämä satelliittisolut aktivoituvat, kun lihassolut joutuvat riittävän mekaanisen stimuluksen kohteeksi. On havaittu, että IGF-1 pystyy vaikuttamaan satelliittisolujen läheisyydessä ja aktivoimaan ne. Kun satelliittisolu on aktivoitunut, se sulautuu olemassa olevaan lihassoluun ja tuo näin yhden tuman lisää lihassoluun. Tämän tuma lisää lihassolun kykyä syntetisoida uusia lihasproteiineja. (Kadi & Thornell 2000, Deschenes & Kraemer 2002, Schoenfeld 2010.)

Voimaharjoittelun seurauksena useat signaalintireitit aktivoituvat, mikä johtaa lopulta lihashypertrofiaan. Useita eri anabolisia signaalintireittejä on havaittu mm. Akt/mTOR, MAPK ja kalsium-(Ca²⁺) riippuvainen reitti. Akt/mTOR reittiä pidetään yhtenä keskeisimmistä signaalintireiteistä, joka säätelee lihaskasvua. Akt:tä pidetään reitin solmukohtana,

joka aktivoi anabolista signalointia ja inhiboi katabolista signalointia. Akt aktivoi mTOR:in, joka edelleen aktivoi lisää kohteita, jotka johtavat lihashypertrofiaan. (Schoenfeld 2010.)

Voimaharjoittelu aiheuttaa myös muutoksia lihassolutyypissä. Useissa tutkimuksissa on havaittu muutoksia II tyypin lihassolujen alalajeissa. Lihassolutyypin IIB on havaittu muuttuvan tyypiksi IIAB (Häkkinen ym. 1998a, Campos ym. 2002). Lihassolun koostumusta ja muutoksia on tutkittu myös tarkastelemalla myosiinin raskasta päätä, ja hienovaraisia muutoksia on havaittu harjoittelun seurauksena. Myös myosiinin raskaassa päässä muutokset tapahtuu samaan suuntaan. MHC Iib on havaittu muuttuvan muotoon MHC Iia. (Campos ym. 2002.) Myös lihassolujen, jotka sisältävät useampaa eri myosiinin raskasta päätä esim. I/IIa ja IIa/IIx on havaittu muuttuvan puhtaiksi IIa tyypeiksi (Williamson ym. 2001). Nämä adaptaatiot tapahtuvat voimaharjoittelun aloittamisen alkuvaiheessa (2-3 kuukautta), eikä muutoksista pitkäaikaisen harjoittelun seurauksen ole todisteita (Folland & Williams 2007).

Lihassolun ja jänteen välistä kulmaa kutsutaan pennaatiokulmaksi. Pennaatiokulman kasvaessa, voi lihaksen fysiologinen pinta-ala kasvaa ilman anatomisen pinta-alan kasvua. Tämä johtuu siitä, että lihassoluja pakkautuu tiiviimmin samalle pinta-alalle. Toisaalta tällöin yhden lihassolun tuottama voima jänteeseen pienenee. On laskettu, että optimaalinen pennaatiokulma olisi 45° ja vain harvojen lihasten pennaatiokulma olisi näin korkea edes supistuksen aikana. Näin ollen pennaatiokulman kasvu parantaisi voimantuottoa. Voimaharjoittelun on havaittu kasattavan pennaatiokulmaa ja tämä adaptaatio antaa merkittävän lisäyksen voimantuotolle. (Narici 1999, Folland & Williams 2007.)

Lihasta ympäröivässä tukikudoksessa, joka siirtää lihaksen supistumisesta aiheutuvan voiman jänteeseen, tapahtuu mahdollisesti muutoksia voimaharjoittelun seurauksena, jotka lisääisivät tämän tukikudoksen voimansiirtokykyä. Tästä ei kuitenkaan ole varmuutta, mutta teoreettisesti yksi mahdollinen adaptaatio varsinkin pitkällä aikavälillä. Puolestaan jänteen on havaittu jäykistyvän voimaharjoituksen seurauksena. Jänteen jäykkyys vaikuttaa voiman-

tuottoaikaan sekä elektromekaaniseen viiveeseen. Jänteen jäykistyessä erityisesti nopean voimantuoton on havaittu kehittyvän. (Folland & Williams 2007.)

1.3 Hormonaaliset adaptaatiot

Voimaharjoitus nostaa niin anabolisten (testosteroni, kasvuhormoni ja IGF-1) kuin katabolisten (kortisoli) hormonien tasoja akuutisti verenkierrassa. Erityisesti hypertrofisen voimaharjoituksen, mutta myös maksimivoimaharjoituksen on havaittu nostavan hormonitasoja akuutisti harjoituksen jälkeen. (Ahtiainen ym. 2003, Linnamo ym 2005.) Pitkäaikaisen voimaharjoittelun seurauksena on havaittu ristiriitaisia tuloksia hormonien perustasossa. On havaittu, että pitoisuudet kasvavat, pysyvät ennallaan tai laskevat. Akuutin hormonivasteen harjoituksen jälkeen ajatellaan olevan ratkaisevampaa lihasten kasvuille kuin kroonisten pitoisuuksien muutokset. (Houston 1999, Deschenes & Kraemer 2002 ja Kraemer & Ratamess 2005.) Kasvanut anabolisten hormonien konsentraatio lisää todennäköisyyttä siihen, että hormoni sitoutuu reseptoriinsa ja sitä kautta tehostaa proteiiniaineenvaihduntaa, jonka seurauksena lihas kasvaa. Anaboliset hormonit lisäävät myös satelliittisolujen aktivoitua, erilaistumista ja edistävät niiden sulautumista lihassoluun. (Schoenfeld 2010.)

Testosteronia pidetään tärkeimpänä lihasproteiinia kasvattavana hormonina miehillä ja voimaharjoittelun on havaittu nostavan testosteronipitoisuutta akuutisti. Testosteroni aiheuttaa rakentavaa aineenvaihduntaa sekä lisäämällä proteiinisynteesiä että estämällä proteiinien hajotusta. Lisäksi testosteroni pystyy vaikuttamaan hermoihin lisäämällä niiden välittäjäaineita ja kasvattamaan niiden solukokoa, millä on mahdollinen positiivinen vaikutus voimantuottokykyyn. Verenkierrassa testosteronista suurin osa (98 %) on sitoutuneena joko albumiiniin tai steroidihormoneita sitovaan globuliiniin ja loput 2 %:a on vapaana. Vain vapaa testosteroni on biologisesti aktiivista ja voi sitoutua androgeeniseen reseptoriin kohde kudoksessa. Testosteroni pystyy kuitenkin irtautumaan nopeasti albumiinista, koska ne ovat sitoutuneet toisiinsa vain heikosti. Voimaharjoituksen seurauksena tämä vapaa testosteronin pitoisuus verenkierrassa on akuutisti koholla. Lisäksi voimaharjoitus lisää androgeenisten reseptoreiden määrää, joka parantaa testosteronin mahdollisuutta sitoutua niihin ja näin

myös siis lisää testosteronin määrää kohdesolussa. (Schoenfeld 2010 ja Deschenes & Kraemer 2002.)

IGF-1 edistää anaboliala suorasti lisäämällä proteiinisynteesiä lihasfibrilleissä. Lisäksi se aktivoi satelliittisoluja, edistää niiden erilaistumista ja sulautumista lihassoluun. Voimaharjoittelun aikana lihakset tuottavat IGF-1:stä sekä käyttävät enemmän verenkierrrossa olevaa IGF-1:stä. Suurin osa verenkierrrossa olevasta IGF-1:stä tuotetaan maksassa. (Schoenfeld 2010 ja Deschenes & Kraemer 2002.)

Kasvuhormonilla on sekä anabolisia että katabolisia ominaisuuksia. Anabolisena vaikutuksena se lisää lihassolujen aminohappojen sisäänottoa ja aminohappojen yhdistymistä proteiineiksi. Katabolinen vaikutus kohdistuu mm. rasvasoluihin, joita kasvuhormoni hajottaa. Lisäksi kasvuhormoni lisää IGF-1 muodostumista lihaksissa. Kasvuhormonia erittyy sysäyksinä ja suurin harjoittelusta johtumaton erityys tapahtuu unen aikana. Kasvuhormonin erityys on kohollaan voimaharjoituksen seurauksena, erityisesti hypertrofisen voimaharjoituksen seurauksena. (Schoenfeld 2010.)

Kortisoli on puolestaan merkittävin katabolinen hormoni. Katabolinen vaikutus johtuu niin lihasproteiinin hajotuksesta kuin lihasproteiini synteesin inhibitiosta. Kortisolin pitoisuus nousee akuutisti voimaharjoituksen jälkeen, varsinkin hypertrofisen harjoituksen. Pitkällä aikavälillä kortisolin lepotasossa ei ole huomattu selkeää linjaa voimaharjoittelun seurauksena, osassa tutkimuksissa kortisolin lepotasossa on huomattu lasku, osassa ei muutosta. (Deschenes & Kraemer 2002, Kraemer & Ratamess 2005.)

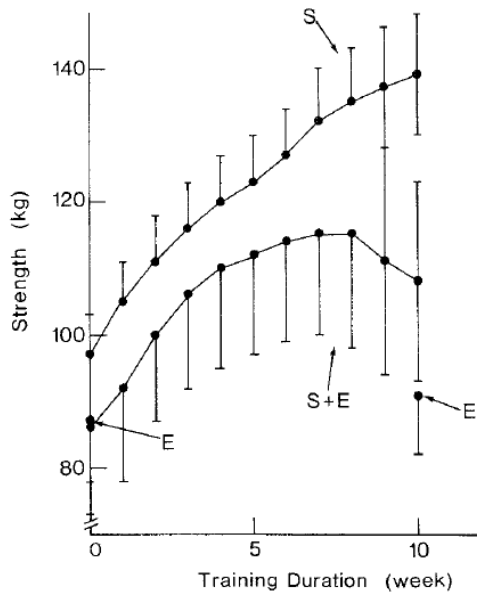
Testosteronin ja kortisolin sekä vapaan testosteronin ja kortisolin suhdetta käytetään kuvaamaan lihaksen anaboliala/kataboliala suhdetta. Joko testosteronin kasvu tai kortisolin pieneneminen tai molemmat osoittavat viitteitä anabolisesta tilasta. Osassa voimaharjoittelu tutkimuksissa on havaittu tämän suhteen kasvavan ja näin merkitsevän anabolisempaa tilaa lihaksissa. Tämän suhteen kasvu on yhdistetty myös suorituskyvyn kasvuun. (Kraemer & Ratamess 2005.)

2 YHDISTETTY VOIMA- JA KESTÄVYYSHARJOITTELU

2.1 Yhdistetyn voima- ja kestävyys harjoituksen vaikutukset suorituskykyyn

Voimaharjoittelu sisältää pääsääntöisesti suurella kuormalla tehtäviä liikkeitä, mutta vain vähän toistoja, kestävyys harjoittelu puolestaan päinvastoin kevyellä kuormalla lukuisia toistoja. Adaptaatiot ovatkin hyvin erilaiset voimaharjoittelulle ja kestävyys harjoittelulle. Voimaharjoittelun on todettu mm. parantavan voimantuottoa, kasvattavan lihassolujen kokoa ja pienentävän mitokondrioiden tiheyttä lihassolussa. Kestävyys harjoittelun on puolestaan todettu mm. lisäävän mitokondrioiden ja hiussuonien tiheyttä lihaksessa, pienentävän lihassolujen kokoa sekä lisäävän oksidatiivisten entsyymien aktiivisuutta lihaksissa. (Tanaka & Swensen 1998.)

Koska voima- ja kestävyys harjoittelu aktivoivat erilaiset ja usein jopa päinvastaiset adaptaatiomekanismit, niin voiman ja kestävyys yhtäaikainen kehittäminen voi johtaa ristiriitaisiin hermolihasjärjestelmän adaptaatioihin (Garcia-Pallares & Izquierdo 2011). Suurimpana ongelmana yhdistetyssä voima- ja kestävyys harjoituksessa on voiman kehittymisen heikentyminen (Kuva 2), erityisesti räjähtävän voimantuoton, verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (Hickson 1980, Leveritt ym. 1999, Bell ym. 2000, Häkkinen ym. 2003, Chtara ym. 2008, Garcia-Pallares & Izquierdo 2011, Rønnestad ym. 2012). Tätä kutsutaan interferenssi-ilmiöksi. Tutkimukset ovat kuitenkin näyttäneet, että erilaisilla harjoitusohjelmilla ja koehenkilöiden harjoitustaustalla on erilaiset vaikutukset voiman kehittymiseen. Tästä johtuen osissa tutkimuksissa voiman kehitys on ollut yhtä suurta yhdistetyllä voima- ja kestävyys harjoittelulla kuin pelkästään voimaa harjoitettaessa (McCarthy ym. 2002, Häkkinen ym. 2003, Glowacki 2004, Shaw ym. 2009). Yhdistetty harjoittelu ei kuitenkaan näyttäisi heikentävän kestävyys suorituskyvyn kehittymistä (Bell ym. 2000, Chtara ym. 2005, Wilson ym. 2012).



KUVA 2. Voiman kehittyminen 10 viikon aikana voimaharjoitteluryhmällä (S), yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmällä (S+E) ja kestävyysharjoitteluryhmällä (E) (Hickson 1980).

Useita eri syitä voimankehityksen heikentymiselle yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa on löydetty. Niin akuuteilla kuin kroonisilla vasteilla uskotaan olevan merkitys harjoitusvasteeseen yhdistetyssä harjoittelussa. Yleisesti yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua tutkittaessa, yhdistetty harjoitteluryhmä suorittaa molemmat sekä kestävyys- että voimaharjoituksen, kun kestävyys- ja voimaryhmä suorittavat pelkästään toisen. Tällöin yhdistetylle ryhmälle kertyy selvästi enemmän harjoittelua. Niinpä yhdeksi mahdolliseksi tekijäksi on ehdotettu, että yhdistettyryhmä harjoittelisi liian paljon ja ajautuisi ylikuntoon. Tämä ei kuitenkaan välttämättä pidä aina paikkaansa, koska silloin myös kestävyys- ja voimajärjestelmän pitäisi heikentyä. Lisäksi useissa tutkimuksissa kokonaiskuormitus on ollut hyvin vähäistä. (Leveritt ym. 1999.)

Yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa hermolihasjärjestelmä siis pyrkii sopeutumaan molempiin harjoitusärsykkeisiin. Koska adaptaatiot ovat hyvin erilaiset jopa päinvastaiset, on hermolihasjärjestelmän optimaalinen adaptoituminen molempiin voima- ja kestävyysärsykkeisiin mahdotonta. Yhdistetyn harjoittelun seurauksena adaptoituminen on erilaista kuin harjoitettaessa pelkästään voimaa tai kestävyyttä. Näihin adaptoitumisiin kuuluu

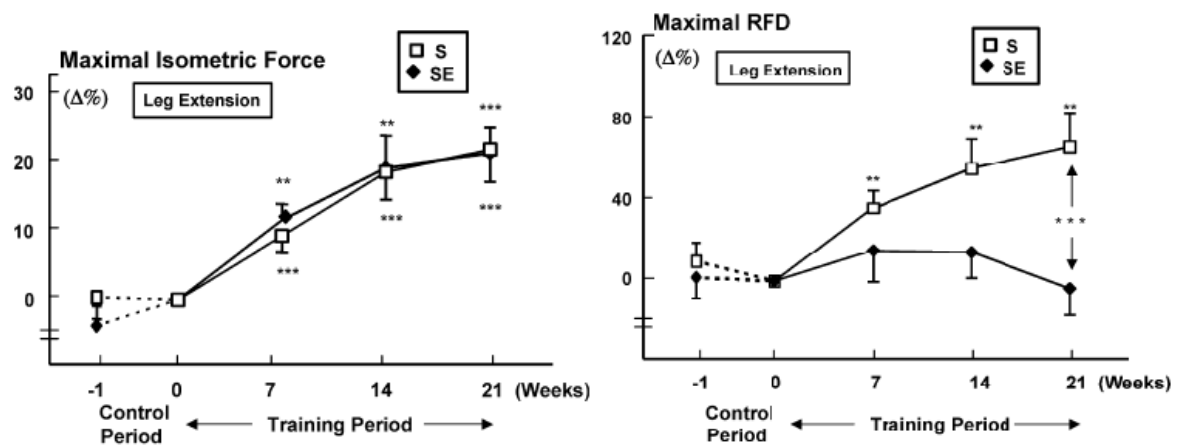
mm. muutokset lihassolutyypeissä, lihashypertrofiassa sekä motoristen yksiköiden aktiivoinnissa. (Leveritt ym. 1999.)

Lihassolutyypien muuttumista hitaammiksi yhdistetyssä harjoittelussa, johtuen kestävyysharjoittelusta, pidetään mahdollisena syynä voiman heikentyneelle kehittymiselle (Nader 2006). Voimaharjoittelu lisää eniten juuri nopeiden lihassolujen kokoa (Fry 2004) ja kestävyysharjoittelun on puolestaan havaittu pienentävän II tyyppin lihassolujen kokoa sekä muuttavan niitä tyyppin I lihassoluiksi (Taylor & Bachman 1999). Myös lihashypertrofian on havaittu olevan pienempää yhdistetyn harjoittelun seurauksena verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun. Kestävyysharjoittelun on havaittu heikentävän proteiinisynteesiä usean tunnin ajaksi harjoittelun jälkeen. Kun tämä menee päällekkäin voimaharjoittelun adaptaation kanssa, se voi häiritä normaalia proteiinisynteesiä, joka seuraa voimaharjoittelusta. Lisäksi voima- ja kestävyysharjoittelut aktivoivat eri signalointireitit. Onkin havaittu, että kestävyysharjoittelu aktivoi signalointireitit, jotka ovat yhteydessä solun aineenvaihdunnallisiin muutoksiin kuten AMP-aktiivinen proteiinkininaasi (AMPK). AMPK:n on havaittu inhiboivan proteiinisynteesissä tärkeän mTOR-signalointireitin aktiivisuutta. (Nader 2006.)

Lundberg ym. (2012) havaitsivat kuitenkin, että kestävyysharjoitus ennen voimaharjoitusta ei heikentäisi voimaharjoituksen akuutteja molekulaarisia vasteita. Kun kestävyysharjoitus suoritettiin kuusi tuntia ennen voimaharjoitusta, ei mTOR signalointireitin aktivaatiossa havaittu heikentymistä verrattuna pelkkään voimaharjoitukseen. Itse asiassa lihaksen anabolinen vaste voimaharjoitteluun oli suurempi kuin voimaharjoittelua oli edeltänyt kestävyysharjoitus. Lundberg ym. (2013) jatkoivatkin tutkimustaan ja havaitsivat, että viiden viikon yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei heikentänyt lihaksen voimantuottokyvyn tai lihasmassan kasvua, vaan lihasmassan kasvu oli jopa merkitsevästi suurempaa yhdistetyllä harjoittelulla kuin pelkällä voimaharjoittelulla. Tämän tuloksen perusteella he ehdottivat, että kestävyysharjoittelu voi tarjota synergistisen hypertrofisen stimuluksen voimaharjoitukselle ilman, että se heikentäisi voimank kehittymistä. Voimantuottokyky ei kuitenkaan kehittynyt enempää yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla, vaikka lihasmassan kasvu oli suurempaa. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että näissä tutkimuksissa kestävyys- ja

voimaharjoituksen välissä oli kuuden tunnin väli ja koehenkilöt saivat tällä välillä riittävästi energiaa täydentämään glykogeenivarastoja. (Lundberg ym 2012, Lundberg ym. 2013.) Tämä tauko on siis ollut todennäköisesti riittävän pitkä, että lihasten glykogeenivarastot ovat ehtineet täydentyä ja voimantuotokyky palautua ennen voimaharjoitusta (Leveritt & Abernethy 1999, Leveritt ym. 2000).

Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu ei näyttäisi vaikuttavan heikentävästi motoristen yksiköiden rekrytoinnin ja syttymistiheyden kehittymiseen maksimaalisen voimantuoton aikana, kun aika ei ole rajoittava tekijä. Puolestaan räjähtävä voimantuotto näyttäisi olevan heikompaa yhdistetyllä harjoittelulla kuin pelkällä voimaharjoittelulla (Kuva 3). (Häkkinen ym. 2003.) Heikentynyt neuraalinen aktivointi nopeassa voimantuotossa on yksi mahdollisista syistä heikentyneeseen voimankehittymiseen yhdistetyssä harjoittelussa (Garcia-Pallares & Izquierdo 2011).



