

**VUOROKAUDEN ERI AIKONA SUORITETUN  
VOIMAHARJOITTELUN  
VAIKUTUS HYPERTROFIAAN JA VOIMAAN**

Markus Lind

Pro gradu työ

Syksy 2005

Jyväskylän Yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Markus Lind

Työn ohjaaja Avela J.

## TIIVISTELMÄ

Lind, Markus Harald (2005). VUOROKAUDEN ERI AIKONA SUORITETUN VOIMAHAJOTTELUN VAIKUTUS HYPERTROFIAAN JA VOIMAAN. Biomekaniikan pro – gradu tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää aikaspesifisen voimaharjoittelun vaikutusta lihaksen poikkipinta – alojen ja koko lihaksen volyymin kasvuun sekä maksimaaliseen voimantuottoon. Toinen voimaharjoitteluryhmä (MORNING, n= 13) suoritti voimaharjoittelun aamulla (7.00 – 9.00) ja toinen (EVENING, n= 15) iltapäivällä (16.00 – 18.00). Kolmas ryhmä toimi kontrollina (CONTROL, n= 14). Ennen ja jälkeen aikaspesifisen voimaharjoitusjakson koehenkilöiltä mitattiin antropometriset muuttujat, maksimaalinen jalkakyykky, oikean jalan nelipäisen reisilihaksen volyyymi (VOL) ja 12 poikkipinta – alaa (CSA 2 – 14/15) sekä maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen oikean jalan ojennuksen vääntömomentti (MVC) kolme kertaa päivässä (aamu: 7.00 – 8.00, iltapäivä: 16.30 – 17.30 ja ilta: 20.00 – 21.00). MORNING ( $5,7 \pm 9,2\%$ ) ja EVENING ( $5,7 \pm 8,1$ ) ryhmien jalkakyykky ei kasvanut tilastollisesti merkitsevästi kontrolliin nähden ( $2,8 \pm 4,5\%$ ). Lihaksen volyyymi ( $p < 0,001$ ) ja kaikki poikkipinta-alat ( $p < 0,01 - 0,001$ ) kasvoivat MORNING ja EVENING ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi verrattuna CONTROL ryhmään nähden. MVC:n suoritustaso MORNING ryhmällä kasvoi aamulla suoritettuna  $13,2 \pm 15\%$  ja illalla  $10,9 \pm 11\%$  ja EVENING ryhmällä aamulla suoritettuna  $12,4 \pm 12\%$  ja illalla  $13,7 \pm 10\%$ . Minkään mittausajankohdan muutos ollut tilastollisesti merkitsevä kummallakaan harjoitteluryhmällä CONTROL (aamu  $4,5 \pm 15\%$  ja ilta  $5,9 \pm 9,8\%$ ) ryhmään verrattuna, eivätkä muutokset ryhmien sisällä olleet tilastollisesti merkitseviä. Yhteenvedona voidaan tuloksista todeta että voimaharjoittelun suorittaminen eri vuorokauden aikaan ei saanut systemaattisia muutoksia aikaan ryhmien välille. MVC:ssä oli suuntausta aikaspesifiseen adaptaatioon. Näin ollen on mahdollista, että jos adaptaatio on aikaspesifinen, 10 viikon voimaharjoittelujakso ei ole ollut riittävän pitkä saamaan aikaan aikaspesifistä adaptatiota.

Avainsanat: voima, voimaharjoittelu, hypertrofia, kronobiologia.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	6
2 LUURANKOLIAKSEN TOIMINTA	8
2.1 Luurankoliuksen rakenne ja toiminta	8
2.1.1 Keskus- ja ääreishermosto	8
2.1.2 Lihaksen rakenne ja toiminta	8
2.1.3 Motorinen yksikkö	9
2.1.4 Ärsytys-supistus koplaus	10
2.1.5 Energia-aineenvaihdunta	11
2.1.6 Lihaksen voimantuottotavat	12
2.2 Luurankoliuksen voiman kehittymiseen vaikuttavat tekijät	12
2.2.1 Hermoston adaptaatio	12
2.2.1.1 Motoristen yksiköiden rekrytointi	13
2.2.1.2 Motoristen yksiköiden syttymistiheyden kasvaminen	14
2.2.1.3 Motoristen yksiköiden välinen synkronisaatio	14
2.2.1.4 Synergisti aktivaatio	15
2.2.1.5 Antagonisti aktivaatio	16
2.2.2 Lihaksen adaptaatio	17
2.2.2.1 Hypertrofia ja solujakauma	17
2.2.2.2 Muut muutokset	18
3 HYPERTROFIA	20
3.1 Voimaharjoittelun vaikutus lihassolujen kasvuun	20
3.1.1 Proteiinisynteesi	20
3.1.2 Solun poikkipinta-alan muutokset	22
3.1.3 Lihassolujen kasvu solutyypeittäin	22
3.1.4 Solutyypien muutokset	22

3.1.5 Muut muutokset	23
3.2 Hyperplasia	24
3.2.1 Solujen lisääntyminen kehityksen myötä	24
3.2.2 Hyperplasia aikuisessa lihaksessa	25
3.2.3 Hyperplasia ihmisen lihaksessa	25
3.3 Satelliittisolut	27
3.3.1 Satelliittisolut ja hypertrofia	27
3.3.2 Harjoittelun vaikutus satelliittisoluihin	28
4 KRONOBIOLOGINEN RYTMİ JA FYYSINEN SUORITUSKYKY	29
4.1 Kronobiologinen rytmi	29
4.1.1 Kronobiologia	29
4.1.2 Kronobiologisen rytmin mekanismi	30
4.2 Kronobiologisen rytmin vaikutus suorituskykyyn ja hormonitasojen vuorokausivaihtelu	31
4.2.1 Kronobiologisen rytmin vaikutus hermolihäsjärjestelmän suorituskykyyn	31
4.2.2 Hormonitasojen vuorokausivaihtelu ja lihasvoima	33
4.2.3 Harjoitteluajan vaikutus voimaharjoitteluun ja muihin harjoittelumuotoihin	36
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT	38
6 MENETELMÄT	39
6.1 Koehenkilöt	39
6.2 Mittausasetelma	39
6.3 Mittaukset ja analyysit	40
6.3.1. Jalkakyykky	40
6.3.2. Maksimaalinen tahdonalainen isometrinen oikean polven ojennus	41
6.3.3. Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala ja volyymi	42
6.4 Harjoittelu	43

6.5 Tilastolliset analyysit	45
7 TULOKSET	46
7.1 Antropometria	46
7.2 Lihaksen poikkipinta-ala ja volyymi	47
7.3 Jalkakyykky	51
7.4 MVC vuorokauden eri aikoina	52
8 POHDINTA	54
8.1 Fyysinen suorituskyky vuorokauden eri aikoina	55
8.2 Lihaksen poikki – pinta ala ja volyymi	57
8.3 Jalkakyykky ja MVC	58
8.4 Tutkimuksen toteutus	61
8.5 Jatkotutkimusehdotuksia	63
8.6 Yhteenveto	64
9 LÄHTEET	63

# 1 JOHDANTO

Ihmisen suorituskyky vaihtelee vuorokauden aikana ajan funktiona. Vaihtelu voi olla jopa 10 % suoritustasojen välillä (Winget ym. 1994) vuorokauden eri aikana. Rytmia kutsutaan kronobiologiseksi rytmiksi ja ilmiön tutkimista kronobiologiaksi. Tähän rytmiin vaikuttaa monet biokemialliset, psykologiset ja mentaaliset tekijät (Lemmer 1999). Rytmii on määritelty säännöllisesti muuttuvien komponenttien (esim. plasman kortisoli) avulla mittaamalla niitä useita kertoja ajan funktiona (Haus & Touitou 1994). Eri muuttujilla (suorituskyky, hormonitasot, jne.) on oma kronobiologinen rytminsä.

Fyysisen suorituskyvyn päivittäisestä vaihtelusta on tehty lukuisia tutkimuksia ja julkaisuja. Nykyinen vallallaan oleva teoria sitoo fyysisen suorituskyvyn rytmin läheisesti ruumiinlämmön sekä ”sleep/wake” syklin kronobiologiseen rytmiin (Reilly & Bangsbo 1999 ja Rutenfranz & Colquhoun 1979). Monet tutkimukset ovat todistaneet, että lihasvoimalla ja teholla on vaihtelua vuorokauden eri aikoina – esimerkiksi puristusvoimassa, tasajalkahypyssä, käsivarren koukistuksen vääntömomentissa, vertikaalihypyssä, penkkipunnerruksen tehossa, maksimaalisessa isokineettisessä ja isometrisessä jalan voimassa, sykkeessä ja verenpaineessa porraskävelyn aikana (Reilly&Down 1992, Reilly 1990, Gauthier ym. 2001, Stockton ym. 1978, Wyse ym. 1994, Raschka ym 2002). Kaikissa em. tutkimuksissa on havaittu että suorituskyvyn huippu on päivällä ja/tai iltapäivällä (12:00 ja 18:00) ja matalin suorituskyvyn taso on aamulla.

Tutkimuksia, joissa on tutkittu eri vuorokauden aikana suoritettujen harjoittelun vaikutusta suorituskykyyn, on tehty erittäin vähän. Torii ym. (1992) selvittivät, että aerobisella harjoittelulla (30 minuuttia 60% VO<sub>2</sub> maksimiarvosta neljä kertaa viikossa neljän viikon ajan) suoritettuna kolmen aikaan iltapäivällä on paljon suurempi vaikutus kuin yhdeksän aikaan aamulla suoritettuna harjoittelulla. Samanlaisella tutkimusprotokollalla Hill ym. (1989) löysivät, että adaptaatio oli spesifinen harjoitteluajankohdalle kaikille muille kestävyysmuuttujille paitsi VO<sub>2</sub>:lle anaerobisen kynnyksen kohdalla. Souissi ym. (2002) löysivät voimaharjoittelututkimuksessaan, että kuuden viikon voimaharjoittelun jälkeen molemmat ryhmät (aamu- ja iltaryhmä) paransivat merkitsevästi suorituskykyään Wingaten

polkupyörätestissä ja jalan ojennuksen huippuvääntömomentissa spesifisesti sillä vuorokauden ajankohdalla millä he olivat harjoitelleet.

Tutkimuksia eri vuorokauden aikana suoritettujen harjoittelun vaikutuksesta fyysiseen suorituskykyyn on tehty todella vähän. Varmistettua tietoa ei ole saatu, että onko tietyllä vuorokauden ajankohdalla suoritettulla harjoittelulla etua johonkin toiseen vuorokauden ajankohtaan. Jos harjoittelulla on aikaspesifinen adaptaatio, olisi myös optimaalisen lihasvoiman ja kasvun aikaansaamiseksi otettava huomioon harjoitteluajankohta. Tutkimusta, jossa tutkittaisiin aikaspesifisen voimaharjoittelun vaikutusta lihaksen voimien ja lihaksen koon kasvuun ei ole tehty.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, että onko voimaharjoittelulla eri vuorokauden ajankohtana suoritettuna erilainen vaste lihaksen voimaan, lihaksen koon kasvuun ja onko lihaksen kasvu harjoitteluajankohdasta spesifistä. Lisäksi selvitetään onko voiman kasvu harjoitteluajankohdasta spesifistä ja onko oikean jalan maksimaalisella voluntaarisella isometrisellä oikean jalan ojennuksella suorituskyvyn vaihtelua vuorokauden eri aikoina ja jos on muuttuuko se ja miten 10 viikon voimaharjoittelun seurauksena, joka oli yhdistelmä nopeus- ja voimaharjoitteluohjelma (High-Speed/High-Load, HS/HL). Tämä pro – gradu tutkimus oli osa liikuntabiologian laitoksen ja terveystieteiden tiedekunnan yhteistä MA – Study 2004 voimaharjoittelututkimusta.

## **2 LUURANKOLIAKSEN TOIMINTA**

### **2.1 Luurankolihasrakenteen ja toiminta**

#### **2.1.1 Keskus- ja ääreishermosto**

Hermosto jaetaan rakenteen ja toiminnan mukaan ääreis- ja keskushermostoon. Keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin. Ääreishermostoon kuuluvat sensoriset hermot, jotka tuovat käskyjä aivoille ja motoriset hermot, jotka vievät käskyjä lihaksille (Vander ym. 1990, 168.)

Tahdonalaisissa liikkeissä lihas saa supistumiskäskyn aivoista joista käsky siirtyy hermoroja pitkin selkäyttimeen. Sieltä käsky etenee liikehermosoluja eli  $\alpha$  - motoneuroneja pitkin lihakseen saaden aikaan lihaksen supistumisen (Kardel 1990; Enoka 1994, 136.)

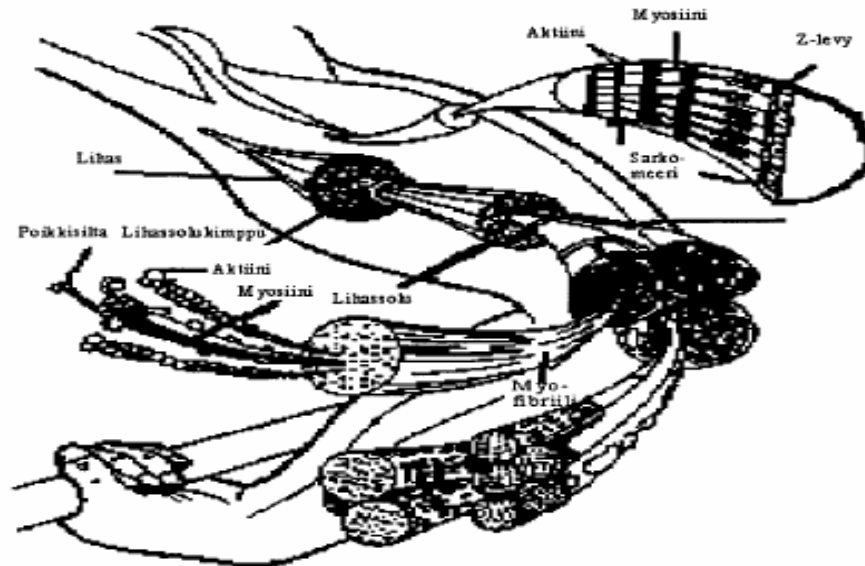
Ääreishermoston sensoriset hermot tuovat tietoa keskushermostolle mm. lihaksen pituudesta ja sen muutoksista (lihassukkula) sekä lihaksen hetkellisistä voimatasoista (Golgin jänne-elin). Näiden elinten tiedoilla voidaan lisätä tai vaikeuttaa supistumiskäskyn etenemistä lihakseen (Binder ym 1977; Hasan & Stuart 1984.)

#### **2.1.2 Lihaksen rakenne ja toiminta**

Luurankolihas koostuu lihassolukimpuista, joissa on useita lihassoluja. Näiden kaikkien rakenteiden ympärillä on sidekudoskalvo joka lihaksen päässä muodostuu jänneeksi. Lihassolu muodostuu supistumiseen kykenevistä valkuaisaineista eli myofibrilleistä sekä T-tubulus järjestelmästä ja sarkoplasmaattisesta retikulumista, jotka välittävät supistumiskäskyn. Lihassolussa myofibrillejä on useita vierekkäin ja ne ovat



pituussuunnassa jakautuneet useaan sarkomeeriin. Sarkomeerit toisistaan erottaa Z-levy, johon aktiinifilamentit kiinnittyvät. Myosiinifilamentit sijaitsevat sarkomeerin keskellä (Kuva 1) (Huxley 1957; Huxley & Simmons 1971.)



Kuva 1. Lihaksen rakenne (Häkkinen 1990, 18).

### 2.1.3 Motorinen yksikkö

Yhtä hermosolua ja sen hermottamia lihassoluja kutsutaan motoriseksi yksiköksi, joka on hermo-lihasjärjestelmän pienin toiminnallinen yksikkö. Sen koko riippuu käyttötarkoituksesta. Suurta voimantuottoa vaadittaessa voi yhdessä motorisessa yksikössä olla tuhansia lihassoluja. Tarkkuutta vaativissa tehtävissä voi yksi hermosolu hermottaa vain noin kymmentä lihassolua (McPherdan ym. 1965; Herzog 1994.)

Sähköinen viesti eli aktiopotentiaali leviää välittäjäaineen avulla hermolihhasliitoksen kautta lihassoluihin aiheuttaen lihassupistuksen. Koska aktiopotentiaali leviää joka pätehaaraan toimii motorinen yksikkö kaikki tai ei mitään periaatteella (Enoka 1994, 165; Herzog 1994.)