KUVA 3. Suhteelliset muutokset maksimaalisessa voimassa bilateraalissa jalkaprässissä sekä maksimaalisessa voimantuotonopeudessa bilateraalissa jalkaprässissä voimaryhmällä (S) ja yhdistetyllä voima- ja kestävyysryhmällä (SE) (Häkkinen ym. 2003).

Yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa harjoitusfrekvenssillä (kuinka monta harjoitusta viikossa) sekä harjoitusjakson kokonaiskestolla on suuri merkitys adaptaatioihin (McCarthy ym. 2002, Häkkinen ym. 2003, Izquierdo ym. 2004). Kun harjoittelufrekvenssi kas-

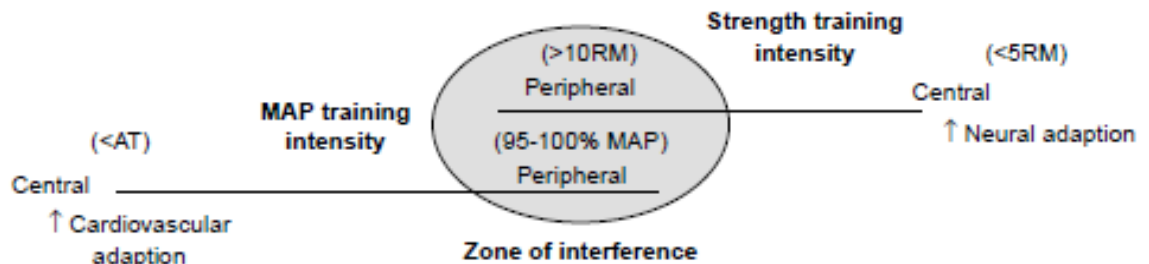
vaa suuremmaksi kuin kolme kertaa viikossa, niin on havaittu voimaominaisuuksien heikentynyt kehittyminen yhdistetyssä harjoittelussa verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (Hickson 1980, Kraemer ym.1995). Puolestaan, kun harjoitusfrekvenssi ei ylitä kolmea kertaa viikossa, niin maksimaalisen voimantuoton kehittämisessä ei havaittu interferenssi-ilmiötä (McCarthy ym. 2002, Häkkinen ym. 2003).

Yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa myös voiman ja kestävyuden suhteellisilla osuuksilla on vaikutusta interferenssi-ilmiön suuruuteen (Wilson ym. 2012). Jones ym. (2013) havaitsivat, että mitä enemmän kestävyysharjoittelua lisätään harjoitusohjelmaan, sitä enemmän maksimaalinen voimantuotonkehittyminen heikentyy. Heidän tutkimuksessa oli kolme ryhmää, joista yksi ryhmä harjoitteli kolme kertaa viikossa pelkästään voimaa, toinen ryhmä harjoitteli myös kolme kertaa voimaa, mutta yhden voimaharjoituksen jälkeen lisäksi kestävyysharjoituksen ja kolmas ryhmä harjoitteli kolme yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoitusta viikossa. Tuloksena havaittiin, että pelkästään voimaa harjoittanut ryhmä kehittyi eniten maksimaalisessa voimantuotossa ja jo yksi kestävyysharjoitus voimaharjoituksen jälkeen viikossa heikensi voiman kehittymistä. Puolestaan kolme kestävyysharjoitusta heikensi voiman kehittymistä ja oli merkitsevästi heikompaa kuin kahdella muulla ryhmällä. (Jones ym. 2013.)

Lisäksi se, minkälaista kestävyysharjoittelua ja millä lihasryhmillä kestävyysharjoittelu suoritetaan vaikuttaa interferenssi-ilmiön suuruuteen (Wilson ym. 2012). Kestävyysharjoittelu ei heikennä voimantuotonkehittymistä niissä lihasryhmissä, mitkä eivät aktivoidu kestävyysuorituksen aikana. Voimantuotonkehittyminen ei heikentynyt ylävartalon lihasryhmillä, vaikka kestävyysharjoittelua (juoksu) lisättiin alaraajoille (Kraemer ym. 1995). Voimantuotonkehittymisen heikentyminen yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa oli merkitsevää ja havaittavissa jopa silloin kun harjoitusfrekvenssi on pieni (3 kertaa viikossa), kun voima- ja kestävyysharjoitus aktivoi samat lihasryhmät (Jones ym. 2013). Lisäksi on havaittu, että interferenssi-ilmiöön vaikuttaa suorittaako kestävyysharjoittelun juosten vai pyöräillen. Sekä voimantuoton että lihasmassan kehittyminen on heikompaa yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa, jossa kestävyysharjoittelu suoritetaan juosten verrattuna

pyöräilyyn. Tämä johtunee siitä, että pyöräilyssä ja juoksussa lihastyötavat ovat hyvin erilaiset. Juoksussa eksentrisen vaihe voi aiheuttaa suuria lihassoluvaurioita, kun pyöräily puolestaan koostuu yksinomaan pelkästään konsentrisesta työtavasta ja ei näin ollen aiheuttaisi niin suuria lihassoluvaurioita. (Wilson ym. 2012.)

Myös voima- ja kestävyysharjoituksen intensiteeteillä on vaikutus interferenssi-ilmiöön yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoitusohjelmassa. Docherty & Sporer (2000) kehittivät mallin, joka ennustaa interferenssi-ilmiötä eri harjoittelu intensiteeteillä (kuva 4). Tämän mallin mukaan suurin interferenssi tapahtuu, kun molempien sekä voimaharjoittelun että kestävyysharjoittelun adaptaatiot kohdistuvat suurimmaksi osaksi periferiaan. Näin ollen metaboolisesti haastavat hypertrofinen/kestovoima tyyppinen voimaharjoitus sekä korkea tehoinen intervallit kestävyysharjoitus aiheuttaisivat yhdistettäessä suurimman interferenssin. Puolestaan maksimi- ja nopeusvoima tyyppinen sekä matalatehoinen kestävyysharjoittelu, joiden adaptaatiot ovat lähinnä sentraalisia, eivät aiheuttaisi niin suurta interferenssiä. (Docherty & Sporer 2000.)



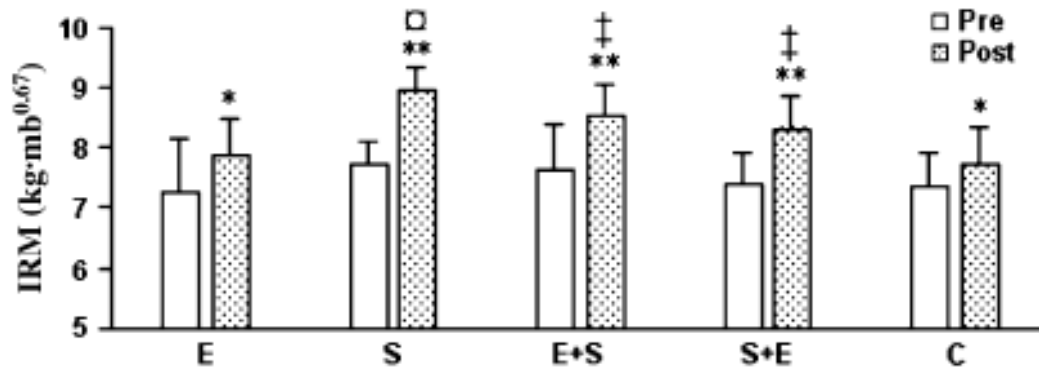
KUVA 4. Voima- ja kestävyysharjoittelun intensiteettien ensisijaiset adaptaatiot ja niiden vaikutukset interferenssi-ilmiöön (Docherty & Sporer 2000).

2.2 Harjoitusjärjestyksen vaikutukset yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa

Yhdistettäessä voima- ja kestävyysharjoitukset samaan harjoitukseen herää kysymys, onko harjoitusten järjestyksellä väliä. Yksi harjoitusjärjestyksestä johtuva mahdollinen vaikutus

voima- ja kestävyysominaisuuksien kehittymiseen on se, että ensiksi suoritettu harjoitus aiheuttaa väsymystä, jolloin toisena suoritettun harjoituksen laatu heikkenisi. Voimaharjoituksessa tämä tarkoittaisi sitä, että käytetään pienempiä painoja tai noston teho on heikompi, jos voimaharjoitusta ennen on suoritettu kestävyysharjoitus (Leveritt & Abernethy 1999). Tästä voi johtua voiman kehittymisen heikentyminen, koska harjoitus stimulus jää pienemmäksi. (Leveritt ym. 1999.) Aikaisemmissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että harjoitusjärjestyksellä ei näyttäisi olevan vaikutusta voiman kehittymiselle (Chtara ym. 2008, McGawley & Andersson 2013, Schumann ym. 2014a), puolestaan Chtara ym. (2005) mukaan kestävyys kehittyisi paremmin, kun kestävyys suoritetaan ennen voimaharjoitusta, mutta Collins ja Snow (1993) mukaan harjoitusjärjestyksellä ei ollut vaikutusta kestävyiden kehittymiselle.

Chtara ym. (2008) havaitsivat tutkimuksessaan, että yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa harjoitusjärjestyksellä ei ollut vaikutusta voimaominaisuuksien kehittymiseen. Kuitenkin voimaominaisuudet kehittyivät heikommoin molemmilla yhdistetyillä harjoitteluryhmillä riippumatta harjoitusjärjestyksestä verrattuna ryhmään, joka harjoitteli pelkästään voimaa (Kuva 5). (Chtara ym. 2008.) Myös McGawley ja Andersson (2013) havaitsivat, että viiden viikon mittainen yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu kehitti jalkapalloilijoiden voimaominaisuuksia merkitsevästi, mutta harjoitusjärjestyksellä ei ollut merkitsevää eroa voiman kehittymiseen. Puolestaan kestävyysominaisuudet näyttäisivät kehittyvän paremmin, kun kestävyysharjoittelu suoritettiin ennen voimaharjoitusta. Tässä tutkimuksessa K+V ryhmä kehittyi kestävyysominaisuuksien suhteen merkitsevästi paremmin kuin V+K ryhmä ja jopa paremmin kuin pelkän kestävyysharjoittelun suorittanut ryhmä. (Chtara ym.2005.)



KUVA 5. 1RM puoli kyykyssä ennen ja jälkeen 12 viikon harjoittelun: kestävyys (E), voima (S), kestävyys + voima (E+S), voima + kestävyys (S+E) ja kontrolliryhmällä (C). * = merkitsevä ryhmän sisäinen muutos alku- ja lopputestin välillä $p < 0.05$ ja ** = $p < 0.01$, † = merkitsevästi suurempi kehitys verrattuna E:hen, E+S:ään, S+E:ään ja C:hen, ‡ = merkitsevästi suurempi kehitys verrattuna E:hen ja C:hen. (Chtara ym. 2008.)

McGawley ja Andersson (2013) pohtivat, että harjoitusjärjestys saattaisi vaikuttaa enemmän, kun yhdistettyä harjoittelua jatketaan samalla järjestyksellä pidemmän aikaan. Kuitenkin Schumann ym. (2014a) tutkivat harjoitusjärjestyksen vaikutuksia kuusi kuukautta, eivätkä löytäneet merkitseviä eroja voimantuotonkehittymiselle eri harjoitusjärjestyksillä. He kuitenkin havaitsivat alkutesteissä, että E+S ryhmällä testosteronin konsentraatio on merkitsevästi alentunut palautumisen aikana vielä 48 tunnin kuluttua harjoituksen päättymisestä. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut maksimivoiman kehittymiseen harjoitusjakson aikana. Osasy saattoi olla, että harjoitusfrekvenssi oli matala ja koehenkilöillä oli riittävästi aikaa palautumiseen harjoitusten välillä. (Schumann ym. 2014a.)

Ogasawara ym. (2014) päätyivät tutkimuksessaan rotilla tulokseen, että kun voimaharjoitus suoritetaan kestävyysharjoituksen jälkeen, niin se olisi suotuisampaa lihasproteiinisynteesille. He havaitsivat, että mTORC1 signaalintireitin aktiivisuus oli pienempää voimaharjoituksen jälkeen, jos kestävyysharjoitus suoritettiin sen jälkeen. Heidän tutkimuksensa mukaan kestävyysharjoitus aktivoi AMPK signaalintireitin, joka puolestaan inhiboi mTORC1 signaalintireittiä. Kun kestävyysharjoitus suoritettiin ennen voimaharjoitusta, mTORC1 signaalintireitin aktiivisuus voimaharjoituksen jälkeen oli merkitsevästi suurempaa. (Ogasawara

ym. 2014.) Täytyy kuitenkin huomata, että tässä tutkimuksessa voimaharjoittelu suoritettiin sähköstimulaatiolla, jolloin kestävyysharjoituksesta johtuva mahdollinen väsyminen ei vaikuttanut lihasten aktivointiin.

3 PÄIVÄN AJANKOHTA

3.1 Päivän ajankohdan vaikutukset suorituskykyyn

Useiden sekä fysiologisten että psykologisten toimintojen on havaittu vaihtelevan päivän aikana tietyn rytmin mukaisesti. Tätä vaihtelua kutsutaan vuorokausirytmiksi. (Cappaert 1999.) Tutkimukset ovat osoittaneet, että lyhyt maksimaalinen suorituskyky vaihtelee vuorokauden ajankohdan mukaan niin, että suorituskyky on aamulla heikoimmillaan ja iltapäivällä parhaimmillaan (Taulukko 1) (Souissi ym. 2002, Souissi ym. 2007, Chtourou ym. 2012a). Tämä vuorokauden ajankohdan vaikutus on osoitettu monissa erilaisissa anaerobisissa maksimaalisissa testeissä kuten Wingate-testissä (Souissi ym. 2010, Chtourou ym. 2012a) sekä lyhyissä maksimaalisissa suorituksissa kuten maksimaalisessa tahdonalaisessa voimantuotossa (Guette ym. 2005, Sedliak ym. 2008) sekä erilaisissa hyppyissä (Chtourou ym. 2012a). Vuorokauden ajankohdan vaikutuksesta pitkäkestoiseen aerobiseen suoritukseen ei kuitenkaan ole selkeyttä (Chtourou & Souissi 2012). Osa tutkimuksista on havainnut aerobisen suorituskyvyn vaihtelevan vuorokauden ajankohdan mukaan (Atkinson ym. 1993), osa puolestaan ei (Deschenes ym.1998).

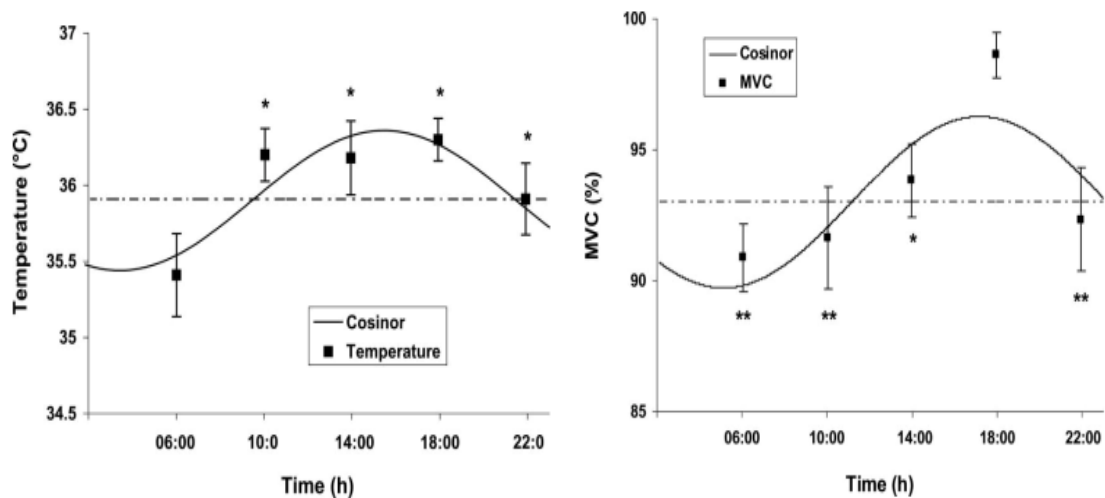
On huomattu laajalti, että hermolihasjärjestelmän kyky tuottaa voimaa vaihtelee vuorokauden ajankohdan mukaan. Isometrisen ja dynaamisen maksimaalisen voiman on havaittu olevan korkeimmillaan kello 17:00 ja 19:00 välillä ja pienimmillään 04:00 ja 06:00 välillä mm. polven ojentajalihaksilla (Guette ym. 2005) sekä kyynärpään koukistajalihaksilla (Gauthier ym. 2001). Voimantuoton vaihtelu päivän ajankohdan mukaan vaihtelee 3 %:n ja 21.2 %:n välillä riippuen lihasryhmästä ja koehenkilöiden taustasta. Vaikka hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn on havaittu olevan korkeimmillaan illasta ja heikoimmillaan aamusta, niin tieteellistä syytä tähän ei vielä tarkasti tiedetä. (Chtourou & Souissi 2012.) Pinta elektromyografian ja hermostimulaatio tekniikoiden avulla on kuitenkin päädytty tulokseen, että vuorokauden aikainen vaihtelu voimantuotossa johtuisi pääsääntöisesti lihaksen supistuminenmuutoksista. (Martin ym. 1999, Guette ym. 2005.)

TAULUKKO 1: Vuorokaudenajan vaikutus lyhytkestoiseen maksimaaliseen suorituskykyyn.

Lähde	Koehenkilöt	Mitattavat muuttajat	Mittausajan- kohdat	Tulokset
Callard ym. 2000	6 ultramatkan pyöräilijää	Maksimaalinen isomet- rinen unilateraalinen polvenojennus	16:40, 20:40, 00:40, 04:40, 08:40 ja 12:40	Merkitsevä vaihtelu voimantuotossa vuorokaudenajan mukaan. Huippu 19:30.
Guette ym. 2005	10 aktiivista ja tervettä mieshenkilöä	Maksimaalinen isomet- rinen unilateraalinen polvenojennus molem- mista jaloista	06:00, 10:00, 14:00, 18:00 ja 22:00	Molemmilla jaloilla merkitsevä vaihtelu voimantuotossa vuorokaudenajan mukaan, niin että illalla voimantuotto suurempaa kuin aamulla.
Souissi ym. 2007	11 tervettä miesopiskeli- jaa	Wingate-testi: – keskiteho – huipputeho	06:00 ja 18:00	Tehot olivat merkit- sevästi suuremmat illalla kuin aamulla.
Souissi ym. 2010	11 tervettä miesopiskeli- jaa	Wingate-testi: – keskiteho – huipputeho	08:00 ja 18:00	Tehot olivat merkit- sevästi suuremmat illalla kuin aamulla.
Chtou- rou ym. 2012a	30 tervettä miesopiskeli- jaa	Kyykkyhyppy, kevennyshyppy, Wingate-testi: – keskiteho – huipputeho, 1RM: – polven koukistus – polven ojennus – kyykky	07:00 ja 17:00	Kaikissa muuttujis- sa suorituskyky oli parempi illalla kuin aamulla.
Chtou- rou ym. 2012b	31 tervettä miesopiskeli- jaa	Kyykkyhyppy, kevennyshyppy, Maksimaalinen isometrinen unilateraa- linen polvenojennus, Wingate-testi: – keskiteho – huipputeho	07:00 ja 17:00	Kaikissa muuttujis- sa suorituskyky oli parempi illalla kuin aamulla.

Kehon lämpötilan on havaittu yleisesti vaihtelevan vuorokaudenajan mukaan siten, että se on korkeimmillaan alkuillasta ja matalimmillaan aamusta. Tämän havainnon perusteella on

tehty johtopäätös, että kehonlämpötilan nousulla olisi positiivinen vaikutus lyhyeen maksimaaliseen suorituskyykyyn mm. sen aiheuttaman passiivisen alkulämmön takia (Kuva 6). Kehon lämpötilan nousu voi johtaa lisääntyneeseen hiilihydraattien käyttöön rasvojen sijasta sekä tehostuneeseen poikkisiltojen syntyyn aktiini ja myosiinien välille lihaksessa. Koska kehon lämpötila on korkeimmillaan samoihin aikoihin kuin fyysinen suorituskyykykin, pidetään kehon lämpötilan vaihtelua yhtenä tärkeänä tekijänä suorituskyyky vaihteluun. (Teo ym. 2011.) Taylor ym. (2011) havaitsivat, että lisäämällä alkulämmittelyn kestoa aamulla pystyttiin vuorokauden ajankohdasta johtuva heikentynyt suorituskyyky kevennyshypyssä poistamaan. Pidemmällä alkulämmön kestolla he pystyivät nostamaan kehonlämpötilaa niin, että se vastasi lämpötilaa illalla.



KUVA 6. Vuorokausirytmien kehon lämpötilassa ja maksimaalisessa voimantuotossa polven ojentajaliikaksissa (Guette ym. 2005).