Motorinen yksikkö tuottaa voimaa toistuvilla supistuksilla, eli lihas rentoutuu ja supistuu nopeasti. Usein hermotus on kuitenkin niin nopeaa, että lihas ei ehdi rentoutumaan. Tällöin on kyse tetanisaatiosta. Lihaksen voimantuottoa voi lisätä lisäämällä motorisen yksikön syttymistiheyttä tai rekrytoimalla lisää motorisia yksiköitä (Woodbury ym. 1965.)

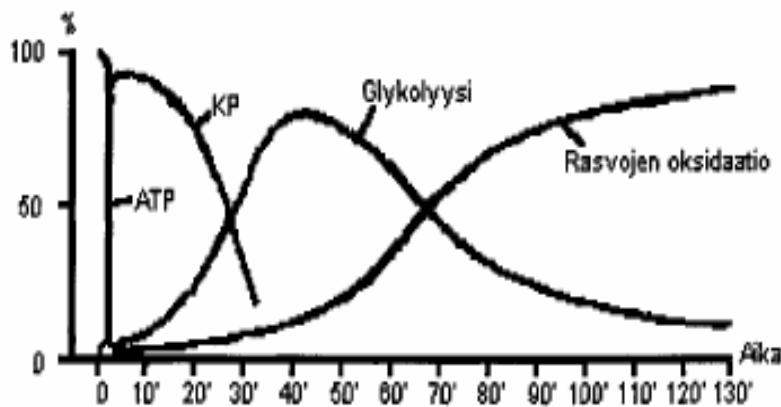
Motoriset yksiköt voidaan jakaa mekaanisten ja kemiallisten ominaisuuksien mukaan nopeisiin ja hitaisiin yksiköihin. Nopea motorinen hermo hermottaa nopeita lihassoluja ja hidas hitaita. Nopeat motoriset yksiköt jaetaan vielä kahteen eri tyyppiin I<sub>a</sub> ja I<sub>b</sub> ominaisuuksien mukaan. Tyyppin I<sub>b</sub> solut ovat nopeampia ja väsyvät myös nopeammin kuin Tyyppin I<sub>a</sub> solut. Nopeat tuottavat voimaa enemmän ja nopeammin kuin hitaat, mutta toisaalta myös väsyvät nopeammin. Näiden motoristen yksiköiden suhde eri lihaksissa vaihtelee (Edington & Edgerton 1976, 52-54; Edgerton ym. 1975.)

#### **2.1.4 Ärsytys- supistus koplaus**

Keskushermostosta tulee käsky, joka johtaa  $\alpha$  - motoneuronien aktivoitumiseen. Hermon aktiopotentiaali saa aikaan hermolihasliitoksessa välittäjäaineen, asetyylikoliinin, vapautumisen, joka taas saa aikaan lihassolukalvon päätelevyissä depolarisaation. Depolarisaatio aloittaa aktiopotentiaalilin lihassolukalvolla aktivoimalla natrium-kalium kanavat. Aktiopotentiaali leviää T-tubulussysteemiin, joiden aktiopotentiaali saavat aikaan sarkoplasmaattisen retikulumiin varastoituneiden kalsiumin vapautumisen myoplasmiin. Solunsisäinen kalsiumkonsentraatio kasvaa ja se sitoutuu troponiini C:hen, joka aiheuttaa tropomyosiinin siirtymisen pois aktiinin aktiivisista osista. Myosiinin ja aktiinin toiminta on tämän jälkeen mahdollista ja niiden välillä muodostuu poikittaissiltoja. ATP:lla toimiva pumppu pumppaa kalsiumia takaisin sarkoplasmaattiseen retikulumiin. Käskytyksen loppuessa kalsiumin vapautuminen loppuu, se irtoaa troponiini C:stä, poikittaissiltasykli loppuu ja lihassolu relaxoituu (Huxley 1957; Huxley & Simmons 1971; Westerblad ym. 1991.)

## 2.1.5 Energia - aineenvaihdunta

Lihassupistus vaatii energiaa, jota saadaan lihakseen varastoituneesta välittömästä energialähteestä, adenosiinitrifosfaatista (ATP). ATP pilkkoutuu lihassupistuksessa ADP:ksi (adenosiinidifosfaatiksi) ja samalla se luovuttaa energiaa. Voimantuotossa käytetyt energialähteet voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin. Välittömiin kuuluu ATP ja kreatiinifosfaatti (KP) ja välillisiin kuuluvat hiilihydraatit, rasvat ja erikoistapauksissa proteiinit. Eri energialähteiden käyttö on kuvattu kuvassa 2. (Keul ym. 1969, 37-39; Guyton 1986, 1009-1010.)



Kuva 2. Eri energialähteiden osuus energiantuotannosta eripituisissa suorituksissa (mukailtu lähteestä Keul ym. 1969, 38).

Välittömiä energianlähteitä lihaksessa on vähän. Maksimaalisissa suorituksissa ATP kuluu loppuun jo muutamissa sekunneissa, joten ATP:tä on uudelleen muodostettava. Nopein tapa on käyttää lihaksen KP – varastoja. Yhdessä ne riittävät noin 5 – 10 sekunnin suoritukseen. ATP:tä ja KP:ta käytettäessä ei muodostu maitohappoa (Keul ym. 1969, 37-39; Karlsson 1971; Jacobs 1981.)

Glykolyysi on toinen anaerobinen tapa muodostaa ATP:tä. Tällöin käytetään lihaksen omia glykogeenivarastoja tai veren lihassoluun kuljettamaa glykogenia. Tällöin muodostuu

laktaattia joka edelleen hajoaa. Toinen hajoamistuote, vetyionit laskevat pH:ta mikä taas vaikuttaa lihasväsymykseen. Tämä energianmuodostustapa riittää maksimaalisessa suorituksessa noin 45 sekunniksi (Keul ym. 1969, 37-39; Hultman 1980.)

Aerobisesti ATP:tä voidaan muodostaa maksan ja lihasten glykokeenivarastoista, sekä elimistön rasvavarastoista. Tämä energian muodostustapa tulee hallitsevaksi noin kahden minuutin kuluttua suorituksen alkamisesta. Suoritusteho on tällöin matala, mutta se voi kestää useita tunteja. Käytännössä kaikki nämä energialähteet on käytössä päällekkäin suorituksen alettua, mutta harjoituksen intensiteetti ja kesto määräävät pääenergialähteen (Keul ym. 1969, 37-39; Guyton 1986, 1009-1010.)

### **2.1.6 Lihaksen voimantuottotavat**

Lihaksen voimantuotto jaetaan yleisesti konsentriseen, eksentriseen ja isometriseen lihastyötapaan. Isometrisessä lihastyötavassa ulkoinen kuorma on yhtä suuri kuin tuotettu voima. Tällöin lihas-jännekompleksin pituus ei muutu. Konsentrisessa lihastyötavassa liike on positiivinen (voima > kuorma), eli lihas supistuu ja lyhenee. Eksentrisessä lihastyötavassa jännittyntä lihasta venytetään ulkoisella kuormalla ja liikkeen suunta on negatiivinen. Eniten voimaa pystytään tuottamaan eksentrisessä ja vähiten konsentrisessa lihastyötavassa. Eksentrisessä lihastyötavassa sidekudokset vastustavat ulkoista kuormaa ja näin lisäävät voimaa. Isometrisessä lihastyötavassa on enemmän poikittaisiltoja kiinni kuin konsentrisessa (mm. Komi 1973; Komi 1984.)

## **2.2 Luurankolihasvoiman kehittymiseen vaikuttavat tekijät**

### **2.2.1 Hermoston adaptaatio**

Voimantuotto on hermoston ja lihaksen yhteistyötä. Lihas toimii ikään kuin moottorina ja hermosto sen kaasuttimena. Voimantuotto on hermostolle erittäin haastava tehtävä.

Ensimmäinen haastava tehtävä on työtä tekevän lihaksen eli agonistin täysi aktivaatio. Toinen tehtävä on aktivoida muita samaa tehtävää tekeviä lihaksia eli synergistejä ja kolmantena on ohjata liikkeen vastavaikuttajia eli antagonisteja (Sale, (s. 281). lähteessä Komi 2002.) Kolme eri asiaa vaikuttaa agonistin voimantuoton suurenemiseen hermostollisen ohjauksen avulla; motoristen yksiköiden rekrytoinnin muuttuminen, syttymistiheyden kasvaminen ja niiden välinen synkronisaation muuttuminen (Duchateau & Hainaut (s. 321) lähteessä Komi 2002). Moritani & DeVriesin klassinen tutkimus (1979) selvitti hermoston ja lihaksen adaptaatiot ja niiden muuttumisen ajan mukaan. Hermoston adaptaatio vaikuttaa harjoitusohjelman alussa ja sen jälkeen hypertrofia ottaa vallan voiman kasvusta (Moritani & deVries 1979). Kun tasannevaihe molempien muuttujien adaptaatiolle on saavutettu, on voiman parannus enää vähäistä tai sitä ei ole enää (Häkkinen ym. 1998, 1991; Alway ym. 1992).

### **2.2.1.1 Motoristen yksiköiden rekrytointi**

Henneman esitti vuonna 1965 (Henneman ym. 1965), että motoriset yksiköt syttyvät koon mukaan. Tämä periaate tarkoittaa sitä että pienet (hitaat) motoriset yksiköt aktivoituvat pienemmillä syttymiskynnyksillä kuin suuret (nopeat) motoriset aktivoituvat suurilla syttymiskynnyksillä. Tämä periaate on todettu toimivan ihmisillä isometrisessä suorituksessa (Milner- Brown ym. 1973) sekä myös ballistisissa suorituksissa (Desmedt & Godaux 1977; Garland ym. 1996). Syttymistiheyden mittaaminen on vaikeaa ja yleensä pintaelektrodeilla se on mahdotonta, koska mittaustapa ottaa huomioon molemmat motorisen yksiköiden rekrytoinnin ja syttymistiheyden (Sale (s.283) lähteessä Komi 2002). Pinta-elektrodeilla on käytetty EMG mittaustekniikkaa nimeltään power density spectral analysis, joilla nämä kaksi muuttujaa on yritetty jakaa toisistaan (Solomonow ym. 1990). Käytettäessä lanka- tai neulaelektrodeja, mittaavat ne vain osan lihaksen motorisista yksiköistä, joten on vaikea sanoa onko kaikkien motoristen yksiköiden rekrytointi muuttunut (Sale (s.283) lähteessä Komi 2002). Patten ym. (2001) löysi tutkimuksessaan enemmän aktiivisia motorisia yksiköitä isometrisen voimaharjoittelun jälkeen. Ballistinen harjoittelu sai aikaan motoristen yksiköiden syttymiskynnysten siirtymisen ”vasemmalle”

Van Gutsemin tutkimuksessa (Van Gutsem ym. 1998). Keskimääräinen kynnys ilmoitettuna prosenteissa maksimaalisesta voimasta laski (Van Gutsem ym. 1998). Kuitenkaan motoristen yksiköiden rekrytointijärjestyksessä ei löydetty muutosta.

### **2.2.1.2 Motoristen yksiköiden syttymistiheyden kasvaminen**

Motoristen yksiköiden syttymistiheyden kasvu on mahdollinen mekanismiksi voiman kasvamiseen (Cracraft & Petajan 1977; Jansson ym. 1990). Syttymistiheyden on todettu kasvavan harjoittelun jälkeen monissa tutkimuksissa (Van Gutsem ym. 1998; Kamen ym. 1998; Patten ym. 2001). Poikittaistutkimuksissa on löydetty, että painonnostajilla on suuremmat syttymistiheydet kuin harjoittelemattomilla (Leong ym. 1999). Näiden tutkimusten perusteella voi todeta selvästi, että harjoittelu kasvattaa motoristen yksiköiden syttymistiheyttä.

### **2.2.1.3 Motoristen yksiköiden välinen synkronisaatio**

Motoristen yksiköiden välinen synkronisaatio on toinen muuttuja jota on usein esitetty voiman lisääjäksi. On tehty niin pitkittäis- (Milner- Brown ym. 1975) kuin poikittaistutkimuksia (Milner- Brown ym. 1975; Semmler & Nordstrom 1998; Felici ym. 2001), joissa on todettu motoristen yksiköiden synkronisaation kasvua voimaharjoittelun johdosta. Tutkimuksia on tehty niin pinta- kuin lankaelektrodeilla. On kuitenkin vaikea selittää miten Motoristen yksiköiden synkronisaatio voi kasvattaa voimaa (Sale 1998; Yao ym. 2000), mutta voi olla mahdollista, että se kasvattaa voimantuottonopeutta (Semmler & Enoka 2000). Harjoittelun jälkeisen EMG aktiivisuuden suurempi segmentoituminen ballistisissa liikkeissä voidaan katsoa johtuvan suuremmasta motoristen yksiköiden synkronisoinnista (Komi 1986) tai motoristen yksiköiden suuntauksesta toimia samalla taajuudella (Fuglevand ym. 1993). Motoristen yksiköiden väliseen synkronisaatioon vaikuttaa kroonisen fyysisen aktiivisuuden tasojen vaihtelut (Enoka 1997). Eläintutkimuksissa, joissa hermoa on stimuloitu sähköllä, on havaittu, että matalilla

taajuuksilla epäsynkroninen stimulointi on tuottanut suuremman voiman kuin synkroninen stimulointi ja suuremmilla taajuuksilla kummatkin stimulointitavat ovat olleet yhtä tehokkaita (Rack & Westbury 1969; Lind & Petrofsky 1978).

#### **2.2.1.4 Synergisti aktivaatio**

Lihakset, jotka avustavat päälihaksen liikettä kutsutaan synergisteiksi (Jamison & Caldwell 1993). Esimerkiksi biceps brachii ja brachioradialis ovat molemmat lihaksia, jotka saavat aikaan kyynärvarren koukistumisen. Kumpi toimii agonistina ja synergistinä riippuu siitä, mikä liike on kyseessä. Voimantuotossa suurin tavoite synergistin toiminnalle on saada mahdollisimman suuri voima suoritettavan liikkeen suuntaan. Monet tutkimukset ovat todistaneet että synergistin hermostollisen ohjauksen muuttuminen on harjoitteluspesifistä. Spesifisyys riippuu liikkeestä, lihastyötavasta ja liikkeen suoritusnopeudesta (Sale & MacDougall 1981). Yleinen katsontakanta on se, että voiman kasvu on suurempaa, jos voimamittaukset suoritetaan samalla lailla kuin harjoittelu (Aagard ym. 1996; Häkkinen ym. 1996; Narici ym. 1996; Wilson ym. 1996). Jos mittaus suoritetaan erilailla kuin harjoittelu voi olla, että voiman kasvua ei ole ollenkaan (Higbie ym. 1996; Harridge ym. 1999).

Synergistit toimivat eri tavalla eri suorituksissa. Suhteellinen aktivaatio nelipäisen reisilihaksen eri osissa vaihtelee liikesuorituksen mukaan. Lateraalinen ja mediaalinen osa ovat kaikista aktiivisimmillaan viimeisellä 15° polven ojennuksessa (Gryzlo ym. 1994). Painonnostoliikkeessä kaikkien osien aktivaatio on suhteellisesti yhtä suurta konsentrisessa liikkeen vaiheessa, mutta suurinta rectus femoriksessa liikkeen eksentrisessä vaiheessa (Narici ym. 1996).

Voimaharjoittelu saa aikaan muutoksia synergistien aktivaatioissa. Nelipäisen reisilihaksen isokineettinen konsentrisen harjoittelu sai aikaan spesifisen aktivaation kasvun. Aktivaatio oli harjoittelun jälkeen suurempaa vastus lateraliksessa ja intermediuksessa (Akima ym. 1999). Samansuuntaisia tuloksia on saatu muistakin tutkimuksista; polven ojennuksen

harjoittelu saa aikaan spesifisen aktivaation kasvun. Siihen voi olla syy se, että sitä lihaksen osaa missä aktivaatio on kasvanut spesifisesti, on käytetty eniten harjoittelussa tai sitä ei ole ennen harjoittelua osattu kunnolla aktivoida, jolloin sillä on suurempi reservi kasvattaa adaptaatiota (Sale (s.299) lähteessä Komi 2002).

### **2.2.1.5 Antagonisti koaktivaatio**

Agonistin lihassupistusta voi seurata antagonistin samanaikainen lihassupistus. Antagonisti on vastavaikuttaja, esimerkiksi nelipäisen reisilihaksen vastavaikuttajat ovat reiden koukistajat reiden takapuolella (mm. kaksipäinen reisilihas). Antagonistin samanaikaista aktiivisuutta agonistin kanssa kutsutaan antagonistin koaktivaatioksi. Motoristen yksiköiden rekrytointi voi vaihdella sen mukaan toimiiko lihas agonistina vai antagonistina (Bernardi ym. 1997; Carpentier ym. 1999).