Lihasten lämpötilan on havaittu vaikuttavan suuresti myös tehontuottoon. Bergh ja Ekblom (1979) havaitsivat, että lihaksen maksimaalinen dynaaminen voimantuottokyyky sekä tehontuottokyyky heikkenivät 4-6 %:a aina, kun lihaksen lämpötila laski 1 °C lämpötilojen 30–39 °C välillä. Lisäksi on havaittu, että lämmin ja kostea ilma voi parantaa lyhyttä maksimaalista suorituskyykyä aamulla, jolloin kehon lämpötila on luonnostaan matalimmillaan. Lämmin ilma aiheuttaa passiivisen alkulämmön ja nostaa kehon lämpötilaa ja näin ollen parantaa lihaksen supistumisominaisuuksia. (Racinais ym. 2004.)

Martin ym. (1999) havaitsivat, että päivittäinen voimantuoton vaihtelu johtuu lihaksen supistumisominaisuuksista. He havaitsivat, että sama neuraalinen ärsyke aiheuttaa suuremman voimantuoton mitattavassa lihaksessa illalla kuin aamulla. He tulivat siihen tulokseen, että lihaksen supistumisominaisuudet ovat suotuisimmat illalla kuin aamulla. Nämä parantuneet supistumisominaisuudet johtuisivat pääosin lihassolun sisäisistä prosesseista supistumisen aikana, kuten lisääntyneestä kalsiumin erityksestä sarkoplasmisestaretikulumista, supistuvien proteiinien herkkyyden kasvusta kalsiumille tai poikkisiltojen kyvystä tuottaa enemmän voimaa johtuen epäorgaanisen fosfaatin konsentraation muutoksista. (Martin ym. 1999.) Myös Guette ym. (2005) päätyivät samanlaisiin tuloksiin polven ojentaja lihaksilla. Myöskään he eivät havainneet muutoksia hermoston käskytyksessä päivän ajankohdan muuttuessa. Näin ollen myös he päätyivät siihen tulokseen, että suurin vaikutus suurempaan maksimaaliseen voimantuottoon illalla kuin aamulla johtuu lihaksen sisäisistä supistumisominaisuuksien muutoksista. Muun muassa epäorgaanisen fosfaatin pitoisuuden on havaittu vaihtelevan päivän ajankohdan mukaan ja olevan korkeimmillaan alku illasta. Epäorgaanisen fosfaatin pitoisuus vaikuttaa yksittäisen lihassolun supistumisvoimakkuuteen ja se voi olla osasyypäivittäiseen maksimaalisen voimantuoton vaihteluun. (Guette ym. 2005.)

Osa tutkimuksista on kuitenkin havainnut, että myös neuraalinen aktivointi on voimakkaampaa illalla kuin aamulla (Gauthier ym. 1996, Callard ym. 2000, Castaingts ym. 2004). Callard ym (2000) havaitsivat, että EMG aktiivisuus on suurempaa illalla kuin aamulla ja näin ollen osa vuorokaudenaikaisesta voimantuoton vaihtelusta johtuisi neuraalisesta aktiivaatiosta. Lisää tutkimuksia tarvitaan vielä, että vuorokauden ajankohdan vaikutuksen syyt hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn saadaan tarkasti selville (Chtourou & Souissi 2012).

Vuorokausirytmien vaikutus suorituskykyyn vähenee, kun suorituksen kesto pitenee. Osissa tutkimuksissa on havaittu suorituskyvyn vaihtelevan vuorokaudenajan mukaan ja toisissa puolestaan ei (Taulukko 2). Pitkissä suorituksissa tärkeinä pidetyissä muuttujissa kuten VO_{2max} , ventilaatiokyvykset ja suorituksen taloudellisuus, ei ole myöskään havaittu merkitseviä muutoksia vuorokauden ajankohdan mukaan. (Chtourou, H. & Souissi, N. 2012.)

TAULUKKO 2: Vuorokaudenajankohdan vaikutukset pitkäkestoiseen suorituskykyyn.

Lähde	Koehenkilöt	Mitattavat muuttajat	Mittausajankohdat	Tulokset
Deschenes ym.1998	10 tervettä miestä	Pyöräilyaika maksimaalisessa hapenotokykytestissä	8:00 12:00 16:00 20:00	Ei merkitsevää muutosta suorituskyvyssä eri ajankohtina
Reilly & Garrett 1998	7 mies jalkapalloilijaa	Pyöräilyaika 70 % VO _{2max}	8:30 17:30	Ei merkitsevää muutosta suorituskyvyssä eri ajankohtina
Souissi ym. 2012	12 harjoittelusta miestä	Kokonaismatka Yo-Yo-testissä	14:00 20:00	Ei merkitsevää muutosta suorituskyvyssä eri ajankohtina
Atkinson ym. 1993	7 fyysisesti aktiivista ja 7 inaktiivista miestä	Itse valittu poljinteho 30 min pyörätessissä	02:00 06:00 10:00 14:00 18:00 22:00	Fyysisesti aktiivisilla miehillä tehossa havaittiin merkitsevä rytmi vuorokaudenajan mukaan. Inaktiivisilla ei merkitsevää vuorokausirytmää tehossa.

3.2 Päivän ajankohdan vaikutukset adaptaatioihin

Illalla tehdyn maksimaalisen hypertrofisen voimaharjoituksen on havaittu aiheuttavan suuremman väsymyksen kuin aamulla tehty samanlainen voimaharjoitus. Tämä johtuu siitä, että illalla suorituskyky on parempi lyhyissä maksimaalisissa suorituksissa kuin aamulla ja näin ollen jokaisessa sarjassa pystytään tuottamaan enemmän voimaa (käyttämään isompia painoja). Illalla tehtävässä voimaharjoituksessa ensimmäisten konsentristen toistojen aikana pystytään tuottamaan enemmän voimaa, kuin aamulla, mutta tämä ero häviää sarjan lopussa tehtäessä 10 toiston sarjaa. Lisäksi palautuminen sarjojen välillä on illalla nopeampaa kuin aamulla. Jokaisen sarjan välissä maksimaalinen tahdonalainen lihassupistus on tippunut työsarjanseurauksena samalle tasalle illalla ja aamulla, mutta palautuksen jälkeen voimantuotto on jälleen korkeampaa illalla sarjan ensimmäisissä toistoissa. Väsymys johtuu todennäköisesti perifeerisistä syistä, koska EMG:ssä ei tapahtunut huomattavia muutoksia. Myös

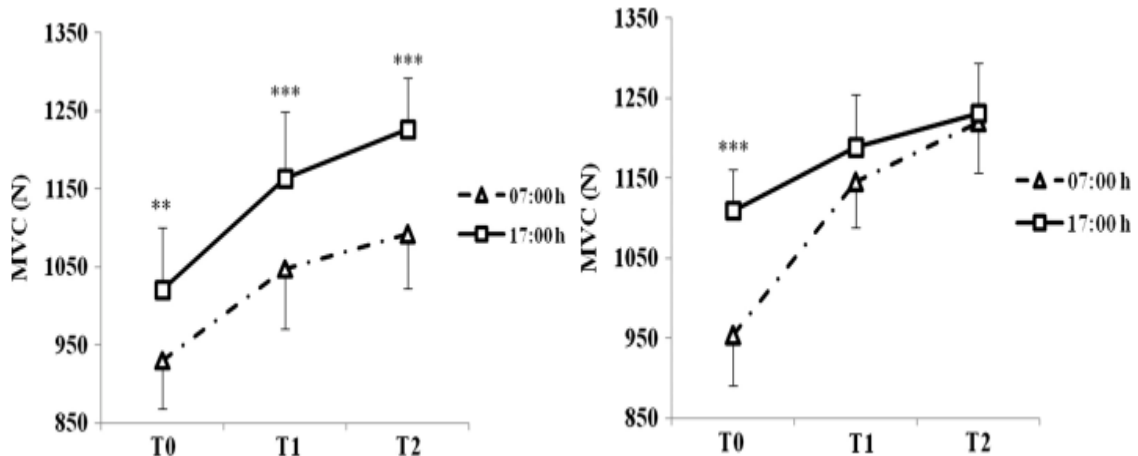
väsymyksestä palautuminen johtunee lihassolun sisäisistä aineenvaihdunnallisista ja ioni-
en konsentraatioiden muutoksista. (Nicolas ym. 2007.)

Vaikka on havaittu, että voimaharjoituksessa illalla pystytään tuottamaan enemmän voimaa kuin aamulla (Nicolas ym 2007), niin voima ja lihassa näyttäisivät silti kehittyvän yhtä paljon harjoitusajankohdasta riippumatta. Sedliak ym. (2009) havaitsivat nimittäin 10 viikon aamu voimaharjoittelun kehittävän voimaa ja lihassa yhtä paljon kuin ilta voimaharjoittelun. Tässä tutkimuksessa voimatestit suoritettiin neutraalina vuorokaudenaikana (kumpikaan ryhmä ei harjoitellut kyseisenä ajankohtana). Sekä voimatestit (1RM puolikykyssä ja maksimaalinen tahdonalainen lihassupistus polven ojennuksessa) että lihassa (nelipäisen reisilihaksen tilavuus) kasvoivat molemmilla aamu- ja iltaharjoitteluryhmillä merkitsevästi, eikä ryhmien välillä kehityksessä havaittu eroa. Lihashypertrofiaan tähtäävä harjoittelu on siis yhtä tehokasta lyhyellä aikavälillä (2-3 kuukautta) niin aamulla kuin illalla. (Sedliak ym. 2009.)

Itse asiassa voiman kehittyminen näyttäisi olevan suurinta sinä vuorokaudenaikana, milloin harjoittelu on säännöllisesti suoritettu. Souissi ym. (2002) havaitsivat, että voiman ja anaerobisen tehon (Wingate-testissä) kehittyminen oli suurinta sinä vuorokaudenaikana, milloin itse harjoittelu oli suoritettu. Ennen kuuden viikon harjoitusjaksoa koehenkilöillä havaittiin merkitsevä ero huippuvoimassa sekä anaerobisessa tehossa illan ja aamun välillä niin, että molemmat arvot olivat korkeampia illalla. Kuuden viikon ajan toinen ryhmä harjoitteli aamulla ja toinen illalla. Harjoitusten jälkeen havaittiin, että ryhmien huippuvoima ja anaerobinen teho olivat kehittyneet merkitsevästi. Aamulla harjoitelleen ryhmän suorituskyky parani erityisesti aamulla, mutta myös illalla, kun taas illalla harjoitellut ryhmä paransi suorituskykyä ainoastaan iltatesteissä. Tämän perusteella tutkijat osoittivat, että voimaharjoittelun adaptaatiot ovat suurimmillaan siihen aikaan päivästä, jolloin harjoittelu suoritetaan toistuvasti. (Soissi ym. 2002.) Toisin sanoen harjoittelemalla tiettyyn aikaan päivästä, olet vahvimmillasi juuri kyseisenä ajankohtana päivästä.

Myös Sedliak ym. (2008) havaitsivat samankaltaisen ajankohtaspesifisen adaptaation voimaharjoittelulle. Aamulla harjoitelleet paransivat voima-arvojaan enemmän aamulla kuin illalla ja heillä tyypillinen vuorokaudenajankohdasta riippuva vaihtelu voimassa pieneni. Illalla harjoitelleella ryhmällä vuorokaudenajasta johtuva voimantuotonvaihtelu säilyi puolestaan ennallaan. Yksilölliset erot olivat kuitenkin suuria. Yhdeksi syyksi suuriin yksilöiden välisiin vaihteluihin vuorokaudenajankohdasta riippuvaan harjoitteluun uskotaan johtuvan ihmisten erilaisista kronotyypeistä. Toiset ovat niin sanottuja ”suuresti reagoivia”, jolloin harjoittelu adaptaatiot ovat spesifejä juuri kyseiselle ajankohdalle päivästä ja tällöin aamuharjoittelu pienentäisi normaalia vuorokaudenajasta johtuvaa vaihtelua. Puolestaan ”heikosti reagoivilla” tämä vuorokaudenajalle spesifistä adaptaatiota ei havaita niin selkeästi. (Sedliak ym. 2008.)

Lisäksi kaksi tutkimusta (Chtourou ym. 2012a ja Chtourou ym. 2012b) havaitsivat myös, että voimaharjoittelu tietynä vuorokaudenaikana paransi suorituskykyä lyhyissä maksimaalisissa testeissä eniten samana vuorokaudenaikana, kun harjoittelu oli tapahtunut. Näissä molemmissa tutkimuksissa alkutesteissä koehenkilöiden suorituskyky maksimivoimassa, hyppykorkeudessa sekä tehontuotossa Wingate-testissä oli heikompaa aamulla kuin illalla. Alkutestien jälkeen toinen ryhmä suoritti voimaharjoittelun säännöllisesti aamulla ja toinen illalla. Harjoitusjakson jälkeen molemmat ryhmät olivat parantaneet suorituskykyä, mutta aamuharjoitteluryhmä oli parantanut aamusuorituskykyä selvästi enemmän kuin iltasuorituskykyä ja ilta ryhmä puolestaan päinvastoin. Aamuharjoitteluryhmä oli parantanut aamusuorituskykyä niin paljon, että se oli samalla jopa hieman korkeammalla tasolla kuin iltasuorituskyky, eikä tyypillistä vuorokaudenajasta johtuvaa vaihtelua suorituskyvyssä ollut enää havaittavissa. Puolestaan iltaharjoitteluryhmä oli parantanut iltasuorituskykyä enemmän kuin aamusuorituskykyä ja näin vuorokaudenaikainen vaihtelu suorituskyvyssä lisääntyi (Kuva 7). (Chtourou ym. 2012a ja Chtourou ym. 2012b.)



KUVA 7. Maksimaalisen isometrisen voimantuoton kehittyminen dominoivan jalan polvenojentaja lihaksilla iltaharjoitteluryhmällä (vasen) ja aamuharjoitteluryhmällä (oikea). Kolmio kertoo aamutes-tien ja neliö iltates-tien tuloksen. T0 = alkutestit, T1 = 12 viikon harjoittelun jälkeen ja T2 = 2 viikko kevennettyä harjoittelua 12 viikon harjoittelun jälkeen. *= merkitsevä ero aamu- ja iltamittauksen välillä ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$. (Chtourou ym. 2012b.)

Syytä tähän ilmiöön, miksi lyhyt maksimaalinen suorituskyky kehitty eniten vuorokauden aikana, milloin harjoittelu on säännöllisesti suoritettu, ei vielä tiedetä. Mahdollisina syinä on esitetty muutoksia hormonien pitoisuuksissa sekä hermolihaskäytössä. (Chtourou, & Souissi 2012.) Hormonien pitoisuuksien adaptaatiolla voimaharjoitteluun uskotaan olevan tärkeässä roolissa. Niin testosteronilla kuin kortisolilla on merkittävä rooli voiman ja lihasmassan adaptaatioissa. Molempien näiden hormonien pitoisuuksien on havaittu vaihtelevan tietyssä syklissä vuorokaudenajan mukaan niin, että aamulla molempien pitoisuudet ovat korkeimmillaan ja illalla matalimmillaan (Teo ym. 2011). Sedliak ym. (2007) havaitsivat, että 10 viikon aamuharjoittelulla näyttäisi pienentävän merkittävästi kortisolin lepotasoja aamulla. Syyksi he esittivät kuitenkin, että psykologinen stressireaktio aamuharjoittelua kohtaan vähenee, kun siihen tottuu harjoittelujakson aikana. Yksittäisen ja lyhyen aikavälin harjoittelu ei näyttäisi tuottavan suuria muutoksia testosteronin ja kortisolin normaaliin päivittäiseen vaihteluun. Pitkäaikainen harjoittelu tiettyyn aikaan päivästä puolestaan voi tuottaa positiivisia vaikutuksia näiden hormonien pitoisuuksiin ja edistävän fyysisen suorituskyvyn potentiaalia kyseisenä aikana päivästä. (Teo ym. 2011.) Sedliak ym. (2008) tutkivat myös hermolihaskäytelmän adaptaatioita tiettyinä vuorokaudenaikana suoritettuun

voimaharjoitteluun. He eivät havainneet merkitseviä muutoksia EMG-aktiivisuudessa. Näin ollen he päätyivät tulokseen, että lihastason muutokset ovat pääsyy adaptaatioihin tiettyyn vuorokaudenaikaan suoritettuun voimaharjoitteluun.

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämä tutkimus suoritettiin osana suurempaa tutkimusta (Maria Kүүsmaan tohtorin väitöskirja) liikuntabiologian laitoksella professori Keijo Häkkisen valvonnassa. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan vaikutuksia alaraajojen maksimaaliseen ja nopeaan voimantuottoon sekä lihasmassan kasvuun.

4.1 Tutkimuskysymykset

- 1.) Mikä harjoitusryhmistä (K+V (aamu) vs. V+K (aamu) vs. K+V (ilta) vs. V+K (ilta)) tuottaa positiivisimmat adaptaatiot harjoitusjakson aikana voimantuotto-ominaisuuksiin ja lihasmassan kasvuun?
 - a. Onko harjoitusjärjestyksellä (K+V vs. V+K), riippumatta harjoitusajankohdasta, vaikutusta voimantuotto-ominaisuuksien ja lihasmassan kehittymiseen?
 - b. Onko harjoitusajankohdalla (aamu vs. ilta), riippumatta harjoitusjärjestyksestä, vaikutusta voimantuotto-ominaisuuksien ja lihasmassan kehittymiseen?
- 2.) Havaitaanko koehenkilöillä alkutesteissä tyypillinen vuorokaudenajankohdasta johdettava vaihtelu voimantuotto-ominaisuuksissa ja vaikuttaako jatkuva harjoittelu tiettyinä vuorokaudenaikana tähän vaihteluun?

4.2 Hypoteesit

- 1.) Harjoitusjärjestyksellä (Chtara ym. 2008) ja harjoitusajankohdalla (Sedliak ym. 2009) ei ole merkitsevää vaikutusta voimantuotto-ominaisuuksien kehittymiseen eikä lihasmassan kasvuun
- 2.) Alkutesteissä koehenkilöillä havaitaan tyypillinen vuorokaudenajankohdasta riippuva vaihtelu voimantuotto-ominaisuuksissa niin, että aamulla voimantuotto on hei-

kompi kuin illalla. Harjoittelun seurauksena aamuharjoitteluryhmän vuorokaudenajankohdasta johtuva vaihtelu pienenee ja iltaryhmän kasvaa. (Chtourou ym. 2012b.)

5 MENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

72 nuorta aikuista (18-40v.) miestä osallistui tutkimukseen (Taulukko 3). He olivat perusterveitä ja fyysisesti aktiivisia. Heillä ei kuitenkaan ollut aikaisempaa kokemusta säännöllisestä ohjatusta harjoittelusta. Heidät rekrytoitiin laittamalla mainoksia julkisille paikoille ja lehtiin sekä lähettämällä ilmoitus sähköpostilistoille. Kuitenkin harjoitusjakson aikana 20 koehenkilöä joutui jättämään tutkimuksen kesken johtuen esim. henkilökohtaisesta syystä tai vamman takia. Näin ollen 52 koehenkilöä suoritti tutkimuksen loppuun asti.

TAULUKKO 3. Koehenkilöiden antropometriset tiedot.

Ryhmä	n	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m ²)
A(K+V)	9	36.1 ± 6.5	180 ± 4	86.1 ± 9.0	26.5 ± 2.2
A(V+K)	9	30.8 ± 5.0	182 ± 8	82.0 ± 14.0	24.8 ± 3.8
I(K+V)	12	31.4 ± 4.6	180 ± 7	78.0 ± 8.5	24.1 ± 2.5
I(K+V)	12	31.4 ± 6.5	181 ± 6	80.0 ± 10.6	24.5 ± 2.7
Kontrolli	10	32.4 ± 4.9	181 ± 8	79.9 ± 12.8	23.9 ± 2.7

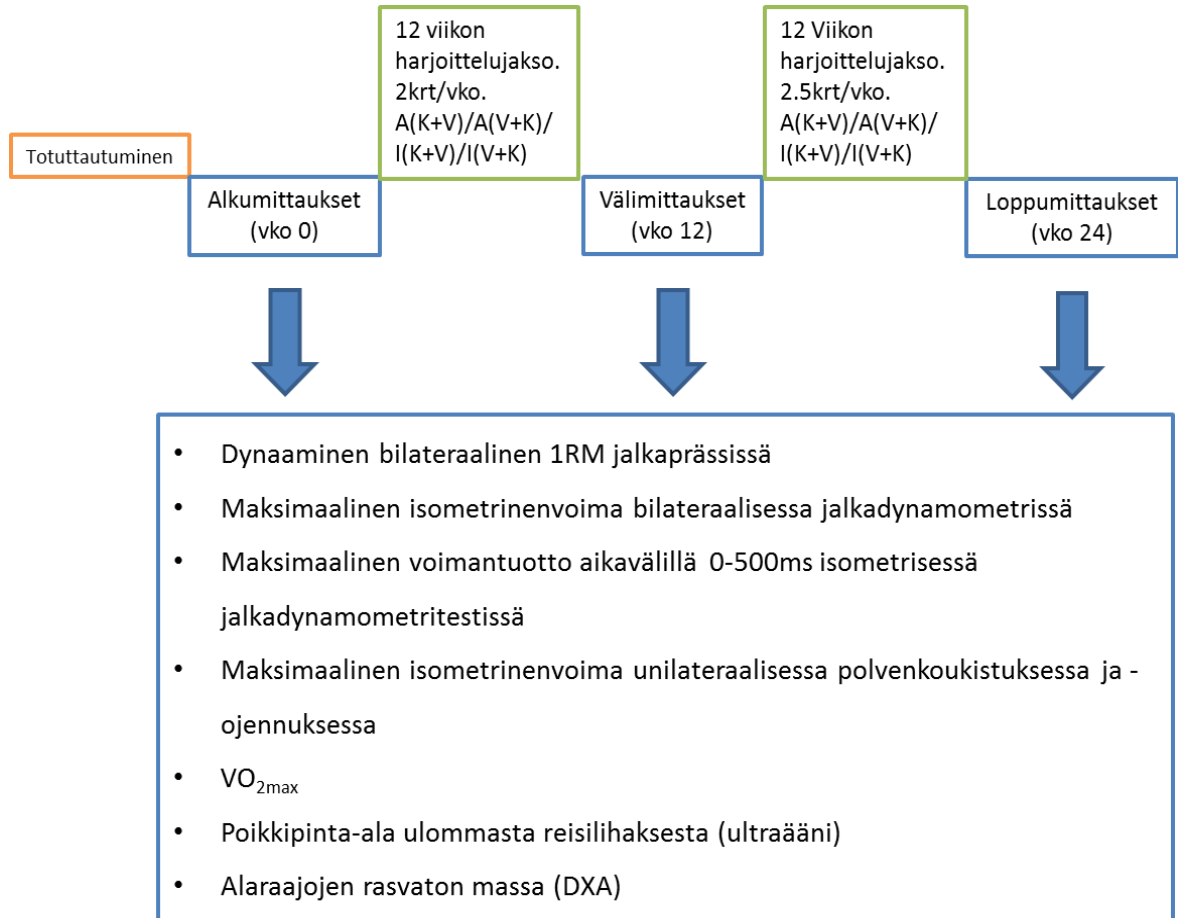
5.2 Tutkimuksen kulku

Tutkimus alkoi syksyllä 2013 ja jatkui keväälle 2014. Tutkimuksen harjoittelujakso oli kokonaisuudessaan 24 viikkoa. Kahden viikon aikana ennen alkumittauksia koehenkilöt totutettiin mittaus- ja harjoitusohjelmiin ja niissä käytettäviin laitteisiin. Totuttautumisjakso suoritettiin ”neutraalina” päivänäikana ja sillä haluttiin minimoida oppimisesta johtuva kehitys. Totuttautumisjakson jälkeen suoritettiin alkumittaukset ja sen jälkeen alkoi ensimmäinen 12 viikon mittainen harjoitusjakso. Tässä harjoitusjaksossa harjoiteltiin kaksi kertaa

viikossa. Välimittaukset pidettiin 12 viikon harjoittelun jälkeen ja mittausten jälkeen alkoi toinen 12 viikon mittainen harjoitusjakso, jolloin harjoiteltiin 5 kertaa kahdessa viikossa. Loppumittaukset suoritettiin toisen harjoitusjakson päätyttyä (Kuva8). Kaikilla mittauskerroilla mittaukset suoritettiin niin aamulla (6:00–10:00) kuin illalla (16:00–21:00). Kehonkoostumus ja ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala mitattiin vain aamulla paastomittauksessa.

Koehenkilöt jaettiin sattumanvaraisesti kahteen ryhmään: harjoitteleviin (n = 42) ja kontrolliryhmään (n = 10). Harjoittelevaryhmä jaettiin neljään ryhmään:

- 1.) Voimaharjoitus (V) + kestävyysarjoitus (K) aamulla (n = 9)
- 2.) K+V aamulla (n = 9)
- 3.) V+K illalla (n = 12)
- 4.) K+V illalla (n = 12)



KUVA 8. Tutkimuksen kulku. Suorituskykytestit suoritettiin viikoilla 0, 12 ja 24 aamulla 6:00–10:00 ja illalla 16:00–21:00. Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala ja alaraajojen rasvaton massa mitattiin viikoilla 0, 12 ja 24 aamulla 12 tunnin paaston jälkeen.

5.3 Mittaukset

5.3.1 1RM dynaaminen jalkaprässi

Alaraajojen maksimaalinen dynaaminen bilateraali ojennusvoima mitattiin istuma-asennossa David 210 (David Health Solutions Ltd., Helsinki, Suomi) jalkaprässillä. Liike tapahtui horisontaalisuunnassa. Ennen varsinaisia maksimaalisia suorituksia koehenkilö suoritti kolme lämmittelysarjaa (5x75 % 1RM, 3x85 % 1RM ja 2x95 % 1RM yhden minuutin palautuksilla). Lämmittelysarjojen jälkeen 1RM tulos etsittiin 1,25kg tarkkuudella li-

säämällä painoja aina niin kauan kunnes koehenkilö ei kyennyt suorittamaan vaadittua suoritusta. Myös varsinaisten suoritusten välissä pidettiin yhden minuutin tauko. Suorituksen aikana koehenkilön pakaroiden ja alaselän oli pysyttävä kiinni penkissä ja käsillä oli pidettävä kiinni kahvoista. Kengänkärjet ja – sisäsyrjät asetettiin niille merkatuille paikoille. Suorituksen alussa polvikulma oli alle 60°:tta ja tarkoituksena oli saada ojennettua polvikulma 180°:seen. Laitteen säädöt merkattiin muistiin ensimmäisellä kerralla. Suorituksessa koehenkilö ohjeistettiin tuottamaan niin paljon ja niin nopeasti voimaa kuin mahdollista NYT komennon jälkeen ja häntä kannustettiin verbaalisesti. (Häkkinen ym. 1998b.)

5.3.2 Maksimaalinen isometrinen jalkaprässi

Alaraajojen maksimaalinen isometrinen bilateraallinen ojennusvoima mitattiin istuma-asennossa jalkaprässillä (suunniteltu ja valmistettu Liikuntabiologian laitoksessa, Jyväskylän yliopistossa, Suomessa). Koehenkilöllä oli kolme maksimaalista yritystä. Mikäli kolmas yritys paransi tulosta vielä yli viisi prosenttia, otettiin vielä neljäs suoritus ja mikäli vielä neljännellä tuli parannusta yli viisi prosenttia, otettiin vielä viideskin suoritus. Palautus suoritusten välissä oli yksi minuutti. Koehenkilöitä ohjeistettiin tuottamaan voimaa niin paljon ja niin nopeasti kuin mahdollista NYT komennon jälkeen. Koehenkilöt tuottivat voimaa niin kauan kunnes kuulivat komennon SEIS. Seis komento annettiin, kun voimantuottokäyrä ei enää kasvanut tai se lähti laskuun. Suorituksen aikana koehenkilön pakaroiden ja alaselän oli pysyttävä kiinni penkissä ja käsillä oli pidettävä kahvoista kiinni. Kengänkärjet ja – sisäsyrjät asetettiin niille merkatuille paikoille voimalevyille. Jalkadynamometrin voimalevyn etäisyyttä penkistä säädettiin niin, että koehenkilön polvikulmaksi tuli 107° ja lantionkulmaksi 110°. Nivelkulmat mitattiin goniometrin avulla ensimmäisellä kerralla ja voimalevyn etäisyys penkistä kirjattiin muistiin. (Häkkinen ym. 1998b.)

5.3.3 Voimantuottonopeus

Voimantuottonopeus määritettiin maksimaalisen isometrisen jalkaprässin voima-aikakuvaajasta analysoimalla tuotettu voima aikavälillä 0–500ms (Taipale ym. 2014.). Ana-

lysointiin käytettiin voimasignaalin käsittelyohjelma Signal 2.16 (Cambridge Electronic Design, UK). Analysointiin käytettiin isometrisen jalkaprässin tulosta, jossa koehenkilö saavutti suurimman maksimivoiman. (Häkkinen ym. 1998b.)

5.3.4 Unilateraalinen maksimaalinen isometrinen polvenojennus ja - koukistus

Maksimaalinen isometrinen polvenojennus ja -koukistus suoritettiin vain oikealla jalalla. Polven maksimaalinen koukistus- ja ojennusvoima mitattiin laitteella David 200 (David Health Solutions Ltd., Helsinki, Suomi), joka oli muunneltu isometriseen testaukseen sopivaksi (Liikuntabiologian laitoksessa, Jyväskylän yliopistossa, Suomessa). Polven ojennuksessa koehenkilö istui laitteeseen ja ylimääräistä liikettä estettiin kiinnittämällä turvavyö ja polven päälle tuleva tuki. Oikean jalan nilkka tuli nilkkapehmusteen alle ja jalkaterä kiristettiin pehmusteeseen kiinni narulla. Vasen jalka asetettiin vaakatasoon penkin päälle. Polvikulma oli suorituksen aikana 107° ja lantionkulma 110° . Laitteiston asetukset kirjattiin muistiin ensimmäisellä mittaus kerralla. Jokaisella koehenkilöllä oli kolme maksimaalista yritystä. Mikäli kolmas yritys paransi tulosta vielä yli viisi prosenttia, otettiin vielä neljäs suoritus ja mikäli vielä neljännellä suorituksella tuli parannusta yli viisi prosenttia, otettiin vielä viideskin suoritus. Palautus suoritusten välissä oli yksi minuutti. Koehenkilö ohjeistettiin tuottamaan niin paljon ja niin nopeasti voimaa kuin mahdollista NYT komennon jälkeen. Koehenkilöt tuottivat voimaa niin kauan kunnes kuulivat komennon SEIS. Seis komento annettiin, kun voimantuotto käyrä ei enää kasvanut tai se lähti laskuun. Polvenkoukistuksessa oikea jalka siirrettiin nilkkatuen päälle ja laite säädettiin niin, että polvikulmaksi tuli 107° ja lantionkulmaksi 110° . Muuten ohjeistus ja koehenkilön ylimääräisten liikkeiden estämiset tapahtuivat samanlaisesti kuin polven ojennuksessa. (Häkkinen ym. 1998b.)

5.3.1 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala

Oikean jalan ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala mitattiin ultraäänilaitteen (SSD-a10, Aloka Co. Ltd, Tokyo, Japani) ja 10-MHz kuperan anturin avulla. Anturin kupera muoto varmisti kohtisuoran mittauksen ja anturia siirrettiin manuaalisesti lihaksen ulkosivusta sisäsiivuun merkattua viivaa pitkin. Mittaus tehtiin oikean jalan ulommasta reisilihaksesta 50 %:n kohdalta reisiluun pituudesta. Poikkipinta-ala analysoitiin manuaalisesti käyttämällä ImageJ ohjelmistoa (version 1.44p; National Institute of Health, Bethesda, MD). Tilastolliseen analysointiin käytettiin kahden toisiaan lähimpänä olleiden poikkipinta-ala arvojen keskiarvoa. Mittauspiste merkattiin tatuoinnilla ja mittauksen suoritti aina sama henkilö. (Häkkinen ym. 1998b.)

5.3.2 Alaraajojen rasvaton massa

Koehenkilöiltä mitattiin kehonkoostumus DXA-mittauksella (Lunar Podigy Advance; GE Medical Systems; Madison; WI.). Laitteen automaattisesti analysoimista tuloksista analysoitiin jalkojen rasvaton massa. Mittaus suoritettiin vain aamulla ja koehenkilön oli tultava mittaukseen 12 tunnin yöpaaston jälkeen. Mittauksessa koehenkilö makasi selällään mittauslaitteessa ja jalat sidottiin nilkkojen ja polvien kohdalta, lisäksi kädet asetettiin vartalon viereen kämmenet reittä kohden. (Schumann ym. 2014b.)

5.3.3 Maksimaalinen hapenottokyvyn testi

Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin polkupyöräergometrillä (Ergometrics 800, Ergoline, Bitz, Saksa). Testissä käytettiin asteittain nousevaa protokollaa, niin että aloitusteho oli 50W ja tehoa nostettiin 25W:a aina kahden minuutin välein. Sykettä tarkkailtiin koko testin ajan (Polar S 410, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) ja hapenottoa mitattiin jatkuvasti jokaisen hengityksen aikana hengityskaasuanalysaattorin avulla (Masterscreen CPX, Care

Fusion, Saksa). Suurin 60 sekunnin keskiarvo määritettiin maksimaaliseksi hapenottokyvyksi. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin aina ennen testiä. (Schumann ym. 2014b.)

5.4 Harjoittelu

Harjoittelu koostui 24 viikon ajanjaksosta, joka jaettiin kahteen 12 viikon vaiheeseen. Yksi harjoitus koostu yhdistetystä kestävyys- ja voimaharjoituksesta (K) ja voimaharjoituksesta (V). Yksi yhdistettyharjoitus (K+V tai V+K) kesti 60–120 minuuttia. Ensimmäisten 12 viikon aikana koehenkilöt suorittivat kaksi harjoitusta viikossa ja toisten 12 viikon aikana harjoituksia oli viisi kertaa kahden viikon aikana. Riippuen mihin ryhmään koehenkilö kuului, hän suoritti harjoituksena aina samana vuorokaudenaikana (aamu tai ilta) ja samassa harjoitusjärjestyksessä (K+V tai V+K).

Voimaharjoitusohjelman tavoite oli pääasiassa kehittää lihasmassaa ja maksimivoimaa, mutta myös räjähtävää voimantuottoa oli harjoitusohjelmassa. Voimaharjoittelua suoritettiin kaikilla päälihasryhmillä, mutta pääpaino oli polven ojentaja- ja koukistajalihaksissa. Kolme alaraajoihin kohdistuvaa voimaharjoitusta suoritettiin jokaisessa harjoituksessa (jalkaprässi, polvenojennus ja -koukistus). Muita lihasryhmiä harjoitettiin myös joka harjoituksessa (mm. ylätalja, pystypunnerrus ja hauiskääntö).

Kestävyys- ja voimaharjoitus suoritettiin polkupyöräergometrillä. Kestävyys- ja voimaharjoittelun intensiteettiä tarkkailtiin sykkeen avulla ja jokaiselle koehenkilölle oli mitattu maksimisyke maksimaalisessa hapenottokyvyntestissä, jonka avulla haluttu intensiteetti harjoituksessa määritettiin. Kestävyys- ja voimaharjoittelussa intensiteetti vaihteli 60–95% välillä maksimaalisesta sykkeestä. Osa harjoituksista oli yhtämittaisia matalan intensiteetin harjoituksia ja osa oli intervalliharjoituksia, joissa intensiteetti vaihteli matalan ja kovan välillä.

5.5 Tilastollinen analysointi

Datan analysointiin ja graafisen esityksen luomiseen käytettiin Microsoft Excel 2010 ja IBM SPSS 22.0 ohjelmistoja. Microsoft Excel 2010 ohjelmistoa käytettiin keskiarvojen ja keskihajonnan laskemiseen sekä kuvioiden piirtämiseen. IBM SPSS 22.0 ohjelmaa käytettiin muihin tilastollisiin analysointeihin. Kaikki data esitetään keskiarvo \pm keskihajonta muodossa. Datan normaalijakautuneisuus analysoitiin käyttämällä Shapiro-Wilk testiä. Ryhmän sisäisiä muutoksia analysoitiin käyttämällä kolmen tason ANOVA toistettujen mitausten testiä. Ryhmien välisiä muutoksia analysoitiin yhdensuuntaisella ANOVA testillä. Keskiarvojen vertailu suoritettiin Bonferronin testin avulla. Ryhmän sisäisiä muutoksia analysoitaessa käytettiin absoluuttisia arvoja ja ryhmien välisiä muutoksia analysoitaessa käytettiin suhteellisia muutoksi. Vertailtaessa saman ryhmän aamu- ja iltatestin välisiä tuloksia käytettiin parittaista t-testiä. Merkitsevyyksien rajaksi asetettiin $*p<0.05$, $**p<0.01$ ja $***p<0.001$.

6 TULOKSET

6.1 Maksimivoima

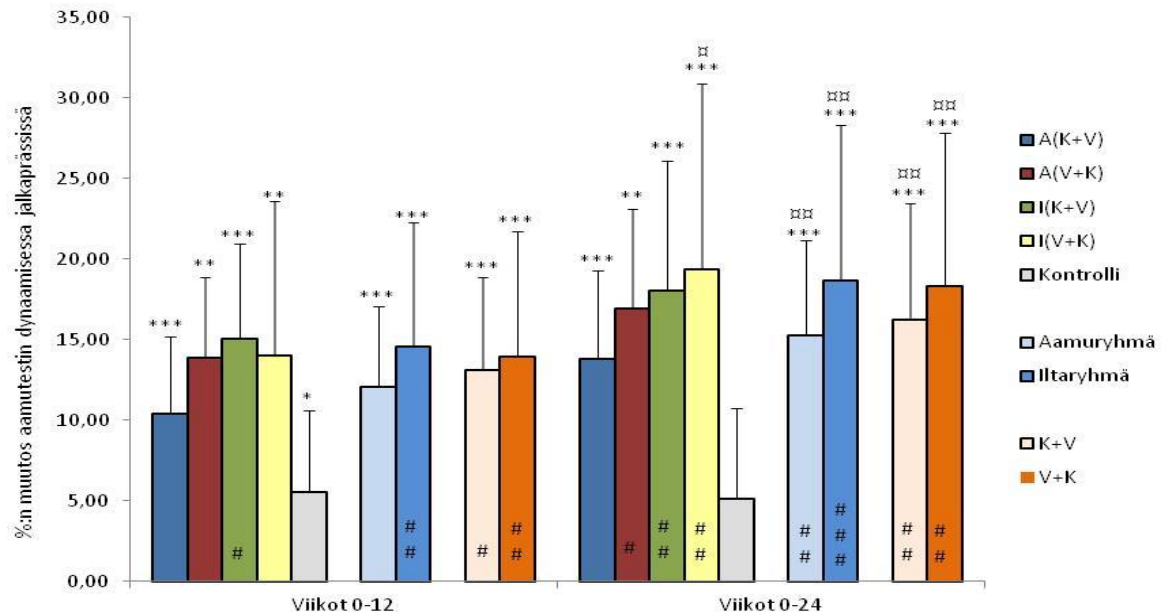
6.1.1 Dynaaminen jalkaprässi

Aamutestit: Kaikilla harjoitusryhmillä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.01$) ja 0–24 ($p<0.01$) välillä. I(V+K) ryhmällä dynaaminen voimantuotto kehittyi merkitsevästi myös viikkojen 12–24 välillä ($p<0.05$). I(K+V) ryhmällä voimantuotto kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p<0.05$) ja ryhmillä A(V+K), I(K+V) ja I(V+K) voimantuotto kehittyi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Kuva 9, Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.001$), 0–24 ($p<0.001$) ja 12–24 ($p<0.01$) välillä. Iltaryhmällä voimantuottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p<0.01$) ja molemmilla ryhmillä merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.01$). Aamu- ja iltaharjoitteluryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Kuva 9, Taulukko 4)

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.001$), 0–24 ($p<0.001$) ja 12–24 ($p<0.01$) välillä. K+V ja V+K ryhmillä voimantuottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p<0.05$) ja 0–24 ($p<0.01$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä

ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Kuva 9, Taulukko 4)



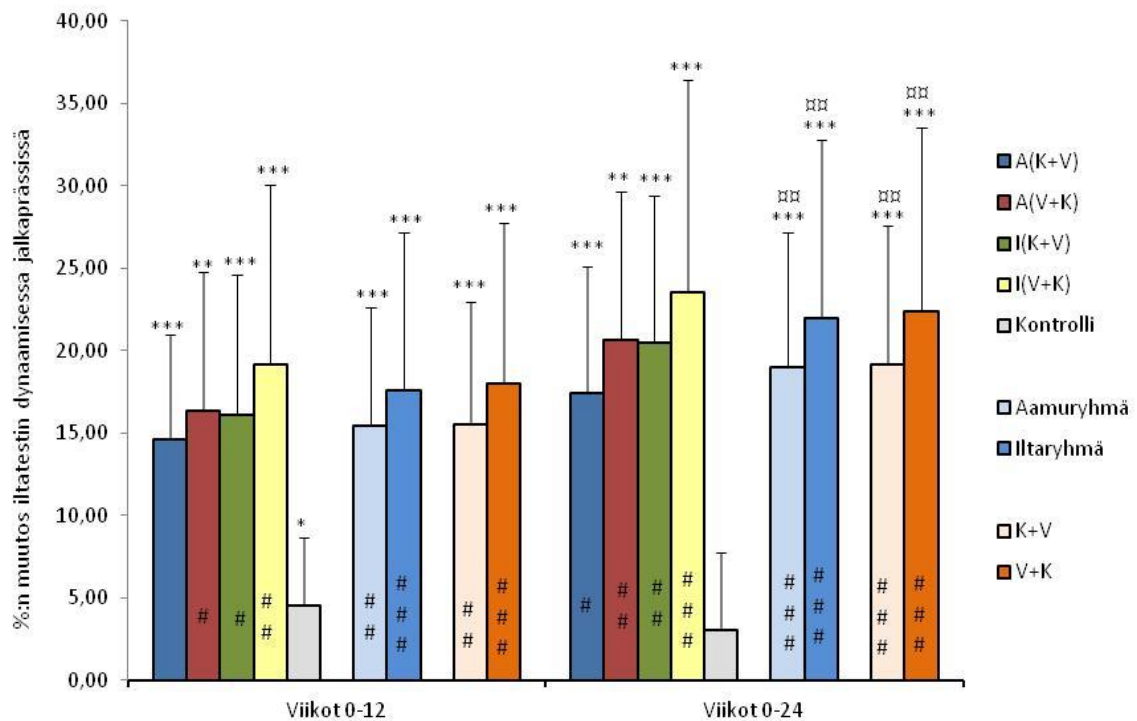
KUVA 9. Suhteellinen muutos aamutestin dynaamisessa jalkaprässissä kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p<0.05$, ** = $p<0.01$ ja *** = $p<0.001$). □ = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (□ = $p<0.05$ ja □□ = $p<0.01$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p<0.05$, ## = $p<0.01$ ja ### = $p<0.001$).