Antagonistin koaktivaatio voi vähentää agonistin tuottamaa voimaa toimimalla vastakkaiseen suuntaan. Esimerkiksi maksimaalisessa polven ojennuksessa antagonistit voivat tuottaa 10 – 75% siitä voimasta mitä agonistit tuottavat riippuen liikkeen kohdasta (Baratta ym. 1988; Kellis & Baltzopoulos 1997; Aagard ym. 2000). Antagonistin koaktivaatio voi saada aikaan resiprokaalista inhibitiota, jolloin agonisti ei voi täysin aktivoitua (Milner ym. 1995). Antagonistin koaktivaatiolla tehtävänä on nivelten stabilisuuden säilyttäminen (Carpentier ym. 1996; Kellis 1998), ja liikkeiden hienosäädössä (Jongen ym. 1989). Antagonistit toimivat myös jarruttavana ja liikettä tukevana tekijänä nopeissa ballistisissa liikkeissä (Wierzbicka ym. 1986).

Harjoittelun vaikutuksesta antagonistin koaktivaatioon on saatu erilaisia tuloksia. Antagonistin absoluuttinen aktivaatio on laskenut agonistin aktivaation noustessa (Häkkinen ym. 1998; 2000b) tai agonistin aktivaation pysyessä samana (Carolan & Cafarelli 1992). Joissakin tutkimuksissa antagonistin aktivaatio on pysynyt samalla tasolla, mutta agonistin aktivaatio on kasvanut (Colson ym. 1999; Häkkinen ym. 2001). Antagonistin aktivaation väheneminen vaikuttaa kahden tutkimuksen mukaan



harjoitteluohjelman alussa (Carolan & Cafarelli 1992; Häkkinen ym. 1998) ja harjoittelun jatkaminen ei enää vähennä antagonistin aktivaatiota (Carolan & Cafarelli 1992). Carolan & Cafarellin (1992) mukaan ensimmäisen viikon voiman kasvusta kolmannes on sidoksissa antagonistin aktivaation vähenemiseen ja kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen sen suhteellinen osuus voimien kasvuun on jo alle 10 %.

## **2.2.2 Lihaksen adaptaatio**

Harjoittelun alkuvaiheessa hermoston adaptaatio on suhteellisesti suurinta, mutta harjoitteluohjelman edetessä lihaksen adaptaatio (hypertrofia) ”ottaa vallan” (Moritani & DeVries 1979). Voimaharjoittelu saa aikaan lihaksen poikkipinta-alan kasvua (MacDougall ym. 1979). Lihaksessa tapahtuu muitakin muutoksia kuin pelkästään poikkipinta-alan kasvua. Voimaharjoittelun myötä voivat myös lihassolusuhteet muuttua, jolloin tyyppin I soluja voi muuttua tyyppin II soluiksi ja päinvastoin (Andersen & Aagaard 2000). Muutoksia tapahtuu myös entsyymien pitoisuuksissa ja substraattien tasoissa. Lihaksen kasvuun liittyvät muuttujat käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.

### **2.2.2.1 Hypertrofia ja solujakauma**

Lihaksen kasvu teoriassa tapahtuu solujen koon kasvulla, solujen määrää lisäämällä, ja/tai supistuvien komponenttien määrän noususta. Lihaksen kasvuun tarvitaan yleensä useiden viikkojen progressiivinen harjoittelu. Voimakas voimaharjoitus saa aikaan vaurioita harjoitetussa lihaksessa ja se saa aikaan myofibrillien proteiinisynteesin nousun (Chesley ym. 1992). Proteiinien suurempi määrä mahdollistaa lihaksen kasvun (Lemon 2000). Hyperplasia eli lihassolujen määrän kasvu on epäselvää ja ristiriitaista. Voimaharjoittelu ei ole saanut aikaan ihmisellä hyperplasiaa niin poikittais- (MacDougall ym. 1984) kuin pitkittäistutkimuksissakin (McCall ym. 1996). Eläimillä ollaan saatu esiin hyperplasiaa harjoittelun myötä (Gonyea ym. 1986, Tamaki ym. 1997). Hypertrofia ja hyperplasia käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.

Voimaharjoittelu saa aikaan solutyypin muutoksia niin tyypin II ja tyypin I välillä kuin tyypin II sisällä. Voimaharjoittelun on todettu lisäävän tyypin IIA lihassoluja ja vähentävän tyypin IIB soluja (Staron ym. 1990, 1994; Adams ym. 1993; Carroll ym. 1998; Andersen & Aagaard 2000). Spesifinen harjoittelu tai harjoittelun lopettaminen voi muuttaa tyypin I lihassoluja tyypin II soluiksi ja päinvastoin (Simoneau 1985; Tesch & Karlsson 1985). Solujakauman muutokset käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.

#### **2.2.2.2 Muut muutokset**

Entsyymien aktiivisuus, jotka vaikuttavat aerobiseen oksidatiiviseen metabolismiin, eivät muutu voimaharjoittelun myötä (Komi ym. 1982; Houston ym. 1983; Tesch ym. 1987, 1990). Nopeissa (tyypin II) lihassoluissa entsyymiaktiivisuus oli kuitenkin suurempaa kehonrakentajilla kuin voimannostajilla (Tesch 1992). Tämä johtuu ilmeisesti kehonrakentajien pidemmistä sarjoista verrattuna voimannostajiin.

Useat tutkimukset ovat raportoineet, että voimaharjoittelu ei saa aikaan muutoksia ei-glykolyyttisten anaerobisten entsyymien (ATPase ja kreatiiniikinaasi) aktiivisuudessa (Thorstensson ym. 1976a; Häkkinen ym. 1981; Houston ym. 1983; Tesch ym. 1987, 1990). Voimaharjoittelu on saanut aikaan kuitenkin nousua myokinaasin aktiivisuudessa (Komi ym. 1986). Voimannostajilla/kehonrakentajilla on löydetty suuremmat myokinaasin aktiivisuudet tyypin II lihassoluissa kuin kontrolliryhmäläisillä (Tesch ym. 1989). Eroa tyypin I soluissa ei ollut. Kuitenkin kehonrakentajilla oli suurempi entsyymipitoisuus kuin voimannostajilla tyypin II soluissa.

Anaerobisten glykolyyttisten entsyymien aktiivisuudessa kuten fosfo-fruktokinaasin tai laktaatti dehydrogenaasin ei ole löydetty muutosta voimaharjoittelun myötä (Thorstensson ym. 1986b; Komi ym. 1982; Houston ym. 1983; Tech ym. 1987, 1990). Voimaharjoittelijoilla on kuitenkin hieman suurempi glykolyyttinen aktiivisuus nopeissa lihassoluissa kuin ei-harjoittelevilla (Tesch 1989).

Glykogeenin pitoisuuden on todettu kasvavan voimaharjoittelun myötä niin pitkittäis- (MacDougall ym. 1977) kuin poikittaistutkimuksissakin (Tesch ym. 1986). MacDougallin tutkimuksessa (1977) viiden kuukauden voimaharjoittelu kasvatti kolmipäisen ojentajalihaksen glykogeenipitoisuutta 35 %. Kehonrakentajilla löydettiin 50% enemmän glykogeenia vastus lateralis lihaksessa kuin harjoittelemattomilla (Tesch 1986). Lyhyemmän aikavälin voimaharjoittelu ei saa aikaan muutoksia glykogeenin pitoisuuksissa (Tesch ym. 1990; Goreham ym. 1999). Lepotilassa olevan lihaksen glykogeenipitoisuuden tason nostamiseen tarvitaan pidempiaikainen harjoittelu (Tesch & Alkner (s.275) lähteessä Komi 2002).

Kestävyysarjoittelu lisää lihakseen varastoituneiden rasvojen määrää (Saltin & Gollnick 1983). Ei ole selvää saako voimaharjoittelu aikaan muutoksia varastoituneiden rasvojen pitoisuuksissa. Nelipäisen reisilihaksen triglyseridien pitoisuudessa ei ole eroja kehonrakentajilla ja ei-harjoittelevilla (Essen-Gustavsson & Tesch 1990). Voimaharjoittelu on saanut aikaan muutoksia lihasten varastoituneiden rasvojen määrässä eri lihaksissa. On raportoitu tutkimuksia, jossa rasvamäärä on kasvanut (MacDougall ym. 1979), laskenut (Staron ym. 1984) tai pysynyt samassa (Luthi ym. 1986). Tesch & Alknerin mukaan ((s.276) lähteessä Komi 2002) voimaharjoittelun muoto voi vaikuttaa vasteeseen, ja eri lihaksilla voi olla erilainen vaste.

Varastoituneen ATP:n ja kreatiinifosfaatin lepotason määrän on todettu nousevan viiden kuukauden voimaharjoittelun jälkeen kolmipäisessä olkalihaksessa (MacDougall ym 1977, 1979). Kuitenkaan kolmen kuukauden nelipäisen reisilihaksen voimaharjoittelu ei saanut aikaan merkittävää kasvua näiden fosfaattien tasoissa (Tesch ym. 1990). Samanlaisia tuloksia on raportoitu tutkimuksista, joissa on ollut samanlainen intensiteetti ja kesto (Goreham ym. 1999; Volek ym. 1999). Näistä ristiriitaisista tuloksista voi spekuloida, että varastoituneiden fosfaattien nousseeseen määrän vaikuttaa se onko kyseessä asentoa ylläpitävä lihas (nelipäinen reisilihas) tai ei ylläpitävä lihas (kolmipäinen olkalihas) (Tesch & Alkner (s.275) lähteessä Komi 2002).

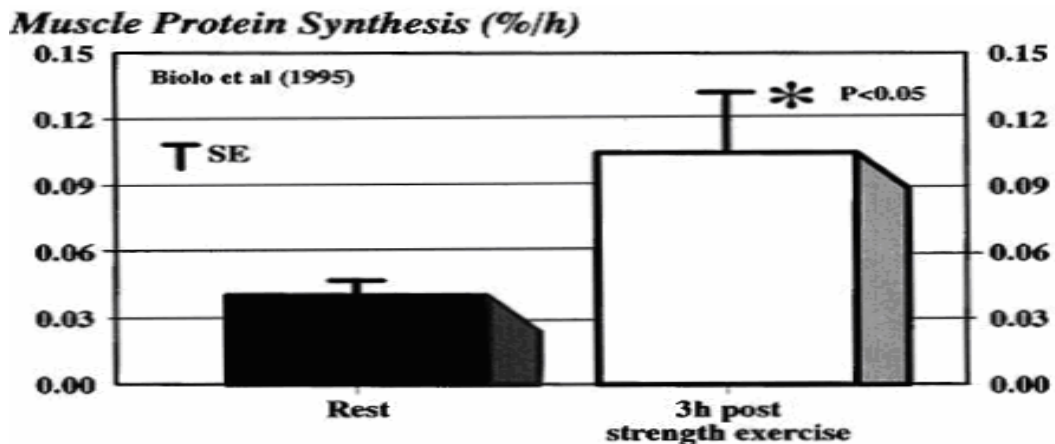
## **3 HYPERTROFIA**

### **3.1 Voimaharjoittelun vaikutus lihaksen kasvuun**

Monet tutkimukset ovat todistaneet, että voimaharjoittelu tai jonkun muunlainen mekaaninen kuormitus saa aikaan lihaksen poikkipinta-alan kasvua ihmisen lihaksissa (MacDougall ym. 1979, 1980, McDonough & Davie 1984, Tesch 1987) ja muiden nisäkkäiden lihaksissa (Timson ym. 1985). Käytännössä yksittäinen voimaharjoitus ei vaikuta lihaksen koon kasvuun, vaan siihen vaaditaan yleensä useiden viikkojen voimaharjoittelu. Teoriassa lihaskoon kasvu on kiinni solujen koon kasvusta, solujen lisääntyneestä määrästä (hyperplasia), ja/tai supistuvien komponenttien määrän kasvusta. Varhaislapsuudessa lihaskoon kasvuun vaikuttaa merkittävästi lihassolujen määrän nousu (Goldspink 1974, Mastalgia 1981, Malina 1986). Hyperplasia ja sen vaikutus aikuisen ihmisen lihaksen poikkipinta-alan kasvuun on epäselvää ja kiisteltyä.

#### **3.1.1 Proteiinisynteesi**

Voimakas voimaharjoitus aiheuttaa vaurioita harjoitetuissa lihaskudoksissa (Gibala ym. 1995) ja se saa aikaan nopean nousun myofibrillien proteiinisynteesissä (Chesley ym. 1992). Synteesi saavuttaa yleensä huippuarvon 24 tuntia harjoituksen jälkeen, mutta on pysyvä nousseena 36-48 tuntia tai joskus jopa kauemmin (MacDougall ym. 1995, Phillips ym. 1997). Tiptonin & Wolfen (1998) mukaan syy proteiinisynteesin kiihtymiseen voi olla esimerkiksi mekaaninen venytys ja/tai lisääntynyt verenkierto lihakseen. Proteiinisynteesin nousu on ilmeisesti epäsuorasti kiinni tehokkaammasta mRNA translaatiosta (Chesley ym. 1992, Welle ym. 1999).



Kuva 3. Yhden voimaharjoituskerran vaikutus lihasten proteiinisynteesiin (Biolo ym. 1995 lähteessä Lemon 2000).

Proteiinien suurempi määrä mahdollistaa myofibrillien kasvamisen ja lisääntymisen, koska aktiini- ja myosiinimolekyyliden valmistus kiihtyy. Näin ollen rinnakkaisten sarkomeerien (aktiini ja myosiinifilamenttien) määrä lisääntyy (Lemon 2000, Tesch 1998, Fleck & Kraemer 1997) ja tätä kautta myös lihassyiden paksuus lisääntyy, muutoksia ei kuitenkaan synny myofibrillien pakkaustiheydessä (MacDougall 1986b), kapillarisaatiossa, mitokondrioiden voluumeissa ja mitokondrioiden entsyymien määrässä (Schantz & Källman 1989, Tesch ym. 1984, Tesch 1989). Koska koko solun alueen kasvu suhteellisesti saavuttaa keskimääräisen myofibrillien alueiden kasvun, on selvää, että myös myofibrillien määrän on lisääntyttävä. Myofibrillien määrän lisääntyminen on ajateltu johtuvan pituuden suuntaisesta jakautumisesta ja se on havaittu nuorilla eläimillä (Goldspink 1970, 1974). Kun myofibrillit saavuttavat kriittisen koon ja voimantuottokapasiteetin, voimakkaat lihaksen supistukset ilmeisesti aiheuttavat repeämiä Z-kalvoon ja siihen syntyy kaksi tai useampia ”tytärmyofibrillejä” (Goldspink 1992).

### 3.1.2 Solutyyppien poikkipinta-alan muutokset

Solujen pinta-alojen kasvu on suorassa suhteessa myofibrillien koon ja määrän kasvun kanssa. Kasvun suuruus vaihtelee huomattavasti ja siihen vaikuttaa monet muuttujat kuten

henkilön vaste harjoitteluun (MacDougall 1986a), harjoitusohjelman kesto ja intensiteetti ja harjoitusohjelman muoto. Solujen poikkipinta-alojen muutokset harjoittelun vaikutuksesta ovat eri tutkimuksien mukaan vaihdelleet paljon. Salen (1990) tutkimuksessa ei löydetty kummankaan lihassolutyyppin pinta-alan muutosta vastus – lateralis lihaksesta kuuden harjoittelukuukauden jälkeen nuorilla naisilla ja miehillä. Kuuden kuukauden harjoittelu käden ojentajalihaksilla sai aikaan 33% kasvun tyyppin II ja 27% kasvun tyyppin I lihassolujen alassa (MacDougall ym. 1979). Käden hauislihaksessa tyyppin I lihassolujen ala kasvoi 14% ja tyyppin II 30% vanhemmilla miehillä kolmen kuukauden voimaharjoittelun myötä (Brown ym. 1988). MacDougall (ym. 1984) löysi tutkimuksessaan, että kehonrakentajilla hauislihaksen solut ovat 58% (tyyppi II) ja 39% (tyyppi I) suuremmat verrattuna samanikäisiin ei harjoitteleviin kontrollikoehenkilöihin.

### **3.1.3 Lihassolujen kasvu solutyypeittäin**

Voimaharjoittelu saa aikaan kasvun jokaisessa lihassolutyypissä, monien tutkimuksien mukaan kasvu on kuitenkin suurempaa tyyppin II lihassoluissa (Thorstensson 1976, MacDougall ym. 1979, Tesch ym. 1985, Staron ym. 1990). Kaikkien lihastyypien ajatellaan aktivoituvan maksimaalisissa ja lähellä maksimia olevissa suorituksissa, siksi suurempi hypertrofia tyyppin II lihassoluissa voi johtua niiden suhteellisesti suuremmasta osallisuudesta liikkeen suorittamiseen kuin mitä päivittäisessä elämässä tarvitaan.

### **3.1.4 Solutyyppien muutokset**

Vaikka lihassolutyyppien tunnistusmekanismi olisi myosin ATPase värjäys (Staron ym. 1990, 1994), tai myosiinin raskaan pään ketjun pitoisuus (Adams ym. 1993, Carroll ym. 1998, Andersen & Aagaard 2000) on voimaharjoittelun todettu lisäävän tyyppin IIA soluja ja suhteellisesti vähentävän tyyppin IIB soluja. Harjoittelun lopettaminen voi muuttaa takaisin tyyppin II lihassolujen muutokset (Andersen & Aagaard 2000). MacDougallin (MacDougall (s. 254) lähteessä Komi 2002) mukaan ihmisillä nämä muutokset ilmeisesti tapahtuvat

tyypin II eri lihassolujen sisällä ja on epätodennäköistä, että muutoksia tapahtuu tyypin I solumäärässä. Tällaiseen tulokseen hän päätyi omien tutkimuksiensa perusteella. Ensimmäisessä tutkimuksessa (MacDougall ym. 1980) kuuden viikon voimaharjoittelu ei saanut aikaan muutosta tyypin I lihassolujen prosentuaalisessa määrässä, sekä toisessa tutkimuksessa (MacDougall ym.1982) löydettiin sama prosenttimäärä tyypin I soluja kehonrakentajilla ja harjoittelemattomilla. Toisenlaisiakin tuloksia on raportoitu. Janssonin (Jansson ym. 1978) tutkimuksessa harjoiteltiin anaerobisesti, ja sen jälkeen aerobisesti. 11 viikon anaerobinen harjoittelu lisäsi lukumääräisesti tyypin IIc soluja ja tyypin I solut vähenivät ja sen jälkeisen 18 viikon aerobisen harjoittelun jälkeen muutos oli toisensuuntainen. Myös pikajuoksuharjoittelussa on löydetty samansuuntaisia muutoksia, nopeiden solujen lukumääräistä nousua ja hitaiden laskua (Dawson ym. 1998, Jacobs 1987). Näiden tulosten mukaan spesifinen harjoittelu tai harjoittelun lopettaminen voi muuttaa tyypin I lihassoluja tyypin II soluiksi ja päinvastoin (Simoneau 1985, Tesch & Karlsson 1985). McArdlen ym. (McArdle ym. 2001, 534-535) mukaan on enemmän kuin todennäköistä, että geneettisellä koodilla on suurin vaikutus solujakaumaan, mahdollisuus on kuitenkin solutyypin muodonmuutokseen spesifisellä harjoittelulla.

### **3.1.5 Muut muutokset**

Ei supistuvan komponentin osuus lihaksen volyymista on MacDougall (MacDougall ym. 1984) mukaan 13 %, josta kollageenia on 6 % ja 7 % on muita kudoksia. Sen suhteellinen määrä pysyy melko samana, niin kehonrakentajilla kuin harjoittelemattomillakin. Voimaharjoittelun myötä sen absoluuttinen määrä lisääntyy mutta relatiivinen määrä pysyy samassa, joten sen vaikutus lihaksen kasvuun on erittäin pientä.

Supistuvien proteiinien määrän nousu vaikuttaa laskevasti mitokondrioiden osuuteen lihassolussa, josta tuloksena on merkitsevä lasku mitokondrioiden tiheydessä (MacDougall ym 1979, Luthi ym. 1986, Chilibeck ym 1999) ja oksidatiivisten entsyymien aktiivisuudessa (Tesch 1987, Masuda ym. 1999). Sarkoplasmaattisen retikuluminin ja T-

tubuluksen tiheys pysyy suhteellisesti samana molemmissa lihassolutyypeissä (Alway ym. 1989).

Kestävyysharjoittelussa kapillaaritiheys kasvaa, mutta voimaharjoittelussa on saatu ristiriitaisia tuloksia. Muutamat tutkimukset ovat raportoineet laskua kapillaarien tiheydessä (Tesch ym. 1984, MacDougall 1986b) ja muutamat ovat taas raportoineet tiheyden pysyvän samassa tai jopa hieman nousevan (Green ym. 1999, McCall ym 1996).

## **3.2 Hyperplasia**

### **3.2.1 Solujen lisääntyminen kehityksen myötä**

Yleinen oletus on, että syntymän jälkeen ihmisellä on kaikki lihassolut ovat käytössä ja ne eivät lisäänty (Fischman 1972, Mastalgia 1981, Malina 1986). Syntymän jälkeinen lihaskasvu on solun alan ja solun pituuden kasvun tulosta. Lihaksen pituuskasvu tapahtuu sarkomeerejä lisäämällä lihassolujen päihin ja se jatkuu kunnes pituuskasvu pysähtyy. Lihaksen pituuden ja solun alan kasvuun vaikuttaa lihaksen tumien suhteellisen määrän nousu. Nämä tumat ajatellaan saaneen alkunsa satelliittisoluista (Goldspink 1974, Malina 1986), jotka taas ovat saaneet alkunsa myoblasteista, jotka eivät muodostuneet myotuubeiksi kehityksen alussa (White & Esser 1989). Jotkut aikaisemmin tehdyt tutkimukset ovat raportoineet lihassolujen määrän nousua heti syntymän jälkeen esim. rotilla (Chiakulus & Pauly 1965, Rayne & Crawford 1975) ja täten on muutamia mekanismeja ehdotettu vaikuttavan hyperplasiaan: solujen uudelleen muodostuminen jäljellä jääneistä myoblasteista, pitkittäissuuntainen jakautuminen olevassa olevista soluista, lyhyiden lihassolujen kasvu täyteen mittaan ja epäkypsien solujen kasvu, jotka eivät ole päässeet kasvamaan jonkun muun solun ollessa edessä. Kuitenkin elektronimikroskoopilla tarkastettuna kaksi ensimmäisenä mainittua ei ilmeisesti vaikuta lihassolujen määrään vastasyntyneillä rotilla, solumäärän lisäys voi olla kahden viimeksi mainitun prosessin vaikutusta (Ontell & Dunn 1978, Mastalgia 1981).



### **3.2.2 Hyperplasia aikuisessa lihaksessa**

Morpurgon tutkimuksen (1897) perusteella, jossa hän harjoitti koiria juoksumatolla, on yleisesti hyväksytty, että solujen määrä ei lisäännä aikuisilla nisäkkäillä, vaan lihaksen kasvu tapahtuu jo olemassa olevien solujen kasvulla. Kuitenkin 70-luvulla raportoitiin muutamia tutkimuksia, jossa muutamilla eläinlajeilla harjoittelun myötä tapahtui myös solujen lisääntymistä normaalin lihassolun kasvun lisäksi (Reitsma 1969, Gonyea ym. 1977, Sola ym. 1973, Gonyea 1980). Gollnick kehitti vuonna 1981 uuden tavan tulkita lihassolujen määrää, jonka perusteella aiemmat tulkinnat voivat olla vääriä. Hänen tutkimuksessaan (1981) jokainen lihassolu eristettiin ja laskettiin. Rottien juoksumattoharjoittelu ei lisännyt rottien lihassolujen määrää, lihaksen kasvu tapahtui jo olemassa olevien solujen hypertrofian myötä. Voimaharjoittelua suorittaneilla kissoilla taas löydettiin 9% enemmän lihassoluja samaa laskentatapaa käyttäen (Gonyea ym. 1986). Muissakin tutkimuksissa on löydetty solujen hyperplasiaa voimaharjoittelua suorittaneilla eläimillä (Giddings & Gonyea 1992, Tamaki ym. 1997).

Jatkuvan venytyksen vaikutus on erittäin potentiaalinen stimulus lihaksen kasvulle. 37 päivän jatkuva venytys linnun siivelle sai aikaan 82% nousun siiven lihassolujen määrässä (Antonio & Gonyea 1993a). Kelley (1996) päätteli, että ylikuormitettu venytys on kaikista tehokkain keino hyperplasiaan ja se näyttää vaikuttavan enemmän siivekkäillä kuin nisäkkäillä.

### **3.2.3 Hyperplasia ihmisen lihaksessa**

Sitä tapahtuuko hyperplasiaa ja missä määrin aikuisen ihmisen lihaksessa on epäselvää ja ristiriitaista. Epäsuorat todisteet perustuvat solun koon mittaamiseen (MacDougall ym. 1982, Tesch & Larsson 1982) ja lihassolujen määrän arvioimiseen yksittäisestä motorisesta yksiköstä (Larsson & Tesch 1986). Näissä tutkimuksissa tuli esille, että muutamilla

kehonrakentajilla oli lihassoluja enemmän kuin harjoittelemattomilla. Kuitenkin suurempi lihassolumäärä voi johtua perinnöllisistä tekijöistä.

MacDougallin (MacDougall ym. 1984) tutkimuksessa vertailtiin kahden kehonrakentajaryhmän ja yhden kontrolliryhmän hauislihasta. Hypoteesina oli se, että jos hyperplasiaa on olemassa, on hauislihas sellainen lihas, jossa hyperplasian näkisi lihaksen suuremmassa solumäärässä, koska joillakin kehonrakentajilla oli jopa kolme kertaa paksumpi lihas kuin joillakin kontrolliryhmäläisillä. Tutkimuksessa tuli esille se, että kaikkien kolmen ryhmän keskimääräinen solumäärä oli samanlainen ja niillä kenellä oli suurempi lihas, oli myös enemmän soluja. Siksi tällainen harjoittelu ei vaikuta merkitsevästi lihassolujen lukumäärään. McCall (McCall ym. 1996) tutki 12 viikon intensiivisen harjoittelun vaikutusta hauislihaksen solumäärään ja ei löytänyt siinä mitään muutosta. Olettamus oli, että biopsia näyte edustaa koko lihasta, samoin kuin oli edellä mainitulla tutkimuksella. Sjostrom (Sjostrom ym. 1991) löysi tutkimuksessaan, että oikeakätisillä ihmisillä on vasemmassa jalassa (tukijalka) 9,8% enemmän lihassoluja kuin oikeassa jalassa, mutta yksittäisten solujen pinta-alassa ei ollut muutosta jalkojen välillä.

Jotkut tutkijat ovat julkaisseet tutkimuksia, jossa voimaharjoitelleilla nisäkkäillä olisi solumäärä kasvanut (Gonyea ym. 1986, Tamaki ym. 1997), mutta useimmissa tutkimuksissa hyperplasiaa ei ole ollut (Gollnick 1981, Timson ym. 1985). Tutkijat, jotka ovat käyttäneet menetelmänä venytystä siivekkäillä, ovat saaneet aikaan merkitsevää hyperplasiaa esim. Antonio (Antonio & Gonyea 1993a). MacDougallin mukaan (MacDougall s.258 lähteessä Komi 2002) suurempi hypertrofia siivellisillä kuin nisäkkäillä on kiinni mittaustekniikasta. Samoin voimaharjoittelu ihmisillä ei tuota riittävän suurta venytystä, että hyperplasiaa saataisiin aikaan. Ainoastaan eksentrisen vaiheen lopussa tapahtuu pientä venytystä ja lisäksi monien ihmisen nivelien rakenne on sellainen, että se sallii vain pienen sarkomeerien venytyksen (MacDougall s.258 lähteessä Komi 2002).

### 3.3 Satelliittisolut

#### 3.3.1 Satelliittisolut ja hypertrofia

Aikuisen eläimen solujen lisääntyminen harjoituksen myötä sidottiin ennen olemassa olevien solujen pitkäikäiseen jakautumiseen (Hall & Graggs 1970, Gonyea ym. 1977), mutta myöhemmin yleisesti hyväksyttiin, että se ei ole solumäärään lisääntymisen mekanismi (Snow & Chortkoff 1987) vaan uusien solujen kehittyminen tapahtuu satelliittisoluista (Antonio & Gonyea 1993a, Kadi & Thornell 2000). Mauro (1961) käytti ensimmäisenä termiä satelliittisolut kuvaamaan reservissä olevia soluja, jotka ovat tyvikalvossa, mutta lihassolujen plasman ulkopuolella. Näiden solujen ajatellaan kehittyvän myoblasteista, jotka eivät muodostuneet myotuubeiksi ja toiminnallisiksi lihassoluiksi alkion kehityksen aikana (White & Esser 1989). Aikuisen ihmisen myonucleista on 2 – 4% satelliittisoluja (Roth ym. 2000) ja niiden osuus ja vaste eivät näytä laskevan iän myötä (Roth ym. 2000).

Satelliittisolut lisäävät tumia lihassoluihin, silloin kun lihassolut kasvavat kypsymisen tai harjoittelun myötä (Kadi & Thornell 2000). Satelliittisolujen aktivaatio näyttää olevan välttämätöntä hypertrofia prosessin alussa (Rosenblatt ym. 1994, Phelan & Gonyea 1997), mutta kaikki tutkimukset eivät tue tätä hypoteesia (Lowe & Alway 1999). Satelliittisolujen toinen tärkeä tehtävä on niiden rooli loukkaantuneessa lihassoluissa (Bischoff 1989, Schultz 1989). Loukkaantuneen lihassolun satelliittisolut aktivoituvat ja ne aloittavat mitoottisen lisääntymisen. Sen jälkeen ne siirtyvät solun sisään, ja alkavat korjaamaan loukkaantunutta kudosta muodostamalla uusia myofibrillejä olemassa olevaan soluun (Chambers & McDermott 1996). Jos loukkaantuminen on vakava, satelliittisolut alkavat itse muodostaa monitumaisia myotuubeja, josta muodostuu uusia lihassoluja, jotka korvaavat vioittuneet solut (Bischoff 1989, Schultz 1989). Kuitenkin satelliittisolut aktivoituvat vaan loukkaantuneissa soluissa (Schultz 1986). Jos se pitää paikkansa, solujen määrä ei lihaksessa lisääny.

### 3.3.2 Harjoittelun vaikutus satelliittisoluihin

Satelliittisolujen aktivaation on huomattu vaikuttavan eläimillä akuutin eksentrisen harjoituksen jälkeen (Darr & Schultz 1987), juoksumattoharjoituksen jälkeen (Jacobs ym. 1995) ja voimaharjoituksen jälkeen (Giddings ym. 1985, Tamaki ym. 1997). Näiden tutkijoiden hypoteesina oli, että satelliittisolujen aktivaation sai aikaan lihaskudoksen vauriot. Ihmisillä satelliittisolujen aktivaatio on huomattu pyöräilyn (Appell ym. 1988) ja voimaharjoituksen jälkeen (Kadi & Thornell 2000). Gibalan tutkimuksissa (Gibala ym. 1995, 2000) tutkittiin supistuvan komponentin vaurioita voimaharjoituksen jälkeen. Harjoittelemattomilla havaittiin 80 % jonkin asteisia vaurioita, 40 % niistä havaittiin olevan vakavia (Gibala ym. 1995). Harjoitelleilla vaurion määrät olivat 45 % ja 3 % (Gibala ym. 2000). Molemmissa tutkimuksissa vauriot tulivat voimaharjoitusliikkeiden eksentrisissä vaiheissa. Vauriot ovat väistämättömiä voimaharjoittelua harjoitellessa. Vaurio voi vaikuttaa satelliittisolujen aktivaatioon ja kehittymiseen (Kadi & Thornell 2000). Kadi (Kadi ym. 1999) havaitsi tutkimuksessaan, että 3 % voimanostajien trapezius-lihaksen soluista on erittäin pieniä halkaisijaltaan ja niissä on merkkejä aikaisesta myogeenisistä. Tämän perusteella jatkuva voimaharjoittelu saa aikaan lihasvaurioita ja lihaskudoksen korjausta koko ajan, ja vaurio korjataan edellä mainitulla satelliittisolujen toiminnalla. Mutta jos 3 % lihassoluista on uusia, on muutaman vuoden harjoittelun jälkeen lihassolujen määrän nousu suuri, mitä ilmeisesti ei tapahdu, vaan kyse on solujen uusiutumisesta, lisäämättä solujen kokonaisuutta (MacDougall s.260 lähteessä Komi 2002). On mahdollista, että satelliittisolut aktivoituvat muissakin prosesseissa kuin lihasvauriossa (Yan 2000) ja niiden aktivaatio voi tapahtua myös muiden kasvutekijöiden vaikutuksesta (Miller ym. 2000). Ne voivat olla myös tärkeässä asemassa lihassolujen adaptaatiossa ja solutyypin muutoksessa (Yan 2000).

## 4 KRONOBIOLOGINEN RYTMİ JA FYYSINEN SUORITUSKYKY

### 4.1 Kronobiologinen rytmi

#### 4.1.1 Kronobiologia

Kronobiologinen rytmi, joka tarkoittaa jonkin elimen tai elimistön toimintatason muutosta ajan funktiona, on havaittu kaikilla aitotumallisilla, aina yksisoluisista organismeista ihmisiin. Tähän rytmiin vaikuttaa monet biokemialliset, psykologiset ja mentaaliset tekijät (Lemmer 1999). Rytmi vaikuttaa myös ihmisen suorituskyykyyn. Jos valitaan paras ajankohta suorituskyykyille, voi ero olla jopa 10 % ihmisen suoriutumisesta kyseisestä tehtävästä eri ajankohdilla (Winget ym. 1994).