Iltatestit: Kaikilla harjoitusryhmillä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.01$) ja 0–24 ($p<0.01$) välillä. A(V+K), I(K+V) ja I(K+V) ryhmillä voimantuottokyvyn kehittyminen oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p<0.05$) ja kaikilla harjoitusryhmillä voimantuottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Kuva 10, Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.001$), 0–24 ($p<0.001$) ja 12–24 ($p<0.01$) vä-

lillä. Iltä- ja aamuryhmällä voimantuotto kyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. Aamu- ja iltaryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 10, Taulukko 4)

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.001$), 0–24 ($p < 0.001$) ja 12–24 ($p < 0.01$) välillä. K+V ja V+K ryhmillä voimantuotto kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 10, Taulukko 4)



KUVA 10. Suhteellinen muutos iltatestin dynaamisessa jalkaprässissä kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). □ = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (□□ = $p < 0.01$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$, ## = $p < 0.01$ ja ### = $p < 0.001$)

TAULUKKO 4. Voimatestien tulokset ryhmittäin. Keskiarvo \pm keskihajonta. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). α = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (α = $p < 0.05$ ja $\alpha\alpha$ = $p < 0.01$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$, ## = $p < 0.01$ ja ### = $p < 0.001$).

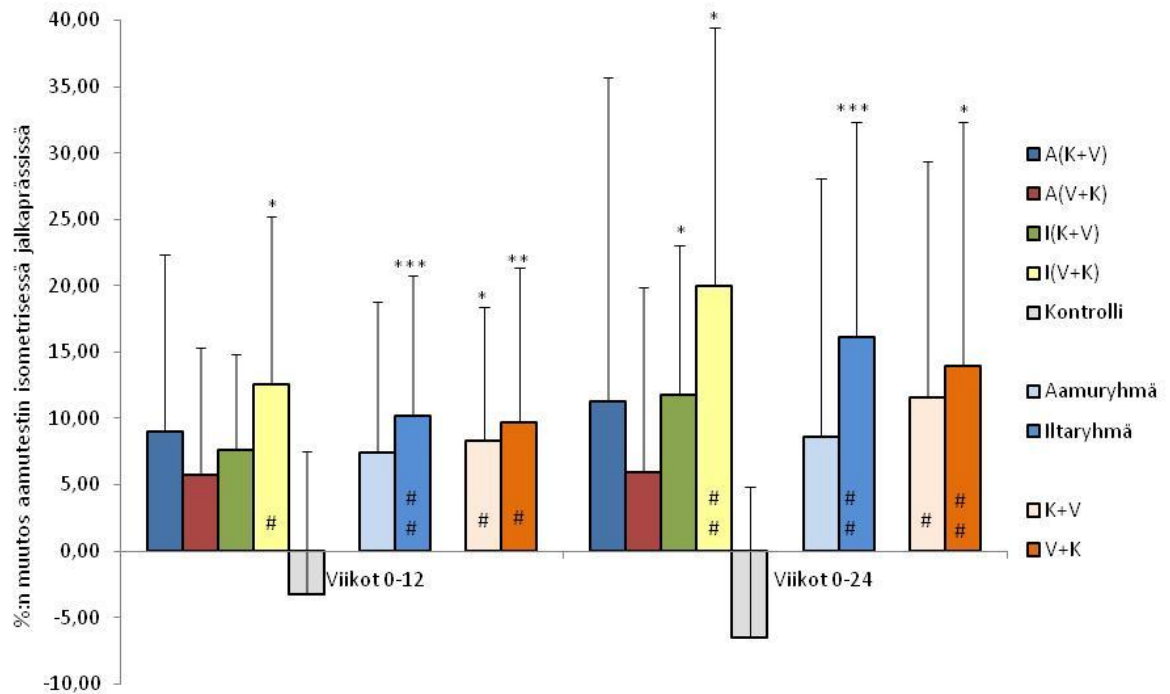
Ryhmä	Vko	1RM Aamu (kg)	1RM Ilta (kg)	Isometrinen Aamu (N)	jalkaprässi Ilta (N)	Polven Aamu (N)	Ojennus Ilta (N)	Polven Aamu (N)	Koukistus Ilta (N)
A(K+V) n = 9	0	161.8 \pm 20.4	158.3 \pm 21.4	3109 \pm 736	3053 \pm 815	783 \pm 142	804 \pm 148	337 \pm 73	322 \pm 43
	12	178.3 \pm 20.5 ***	180.6 \pm 17.8 ***	3379 \pm 856	3513 \pm 863 *	878 \pm 117	864 \pm 98	348 \pm 68	386 \pm 56*
	24	183.5 \pm 18.7 ***	185.0 \pm 19.7 ***,#	3393 \pm 845	3476 \pm 744	863 \pm 108	895 \pm 132	387 \pm 55 #	380 \pm 63
A(V+K) n = 9	0	149.1 \pm 22.3	146.6 \pm 24.6	2673 \pm 838	2738 \pm 997	793 \pm 139	791 \pm 147	385 \pm 80	377 \pm 92
	12	170.0 \pm 27.5**	170.5 \pm 29.3**,#	2816 \pm 891	2870 \pm 907	884 \pm 162**	885 \pm 171*	427 \pm 126	431 \pm 115*
	24	174.2 \pm 26.8**,#	176.7 \pm 30.8**,**	2798 \pm 857	2964 \pm 901	860 \pm 152*	886 \pm 135*	423 \pm 93	435 \pm 98**
I(K+V) n = 12	0	142.6 \pm 24.7	140.4 \pm 25.6	2792 \pm 814	2913 \pm 787	731 \pm 148	804 \pm 148	361 \pm 86	388 \pm 89
	12	163.0 \pm 21.7***,#	161.6 \pm 21.6***,#	2979 \pm 771	3152 \pm 901*	817 \pm 154**	852 \pm 139	414 \pm 78*	429 \pm 89
	24	166.8 \pm 19.5***,**	167.4 \pm 20.0***,**	3071 \pm 736*	3305 \pm 923**	844 \pm 138**	891 \pm 162*	421 \pm 90***	445 \pm 93*
I(V+K) n = 12	0	141.4 \pm 26.0	136.9 \pm 26.2	2498 \pm 551	2744 \pm 663	694 \pm 160	708 \pm 125	316 \pm 51	315 \pm 36
	12	160.1 \pm 25.1**	161.7 \pm 24.8***,**	2800 \pm 654*,#	2997 \pm 758	740 \pm 137	811 \pm 142*	377 \pm 44*,#	381 \pm 46**
	24	166.6 \pm 21.3***, α ,##	166.8 \pm 21.5***,**	2981 \pm 769*,**	3109 \pm 822	800 \pm 178	833 \pm 152*	388 \pm 42***,**	402 \pm 59***,#
Aamuryhmä n = 18	0	155.8 \pm 21.6	152.8 \pm 23.0	2891 \pm 798	2896 \pm 898	788 \pm 136	798 \pm 143	363 \pm 78	351 \pm 77
	12	174.4 \pm 23.6***	175.8 \pm 23.7***,**	3097 \pm 896	3191 \pm 921*	881 \pm 136*	874 \pm 133*	390 \pm 108	409 \pm 92***
	24	179.1 \pm 22.6***, α ,##	181.1 \pm 25.1***, α ,###	3095 \pm 880	3220 \pm 843	862 \pm 126*	891 \pm 129*	406 \pm 77*,#	409 \pm 86**
Iltaryhmä n = 24	0	142.0 \pm 24.7	138.8 \pm 25.3	2638 \pm 690	2825 \pm 713	712 \pm 152	754 \pm 142	338 \pm 72	350 \pm 75
	12	161.6 \pm 22.9***,**	161.6 \pm 22.6***,**	2886 \pm 702***,**	3071 \pm 814**	777 \pm 147*	831 \pm 139**	395 \pm 64***,#	404 \pm 72***
	24	166.7 \pm 19.9***, α ,###	167.1 \pm 20.3***, α ,###	3024 \pm 738***,**	3203 \pm 857***, α	821 \pm 158**, α ,#	861 \pm 156***	404 \pm 70***,**	423 \pm 79***,#
K+V n = 21	0	150.8 \pm 24.4	148.1 \pm 25.0	2935 \pm 777	2976 \pm 781	754 \pm 144	804 \pm 144	351 \pm 79	360 \pm 79
	12	169.6 \pm 22.1***,#	169.7 \pm 21.8***,**	3159 \pm 815*,#	3314 \pm 880**	845 \pm 139*	857 \pm 120	386 \pm 80**	411 \pm 78**
	24	173.9 \pm 20.5***, α ,##	174.9 \pm 21.3***, α ,###	3216 \pm 783#	3382 \pm 830**	852 \pm 123***,#	893 \pm 146**	407 \pm 77***,**	418 \pm 86**
V+K n = 21	0	144.6 \pm 24.2	141.0 \pm 25.3	2573 \pm 676	2742 \pm 800	733 \pm 156	742 \pm 137	346 \pm 72	342 \pm 72
	12	164.3 \pm 25.8***,**	165.4 \pm 26.4***,**	2807 \pm 743**,#	2943 \pm 806*	798 \pm 160	841 \pm 154**	399 \pm 90**,#	402 \pm 84***
	24	169.8 \pm 23.4***, α ,##	171.0 \pm 25.5***, α ,###	2902 \pm 792*,**	3047 \pm 837*	824 \pm 167*	854 \pm 144***	403 \pm 69***,**	416 \pm 78***,#
Kontrolli n = 10	0	142.1 \pm 25.9	144.2 \pm 23.2	2496 \pm 825	2446 \pm 829	734 \pm 164	735 \pm 113	344 \pm 68	339 \pm 66
	12	149.4 \pm 25.1*	151.0 \pm 26.3*	2372 \pm 652	2472 \pm 805	753 \pm 112	771 \pm 145	339 \pm 70	361 \pm 87
	24	148.6 \pm 23.74	148.5 \pm 23.6	2277 \pm 579	2450 \pm 735	706 \pm 117	778 \pm 141	326 \pm 62	351 \pm 89

6.1.2 Isometrinen jalkaprässi

Aamutestit: I(V+K) ryhmällä maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja I(K+V) ja I(V+K) ryhmillä voimantuotto kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). I(V+K) ryhmällä voimantuottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa dynaamisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 11, Taulukko 4)

Iltaryhmällä maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.001$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. Iltaryhmällä voimantuottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. Aamu- ja iltaharjoitteluryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisen voiman kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$, (Kuva 11, Taulukko 4).

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja V+K ryhmällä voimantuoton kehittyminen oli merkitsevää myös viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Molemmilla ryhmillä voiman kehittyminen oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.05$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 11, Taulukko 4)



KUVA 11. Suhteellinen muutos aamutestin isometrisessä jalkaprässissä kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$ ja ## = $p < 0.01$).

Iltatestit: A(K+V) ja I(K+V) ryhmillä maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja I(K+V) ryhmällä voima kehittyi merkitsevästi myös viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.01$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisen voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja iltaryhmällä voimantuotto kehittyi merkitsevästi myös viikkojen 0–24 ($p < 0.001$) ja 12–24 ($p < 0.05$) välillä. Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa maksimaalisessa isometrisessä jalkaprässin voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

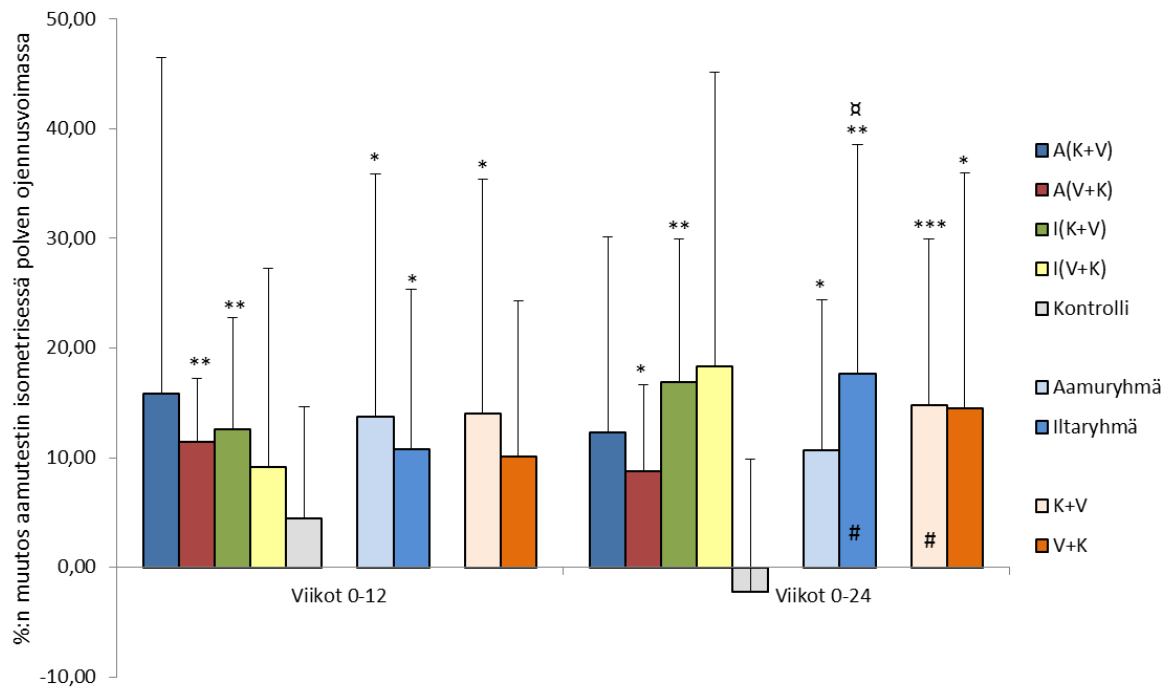
K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen isometrinen voimatuotto jalkaprässissä kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.05$) ja 0–24 ($p<0.05$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä ei havaittu merkitsevää eroa maksimaalisessa isometrisessä jalkaprässin voiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p>0.05$). (Taulukko 4)

6.1.3 Isometrinen polvenojennus

Aamutestit: A(V+K) ja I(K+V) ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0-12 ($p<0.01$) ja 0-24 ($p<0.05$) välillä. Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p>0.05$). (Kuva 12, Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmillä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0-12 ($p<0.05$) ja 0-24 ($p<0.05$) välillä. Iltaryhmällä polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi myös viikkojen 12–24 välillä ($p<0.05$). Iltaryhmällä polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0-24 välillä ($p<0.05$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p>0.05$). (Kuva 12, Taulukko 4)

K+V ryhmällä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0 ja 12 välillä ($p<0.05$). Molemmilla ryhmillä polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi viikkojen 0-24 välillä ($p<0.05$). K+V ryhmällä polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0-24 välillä ($p<0.05$). K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p>0.05$). (Kuva 12, Taulukko 4)



KUVA 12. Suhteellinen muutos maksimaalisessa polvenojennuksessa aamulla kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). □ = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (□ = $p < 0.05$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$).

Iltatestit: A(V+K) ja I(V+K) ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja ryhmillä A(V+K), I(K+V) ja I(V+K) kehitys oli merkitsevää viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.05$) välillä. Aamu- ja iltaryhmän välillä ei havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

V+K ryhmällä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.01$) ja molemmilla ryhmillä polven ojennusvoima kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.01$). K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenojennusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

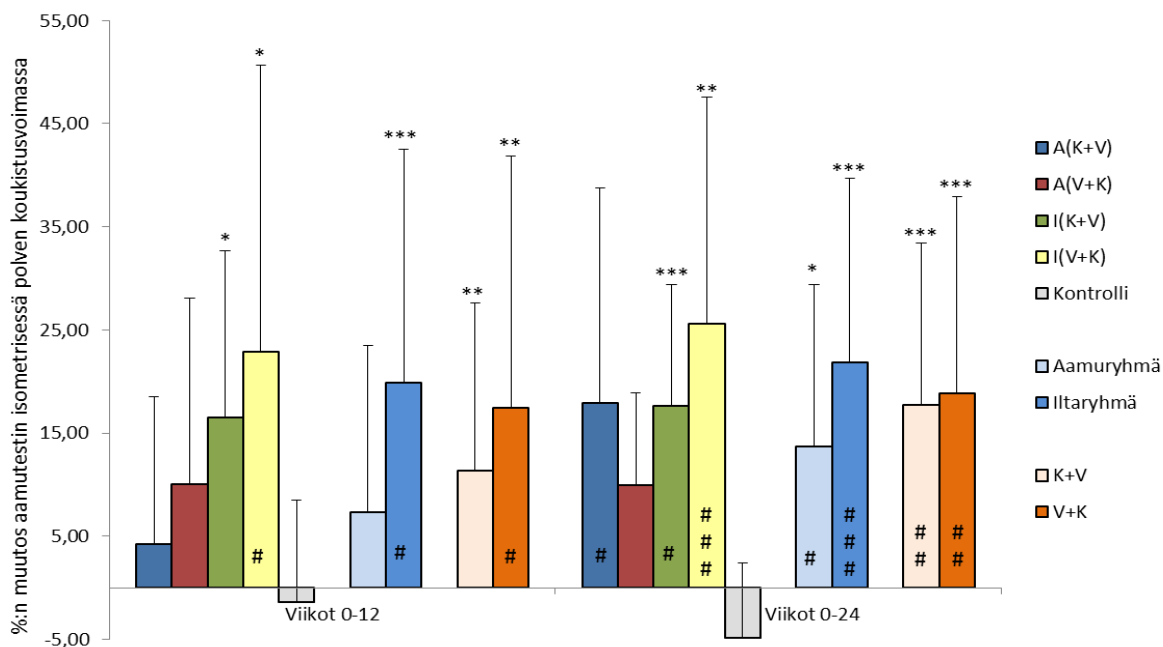
6.1.4 Isometrinen polvenkoukistus

Aamutestit: I(K+V) ja I(V+K) ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. I(V+K) ryhmällä polven koukistusvoiman kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja ryhmillä A(K+V), I(K+V) ja I(V+K) polven koukistusvoiman kehitys oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenkoukistusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p > 0.05$). (Kuva 13, Taulukko 4)

Iltaryhmällä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja molemmilla aamu- ja iltaryhmällä polven koukistusvoimaa kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Iltaryhmällä polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja molemmilla aamu- ja iltaryhmällä merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenkoukistusvoiman kehittämisessä harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p > 0.05$). (Kuva 13, Taulukko 4)

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi aamutesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. V+K ryhmällä polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja molemmilla K+V ja V+K ryhmillä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.01$). K+V

ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polvenkoukistusvoiman kasvussa harjoitusjakson aikana aamutesteissä ($p>0.05$). (Kuva 13, Taulukko 4)



KUVA 13. Suhteellinen muutos maksimaalisessa polvenkoukistuksessa aamulla kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p<0.05$, ** = $p<0.01$ ja *** = $p<0.001$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p<0.05$, ## = $p<0.01$ ja ### = $p<0.001$).

Iltatestit: A(K+V), A(V+K) ja I(V+K) ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 välillä ($p<0.05$) ja ryhmillä A(V+K), I(K+V) ja I(V+K) kehitys oli merkitsevää viikkojen 0–24 välillä ($p<0.05$). I(V+K) ryhmällä polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polven koukistusvoiman kasvussa harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p>0.05$). (Taulukko 4)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p<0.001$) ja 0–24 ($p<0.01$) välillä. Iltaryhmällä polven

koukistusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polven koukistusvoiman kasvussa harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen isometrinen polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi iltatesteissä viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. V+K ryhmällä polven koukistusvoima kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa isometrisessä polven koukistusvoiman kasvussa harjoitusjakson aikana iltatesteissä ($p > 0.05$). (Taulukko 4)

6.2 Voimantuottonopeus

Millään harjoitteluryhmistä ei havaittu merkitseviä muutoksia voimantuottonopeuden kehityksessä viikkojen 0-24 välisenä aikana. (Taulukko 5)

TAULUKKO 5. Voimantuottonopeustestien tulokset ryhmittäin. Keskiarvo \pm keskihajonta. Tuotettu voima (N) ensimmäisten 500ms aikana

Mittaus- aika	Viikko	A(K+V) n=9	A(V+K) n=9	I(K+V) n=12	I(V+K) n=12	Aamu- ryhmä n=18	Iltaryh- mä n=24	K+V n=21	V+K n=21	Kontrolli n=10
	0	1854 \pm 521	1640 \pm 324	1762 \pm 457	1411 \pm 356	1753 \pm 440	1586 \pm 438	1803 \pm 476	1507 \pm 353	1549 \pm 399
Aamu	12	1944 \pm 488	1724 \pm 369	1832 \pm 395	1546 \pm 160	1840 \pm 438	1689 \pm 328	1882 \pm 431	1621 \pm 275	1566 \pm 382
	24	2040 \pm 614	1668 \pm 314	1889 \pm 438	1698 \pm 380	1865 \pm 518	1793 \pm 412	1957 \pm 515	1685 \pm 345	1496 \pm 322
	0	1973 \pm 626	1718 \pm 447	1901 \pm 476	1758 \pm 335	1853 \pm 548	1830 \pm 408	1934 \pm 534	1741 \pm 375	1538 \pm 414
Iltta	12	2170 \pm 492	1713 \pm 418	1970 \pm 467	1711 \pm 230	1955 \pm 503	1841 \pm 383	2060 \pm 477	1712 \pm 312	1649 \pm 407
	24	1987 \pm 469	1805 \pm 306	2084 \pm 457	1818 \pm 227	1902 \pm 400	1951 \pm 378	2041 \pm 453	1813 \pm 244	1636 \pm 382

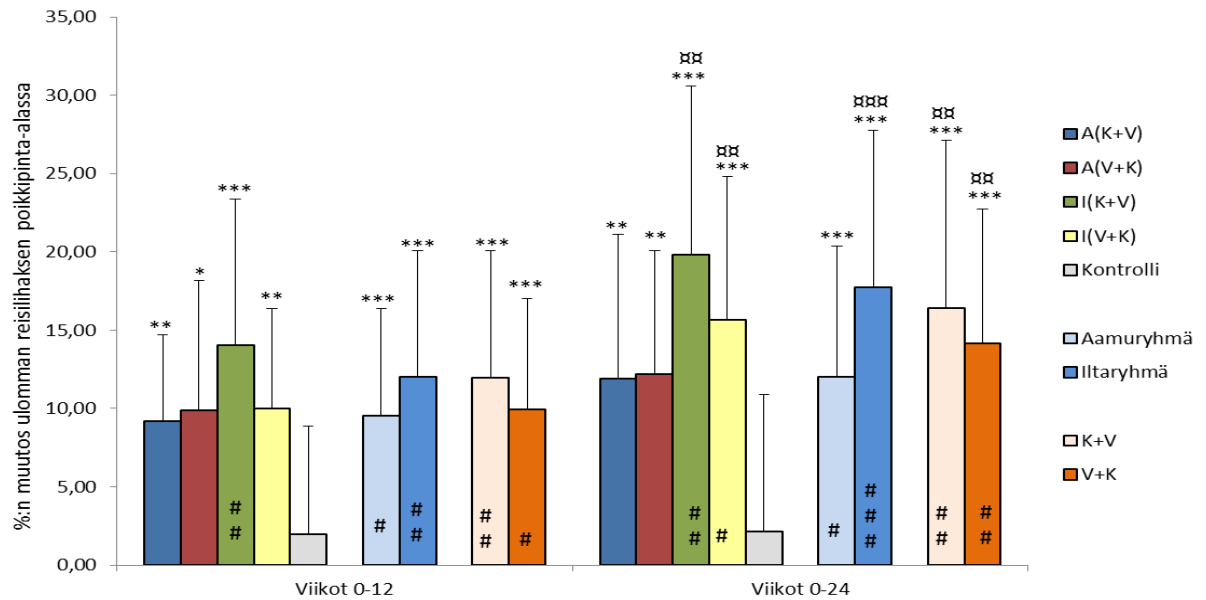
6.3 Lihasmassa

6.3.1 Ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala

Kaikilla harjoitusryhmillä ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. I(K+V) ryhmällä ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.01$) ja ryhmillä I(K+V) ja I(V+K) merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 14)

Aamu- ja iltaryhmällä ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.001$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. Iltaryhmällä poikkipinta-alan kasvu oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.001$). Aamu- ja iltaryhmällä lihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.05$) välillä. Aamu- ja iltaryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 14)

K+V ja V+K ryhmillä ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.001$), 0–24 ($p < 0.001$) ja 12–24 ($p < 0.01$) välillä. K+V ja V+K ryhmillä lihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.01$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 14)



KUVA 14. Suhteellinen muutos ulomman reisilihaksen poikkipinta-alassa kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). α = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (αα = $p < 0.01$ ja ααα = $p < 0.001$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$, ## = $p < 0.01$ ja ### = $p < 0.001$).

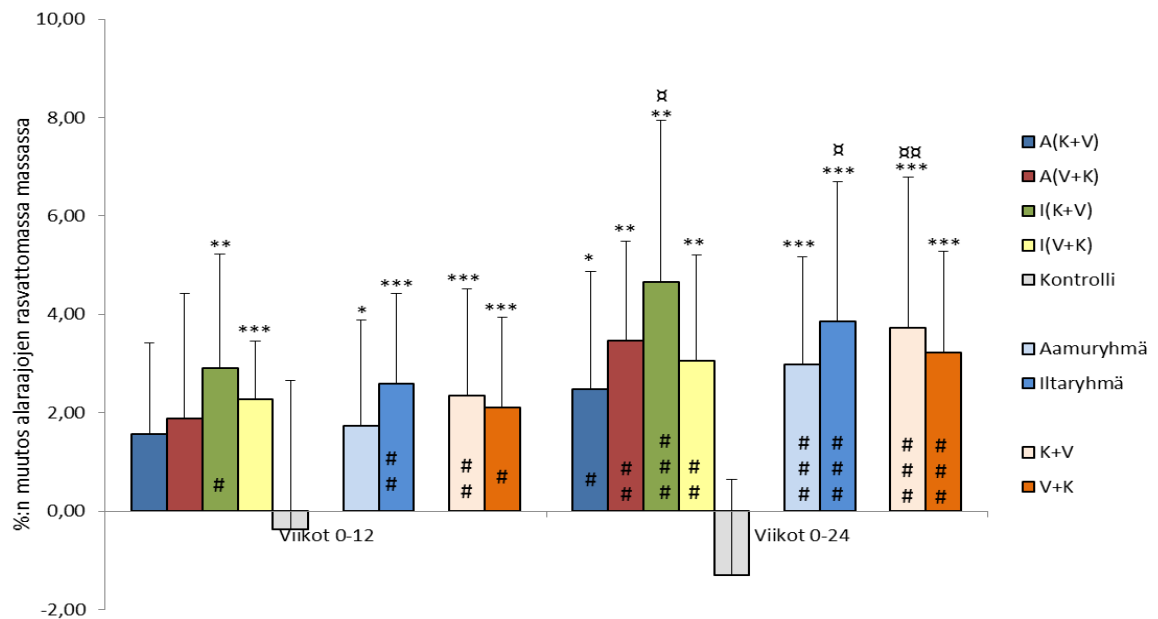
6.3.2 Alaraajojen rasvaton massa

I(K+V) ja I(V+K) ryhmillä alaraajojen rasvaton massa kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.01$) ja kaikilla harjoitusryhmillä kasvu oli merkitsevää viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). I(K+V) ryhmällä kasvu oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.05$). I(K+V) ryhmällä rasvattoman massan kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.05$) ja kaikilla harjoitusryhmillä merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Harjoitteluryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa alaraajojen rasvattoman massan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 15)

Aamu- ja iltaryhmällä alaraajojen rasvaton massa kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. Iltaryhmällä kasvu oli merkitsevää myös viikkojen 12–

24 välillä ($p < 0.05$). Iltaryhmällä kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 välillä ($p < 0.01$) ja molemmilla aamu- ja iltaryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.001$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa alaraajojen rasvattoman massan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 15)

K+V ja V+K ryhmillä alaraajojen rasvaton massa kasvoi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.001$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. K+V ryhmällä kasvu oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.01$). K+V ja V+K ryhmillä rasvattoman massan kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa alaraajojen rasvattoman massan kasvussa harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Kuva 15)



KUVA 15. Suhteellinen muutos alaraajojen rasvattomassa massassa kaikilla ryhmillä viikkojen 0 ja 12 aikana sekä viikkojen 0 ja 24 aikana. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$). □ = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin (□ = $p < 0.05$ ja □□ = $p < 0.01$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# = $p < 0.05$, ## = $p < 0.01$ ja ### = $p < 0.001$).

6.4 Maksimaalinen hapenottokyky

Aamutestit: Kaikilla harjoitusryhmillä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). I(K+V) ryhmällä hapenottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin I(V+K) ryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$) ja A(K+V) sekä I(K+V) ryhmillä merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). (Taulukko 6)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.01$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. Aamuryhmällä kehitys oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.05$). Aamu- ja iltaryhmällä hapenottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei havaittu merkitsevää eroa maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Taulukko 6)

K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. V+K ryhmällä kehitys oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.05$). K+V ryhmällä hapenottokyvyn kasvu oli merkitsevästi suurempaa kuin V+K ryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$) ja merkitsevästi suurempaa kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–12 ($p < 0.05$) ja 0–24 ($p < 0.001$) välillä. (Taulukko 6)

Iltatellit: A(K+V), A(V+K) ja I(K+V) ryhmillä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 ($p < 0.05$) välillä. A(K+V) ryhmällä kehitys oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p < 0.01$). A(K+V) ja A(V+K) ryhmillä hapenottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p < 0.05$). Harjoitteluryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p > 0.05$). (Taulukko 6)

Aamu- ja iltaryhmällä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p<0.01$). Aamuryhmällä kehitys oli merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä ($p<0.01$). Aamu- ja iltaryhmällä hapenottokyky kehittyi merkitsevästi enemmän kuin kontrolliryhmällä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.05$). Aamu- ja iltaryhmän välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Taulukko 6)

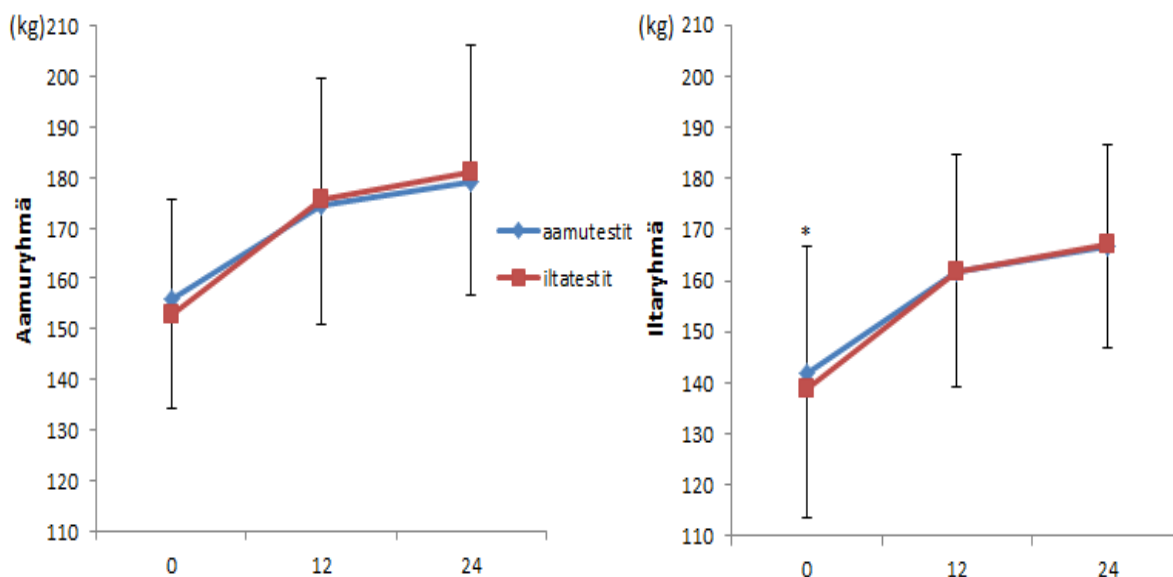
K+V ja V+K ryhmillä maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi viikkojen 0–24 välillä ($p<0.01$) ja K+V ryhmällä kehitys oli merkitsevää myös viikkojen 13–24 välillä ($p<0.01$). Molemmilla ryhmillä hapenottokyky kehittyi enemmän kuin kontrolliryhmä viikkojen 0–24 välillä ($p<0.01$). K+V ja V+K ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa maksimaalisen hapenottokyvyn kehityksessä harjoitusjakson aikana ($p>0.05$). (Taulukko 6)

TAULUKKO 6. Maksimaalisen hapenottokyvyn muutokset ryhmittäin (ml/kg/min). Keskiarvo \pm keskihajonta. * = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 0 testeihin (* $p<0.05$, ** $p<0.01$ ja *** $p<0.001$). α = merkitsevä muutos ryhmän sisällä verrattuna viikon 12 testeihin ($\alpha p<0.05$ ja $\alpha\alpha p<0.01$). # = merkitsevä muutos verrattuna kontrolliryhmään (# $p<0.05$, ## $p<0.01$ ja ### $p<0.001$). § = merkitsevä muutos verrattuna I(V+K) ryhmään (§ <0.05). \$ = merkitsevä muutos verrattuna V+K ryhmään (\$ <0.05).

Mit-taus-aika	Viik-ko	A(K+V) n = 9	A(V+K) n = 9	I(K+V) n = 12	I(V+K) n = 12	
Aamu	0	36.1 \pm 4.4	37.7 \pm 8.3	35.8 \pm 3.6	39.3 \pm 6.7	
	12	38.5 \pm 4.8*	39.3 \pm 7.5	39.6 \pm 3.5**	40.3 \pm 6.2*	
	24	39.8 \pm 4.9*,#	40.3 \pm 7.9**	40.5 \pm 4.3***,§,##	41.0 \pm 6.7*	
Ilta	0	36.0 \pm 3.8	36.3 \pm 8.3	37.8 \pm 4.0	39.0 \pm 6.6	
	12	37.8 \pm 4.5	38.8 \pm 8.3	39.1 \pm 3.2**	39.6 \pm 5.5	
	24	40.5 \pm 4.6*, $\alpha\alpha$,##	39.6 \pm 8.3*, α	40.6 \pm 3.5	40.8 \pm 5.6	
		Aamuryhmä n = 18	Iltaryhmä n = 24	K+V n = 21	V+K n = 21	Kontrolli n = 10
Aamu	0	36.9 \pm 6.5	37.6 \pm 5.6	35.9 \pm 3.8	38.6 \pm 7.3	41.0 \pm 7.0
	12	38.9 \pm 6.1**	40.0 \pm 4.9**	39.11 \pm 4.0***,#	39.9 \pm 6.6*	41.5 \pm 5.9
	24	40.0 \pm 6.4***, α ,#	40.7 \pm 5.6***,#	40.2 \pm 4.4***,\$,###	40.7 \pm 7.1***, α	40.7 \pm 6.0
Ilta	0	36.2 \pm 6.3	38.4 \pm 5.4	37.0 \pm 3.9	37.8 \pm 7.3	41.0 \pm 6.3
	12	38.3 \pm 6.5**	39.4 \pm 4.5	38.5 \pm 3.8	39.3 \pm 6.7	41.5 \pm 5.7
	24	40.1 \pm 6.5***, $\alpha\alpha$,###	40.7 \pm 4.6**,#	40.5 \pm 3.9***, $\alpha\alpha$,##	40.3 \pm 6.7**,,##	40.3 \pm 5.2 α

6.5 Vuorokaudenajankohdasta johtuva vaihtelu voimantuotto-ominaisuuksissa

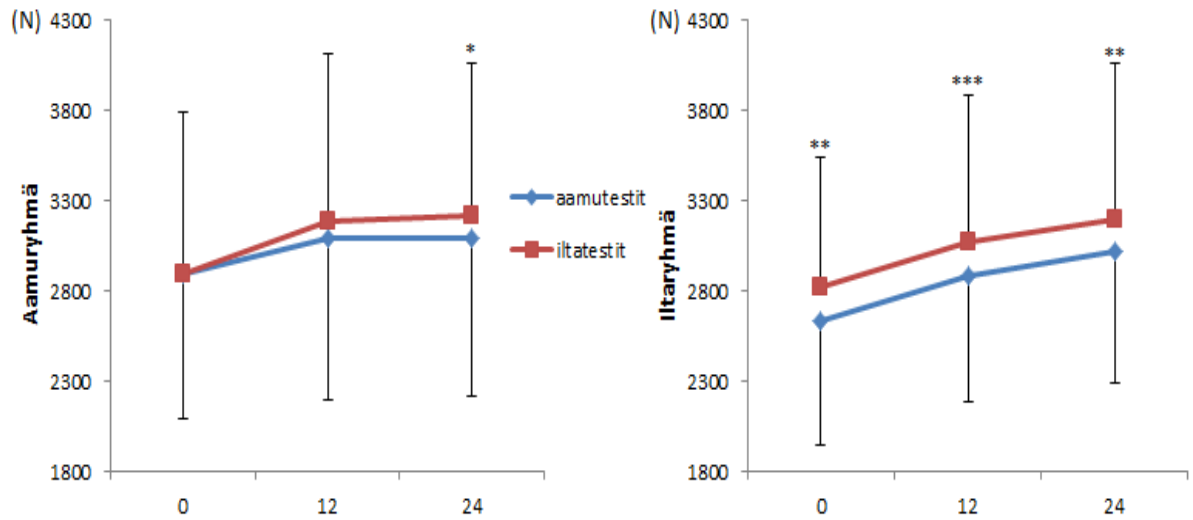
Aamuharjoitteluryhmällä ei havaittu vuorokauden ajankohdasta johtuvaa eroa maksimaalisessa dynaamisessa jalkaprässissä alkutesteissä eikä harjoitusjakson aikana viikkojen 12 ja 24 testeissä. Iltaharjoitteluryhmällä puolestaan havaittiin merkitsevä ero maksimaalisessa dynaamisessa jalkaprässissä alkutesteissä niin, että tulos aamutesteissä (142.0 ± 24.7 kg) oli merkitsevästi suurempi kuin iltatesteissä (138.8 ± 25.3 kg) ($p < 0.05$). Harjoitusjakson aikana tämä ero aamu- ja iltatestin välillä kuitenkin hävisi. (Kuva 23)



KUVA 23. Aamu- ja iltaryhmän maksimaalinen dynaaminen jalkaprässi aamu- ja iltatesteissä. * = merkitsevä ero aamu- ja iltatestin välisessä tuloksessa. (* = $p < 0.05$)

Aamuharjoitteluryhmällä ei havaittu vuorokauden ajankohdasta johtuvaa eroa maksimaalisessa isometrisessä jalkaprässissä alkutesteissä. Harjoitusjakson aikana aamuharjoitteluryhmällä havaittiin merkitsevä ero viikon 24 testeissä niin, että tulos iltatesteissä (3220 ± 843 N) oli suurempi kuin aamutesteissä (2896 ± 898 N) ($p < 0.05$). Iltaharjoitteluryhmällä havaittiin merkitsevä ero maksimaalisessa isometrisessä jalkaprässissä alkutesteissä niin, että tulos iltatesteissä (2825 ± 713 N) oli merkitsevästi suurempi kuin aamutesteissä (2638 ± 690 N)

($p < 0.01$). Harjoitusjakson aikana merkitsevä ero aamu- ja iltatestin välillä säilyi. Viikolla 12 iltatestin tulos oli 3071 ± 814 N ja aamutestin 2886 ± 702 N ($p < 0.001$) ja viikolla 24 iltatestin tulos oli 3203 ± 857 N ja aamutestin 3024 ± 738 N ($p < 0.01$). (Kuva 24)



KUVA 24. Aamu- ja iltaryhmän voimantuotto maksimaalisessa isometrisessä jalkaprässissä aamu- ja iltatesteissä. * = merkitsevä ero aamu- ja iltatestin välisessä tuloksessa (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ ja *** = $p < 0.001$).