Kronobiologia on tiede, joka tutkii ja luokittelee biologisen rytmin mekanismeja (Halberg 1986). Biologinen rytmi on määritelty säännöllisesti muuttuvien komponenttien (esim. plasman kortisoli) avulla mittaamalla niitä useita kertoja ajan funktiona (Haus & Touitou 1994). Eri muuttujilla (suorituskyyky, hormonitasot, jne.) on oma kronobiologinen rytminsä. Rytmit voidaan kuvailla seuraavien parametrien avulla (Kuva 4):

**Frequency** (f): syklien määrä tietyssä ajassa

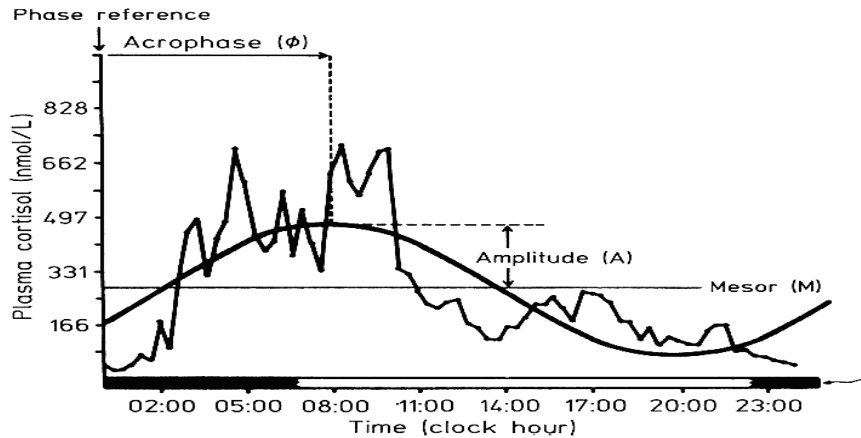
**Mesor** (M): Midline Estimating Statistic of Rhythm, rytmin vaihtelun keskiarvo

**Amplitude** (A): muutoksen amplitudi, muutoksen suuruus keskiarvoon nähden

**Acrophase** ( $\Phi$ ): aika huippuarvon saavuttamiseen

**Phase**: arvo biologisen rytmin muuttujalle tietyllä ajankohdalla

**Period**: täyden jakson kokonaiskesto (Haus & Touitou 1994).



Kuva 4. Plasman kortisolin vaihtelu vuorokauden aikana (Haus & Touitou 1994).

Biologiset rytmit on jaettu kolmeen pääryhmään: ultradianiin (vaihteluväli alle 20 tuntia) circadianiin (vaihteluväli 20- 28:aan tuntia) ja infradianiin (vaihteluväli yli 28 tuntia). Circaseptan (jakso noin yksi viikko), circatrigintar (jakso noin yksi kuukausi) ja circannual (jakso noin yksi vuosi) ovat pidemmän ajanjakson määrittäjät (Haus & Halberg 1970.)

#### 4.1.2 Kronobiologisen rytmin mekanismi

On olemassa yksinkertainen malli selittämään kronobiologisen rytmin mekanismia (Haus & Touitou 1994). Tämän mallin perustana käytetään tahdistimia, jotka vaikuttavat kronobiologisen rytmin olemassaoloon. Tahdistimet ovat primäärisiä oskillaattoreita, jotka tuottavat elimistöön endogeenisiä oskillaatioita itse pystyviä ja aikasignaaleja, jotka synkronisoivat rytmit samalle taajuudelle. Suurimmalle osalle nisäkkäistä, ihminen mukaan lukien, dominoiva tahdistin kronobiologisille rytmeille on paired suprachiasmatic nuclei (SCN), joka on pieni ryhmä hermosoluja, jotka sijaitsevat hypothalamuksen etuosassa. On myös havaittu paikallisia tahdistimia esimerkiksi luurankolihasissa ja eristetyissä kuulosoluissa, jotka viittaavat siihen, että on ryhmä oskillaattoreita, jotka toimivat hierarkkisessa järjestyksessä (Moore 1983). Ne näyttävät olevan sidoksissa samaan kronobiologiseen järjestelmään (Reilly 1990). Joissakin tapauksissa perifeerinen kudos voi säännöstellä itsenäisesti SCN:ää (Edgar ym.1997).

Tahdistimien aktiivaatiotasoa muutetaan ja säädetään koko ajan jaksollisten ympäristöjen tapahtumien mukaan, joita kutsutaan synkronisioijiksi (synchronizers), jotka vaikuttavat muuntimiin (transducer) esim. verkkokalvoon. Kaikista tärkeimpiä synkronisioijia on yön ja päivän vaihtelu sekä jokapäiväiset sosiaaliset kontaktit muiden ihmisten kanssa (Wever 1979).

Tahdistin siirtää aikatiedon sekundaariselle oskillaattorille (esimerkiksi hypothalamuksen muille osille ja/tai muille aivorauhasille). Sekundaariset oskillaattorit ovat kykeneviä oskillaatioon itse, mutta niiden ajoitus on sovitettu tahdistimen mukaan (Moore 1983). Niiden tiedonsiirtäjät (hormonit kuten melatoniini tai muut) voivat siten vaikuttaa sellaisten elimien rytmisiin vaihteluihin mitkä eivät pysty itse oskilloimaan (esimerkiksi muutokset plasman kortisolissa, ruumiinlämmössä, sykkeessä, verenpaineessa, maksan aktiivisuudessa jne.) (Richter ym. 2004, Orbetzova ym. 2003, Haus & Touitou 1994).

## **4.2 Kronobiologisen rytmin vaikutus suorituskykyyn ja hormonitasojen vuorokausivaihtelu**

### **4.2.1 Kronobiologisen rytmin vaikutus hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn**

Fyysisen suorituskyvyn päivittäisestä vaihtelusta on tehty lukuisia tutkimuksia ja julkaisuja. Fysiologiset muuttajat, jotka vaikuttavat urheilijan suorituskykyyn rytmisesti, on myös julkaistu (Winget ym, 1985). Ei voida puhua vain yhdestä suorituskyvyn rytmistä, koska eri suorituksilla on erilainen kronobiologinen rytmi.

Nykyinen vallallaan oleva teoria sitoo fyysisen suorituskyvyn rytmin läheisesti ruumiinlämmön sekä ”sleep/wake” syklin kronobiologiseen rytmiin (Reilly & Bangsbo 1999 ja Rutenfranz & Colquhoun 1979). Monet hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn (puristusvoima, vertikaalihyppy, tasajalkahyppy, porrasjuoksu jne.) huippuarvot esiintyvät lähellä ruumiinlämmön huippuarvoa (Reilly & Down 1992) (taulukko 1).

Taulukko 1. Kronobiologisen rytmin keskiarvot ja huippuarvot sekä niiden ajankohdat ruumiinlämmössä, porrasjuoksussa ja tasajalkahypyssä (Reilly&Down 1992).

	Mesor	Acrophase (time of day)	Amplitude	Amplitude (% of mean)
Rectal temperature	37.25 (°C)	18:11	0.38 (°C)	1.0
Stair run	19.80 (W kg <sup>-1</sup> )	17.26	0.41 (W kg <sup>-1</sup> )	2.1
Broad jump	224.2 (cm)	17:45	7.6 (cm)	3.4

Taulukko 2. Suorituskyvyn vaihtelu olkavarren koukistuksen vääntömomentissa eri nivelkuman nopeuksilla (AV) ilmaistuna kronobiologisen rytmin muuttujilla ( $\Phi$  acrophase, A amplitude, M mesor) (Gauthier et al. 2001).

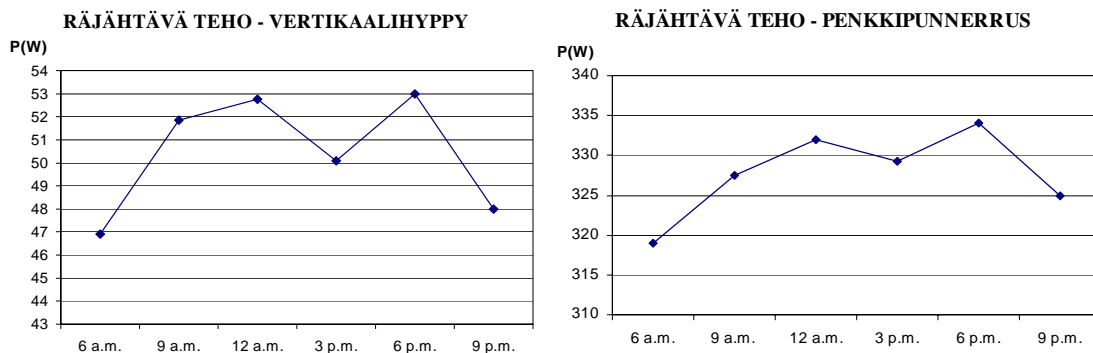
AV (° · s <sup>-1</sup> )	ANOVA		Characteristics of circadian rhythms					
	F	P	$\phi$ (hour)		A (%)		M (%)	
			Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
0	10.76	0.001	1749	0029	12.06	1.35	91.89	1.26
60	3.32	0.0148	1756	0114	10.48	1.26	92.81	0.44
120	6.45	0.0002	1837	0039	8.99	1.62	93.07	1.21
180	4.99	0.0015	1722	0043	10.21	1.64	92.34	1.01
240	4.72	0.0021	1809	0051	9.26	1.19	94.01	1.18
300	4.42	0.0032	1750	0101	10.85	2.53	91.92	1.09

Monet tutkimukset ovat todistaneet, että lihasvoimalla ja teholla on vaihtelua vuorokauden eri aikoina – esimerkiksi puristusvoimassa, tasajalkahypyssä (taulukko 1), käsivarren koukistuksen vääntömomentissa (taulukko 2), vertikaalihypyssä (kuva 5), penkkipunnerruksen tehossa (kuva 6), maksimaalisessa isokineettisessä ja isometrisessä jalan voimassa (kuva 7) ja sykkeessä ja verenpaineessa porraskävelyn aikana (Reilly & Down 1992, Reilly 1990, Gauthier ym. 2001, Stockton ym. 1978, Wyse ym. 1994, Raschka ym 2002). Dosseville ym. (2002) tutki taputusnopeutta, jolla oli myös selvä vaihtelu eri aikaan suoritettuna. Joissakin aerobisen suorituskyvyn muuttujissa on myös eroa eri kellonaikaan suoritettuna (Hill 1996, Giacomoni ym. 1999). Joissakin tutkimuksissa ei ole löydetty merkittävää kronobiologista vaihtelua suorituskyvyssä esim. Wingaten anaerobisessa polkupyörätetstissä (Reilly & Down 1992), puristusvoimassa, reaktioajassa ja



isokineettisessä jalan ojennus ja koukistusvoimassa (Ishee & Titlow 1986). Vaikka nämä muuttujat, joilla on selvää vaihtelua kellonajasta riippuen, seuraavat yleensä ruumiinlämmön kronobiologisen rytmin vaihtelua, eivät kaikki niistä ole yhden huipun muuttujia kuten kuvassa 4, vaan niissä ilmenee kaksi huippua sekä pieni pudotus suorituskyvyssä aikaisin iltapäivällä (kuvat 5, 6 ja 7).

Kuvat 5 ja 6. 10 sekunnin hyppytestin teho ja penkkipunnerruksen teho 60% kuormalla maksimista suoritettuna eri vuorokaudenaikoina (Lipkova ym. 2001).



Tämä ilmiö tunnetaan nimellä ”post-lunch dip”, ja se esiintyy joissakin tapauksissa silloinkin vaikka ruokailua ei ole suoritettu (Javierre ym. 1996). Syy tälle pudotukselle ei ole selvä, se voi johtua motivaation tai virkeyden tason laskusta tai se voi johtua taustalla olevasta 90 minuutin syklistä, joka on vallalla unen aikana ja se tulee lähimmäksi havaitsemisen tasoa aikaisin iltapäivällä (Reilly 1990). ”Post-lunch dip” ilmiö on raportoitu esim. Wittin tutkimuksessa, jossa hän tutki isometristä jalan ojennusta, (Witt ym. 1980), Stocktonin tutkimuksessa (Stockton ym. 1978), jossa tutkittiin taputusnopeutta sekä Lipkovan tutkimuksessa (Lipkova ym. 2001), jossa tutkimuskohteena oli ala- ja yläraajojen maksimaalinen teho (Kuvat 5 ja 6).

#### 4.2.2 Hormonitasojen vuorokausivaihtelu ja lihasvoima

Yleisesti tiedetään erittäin hyvin, että monet hormonit kuten testosteroni (T), kasvuhormoni (GH), kortisoli (CORT), kilpirauhashormonit jne. vaikuttavat lihasvoiman ja tehon vaihteluun päivän aikana. Seerumi T:llä ja kortisolilla on merkittävä kronobiologinen rytmi, jossa suurimmat konsentraatiot ovat aikaisin aamulla ja matalimmat konsentraatiot illalla (Veldhuis ym. 1987, Blomquist & Holt 1994) (Kuva 4). Päinvastoin kuin edellä mainituilla on kasvuhormonin suurimmat pitoisuudet myöhään illalla ja se on ajallisesti sidottu nukkumisen ensimmäiseen vaiheeseen (Spiegel ym. 2000). Näiden edellä mainittujen hormonien tason vaihtelu korreloi merkitsevästi niitä ohjaavien hypothalamuksen ja aivolisäkkeen hormoneiden (LH, FSH, ACTH, GHRH) kronobiologisen vaihtelun kanssa (Blomquist & Holt 1994).

Mahdollinen syy edellä mainittujen hormonien (T, GH ja CORT) ja ihmisen suorituskyvyn ajalliselle vaihtelulle voi olla ilmiö rytmien tasaiselle suhteelle joka on todistettu biologisen rytmien monilla eri tasoilla esimerkiksi plasman kortisolin ja virtsan kortisolin välillä sekä ”sleep-wake” syklin ja ihmisen ruumiinlämmön välillä (Haus & Touitou 1994). Se tarkoittaa sitä, että nämä eri rytmit voidaan tavallaan sitoa yhteen systeemiin ja ne vaikuttavat toisiinsa syklisen esiintymisen seurauksella, mikä on ajateltu olevan tärkeää normaaleille ruumiin toiminnoille (Kripke ym. 1994). Tarkkaa ajan suhdetta laajennetun hypoteesin kortisolin, testosteronin ja kasvuhormonin jaksottaisen vaihtelun suhteille ja suorituskyvyn päivittäisen vaihtelun rytmille ei ole varmennettu vielä. Se voi tietävästi vaihdella hormonista hormoniin. Kasvuhormoniin voimakkaasti vaikuttaa ”sleep-wake” sykli ja testosteroni ja kortisoli on pääasiallisesti ohjattu SCN:n oskillaation kautta (Haus & Touitou 1994).

Yksittäisen voimaharjoituksen on osoitettu olevan potentiaalinen stimulus akuuttiin nousuun seerumin testosteronin, kortisolin ja kasvuhormonin konsentraatioille aikuisilla ihmisillä ja molemmilla sukupuolilla. Konsentraatioilla on taipumus nopeaan palautumiseen normaalille kronobiologiselle rytmille noin tunnin kuluttua harjoituksesta (Häkkinen & Pakarinen 1995, Kraemer 1998). Hormonien kronobiologinen rytmi voi

modifioida niiden omaa akuuttia vastetta voimaharjoitukseen. Tämän löysivät tutkimuksessaan mm. Häkkinen ym. (1988), jossa aamulla suoritettua voimaharjoituksen jälkeen seerumin kokonaistestosteronin ja kortisolin määrät laskivat, mutta samana iltapäivänä suoritettua voimaharjoituksen jälkeen niiden konsentraatiot nousivat.