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella harjoitusjärjestyksen ja harjoitusajankohdan vaikutuksia alaraajojen voimantuottokykyyn ja lihasmassan kasvuun yhdistetyllä voima- ja kestävyysharjoituksella. Tutkimuksen päätulokset olivat, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu kehitti harjoitusjärjestyksestä ja harjoitusajankohdasta riippumatta merkitsevästi maksimaalista dynaamista voimantuottoa ja lihasmassaa harjoitusjakson aikana. Lisäksi voimantuoton tai lihasmassan kehittymiseen ei vaikuttanut merkitsevästi harjoitusjärjestys tai harjoituksenajankohta, sillä ryhmien A(K+V), A(V+K), I(K+V) ja I(V+K) välillä ei havaittu merkitsevää eroa. Trendi näytti kuitenkin siltä, että voimantuotto kehittyisi hieman paremmin, kun voimaharjoitus suoritettiin ennen kestävyyttä ja harjoitusajankohdaksi oli ilta. Lihasmassa kehittyisi puolestaan paremmin, kun kestävyysharjoitus suoritetaan ennen voimaharjoitusta ja harjoitusajankohdaksi olisi ilta.

7.1 Muutokset maksimaalisessa voimantuottokyvyssä

Maksimaalinen dynaaminen voimantuotto jalkaprässissä kehittyi kaikilla harjoitusryhmillä merkitsevästi 24 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen seurauksena. Harjoitusryhmien välillä ei havaittu merkitseviä eroja voimantuoton kehityksessä riippumatta harjoitusjärjestyksestä tai harjoitusajankohdasta. Tämä tulos on yhdenmukainen aikaisempien tutkimusten kanssa, joissa myös havaittiin, että harjoitusjärjestyksellä ei ole merkitsevää vaikutusta voimantuoton kehittymiselle (Chtara ym. 2008, McGawley & Andersson 2013, Schumann ym. 2014a). Tuloksista on kuitenkin havaittavissa trendi, että suorittamalla voimaharjoitus ennen kestävyyttä saattaisi olla suotuisampi voiman kehittymisen kannalta. Vaikka ryhmien välillä ei ollutkaan merkitsevää eroa voimantuoton kehityksessä, niin V+K ryhmällä kehitys oli suhteellisesti suurempaa lähes kaikissa voimamittauksissa kuin K+V ryhmällä. Tämä viittaa siihen, että yhdistettäessä voima- ja kestävyysharjoitus samaan harjoitukseen jälkimmäisenä suoritettujen harjoitusten laatu heikkenee, koska ensin suoritettu har-

joite aiheuttaa akuutin väsymyksen. Pitkällä aikavälillä voiman kehittyminen voi olla heikompa, jos se suoritetaan aina kestävyysharjoituksen jälkeen, jolloin ollaan väsyneitä eikä pystytä käyttämään yhtä suurta intensiteettiä kuin jos voimaharjoitus tehtäisiin ensin. (Leve-ritt & Abernethy 1999.) Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että yhdistettäessä voima- ja kestävyysharjoitus samaan harjoitukseen harjoitusten järjestyksellä ei ole merkittävää vaikutusta voimantuottokyvyn kannalta. Kuitenkin tutkimuksen trendinä on havaittavissa, että V+K harjoitusjärjestys saattaisi kehittää voimantuottokykyä hieman paremmin kuin päinvastainen järjestys.

Maksimaalisen voimantuottokyvyn on havaittu olevan suurimmillaan illasta ja heikoimmillaan aamulla (Souissi ym. 2002, Souissi ym. 2007, Chtourou ym. 2012a). Lisäksi on havaittu, että illalla pystytään käyttämään suurempia painoja voimaharjoittelussa kuin aamulla (Nicolas ym. 2007). Näistä syistä johtuen illalla tehty voimaharjoittelu voisi kehittää voimantuottokykyä pitkällä aikavälillä paremmin kuin aamulla tehty voimaharjoitus. Tässä tutkimuksessa havaittiin kuitenkin, että yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitus kehitti maksimaalista dynaamista voimantuottokykyä merkittävästi 24 viikon aikana sekä aamu- että iltaryhmällä, eikä ryhmien välillä havaittu merkittävää eroa voimantuoton kehittämisessä. Tämä tulos on yhdenmukainen Sedliakin ym. (2009) voimaharjoitustutkimuksen kanssa, jossa havaittiin, että voimantuoton kehittämisessä ei ole merkittävää eroa aamu- ja iltaharjoitteluryhmien välillä, kun voimatestit suoritetaan neutraalina (aika, jolloin kumpikaan harjoitteluryhmistä ei harjoitellut) päivän aikana. Kuitenkin tämän tutkimuksen tulosten mukaan näyttäisi siltä, että illalla suoritettu yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu saattaisi olla hieman suosiollisempaa voimantuoton kehittämisen kannalta kuin aamulla suoritettu sama harjoitus. Tämä on nähtävissä erityisesti isometrisessä jalkaprässissä, jossa vain iltaryhmän voimantuotto kehittyi merkittävästi 24 viikon aikana. Lisäksi iltaryhmällä isometrisen voimantuottokyky näyttäisi kehittyvän enemmän aamutesteissä kuin aamuryhmällä. Tämä tulos puolestaan on ristiriidassa Sedliak ym. (2009) voimatutkimuksen kanssa, jossa havaittiin, että vaikka voimantuottokyky kehittyi aamu- ja iltaryhmillä yhtä paljon neutraalina päivän aikana, niin kehitys oli suurinta aamuharjoitteluryhmällä aamulla ja iltaharjoitteluryhmällä illalla. Tähän ristiriitaan saattaa vaikuttaa, että tässä tutkimuksessa harjoiteltiin

samassa harjoituksessa sekä voima- ja kestävyys harjoitus ja Sedliakin ym. (2009) tutkimuksessa suoritettiin pelkästään voimaharjoitus. Tämän tutkimuksen perusteella voimantuoton kehittymisen kannalta ei ole merkitsevää eroa, suoritetaanko yhdistetty voima- ja kestävyys harjoitus aamulla vai illalla. Kuitenkin voimantuotto näyttäisi kehittyvän hieman paremmin iltaharjoitteluryhmällä. Tämä saattaa johtua siitä, että illalla voimaharjoituksessa pystytään käyttämään suurempia painoja (Nicolas ym. 2007) tai mahdollisesti interferenssi voima- ja kestävyys harjoituksen välillä on pienempi illalla.

Tässä tutkimuksessa maksimaalinen dynaaminen voimantuotto kehittyi 24 viikon aikana aamutesteissä: 13.8–19.3 %:a ja iltatesteissä: 17.5–23.6 %:a. Nämä tulokset ovat samansuuruisia kuin Schumannin ym. (2014) tutkimuksessa, joka kesti myös 24 viikkoa ja K+V ryhmä paransi voimantuottoa 13 ± 8 %:a ja V+K ryhmä 17 ± 12 %:a. Aikaisemmissa tutkimuksissa, joissa on harjoiteltu pelkästään voimaharjoittelua ja harjoitusjakso on kestänyt yli 20 viikkoa, on havaittu yli 20 %:n voimantuoton kehittyminen (Häkkinen ym. 1998b, Häkkinen ym. 2003.) Näihin tuloksiin verrattuna tässä tutkimuksessa saadut voimantuoton lisäykset jäävät hieman pienemmiksi osilla harjoitteluryhmistä, erityisesti A(K+V) ryhmällä aamutesteissä. Tämä voi tarkoittaa sitä, että kestävyys harjoitus on aiheuttanut interferenssiä voimantuotonkehittymiselle. On kuitenkin huomioitava, että voimantuoton kehittymisten erotukset tämän ja aiempien pelkkien voimaharjoitus tutkimusten välillä eivät ole kovin suuria ja siihen vaikuttanee, että kestävyys harjoittelu suoritettiin polkupyöräergometrilla, joka ei aiheuta yhtä suurta interferenssiä kuin juoksu (Wilson ym. 2012) ja että harjoittelufrekvenssi oli pieni (Izquierdo ym. 2004). Tätä interferenssi-ilmiötä ei voida kuitenkaan todeta suoraan, sillä tässä tutkimuksessa ei ollut harjoitusryhmää, joka harjoitteli pelkästään voimaa. Vertailtaessa voimantuotonkehittymistä eri tutkimusten välillä on otettava huomioon muun muassa, että koehenkilöiden harjoitustausta, tutkimuksessa käytettävä harjoitusohjelma ja testausprotokollat vaihtelevat ja siksi suoria johtopäätöksiä ei voida tehdä.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että voimantuotto kehittyi kaikissa testeissä huomattavasti enemmän ensimmäisten 12 viikon aikana kuin jälkimmäisten 12 viikon aikana vaikka jälkimmäisten 12 viikon aikana harjoittelufrekvenssi oli suurempi. Tämä voi johtua siitä, että

interferenssi-ilmiö on ollut suurempi jälkimmäisellä 12 viikon aikana, koska aikaisemmin on havaittu, että suurempi harjoitusvolyymi on yhteydessä interferenssin suuruuteen (McCarthy ym. 2002, Häkkinen ym. 2003, Izquierdo ym. 2004). Aikaisemmissa tutkimuksissa havaittiin, että jos viikon aikana suorittaa yli kolme yhdistettyä voima- ja kestävyysharjoitusta niin voimantuotonkehittyminen oli heikompaa kuin ryhmällä, joka harjoitteli pelkästään voimaa (Hickson 1980, Kraemer ym.1995). Tässä tutkimuksessa viikkojen 0-12 välillä harjoitusfrekvenssi oli kaksi kertaa viikossa ja viikkojen 13–24 välillä viisi kertaa kahdessa viikossa. Harjoitusfrekvenssi on saattanut nousta jälkimmäisten 12 viikon aikana liian korkeaksi, eikä palautumiselle ole jäänyt riittävästi aikaa ja näin ollen voimantuoton kehittyminen on ollut vähäisempää.

Heikompi voimantuoton kehittyminen jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjakson aikana on voinut johtua myös koehenkilöiden harjoittelusta. Aikaisempien tutkimusten mukaan voimaharjoittelun alussa harjoittelemattomilla henkilöillä voimantuottokyky kasvaa nopeasti johtuen pääsääntöisesti neuraalisista adaptaatioista ja tämän jälkeen voimantuoton kasvu johtuu lisääntyvässä määrin lihashypertrofiasta (Moritani & deVries 1979, Häkkinen 1989). Todennäköisesti tässä tutkimuksessa 12 ensimmäisen viikon aikana koehenkilöiden hermostolliset adaptaatiot ovat olleet suurempia kuin jälkimmäisten 12 viikon aikana, koska liikkeet ovat olleet uusia heille. Myös se, että harjoitusohjelmassa ei ollut variaatiota alaraajojen liikkeiden suhteen, on voinut johtaa siihen, että jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla ei tapahtunut yhtä suurta kehitystä kuin ensimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla (Fonseca ym. 2014). Jälkimmäisellä 12 viikon aikana hermostolliset adaptaatiot ovat jääneet vähäisemmiksi, koska liikkeet ovat olleet jo tuttuja ja voimantuoton kehittyminen on johtunut pääsääntöisesti vain lihasmassan kasvusta.

Voimantuottokyky kehittyi suhteellisesti enemmän dynaamisessa jalkaprässissä kuin isometrisessä jalkaprässissä aamulla (dynaaminen 17.2 % vs. isometrinen 12.8 %) ja illalla (dynaaminen 20.7 % vs. isometrinen 14.4 %). Tämän tutkimuksen voimaharjoittelu sisälsi ainoastaan dynaamisia voimaharjoitteita. Voimantuoton on havaittu kehittyvän eniten sellaisessa liikkeessä, mistä harjoittelu on koostunut. Tämä johtuu pääsääntöisesti hermostollis-

ta adaptaatioista, jotka ovat spesifisiä harjoitetulle liikkeelle. (Buckthorpe ym. 2014.) Myös sillä, että polvikulma isometrisessä testissä oli 107° , saattoi vaikuttaa tulokseen, sillä voimantuoton kehittymisen on havaittu olevan myös spesifinen harjoitetulle nivelkulmalle (Noorköiv ym. 2014). Vaikka dynaamisen jalkaprässin aikana lihastyötä tapahtui myös 107° :een polvikulmalla, on mahdollista, että siinä vaiheessa ei ole enää tarvinnut tuottaa voimaa lähellekään niin paljoa kuin kyseisellä polvikulmalla olisi mahdollista maksimaalisesti tuottaa. Tämä johtuu siitä, että jalkaprässin aloitus polvikulma oli noin 60° :tta ja tällä polvikulmalla maksimaalinen voima on pienempi kuin 107° :een polvikulmalla. Lisäksi painot ovat olleet jo liikkeellä, kun suoritus on edennyt 107° :een polvikulman kohdalle, joten siinä vaiheessa painojen inertia helpottaa liikettä.

7.2 Muutokset voimantuottonopeudessa

Harjoitusohjelmassa oli muutaman kerran voimaharjoitus, jossa koehenkilöt ohjeistettiin keventämään vastusta jalkaprässin painopakasta ja suorittamaan liikkeen konsentrisen vaihe mahdollisimman räjähtävästi. Maksimaalinen voimantuotto isometrisessä jalkaprässissä ensimmäisten 500 millisekunnin aikana ei kuitenkaan kasvanut merkitsevästi yhdelläkään ryhmällä 24 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoitusjakson aikana tässä tutkimuksessa. Tämä tulos on yhdenmukainen Häkkisen ym. (2003) tutkimuksen kanssa, jossa havaittiin, että vaikka maksimaalinen voimantuotto kehittyi yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen avulla, ei räjähtävässä voimantuotossa tapahtunut kehitystä. Tämä tulos viittaa siihen, että yhdistettäessä voima- ja kestävyysharjoitus samaan harjoitukseen räjähtävän voimantuotonkehittyminen on heikentynyt. Suoraa yhteyttä tämän tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voida tehdä, koska tässä tutkimuksessa ei ollut ryhmää, joka harjoitteli pelkästään voimaharjoituksen. Voidaan kuitenkin olettaa, että kestävyysharjoittelu inhiboi voimaharjoittelun nopean voimantuoton neuraalisia adaptaatioita myös tässä tutkimuksessa, jotka on havaittu pelkän voimaharjoittelun seurauksena (Häkkinen ym. 1998b, Häkkinen ym. 2003).

7.3 Muutokset lihasmassassa

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että kaikilla harjoitusryhmillä ulomman reisilihaksen poikkipinta-ala kasvoi merkitsevästi 24 viikon harjoitusjakson aikana (11.9–19.8 %, $p < 0.01$). Myös alaraajojen rasvaton massa kasvoi merkitsevästi kaikilla harjoitusryhmillä 24 viikon aikana (2.5–4.7 %, $p < 0.05$). Harjoitusryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa ulomman reisilihaksen poikkipinta-alan tai alaraajojen rasvattoman massan kasvussa. Nämä muutokset ovat samansuuruisia kuin Schumannin ym. (2014) tutkimuksessa ja myös heidän tutkimuksessa havaittiin, että harjoitusjärjestyksellä ei ole merkitsevää vaikutusta lihasmassan kasvuun. Tämän tutkimuksen tulokset ovat myös linjassa Sedliakin ym. (2009) voimaharjoittelututkimuksen kanssa, jossa havaittiin, että lihasmassa kasvoi merkitsevästi niin aamu kuin ilta voimaharjoitteluryhmillä eikä ryhmien välillä havaittu merkitsevää eroa. Täytyy kuitenkin muistaa, että Sedliakin ym. (2009) tutkimuksessa suoritettiin pelkästään voimaharjoittelua. Vaikka ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa poikkipinta-alan kasvussa, niin ainoastaan iltaharjoitteluryhmillä kasvu oli merkitsevää myös jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla. Samansuuntainen trendi on havaittavissa alaraajojen rasvattoman massan kasvussa, sillä ainoastaan iltaryhmällä kasvu oli merkitsevää jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla. Tästä johtuen illalla suoritettu harjoittelu voi olla suosiollisempaa kuin aamulla varsinkin, jos harjoittelu jatkuu pidempään. Tämä on linjassa myös tutkimuksen voimamittausten kanssa, joissa havaittiin, että iltaharjoitteluryhmillä voimantuottokyky kehittyi enemmän, vaikka ei tilastollisesti merkitsevästi. K+V harjoitusjärjestys tuotti hieman suuremmat muutokset ulomman reisilihaksen poikkipinta-alaan ja alaraajojen rasvattoman massan muutos oli ainoastaan tällä ryhmällä merkitsevää myös viikkojen 12–24 välillä. Tämä voi viitata siihen, että mikäli harjoittelu jatkuisi vieläkin pidempään, voisi K+V harjoitusjärjestys olla suosiollisempi lihasmassan kasvun kannalta. Tämä on havaittu myös aiemmissä tutkimuksissa, joissa huomattiin, että mTORC1 signaalintireitin aktiivisuus oli voimakkaampaa K+V harjoitusjärjestyksellä kuin päinvastaisella järjestyksellä (Ogasawara ym. 2014). Lisäksi on otettava huomioon, että kestävyysharjoittelu suoritettiin tässä tutkimuksessa polkupyöräergometrillä. Tämä on tärkeää ottaa huomioon, sillä aikaisemmissä tutkimuksissa on havaittu, että harjoittelemattomilla henkilöillä

pyörällä tehtävä kestävyysharjoittelu voi aiheuttaa jo itsessään lihasmassan kasvua (Ozaki ym. 2015) ja yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoittelussa pyörällä tehty kestävyysharjoitus on ollut suotuisampaa lihasmassan kasvun kannalta kuin juosten suoritettu kestävyysharjoittelu (Wilson ym. 2012). Kuitenkaan tämän tutkimuksen perusteella ei voida sanoa, heikensikö pyöräillen tehty kestävyysharjoittelu lihasmassan kasvua, sillä tässä tutkimuksessa ei ollut ryhmää, joka suoritti pelkän voimaharjoittelun. Kuitenkin voidaan olettaa, että kestävyysharjoittelu on heikentänyt ainakin jossain määrin lihasmassan kasvua sillä kestävyysharjoittelun on havaittu inhihoivan hypertrofian kannalta tärkeitä signaalintireittejä (Hawley 2009).

7.4 Muutokset hapenottokyvyssä

Maksimaalinen hapenottokyky kehittyi merkitsevästi 24 viikon aikana kaikilla harjoitusryhmillä paitsi I(V+K) ryhmällä iltatestissä. Aamutesteissä havaittiin, että maksimaalinen hapenottokyky kehittyi harjoitusjakson aikana merkitsevästi enemmän I(K+V) ryhmällä kuin I(V+K) ryhmällä. Aamutesteissä havaittiin myös, että K+V harjoitusryhmät kehittyivät merkitsevästi enemmän kuin V+K ryhmät. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että suorittamalla kestävyysharjoitus ennen voimaharjoitusta olisi parempi kestävyuden kehittymisen kannalta kuin päinvastainen järjestys. Iltatesteissä harjoitteluryhmien välillä ei ole merkitsevää eroa hapenottokyvyn kehittämisessä, mutta samankaltainen trendi kuin aamutesteissä on havaittavissa, että K+V harjoitusjärjestys näyttäisi olevan kehittävämpi. Harjoittelujärjestyksen on havaittu myös aikaisemmissa tutkimuksissa vaikuttavan maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen. Chtaran ym. (2005) tutkimuksen mukaan kestävyys kehittyi paremmin, kun kestävyys suoritetaan ennen voimaharjoitusta, mutta toisaalta Collins ja Snow (1993) mukaan harjoitusjärjestyksellä ei puolestaan ollut vaikutusta kestävyysuorituskyvyn kehittymiselle. Lisäksi tässä tutkimuksessa havaittiin, että suorittamalla yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitus aamulla saattaa olla hieman parempi ajankohta kuin ilta, sillä vain aamuryhmällä maksimaalinen hapenottokyky on kasvanut merkitsevästi jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjakson aikana.