Päinvastaisia tuloksia on julkaistu akuutin eri päivän aikaan suoritettujen voimaharjoitusten vaikutuksesta edellä mainittujen hormonien kronobiologiselle vaihtelulle. McMurray ym. (1995) löysivät korkeamman seerumin testosteronin pitoisuuden tason nousun aikavälillä 5.00 – 7.00 harjoitteluryhmällä joka oli suorittanut voimaharjoituksen edellisen päivän illalla verrattuna kontrolliryhmään, joka ei ollut harjoitusta suorittanut. Tutkimuksen tulos osoittaa sen, että voimaharjoitus, joka on suoritettu myöhään illalla voi vaikuttaa testosteronin yölliseen eritykseen ja se tukee aiempaa mainittua hypoteesia seerumin testosteronin rytmin ja hermolihasjärjestelmän suorituskyvyn rytmin suhdetta. Kuitenkaan kasvuhormonin ja kortisolin yöllisiin konsentraatioihin ei voimaharjoitus vaikuttanut. Bullard (1992) tutki kasvuhormonin pitoisuuksia polkupyöräergometri harjoituksen jälkeen ja löysi merkittävästi suuremmat kasvuhormonivasteet kello 12:lta ja 18:lta suoritetuille harjoituksille kuin kello 6:lta ja 24:lta suoritetuille harjoituksille. Kraemer ym. (2001) esittivät tutkimuksensa perusteella, että aamuinen voimaharjoitus ei vaikuta hereillä oloajan (16 tuntia) syljen testosteronin kronobiologisen vaihtelun tasoon voimaharjoittelua harrastavilla miehillä, lukuun ottamatta merkittävää laskua harjoituksen aikana.

Lyhytaikainen voimaharjoittelu voi vaikuttaa eritystoimintaan niin miehillä kuin naisillakin. Erityksen adaptaatio näyttää vaikuttavan ja auttavan muita adaptaatioita välillisesti hermostossa ja lihassoluissa harjoittelun alkuvaiheessa aiemmin harjoittelemattomilla henkilöillä (Kraemer ym. 1998). Nämä muutokset ovat erittäin paljon riippuvaisia voimaharjoittelun tavasta ja kestosta, iästä, sukupuolesta, terveydentilasta ja henkilön suorituskyvystä jne. (Gray ym. 1991, Häkkinen & Pakarinen 1993, Kraemer ym. 1999) ja ne vaihtelevat hormonista hormoniin. Esimerkiksi Kraemer ym. (1998) tutkimuksessa seerumin kokonaistestosteroni ja sukupuolihormonia sitovan globuliinin tasot nousivat merkitsevästi kahdeksan viikon voimaharjoittelun jälkeen mitattuna niin

harjoitusta ennen kuin jälkeenkään. Seerumin kasvuhormonilla ei ollut merkittäviä muutoksia, kortisolin konsentraatiolla oli merkitsevää laskua ainoastaan harjoitusjakson loppupuolella. Näyttää siltä, että jos harjoittelun kokonaismäärä on ”normaaleissa” rajoissa (2-3 harjoitusta viikossa) maksimivoima voi kasvaa asteittain esimerkiksi koko kuuden kuukauden harjoittelujakson ajan ilman systemaattisia muutoksia anabolisten ja katabolisten hormonien konsentraatioille (Häkkinen ym. 2000a, 2001).

Vielä ei ole tehty tutkimusta, jossa olisi tutkittu lyhyen voimaharjoittelun vaikutusta edellä mainittujen hormonien kronobiologisille rytmeille; toisaalta Miyazakin ym. (2001) tutkimuksessa huomattiin, että näitä rytmejä voi moduloida jo kahden viikon harjoittelun vaikutuksesta, mutta tässä tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan plasman melatoniinin pitoisuutta, joka on erittäin herkkä ulkoisille olosuhteille.

#### **4.2.3 Harjoitteluajan vaikutus voimaharjoitteluun ja muihin harjoittelumuotoihin**

Vaikka on tehty paljon tutkimuksia, jossa on selvitetty kronobiologista rytmiä ja fyysisen suorituskyvyn vaihtelua päivän aikana, on tutkimuksia, joissa olisi tutkittu voimaharjoittelun tai muun tyyppisen harjoittelun vaikutusta eri vuorokauden aikana suoritettuna tehty erittäin vähän. Torii ym. (1992) selvittivät, että aerobisella harjoittelulla (30 minuuttia 60 %  $VO_2$  maksimiarvosta neljä kertaa viikossa neljän viikon ajan) iltapäivällä kolmen aikaan on paljon suurempi vaikutus kuin yhdeksän aikaan aamulla harjoittelulla. Samanlaisella tutkimusprotokollalla Hill ym. (1989) löysivät, että adaptaatio oli riippuvainen harjoitteluajasta kaikille muille muuttujille paitsi  $VO_2$ :lle anaerobisen kynnyksen kohdalla. Henkilöt, jotka olivat harjoitelleet aamulla, oli heillä myös harjoittelulle suurempi vaste aamulla ja samoin iltapäiväryhmällä oli suurempi vaste iltapäivällä, joten harjoittelu oli spesifistä ajankohdalle. Sopusoinnussa aiemmin mainittujen tutkimusten kanssa ovat löydökset, jotka Souissi ym. (2002) löysivät voimaharjoittelututkimuksessaan. Kuuden viikon voimaharjoittelun jälkeen molemmat ryhmät (aamu- ja iltaryhmä) paransivat merkitsevästi suorituskykyään Wingaten

polkupyörätestissä ja jalan ojennuksen huippuvääntömomentissa spesifisesti sillä ajankohdalla millä he olivat harjoitelleet. Näissä edellä mainituissa tutkimuksissa havaittiin harjoittelun adaptaation olevan ikaspesifistä sille ajankohdalle millä harjoittelu oli suoritettu.

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA ONGELMAT

Yleisesti tiedetään, että suorituskyvyllä on rytmistä vaihtelua vuorokauden aikana (Reilly & Down 1992, Reilly 1990, Gauthier ym. 2001, Stockton ym. 1978, Wyse ym. 1994, Raschka ym 2002). Iltapäivällä suoritustaso on voimaa ja tehoa vaativissa suorituksissa suurempi kuin aamun suoritustaso. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu (Hill ym. 1989, Souissi ym. 2002), että harjoittelu on harjoitteluaika spesifistä. Voimaharjoittelun osalta ei ole tarkkaa tietoa, että onko jollakin tietyllä ajankohdalla suoritettulla voimaharjoittelulla suurempaa adaptaatiota verrattuna jollakin muulla ajankohdalla suoritettuun harjoitteluun. Siksi tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, että:

- 1) Onko aamulla tai iltpäivällä suoritettulla voimaharjoittelulla erilainen vaste lihasmassan kasvuun?
- 2) Onko alaraajojen maksimivoimalla vaihtelua vuorokauden sisällä ja miten se muuttuu 10 viikon voimaharjoittelujakson myötä, jossa harjoitellaan joko ainoastaan aamulla tai illalla?

## **6 MENETELMÄT**

### **6.1 Koehenkilöt**

Koehenkilömäärä tässä tutkimuksessa oli 42 henkilöä. Heistä 14 kuului kontrolliryhmään (CONTROL), 13 aamulla harjoitteleviin (MORNING) ja 15 illalla harjoitteleviin (EVENING). Koehenkilöiden ikä, pituus, paino, painoindeksi (BMI) ja rasvaprosentti ovat taulukossa 4. Näillä muuttujilla ei ollut tilastollisia eroja ryhmien välillä ennen tutkimusta (taulukko 4). Harjoitusryhmiin kuuluvat koehenkilöt olivat harjoitelleet ennen tätä tutkimuksen osaa MA- Study tutkimuksessa edelliset 10 viikkoa voimaharjoittelua  $22,4 \pm 2,6$  harjoituskertaa. Tämän tutkimuksen aikana koehenkilöt harjoittelivat  $22,2 \pm 3,1$  kertaa.

Jokainen koehenkilö kirjoitti kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta. Keski - Suomen keskussairaalan Eettinen Komitea hyväksyi tutkimuksen teon. Jokainen koehenkilö täytti taustatietolomakkeen aiemmasta fyysisestä aktiivisuudesta, motivaatiosta ja sairaustiedoista. Koehenkilöt saivat lopettaa tutkimuksen missä vaiheessa tahansa.

### **6.2 Mittausasetelma**

Tämän tutkimuksen kokonaiskesto oli 14 viikkoa. Tutkimuksen ensimmäisellä viikolla suoritettiin voimamittaukset, jotka kestivät yhden koehenkilön osalta noin 150 minuuttia. Voimamittauksissa mitattiin antropometrisia muuttujia sekä useita voima ja nopeusmuuttujia. Tässä tutkimuksessa tutkittiin painon, rasva %:in, painoindeksin (BMI) ja maksimaaliseen jalkakyykyn muutoksia 10 viikon aikaspesifisen voimaharjoittelun seurauksena. Kronobiologiset mittaukset suoritettiin neljä kertaa vuorokaudessa. Niiden tarkoitus oli selvittää ihmisen suorituskyky eri vuorokauden aikoina. Ensimmäinen mittaus oli aikavälillä 7.00 – 8.00, toinen 16.30 – 17.30 ja kolmas aikavälillä 20.00 – 21.00.

Mittaukset suoritettiin myös ajankohdalla 11.30 – 12.30, jonka tuloksia tähän tutkimukseen ei otettu. Mittaukset yhden koehenkilön osalta kesti noin 15 minuuttia. Tässä tutkimuksessa tutkittiin isometrisen oikean jalan ojennuksen vääntömomenttia. Magneettikuvauksissa koehenkilöt kävivät tutkimuksen toisella viikolla, jossa heiltä kuvattiin oikean jalan nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala. Kolmannella viikolla koehenkilöt aloittivat ohjatun high – speed/high – load voimaharjoittelun Viveca – hyvinvointiteknologian keskuksen liikunta – ja terveystieteiden tiedekunnan laboratoriotiloissa. Samat mittaukset suoritettiin uudelleen kymmenennen harjoitteluviikon jälkeen. Kontrolliryhmän opastettiin pitämään fyysistä aktiivisuuttaan samalla tasolla, mitä se oli ennen tutkimusta.

### **6.3 Mittaukset ja analyysit**

Jalkojen dynaamista voimaa mitattiin jalkakyykyn absoluuttisella maksimikilomäärällä (SMITH, 90° polvikulma) ja oikean jalan maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen polven ojennuksen vääntömomentin avulla (120° polvikulma). Tahdonalaista maksimaalista isometristä voimaa tutkittiin eri vuorokauden aikana suoritettuna. Lihaskasvua kuvattiin nelipäisen reisilihaksen (QF) 12:lla poikkipinta – alalla ja koko nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymien avulla.

#### **6.3.1 Jalkakyykky**

Jalkakyykky mitattiin voimamittauksissa. Mittausten valmistelujen jälkeen suoritettiin viiden minuutin lämmittely polkupyöräergometrillä vapaavalinnaisella vastuksella (Monark, Ruotsi). Lämmittelyn jälkeen suoritettiin etu – ja takareisien venyttelyt, joita tehtiin kaksi 10 sekunnin toistoa per lihas. Mittaukset aloitettiin kevennys – ja staattisilla hyppyillä. Hyppyjen jälkeen seuraavana suorituksena tehtiin maksimijalkakyykky SMITH laitteessa (Frapp, UK-tekniikka OY, Hammaslahti, Finland). Jalkakyykky tehtiin 90° polvikulmaan saakka, jota kontrolloitiin äänisignaaleilla. Ennen varsinaista mittausta koehenkilöille kerrattiin jalkakyykyn tekniikka. Koehenkilöt opastettiin laskeutumaan



äänisignaaliin saakka, jonka kuulleessaan heidän piti nostaa kuorma ylös niin nopeasti kuin mahdollista. Lämmittely suoritettiin tekemällä noin 60 % kuormalla kahdeksan toistoa ja noin 85 % kuormalla kolme toistoa. Mittauksen aikana heitä ohjattiin ja kannustettiin verbaalisesti maksimisuorituksen aikaansaamiseksi. Maksimi määritettiin viiden kilon tarkkuudella ja yrityksiä tehtiin epäonnistuneeseen suoritukseen saakka. Yritysten välissä oli vähintään kahden minuutin tauko. Hyväksytysti nostettu maksimikilomäärä otettiin mukaan tilastolliseen analyysiin.

### **6.3.2 Maksimaalinen tahdonalainen isometrinen oikean polven ojennus**

Kronobiologisissa mittauksissa tutkittiin tahdonalaisen maksimaalisen isometrisen oikean jalan ojennuksen vääntömomenttia 120° polvikulmalla (MVC) (3530 Leg Extension/Curl, Hur Oy, Kokkola, Finland) kolmena eri ajankohtana suoritettuna (7.00 – 8.00, 16.30 – 17.30 ja 20.00 – 21.00). Valmistelujen jälkeen koehenkilöt suorittivat 15 lämmittelykykyä ja etu – ja takareisien venyttelyt, joita tehtiin kaksi 10 sekunnin toistoa per lihas. Ensimmäisessä isometrisessä mittauksessa laite kalibroitiin manuaalisesti, niin että koehenkilöiden polvinivel oli samassa linjassa tuolin vipuvarren akselin kanssa. Nilkkaa kohti tuleva rulla säädettiin koehenkilöä miellyttävään kohtaan. Koehenkilöt kiinnitettiin laitteeseen lannevyöllä ja heillä oli mahdollisuus pitää kiinni käsikahvoista suorituksen aikana. Mittauksessa koehenkilöt opastettiin tuottamaan voimaa niin paljon ja nopeasti kuin mahdollista. Koehenkilöt suorittivat kaksi maksimaalista polven ojennusta minuutin tauolla. Koehenkilöt suorittivat lisää yrityksiä jos seuraava oli edellistä yritystä parempi yli 5 %. Mittausasetelma ja protokolla olivat samoja joka ajankohdalla suoritetuissa kronobiologisissa mittauksissa. Data mitattiin kannettavalla mittauslaitteella ME 6000-T8 1000 Hz taajuudella (Megaelectronics Ltd., Kuopio, Finland). Data siirrettiin elektronisesti Spike analysointiohjelmaan (AzAC ® Seizure/Spike Analysis Software, Grass Telefactor, West Warwick, USA). Paras suoritus otettiin mukaan analyysiin, josta analysoitiin maksimi vääntömomentti.

### 6.3.3 Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-ala ja volyymi

Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta-alan magneettikuvaukset suoritettiin Keski-Suomen Magneettikuvaus OY:ssa (Philips Gyroscan, Intera 1.5t, Keski - Suomen Magneettikuvaus Oy, Jyväskylä). Koehenkilöt kävivät magneettikuvauksissa tämän tutkimuksen toisella ja viimeisellä viikolla. Kuvauksissa koehenkilö asetettiin päinmakuulle ja nilkka asetettiin tyynylle reisilihaksen ollessa rentona kuvauksen aikana. Koehenkilö kiinnitettiin lanteen kohdalta kiinni mittauspöytään ja hänen käskettiin olla jännittämättä ja liikuttamatta jalkojaan kuvauksen aikana. Kela ei ollut riittävä koko reiden yhtäaikaiseen kuvaamiseen, joten kuvauksia tehtiin kaksi. Ensimmäisellä kuvauksella kela asetettiin niin, että yksi kelan kuvista oli reisiluun distaalisen pään leveimmällä kohdalla. Kuvien välit olivat 8,5 mm ja kuvien lukumäärä 28 – 33. Toisella kuvauksella kela asetettiin niin, että yksi kuvista oli reisiluun proksimaalisen pään leveimmällä kohdalla. Kuvaväli oli 8,5 mm ja kuvien lukumäärä 28 – 33. Reisilihakseen kiinnitettiin teipillä 6 cm pitkä muovikappale kelojen kuvien yhdistämistä varten. Muovikappale näkyi magneettikuvissa ja se oli asetettu suoran reisilihaksen EMG – elektrodia varten tatuoidun merkin kohdalle.

Ensimmäinen analysoitava kuva, oli kuva jossa polvilumpioluuta ei enää näy. Viimeisessä analysoitavassa kuvassa reisiluu näkyy vielä yhtenäisenä. Joka kolmas kuva analysoitiin, joten analysoitujen kuvien väli oli 2,55 mm. Analysointi suoritettiin Osiris ohjelmalla (Osiris version 4.19, University Hospital of Geneva, Sveitsi). Analysoinnissa analysoitiin kaikki nelipäisen reisilihaksen osat yhtenäisenä pinta-alana (vastus intermedius, lateralis, medialis ja rectus femoris). Näiden pinta-alojen ja kuvamäärän avulla laskettiin myös koko nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymi. Koska kaikilla koehenkilöillä ei ollut sama määrä analysoituja reiden poikkipinta-aloja, normalisoitiin ne 15 pinta-alaan (Time Normalizing, T.Kokkonen, Jyväskylä, Finland). Liian suuren analysointivirhemarginaalin ja lihasten epäselvän erottuvuuden vuoksi tuloksiin ei otettu mukaan poikkipinta – aloja 1/15, 2/15 ja 15/15, jolloin tuloksista saatiin luotettavimpia. Neljän koehenkilön poikkipinta – alat analysoitiin uudelleen virheprosentin laskemisen ja analysoinnin korrelaation vuoksi.

Korrelaatio pinta – alojen piirtämiselle oli 0,99 ja keskimääräinen virhe pinta – alan määrittämisessä oli  $0,36 \pm 0,26$  %. Nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymi (VOL) ja 13 poikkipinta – alaa (CSA 3 – 14/15, distaaliseen proksimaaliseen) otettiin mukaan tilastolliseen analyysiin.

## 6.4 Harjoittelu

Ennen kymmenen viikon harjoitteluajankohdasta voimaharjoittelua koehenkilöt olivat harjoitelleet yhdistettyä High-Speed (HS)/High-Load (HL) voimaharjoittelua 10 viikkoa, jonka kokonaisvolyymi reiden ojentajille oli ollut 77610 kg, HS osuus koko harjoittelusta oli ollut 6,4 % ja harjoituksia oli 2,3 harjoitusta viikossa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin HS/HL voimaharjoittelua, johon oli yhdistetty myös hypertrofia harjoitteita reiden ojentajille. Pääpaino harjoittelussa oli tässä tutkimuksessa jalkojen ojentajien suorituskäytössä, mutta harjoittelu suoritettiin ns. ”koko kropan” voimaharjoitteluna, jotta lihasbalanssi säilyisi ja harjoittelu olisi mielekkäämpänä koehenkilöille. Muulle vartalolle kuin jalkojen ojentajille ja koukistajille ei harjoitteluun sisällynyt High-Speed ja Hypertrofia harjoitteita. Muita harjoitteita jaloille olivat jalkojen lähennys, varpaille nousu ja jalkojen koukistus. Yläkropan harjoitteita olivat vinopenkki, penkkipunnerrus, pystypunnerrus, soutu, ylätalja, hauiskääntö, hauikset taljassa, ojentajat taljassa ja vipunostot taljassa. Vartalon harjoitteita olivat vinot vatsat, suorat vatsat ja selän ojennus. Harjoittelussa käytettiin perinteisiä voimaharjoituslaitteita ja paineilmapastuslaitteita (Natural Transmission training devices, Hur Oy, Kokkola, Finland).

Harjoitteluohjelma oli molemmille aamu – ja iltaharjoitusryhmille samanlainen. 10 viikon harjoittelujakso jaettiin kahteen viisi viikkoa kestäväan osaan. Kuormamäärät, intensiteetin, sarjat, toistot ja harjoitteiden osuudet ovat taulukossa 3. High-Load harjoitteissa koehenkilöt suorittivat normaali nopeuksisia voimaharjoitteita suurilla kuormilla. High-Load harjoitteisiin jalkojen ojentajille kuuluivat jalkakyykky Smith-laitteessa (Frapp, UK-

tekniikka OY, Hammaslahti, Finland), jalkaprässi (3540 Leg Press, Hur Oy, Kokkola, Finland) ja jalan ojennukset (3530 Leg Extension/Curl, Hur Oy, Kokkola, Finland). High-Speed harjoitteissa koehenkilöt suorittivat konsentrisen vaiheen niin nopeasti kuin mahdollista ja eksentrisen vaihe suoritettiin hitaasti ja kontrolloidusti laskien. Harjoitteina käytettiin jalkakyykyä Smith-laitteessa (Frapp, UK-tekniikka OY, Hammaslahti, Finland) sekä jalkojen ojennusta (3530 Leg Extension/Curl, Hur Oy, Kokkola, Finland). Hypertrofia voimaharjoitteissa koehenkilö suoritti molemmat liikkeen vaiheet hitaasti ja kontrolloidusti ja aina uupumukseen saakka. Hypertrofia harjoitteita suoritettiin jalkaprässillä (3540 Leg Press, Hur Oy, Kokkola, Finland) ja jalkojen ojennuslaitteella (3530 Leg Extension/Curl, Hur Oy, Kokkola, Finland). Yhden suorituksen maksimikilomäärä (1 RM) arvioitiin suorittamalla ensimmäisillä harjoitusviikolla joka laitteessa noin 3 – 5 toiston maksimisarja, jonka perusteella laskettiin maksimikilomäärä (Häkkinen 1990). Harjoitusviikolla viisi ja kuusi 1 RM arvioitiin uudelleen. Ennen toisia voimamittauksia koehenkilöt laskivat hieman harjoittelun tehoa välttääkseen väsymyksen mittauksissa.

Taulukko 3. Harjoitusprotokolla.

<b>Jakso</b>	<b>1. 5 ensimmäistä viikkoa</b>	<b>2. 5 jälkimmäistä viikkoa</b>	<b>10 viikkoa</b>
Harjoittelumäärä/vko	2-3-2-3-3/viikko	3/viikko	27 harj.
<b>Jalan ojentajat</b>			
<u>Kuorma (% 1RM) HL</u>	70-85%	80-100%	
sarjat/toistot	2-4 / 3-8, 7-8	2-4 / 1-5, 5-8	
Volyymi (kg)	16980	16975	33955
<u>Kuorma (% 1 RM) HS</u>	40-55%	50-60%	
sarjat/toistot	2-4 / 3-8, 7-8	2-4 / 1-5, 5-8	
Volyymi (kg)	6990	9925	16915
<u>Kuorma (% 1 RM) hypertrofia</u>	60-70%	60-80%	
sarjat/toistot	2-3 / 8-15	3-4 / 8-12	
Volyymi (kg)	22790	17960	40750
Jalan ojentajat, koko volyymi (kg)	46760	44860	<b>91620</b>
Hypertrofia/koko volyymi (%)	48,7 %	40,0 %	<b>44,4 %</b>
HS/koko volyymi (%)	14,9 %	22,1 %	<b>18,5 %</b>

## 6.5 Tilastolliset analyysit

Eri mittauskertojen vertaaminen toisiinsa tehtiin GLM- varianssimenetelmällä käyttämällä muutosprosentteja muutoksen kuvaajina, jotka kontrolloitiin alkumittausten absoluuttisilla arvoilla ryhmien erilaisten lähtökohtien vuoksi (harjoitusryhmät harjoitelleet aiemmin 10 viikkoa tässä tutkimuksessa). Bonferronin monisuuntaista vertailua käytettiin kuvaamaan ryhmien välisiä tilastollisia eroja. Toistettujen mittausten Anovaa käytettiin kuvaamaan kronobiologisten mittausten päivänsisäisiä eroja. Muuttujien välisiä ajallisia korrelaatioita tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. Parillista T – testiä käytettiin kuvaamaan ryhmän sisäisiä muutoksia. Merkitsevyysrajoina pidettiin  $p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$  ja  $p < 0.001^{***}$ . Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS for Windows 12.0 ohjelmalla. Keskiarvot, keskihajonnat ja muutosprosentit laskettiin Windows Exel – ohjelmistolla.

## 7 TULOKSET

Ennen varsinaista tutkimusta koehenkilöt olivat suorittaneet 10 viikon voimaharjoittelujakson MA-Study 2004 tutkimuksessa. Tuloksissa on myös mukana myös tämän aiemman harjoitusjakson vaikutuksia jalkakyykyn maksimiin ja maksimaaliseen voluntaariseen isometriseen oikean jalan ojennukseen. Näissä aiemmissa tuloksissa harjoitusryhmiä käsitellään yhdessä, jota verrataan kontrolliryhmään.

### 7.1 Antropometria

Iällä, pituudella, painolla, rasva %:lla ja BMI:lla ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä ennen tätä tutkimusta (taulukko 5).

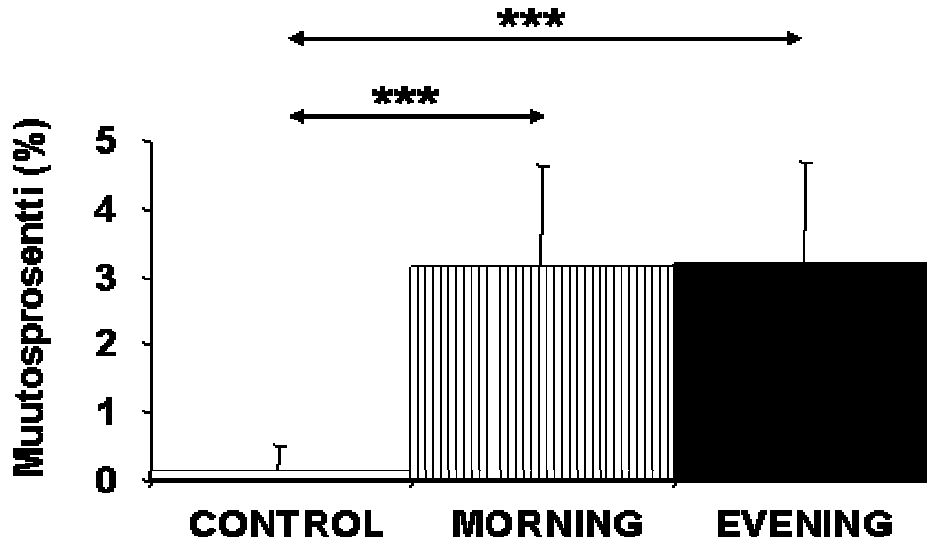
Paino väheni tämän tutkimuksen aikana MORNING harjoitteluryhmällä ja se oli merkitsevä lasku verrattuna CONTROL ja EVENING ryhmiin ( $p < 0,05$ ). Myös Painon vähentyessä myös Body mass index, BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), väheni aamuharjoitteluryhmällä tilastollisesti merkitsevästi verrattuna CONTROL ja EVENING ryhmiin verrattuna ( $p < 0,05$ ). Rasvaprosentti ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi ryhmien välillä 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelun aikana (taulukko 4).

Taulukko 4. Ikä, pituus, paino, rasva % ja BMI (KA (SD)) sekä ryhmien väliset tilastollisesti merkitsevät erot ennen ja jälkeen 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelun.

	CONTROL		MORNING		EVENING		Anova	Toistetut mittaukset	
Mittaus	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Alku	Loppu	Ryhvät alussa	CON v. MOR	MOR v. EVE
Ikä (v)	29.0 (7.6)		30.5 (6.9)		31.7 (7.7)		0.737		
Pituus (cm)	178.5 (7.1)		179.9 (3.8)		178.7 (4.1)		0.752		
Paino (kg)	74.8 (8.3)	75.6 (8.8)	80.2 (7.3)	78.8 (7.6)	76.5 (9.4)	77.0 (8.6)	0.176	0.037	0.046
Rasva%	18.1 (4.2)	17.8 (4.1)	16.7 (4.4)	16.6 (4.2)	17.5 (4.8)	17.9 (4.2)	0.740		
BMI	23.5 (1.9)	23.8 (2.0)	24.9 (2.2)	24.4 (2.4)	23.9 (2.3)	24.1 (2.1)	0.270	0.032	0.043

## 7.2 Lihaksen poikkipinta-ala ja volyymi

Nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymi kasvoi aamulla harjoittelevilla keskimäärin  $3,15 \pm 1,5 \%$  ( $2,29 \pm 0,3 \text{ dm}^3$ :sta  $2,36 \pm 0,3 \text{ dm}^3$ :iin) ja iltapäivällä harjoittelevilla keskimäärin  $3,19 \pm 1,5 \%$  ( $2,17 \pm 0,2 \text{ dm}^3$ :sta  $2,24 \pm 0,2 \text{ dm}^3$ :iin) Molempien harjoitusryhmien kasvu oli tilastollisesti merkitsevää kontrolliryhmään ( $0,12 \pm 0,4 \%$ ,  $2,13 \pm 0,3 \text{ dm}^3$ :sta  $2,13 \pm 0,2 \text{ dm}^3$ :iin) verrattuna ( $p < 0,001$ ) (kuva 7). Molemmilla harjoitusryhmillä lihasvolyymien kasvu ryhmän sisällä oli myös tilastollisesti merkitsevää ( $p < 0,001$ ). Lihasvolyymien muutos ei korreloinut merkitsevästi voimamuuttujien, jalkakyykyn ja maksimaalisen voluntaarisen isometrisen oikean jalan ojennuksen muutoksen kanssa millään mitattuna ajankohtana.



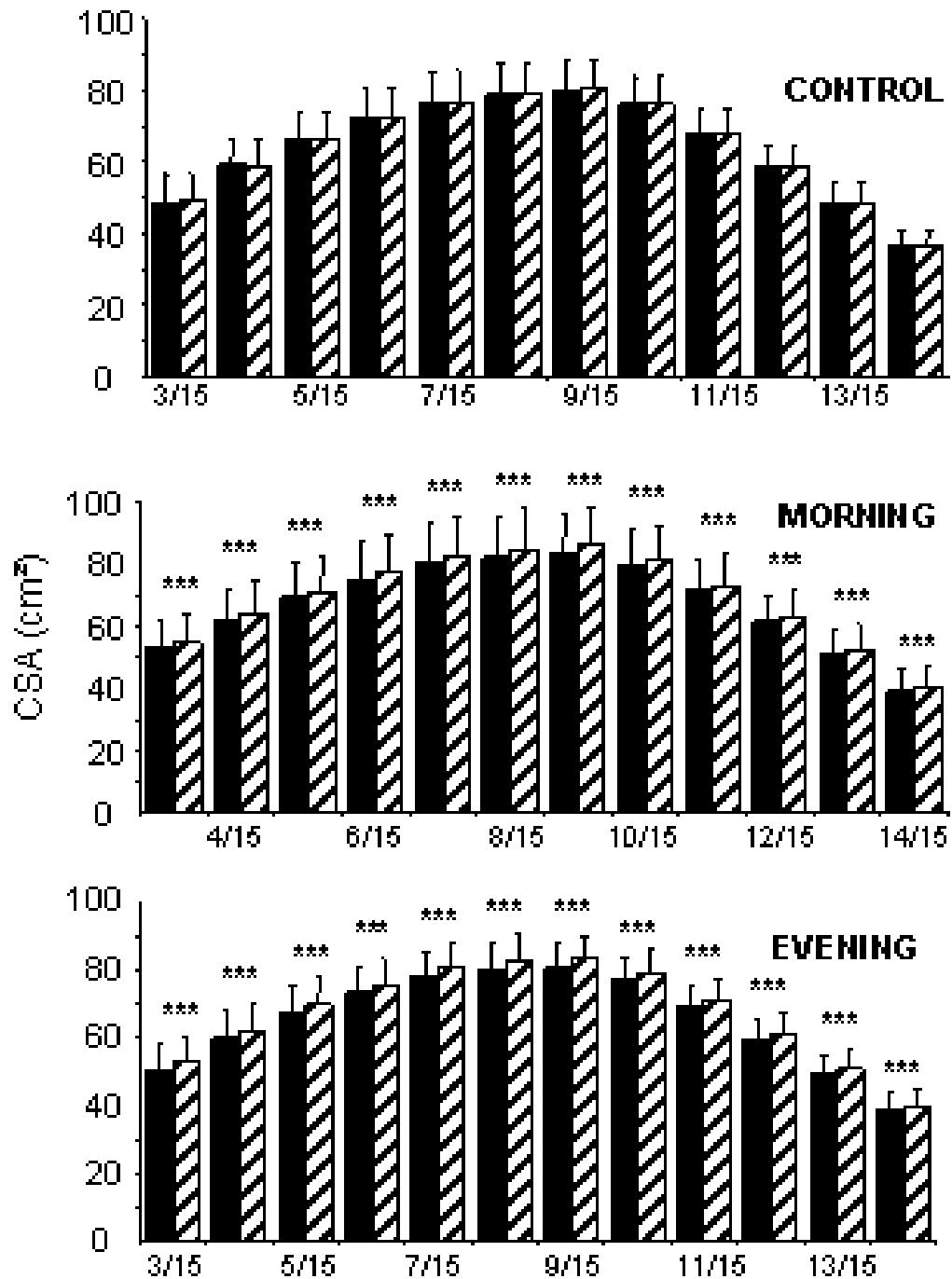
Kuva 7. Nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymin muutos 10 viikon HS/HL harjoittelun jälkeen (CON v. MORNING ja EVENING  $p < 0,001$ ).

Lihaksen poikkipinta-alat kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi molemmilla harjoitusryhmillä verrattuna kontrolliryhmään koko nelipäisen reisilihaksen pituudella (taulukko 5). Suurinta kasvu oli 3/15 reiden pituutta (MORNING  $3,4 \pm 1,2$  % ja EVENING  $3,8 \pm 1,7$ , taulukko 5). Harjoitusryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja nelipäisen reisilihaksen poikkipinta – alojen kasvussa millään poikkileikkauskohdalla. Molempien harjoitusryhmien lihaskasvu oli ryhmän sisällä tilastollisesti merkitsevää (kuva 8) jokaisella poikkipinta – alan leikkauskohdalla ( $p < 0,001$ ).



Taulukko 5. Muutosprosentti (SD), maksimi, minimi ja keskiarvomuutos 12:ssa lihaksen poikkipinta-alan leikkauskohdassa (CSA 3/15 distaalinen – CSA 14/15 proksimaalinen) 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelun jälkeen. Tähdet: merkitsevyys CONTROL ryhmään nähden.