7.5 Muutokset vuorokaudenaikaisessa voimantuottokyvyssä

Tyypillisesti maksimaalinen lyhytkestoinen suorituskyky (esim. maksimaalinen voimantuottokyky tai voimantuottonopeus) on parhaimmillaan illasta ja heikoimmillaan aamulla (Soissi ym. 2002, Guette ym. 2005, Souissi ym. 2007, Sedliak ym. 2008, Chtourou ym. 2012a) Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu dynaamisen jalkaprässin alkutesteissä tyypillistä vuorokauden ajankohdasta johtuvaa vaihtelua voimantuottokyvyssä. Myöskään isometrisen jalkaprässin alkutesteissä ei havaittu aamuryhmän osalta eroa iltaja aamusuorituskyvyssä, mutta iltaryhmällä iltasuorituskyky oli merkitsevästi parempi kuin aamusuorituskyky. Aikaisemmissa tutkimuksissa ei ole havaittu ilmiötä, että harjoittelemattomilla suorituskyky olisi merkitsevästi parempi aamulla kuin illalla, mikä havaittiin tässä tutkimuksessa iltaryhmän dynaamisen jalkaprässin alkutesteissä. Tähän ilmiöön on vaikea löytää syytä, mutta koehenkilöiden päivärutiinit ovat voineet vaikuttaa asiaan. Iltatesteihin tullessa koehenkilöillä saattaa olla takana raskas työpäivä, kun taas aamutestejä ennen ei ole ollut fyysistä rasitusta.

Tässä tutkimuksessa ei myöskään havaittu selkeästi ilmiötä, että maksimaalinen voimantuottokyky kehittyisi eniten sinä vuorokaudenaikana, milloin voimaharjoittelu säännöllisesti suoritetaan (Soissi ym. 2002, Sedliak ym. 2008, Chtourou ym. 2012a ja Chtourou ym. 2012b). Ainoastaan iltaryhmällä oli havaittavissa tämänkaltainen trendi. Dynaamisessa jalkaprässissä iltaryhmällä havaittiin, että alkutesteissä ollut merkitsevästi suurempi voimantuotto aamutesteissä kuin iltatesteissä oli tasaantunut niin, että suorituskyvyt olivat yhtä suuret niin viikon 12 kuin 24 testeissä. Isometrisessä jalkaprässissä havaittiin, että suorituskyky oli koko tutkimuksen ajan merkitsevästi suurempi iltatesteissä kuin aamutesteissä, mutta erotus aamu- ja iltatestin välillä pysyi samansuuruisena. Aamuharjoitteluryhmällä puolestaan havaittiin, että iltasuorituskyky kehittyi aamusuorituskykyä enemmän ja ero aamu- ja iltasuorituskyvyn välillä kasvoi merkitseväksi isometrisessä jalkaprässissä viikon 24 testeissä. Kuten Sedliak ym. (2008) havaitsivat, että yksilöiden välillä on suuri eroavaisuus, miten he adaptoituvat tietynä vuorokaudenaikana tapahtuvaan voimaharjoitteluun. Osa koehenkilöistä saattaa adaptoitua nopeammin/enemmän tietynä päivänä aikana tapahtuvaan harjoitte-

luun ja ihmisen kronotyypillä uskotaan olevan vaikutus tähän. (Sedliak ym. 2008.) Huomi-oon täytyy ottaa myös, että aikaisemmissa tutkimuksissa on harjoiteltu pelkästään voimaa ja tässä tutkimuksessa harjoitus koostui yhdistetystä voima- ja kestävyysharjoituksesta. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siis siltä, että kestävyysharjoittelu saattaisi vaikuttaa voimantuotto-kyvyn vuorokaudenaikaisiin adaptaatioihin. Erityisesti tämä on nähtävissä aamu- harjoitteluryhmällä, jolla aamusuorituskyky ei kehity yhtä paljon kuin iltasuorituskyky.

7.6 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tutkimuksen vahvuutena on ehdottomasti hyvin suunniteltu ja järjestelty tutkimussuun- nitelma, jonka avulla pystytään tutkimaan yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen pitkäai- kaisia vaikutuksia hermolihaskäytännön suorituskykyyn. Lisäksi harjoituksen valvonta jokaisessa harjoituksessa varmisti, että harjoitukset suoritettiin oikealla tekniikalla ja inten- siteetillä. Tutkimuksen vahvuutena on myös pitkä interventiojakso sekä välimittaukset. Myös koehenkilöiden mittaukset pystyttiin suorittamaan jokaisella mittauskerralla samaan vuorokauden aikaan (± 1 tunti).

Suurin heikkous tässä tutkimuksessa on, että ei ollut harjoitteluryhmää, joka suorittaisi pel- kästään voimaharjoituksen. Näin ollen suoria johtopäätöksiä mahdollisesta interferenssistä eri harjoitusryhmien välillä ei voida tehdä. Lisäksi olisi tarvittu jokin dynaaminen voiman- tuottonopeustesti esim. kevennys- tai kyykkyhyppy. Tämä olisi ollut hyvä, koska harjoittelu koostui ainoastaan dynaamisista liikkeistä.

7.7 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset

Tämän tutkimuksen perusteella saadaan hieman tukea väitteelle, että harjoitusjärjestyksellä ja harjoitusajankohdalla olisi vaikutus maksimaalisen voimantuoton, lihasmassan sekä ha- penottokyvyn kehittymiselle. Vaikka merkitseviä eroja voimantuoton kehittymisen kannalta ei havaittu eri harjoitusryhmien välillä, niin trendinä oli, että V+K järjestys oli parempi kuin

K+V ja ilta parempi kuin aamu. Lihasmassan kehittymisen kannalta puolestaan K+V harjoitusjärjestys illalla olisi suotuisin. Maksimaalinen hapenottookyky kehittyisi puolestaan parhaiten K+V aamulla.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat merkittäviä, koska ne auttavat yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoitusohjelman optimoinnissa aiemmin harjoittelemattomilla henkilöillä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos pääpaino halutaan voimantuoton kehittämiseen, olisi voiman suorittaminen ennen kestävyyttä illalla suotuisaa ja, mikäli halutaan painottaa kestävyysuorituskyvyn kehittymistä, niin olisi suotuisampaa suorittaa kestävyys ennen voimaa aamulla. Kuitenkin tärkein käytännön sovellutus on, että jo 2-3 kertaa viikossa suoritettava yhdistetty voima- ja kestävyysharjoitus on riittävän suuri frekvenssi tuottamaan merkitseviä muutoksia niin voimantuotto- kuin kestävyysuorituskykyyn riippumatta harjoitusjärjestyksestä tai –ajankohdasta.

Lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan ja yksi mielenkiintoinen havainto, joka tässä tutkimuksessa nousi esille, oli aamuryhmien heikompi voimantuotto- ja kestävyyskehittyminen. Olisiko siis mahdollista, että interferenssi olisi suurempaa aamulla kuin illalla? Tähän tarvittaisiin neljä harjoittelu ryhmää, jolloin sekä aamulla että illalla yksi ryhmä harjoittelisi pelkästään voimaa ja toinen yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoituksen. Lisäksi yhdistetty harjoitteluryhmä voisi suorittaa harjoittelun niin, että harjoitusjärjestys vaihtuisi aina jokaisella harjoituskerralla. Tällöin voitaisiin minimoida harjoitusjärjestyksen vaikutukset voimantuotto- ja kestävyyskehittämiseen.

8 LÄHTEET

- Ahtiainen, J.P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W.J. & Häkkinen, K. 2003. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology* 89, 555-563.
- Atkinson, G., Coldwells, A. & Reilly, T. 1993. A comparison of circadian rhythms in work performance between physically active and inactive subjects. *Ergonomics* 36, 273-281.
- Bell, G. J., Syrotuik, D. Martin, T. P., Bumham, 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.
- Buckthorpe, M., Erskine, R.M., Fletcher, G. & Folland, J.P. 2014. Task-specific neural adaptations to isoinertial resistance training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, doi: 10.1111/sms.12292.
- Callard, D., Davanne, D., Gauthier, A., Lagarde, D. & Van Hoecke, J. 2000. Circadian rhythms in human muscular efficiency: Continuous physical exercise versus continuous rest. A crossover study. *Chronobiology International* 17, 693-704.
- Campos, G.E.R., Luecke, T.J., Wendeln, H.K., Toma, K., Hagerman, F.C., Murray, T.F., Ragg, K.E., Ratamess, N.A., Kraemer, W.J. & Staron, R.S. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Physiology* 88, 50-60.
- Cappaert, T.A. 1999. Time of day effect on athletic performance: an update. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13, 412-421.
- Castangts, V., Martin, A., Van Hoecke, J. & Pérot, C. 2004. Neuromuscular efficiency of triceps surae in induced and voluntary contractions: morning and evening evaluations. *Chronobiology International* 21, 631-643.
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G.P.

- & Amri, M. 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British Journal of Sports Medicine* 39, 555-560.
- Chtara, M., Chaourachi, A., Levin, G.T., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri, M. & Laursen, P.B. 2008. Effects of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22, 1037-1045.
- Chtourou, H. & Souissi, N. 2012. The effect of training at a specific time of day: a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 1984-2005.
- Chtourou, H., Driss, T., Souissi, S., Gam, A., Chaouachi, A. & Souissi, N. 2012a. The effect of strength training at the same time of day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. *Journal of Strength and Conditioning* 26, 217-225.
- Chtourou, H., Chaouachi, A., Driss, T., Dogui, M., Behm, D.G., Chamari, K. & Souissi, N. 2012b. The effect of training at the same time of day and tapering period on the diurnal variation of short exercise performances. *Journal of Strength and Conditioning* 26, 697-708.
- 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, 485-491.
- Deschenes M.R., Sharma, J.V., Brittingham, K.T., Casa, D.J., Armstrong, L.E. & Maresh, C.M. 1998. Chronobiological effects on exercise performance and selected physiological responses. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77, 249-256.
- Deschenes, M. R. & Kraemer, W. J. 2002. Performance and physiological adaptations to resistance training. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 81, 3-16.
- Docherty, D. & Sporer, B. 2000. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sport Medicine* 30, 385-394.
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. 2005. Circadian

- rhythms in sports performance: an update. *Chronobiology International* 22, 21–44.
- Folland, J.P & Williams, A.G. 2007. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports medicine* 37, 145-168.
- Fonseca, R.M., Roschel, H., Tricoli, V., de Souza, E.O., Wilson, J.M., Laurentino, G.C., Aihara, A.Y., de Souza Leão, A.R. & Ugrinowitsch, C. 2014. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28, 11, 3085-3092.
- Fry, A.C. 2004. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine* 34, 663-679.
- Gabriel, D. A., Kamen, G. & Forst, G. 2006. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sport medicine* 36, 133-149.
- Garcia-Pallares, J. & Izquierdo, M. 2011. Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Medicine* 41, 329-343.
- Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A., Cometti, G. & Van Hoecke, J. 1996. Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. *Chronobiology International* 13, 135-146.
- Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A. & Van Hoecke, J. 2001. Time of day effects on isometric and isokinetic torque developed during elbow flexion in humans. *European Journal of Applied Physiology* 84, 249-252.
- Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green, J.S. & Crouse, S.F. 2004. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 36, 2119-2127.
- Guette, M., Gondin, J. & Martin, A. 2005. Time-of-day effect on the torque and neuromuscular properties of dominant and non-dominant quadriceps femoris. *Chronobiology International* 22, 541-558.
- Hawley, J. A. 2009. Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 34, 355-361.
- Hickson, R. C. 1980. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and*

- Occupational Physiology 45, 255-263.
- Houston, M. E. 1999. Gaining Weight: The scientific basis of increasing skeletal muscle mass. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24, 305-316.
- Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1983. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 15, 455-460.
- Häkkinen, K. 1989. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 29, 1, 9-26.
- Häkkinen, K., Newton, R.U., Gordon, S.E., McGormick, M., Volek, J.S., Nindl, B.C., Gotshalk, L.A., Campbell, W.W., Evans, W.J., Häkkinen, A., Humphries, B.J. & Kraemer, W.J. 1998a. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *Journal of Gerontology: Biological Sciences* 53, B415-B423.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., Kraemer, W.J., Newton, R.U. & Alen, M. 1998b. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle aged and older people. *Journal of Applied Physiology* 84, 1341-1349.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & L. Paavolainen. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology* 89, 42-52.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W.J & Gorostiaga, E.M. 2005. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology* 94, 70-75.
- Jones, T.W., Howatson, G., Russell, M. & French, D.N. 2013. Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 3342-3351.

- Kadi, F. & Thornell, L.E. 2000. Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochemistry and Cell Biology* 113, 99-103.
- Kamen, G & Knight, C. A. 2004. Training-related adaptations in motor unit discharge rate in young and older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical Sciences* 59, 1334-1338.
- Knight, C. A. & Kamen, G. 2001. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 11, 405-412.
- 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, 976-989.
- Kraemer, W.J. & Ratamess, N.A. 2005. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sport Medicine* 4, 339-361.
- Leveritt, M & Abernethy, P.J. 1999. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *Journal of Strength and Conditioning Research* 13, 47-51.
- Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B.K. & Logan, P.A. 1999. Concurrent strength and endurance training. *Sports Medicine* 28, 413-427.
- Leveritt, M., MacLaughlin, H. & Abernethy, P.J. 2000. Changes in leg strength 8 and 32 h after endurance exercise. *Journal of Sport Sciences* 18, 865-871.
- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P.V., Kraemer, W.J & Häkkinen, K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *Journal of Strength and Conditioning Association* 19, 566-571.
- Lundberg, T.R., Fernandez-Gonzalo, R., Gustafsson, T. & Tesch, P.A. 2012. Aerobic exercise alters skeletal muscle molecular responses to resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 44, 1680-1688.
- Lundberg, T.R., Fernandez-Gonzalo, R., Gustafsson, T. & Tesch, P.A. 2013. Aerobic

- exercise does not compromise muscle hypertrophy response to short-term resistance training. *Journal of Applied Physiology* 114, 81-89.
- Martin, A., Carpentier, A., Guissard, N., Van Hoecke, J. & Duchateau, J. 1999. Effect of time of day on force variation in a human muscle. *Muscle Nerve* 22, 1380-1387.
- McCarthy, J.P., Pozniak, M.A & Agre, J.C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34, 511-519.
- McGawley, K. & Andersson, P.I. 2013. The order of concurrent training does not affect soccer-related performance adaptations. *International Journal of Sports Medicine* 34, 983-990.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. & Häkkinen, K. 2007. *Urheiluvalmennus. 2. painos.* Gummerus Kirjapaino Oy, Juväskylä.
- Mikkola, J. S., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M. & Häkkinen, K. 2007. Concurrent endurance and explosive type strength training increase activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21, 613-620.
- Moritani, T. & deVries, H.A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58, 3, 115-130.
- Nader, G.A. 2006. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 38, 1965-1070.
- Narici, M. 1999. Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of electro myography and kinesiology* 9, 97 – 103.
- Nicolas, A., Gauthier, A., Michaut, A. & Davenne, D. 2007. Effect of circadian rhythm of neuromuscular properties on muscle fatigue during concentric and eccentric isokinetic actions. *Isokinetics & Exercise Science* 15, 117-129.
- Noorkõiv, M., Nosaka, K. & Blazevich, A.J. 2014. Neuromuscular adaptations associated with knee joint angle-specific force change. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46, 8, 1525-1537.
- Ogasawara, R., Sato, K., Matsutani, K., Nakazato, K. & Fujita, S. 2014. The order of

- concurrent endurance and resistance exercise modifies mTOR signaling and protein synthesis in rat skeletal muscle. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism* 306, 1155-1162.
- Ozaki, H., Loenneke, J.P., Thiebaud, R.S. & Abe, T. 2015. Cycle training induces muscle hypertrophy and strength gain: strategies and mechanisms. *Acta Physiologica Hungarica* 102, 1, 1-22.
- Racinais, S., Hue, O. & Blonc, S. 2004. Time-of-day effects on anaerobic muscular power in a moderately warm environment. *Chronobiology International* 21, 485-495.
- Reilly, T. & Garrett, R. 1998. Investigation of diurnal variation in sustained exercise performance. *Ergonomics* 41, 1085-1094.
- Rønnestad, B.R., Hansen, E.A. & Raastad, T. 2012. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112, 1457-1466.
- Schoenfeld, B.J. 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24, 2857-2872.
- Schumann, M., Eklund, D., Taipale, R.S., Nyman, K., Kraemer W.J., Häkkinen, A., Izquierdo, M. & Häkkinen, K. 2013. Acute neuromuscular and endocrine responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: “order effect” in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 421-433.
- Schumann, M., Walker, S., Izquierdo, M., Newton, R.U., Kraemer, W.J. & Häkkinen K. 2014a. The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: effects of prolonged training. *European Journal of Applied Physiology* 114, 867-880.
- Schumann, M., Kūusmaa, M., Newton, R.U., Sirparanta, A.I., Syväoja, H., Häkkinen, A. & Häkkinen, K. 2014b. Fitness and lean mass increases during combined training independent of loading order. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46, 1758-1768
- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Kraemer, W., J. & Häkkinen, K. 2007. Effect of time-

- of-day-specific strength training on serum hormone concentrations and isometric strength in men. *Chronobiology International* 24, 1159-1177.
- Sedliak, M., Finni, T., Peltonen, J. & Häkkinen, K. 2008. Effect of time-of-day-specific strength training on maximum strength and EMG activity of the leg extensors in men. *Journal of Sports Sciences* 26, 1005-1014.
- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Lind, M. & Häkkinen, K. 2009. Effect of time-of-day-specific strength training on muscular hypertrophy in men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23, 2451-2457.
- Semmler, J.G. 2002. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 30, 8-14.
- Shaw, B.S., Shaw, I. & Brown, G.A. 2009. Comparison of resistance and concurrent resistance and endurance training regimens in the development of strength. *Journal of Strength and conditioning research* 23, 2507-2514.
- Souissi, N., Gauthier, A., Sesboue, B., Larue, J. & Davenne, D. 2002. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *Journal of Sports Science* 20, 929-937.
- Souissi, N., Bessot, N., Chamari, K., Gauthier, A., Sesboüe, B. & Davenne, D. 2007. Effect of time of day on aerobic contribution to the 30-s Wingate test performance. *Chronobiology International* 24, 739-748.
- Souissi, N., Driss, T., Chamari, K., Vandewalle, H., Davenne, D., Gam, A., Fillard, J.R. & Jousselin, E. 2010. Diurnal variation in Wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiology International* 27, 640-652.
- Taipale, R.S., Schumann, M., Mikkola, J., Nyman, K., Kyröläinen, H., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2014. Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: the “order effect” in recreationally endurance trained runners. *Journal of Sport Sciences* 32, 1155-1164.
- Takai, Y., Ohta, M., Akagi, R., Kato, E., Wakahara, T., Kawakami, Y., Fukunaga, T. & Kanehisa, H. 2013. Validity of ultrasound muscle thickness measurements for predicting leg skeletal muscle mass in healthy Japanese middle-aged and older individuals. *Journal of Physiological Anthropology*

- Tanaka, H. & Swensen, T. 1998. Impact of resistance training on endurance performance a new form of cross-training? *Sport Medicine* 25, 191-200.
- Taylor, A.W. & Bachman, L. 1999. The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. *Canadian Journal of Applied Physiology* 24, 41-53.
- Taylor, K., Cronin, J.,B., Gill, N., Chapman, D., W. & Sheppard, J., M. 2011. Warm-up affects diurnal variation in power output. *International Journal of Sport Medicine* 32, 185-189.
- Teo, W., Newton, M.,J. & McGuigan, M.,R. 2011. Circadian rhythms in exercise performance: Implications for hormonal and muscular adaptation. *Journal of Sports Science and Medicine* 10, 600-606.
- Urho Kekkosen Kuntoinstituuttisäätiö. www.ukkinstituutti.fi.
- Van Custem, M., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1998. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *Journal of Physiology* 513, 295-305.
- Williamson, D.L., Gallagher, P.M., Carroll, C.C., Raue, U. & Trappe, S.W. 2001. Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans. *Journal of Applied Physiology* 91, 1955-1961.
- Wilson, J. M., Marin, P.J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C. Loenneke, J. P & Anderson, J. C. 2012. Concurrent Training: A Meta-Analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26, 2293-2307.
- Zatsiorsky, V.M. & Kraemer, W.J. 2006. Science and practice of strength training. 2. painos. *Human Kinetics*. Champaign Yhdysvallat.