	CONTROL	MORNING	EVENING
Muuttuja	(Mean +SD)	(Mean +SD)	(Mean +SD)
CSA 3/15 (%)	0.4 (0.7)	3.4 (1.2) <sup>***</sup>	3.8 (1.7) <sup>***</sup>
CSA 4/15 (%)	-0.4 (0.5)	3.0 (1.6) <sup>***</sup>	2.9 (1.3) <sup>***</sup>
CSA 5/15 (%)	-0.2 (0.7)	2.9 (1.7) <sup>**</sup>	3.3 (1.8) <sup>**</sup>
CSA 6/15 (%)	0.0 (0.7)	2.8 (1.9) <sup>**</sup>	3.1 (2.0) <sup>**</sup>
CSA 7/15 (%)	0.3 (0.8)	2.6 (1.6) <sup>**</sup>	3.2 (1.6) <sup>***</sup>
CSA 8/15 (%)	0.3 (1.0)	2.7 (1.4) <sup>**</sup>	3.3 (1.9) <sup>**</sup>
CSA 9/15 (%)	0.4 (0.9)	2.8 (2.0) <sup>**</sup>	3.1 (1.8) <sup>**</sup>
CSA 10/15 (%)	0.2 (0.5)	2.5 (2.2) <sup>**</sup>	3.1 (1.9) <sup>**</sup>
CSA 11/15 (%)	-0.1 (0.7)	2.8 (1.9) <sup>**</sup>	3.2 (1.7) <sup>***</sup>
CSA 12/15 (%)	-0.3 (0.9)	2.7 (1.5) <sup>**</sup>	3.2 (2.1) <sup>***</sup>
CSA 13/15 (%)	0.2 (0.6)	2.7 (1.6) <sup>***</sup>	3.2 (1.7) <sup>***</sup>
CSA 14/15 (%)	-0.1 (0.8)	3.0 (1.3) <sup>***</sup>	2.7 (1.5) <sup>***</sup>
MAX (%)	0.4	3.4	3.8
MIN (%)	-0.4	2.6	2.7
KA (%)	0.1	2.8	3.2



Kuva 8. Nelipäisen reisilihaksen poikkipinta – alat ( $ka \pm SD$ ) ennen (mustat palkit) ja jälkeen (raidoitetut palkit) 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelun ja tilastollisesti merkitsevät muutokset pinta – aloissa ryhmien sisällä.

### 7.3 Jalkakyykky

Ennen tätä tutkimusta koehenkilöt olivat harjoittaneet voimaharjoittelua 10 viikkoa MA – Study 2004 tutkimuksessa. Tämän aikana voimaharjoittelua harjoittaneet paransivat jalkakyykyn maksimiaan  $31,6 \pm 16,5$  % ( $125,2 \pm 20,7$  kg:sta  $162,5 \pm 20,4$  kg:aan). Kontrolliryhmän muutos jalkakyykyssä oli  $5,7 \pm 4,3$  % ( $141,8 \pm 22,2$  kg:sta  $149,6 \pm 22,5$  kg:aan). Tulos oli tilastollisesti merkitsevä harjoittelijoiden ja kontrollin välillä ( $p < 0,001$ ).

Tämän pro – gradu tutkimuksen aikana jalkakyykky parani molemmilla harjoitteluryhmillä  $5,67$  %, mutta muutos ei ollut kummallakaan ryhmällä tilastollisesti merkitsevä kontrolliryhmään verrattuna (taulukko 6). Ryhmiä itsenäisesti tarkasteltaessa jalkakyykyn maksimikilomäärä kasvoi tilastollisesti merkitsevästi molemmilla harjoitusryhmillä ( $p < 0,05$ ) ja CONTROL ryhmän muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p = 0,060$ ).

Taulukko 6. Maksimaalinen jalkakyykky sekä maksimaalinen voluntaarinen isometrinen oikean jalan ojennus suoritettuna kolmena eri vuorokaudenajankohtana ennen (ka (SD)) 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelua ja muutosprosentit (SD) jälkeen harjoittelun.

	CONTROL		MORNING		EVENING	
	Alkumittaus	Muutos %	Alkumittaus	Muutos %	Alkumittaus	Muutos %
Muuttuja						
Kyykky (kg)	149.6 (22.5)	2.77 (4.5)	169.2 (27.0)	5.67 (9.2)	159.6 (11.3)	5.67 (8.1)
MVC (Nm) aamu	213 (56)	4.50 (15)	246 (35)	13.2 (15)	223 (34)	12.4 (12)
MVC (Nm) iltapäivä	232 (50)	5.65 (6.9)	266 (52)	9.43 (15)	243 (38)	12.0 (14)
MVC (Nm) ilta	231 (56)	5.85 (9.8)	258 (48)	10.9 (11)	241 (37)	13.7 (10)

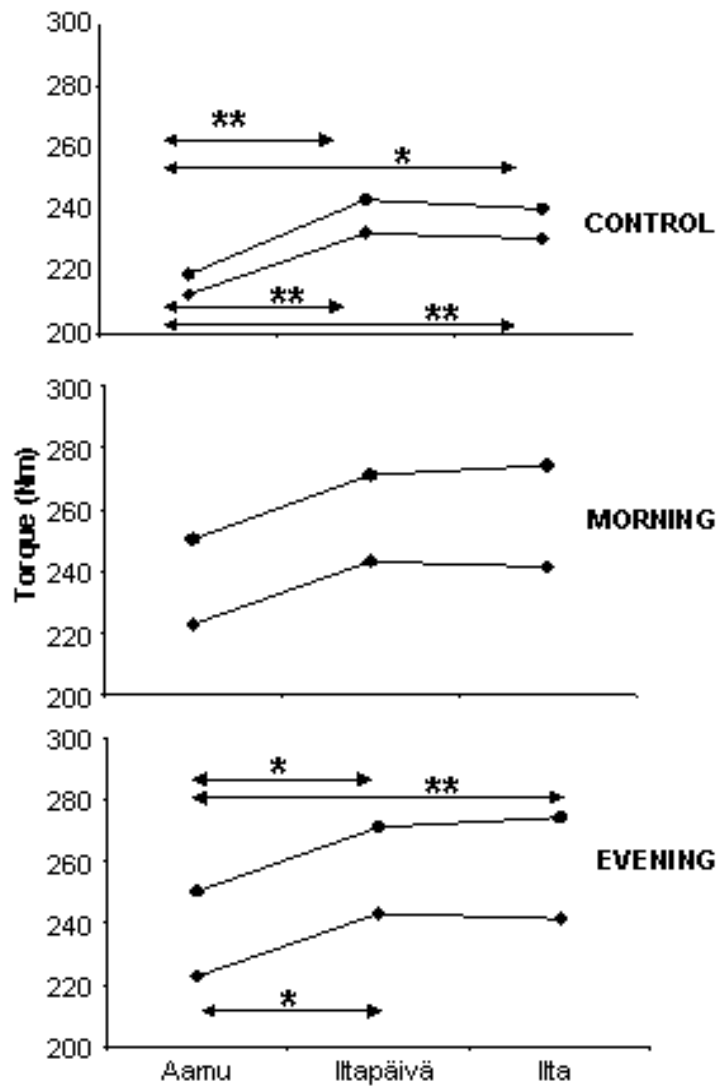
## 7.4 MVC vuorokauden eri aikoina

Tätä tutkimusta ennen suoritettu 10 viikon voimaharjoittelu MA – Study 2004 tutkimuksessa paransi maksimaalista voluntaarista isometristä oikean jalan ojennusvoimaa harjoitelleilla  $9,1 \pm 18$  %. Kontrolliryhmällä muutos oli  $- 1,9 \pm 7,7$  %. Ero voimaharjoittelua harjoittaneiden ( $239 \pm 52$  Nm:stä  $255 \pm 38$  Nm:iin) ja kontrolliryhmän ( $221 \pm 42$  Nm:stä  $217 \pm 42$  Nm:iin) välillä oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,001$ ).

Ennen aikaspesifistä voimaharjoittelua EVENING ja CONTROL ryhmillä aamulla (7.00 – 8.00) suoritettu MVC oli merkitsevästi matalampi kuin iltapäivällä (16.30 – 17.30) suoritettu MVC (kuva 9). CONTROL ryhmällä myös illan suoritustaso oli lisäksi tilastollisesti suurempi kuin aamun suoritustaso. MORNING ryhmällä aamun, iltapäivän ja illan suoritustasossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (kuva 9). Samanlainen vaikutus voimatasojen päivittäisissä vaihteluissa säilyi CONTROL ja MORNING ryhmillä koko tutkimuksen ajan. 10 viikon aikaspesifisen HS/HL harjoittelun jälkeen EVENING ryhmällä aamun ja illan suoritustason välille syntyi tilastollisesti merkitsevä ero (kuva 9).

Tämän tutkimuksen aikana kumpikaan harjoitteluryhmä (MORNING ja EVENING) ei parantanut tilastollisesti merkitsevästi minkään suoritusajankohdan voimatasoaan verrattuna kontrolliryhmään (CONTROL) tai toisiinsa nähden (taulukko 6).

Tarkasteltaessa suoritustasojen muutoksia ryhmien sisällä MORNING ryhmä paransi aamun ja illan suoritustasoaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) ja EVENING ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi aamun ( $p < 0,01$ ), päivän ( $p < 0,05$ ) ja illan ( $p < 0,001$ ) suoritustasoaan. CONTROL ryhmän muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Millään ryhmällä minkään aikakohdan suoritustason muutos ei ollut tilastollisesti suurempaa toiseen suoritusajankohtaan muutokseen nähden.



Kuva 9. Maksimaalisen voluntaarisen isometrisen (MVC) oikean jalan ojennuksen vääntömomentit (Nm) kolmena eri vuorokauden ajankohtana ja ajankohtien suoritustasojen tilastolliset erot (tähdet) ennen ja jälkeen harjoitteluajankohdan spesifisen voimaharjoittelun. Täytetyt ruudut ovat 1. kronomittaukset ja täytetyt pallot ovat 2. kronomittaukset.

## 8 POHDINTA

Tutkimuksen päätuloksena havaittiin, että eri vuorokauden aikaan suoritettu 10 viikon HS/HL voimaharjoittelu ei saanut aikaan aikaspesifisiä muutoksia maksimaalisessa isometrisessä (MVC) ja dynaamisessa (kyykky) voimantuotossa (taulukko 6). Eri vuorokauden aikaan suoritettut MVC:t kasvoivat molemmilla harjoitteluryhmillä tilastollisesti merkitsevästi kaikilla mitatuilla ajankohdilla, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä eri mittausajankohtien välillä tai kontrolliryhmään verrattuna (taulukko 6). Toisena päätuloksena havaittiin, että aamulla ja illalla suoritettulla voimaharjoittelu saivat aikaan yhtäsuuren lihaksen (Kuva 7 ja 8, taulukko 5) ja jalkojen maksimaalisen dynaamisen voiman kasvun (taulukko 6).

Souissin ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin, että parannus jalkojen isokineettisessä ojennusvoimassa oli suurempaa sillä ajankohdalla millä koehenkilöt olivat harjoitelleet voimaharjoittelua. Torii ym. (1992) tutkimuksessa havaittiin, että kolmen aikaan suoritettu harjoittelu aerobinen harjoittelu saa aikaan suuremmat vasteet aerobiseen suorituskäyttöön kuin aamulla harjoittelu. Hillin ym. (1989) tutkimuksessa koehenkilöiden vaste aerobiseen harjoitteluun oli suurin sillä ajankohdalla millä he olivat harjoitelleet. Tässä tutkimuksessa ei löydetty merkitystä harjoitusajankohdalla lihaksen kasvuun ja maksimaaliseen jalkojen dynaamiseen voimaan. Jalkojen ojennusvoimalla oli kuitenkin suuntausta aikaspesifiseen adaptaatioon molemmilla harjoitusryhmillä (taulukko 6). EVENING ryhmällä illan suoritustason muutos oli suurempaa ( $13,7 \pm 10 \%$ ) kuin aamun suoritustason muutos ( $12,4 \pm 12 \%$ ) ja aamun ja illan suoritustason välille muodostui tilastollisesti merkitsevä ero (kuva 9) 10 viikon aikaspesifisen voimaharjoittelun seurauksena. MORNING ryhmän muutokset olivat myös samansuuntaisia, sillä suurin parannus oli aamulla ( $13,2 \pm 15 \%$ ), mutta parannus ei ollut tilastollisesti suurempi kuin illan suoritustason muutos ( $10,9 \pm 11 \%$ ). Kuitenkaan vuorokauden eri ajankohtien suoritustason muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan 10 viikon aikaspesifisen voimaharjoittelun jälkeen millään ryhmällä.

## 8.1 Fyysinen suorituskyky vuorokauden eri aikoina

Tämän tutkimuksen kronobiologisten mittausten tuloksista havaittiin, että maksimaalisella voluntaarisella isometrisellä oikean jalan ojennuksella on suoritusasteen vaihtelua vuorokauden aikana (kuva 9). Samanlainen suoritusasteen vaihtelu vuorokauden aikana on havaittu monissa eri suorituksissa (mm. Reilly & Down 1992, Reilly 1990, Gauthier ym. 2001, Stockton ym. 1978, Wyse ym. 1994, Raschka ym. 2002). Suoritusasteen tilastollisesti merkitsevä vaihtelu tässä tutkimuksessa havaittiin niin ennen kuin jälkeenkin 10 viikon aikaspesifisen HS/HL harjoittelun EVENING ja CONTROL ryhmillä. Ennen tutkimuksen voimaharjoittelua CONTROL ja EVENING ryhmillä aamulla suoritettu MVC oli merkitsevästi alhaisempi kuin iltapäivällä suoritettu. MORNING ryhmällä tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut koko tutkimuksen aikana eri vuorokauden ajan suoritusasteissa (kuva 9). Kuitenkin aamun suoritusaste oli edelleen matalin 10 viikon HS/HL voimaharjoittelun jälkeen kaikilla ryhmillä (taulukko 6, kuva 9). Reillyn & Marshallin (1991) tutkimuksessa havaittiin että kilpa-uimarit, jotka harjoittelivat aina aamuisin, tuottivat suurimmat keskimääräisen – ja huipputehon Wingaten testissä illalla (18:00) suoritettuna, joka oli modifioitu käsillä tehtäväksi. Youngstedt & O'Connorin (1999) mukaan on mahdollista, että joidenkin suorituskyvyn muuttujien aamun heikompi suoritusaste voi olla riippuvainen yönunen kestävästä immobilisaatiojaksosta. Tätä tukee Atkinsonin ym. (2005) tutkimuksen tulokset, jossa aamun suoritusaste oli heikoin, vaikka ennen mittauksia tehtiin kunnan lämmittely. Toisensuuntaisen tutkimustuloksen sai Souissi ym. (2002) tutkimuksessaan, jossa Wingaten testin anaerobinen huipputeho aamulla harjoitelleilla saavutti saman tason aamulla suoritettuna kuin illalla suoritettuna kuuden viikon aikaspesifisen harjoittelun jälkeen. Niveljäykkyydelläkin on löydetty vuorokauden aikana tapahtuvaa vaihtelua ja se voi selittää joidenkin urheiluasteiden aamun heikomman suoritusasteen (Wright ym. 1969). Tässä tutkimuksessa ei kontrolloitu koehenkilöiden heräämisaikaa ja aikaväliä heräämisestä aamun kronobiologiin mittauksiin. Ei ole täysin selvää saako harjoittelu aikaan muutoksia suorituskyvyn vuorokausivaihtelun rytmille normaaleissa olosuhteissa.

MORNING ryhmällä suurin parannus MVC vääntömomentissa oli sillä ajankohdalla millä harjoiteltiin, mutta EVENING ryhmällä tätä vaikutusta ei ollut. Drustin ym. (2005) mukaan kronobiologisissa mittauksissa on vaikeaa sivuuttaa väsymys – ja oppimisefektiä. Monet tutkimukset ovat tehneet niin sanotun käänteisen mittauksen, jossa jokainen koehenkilö aloittaa mittaukset eri mittausajankohdalla välttääkseen väsymys/oppimisefektin. Osassa tutkimuksia on käytetty ”Cyclic Latin Square” (Folkard & Monk, 1980) mittausprotokollaa, joka poistaa kaikki väsymisen ja oppimisen vaikutukset. Tässä protokollassa mittausten välillä pitäisi olla aina kahdeksan tuntia väliä, jolloin mittaukset ajoittuisivat yli kahden päivittäisen kronobiologisen rytmin yli ja koehenkilöt pystyisivät nukkumaan kunnolla 22.00 – 06.00 välillä. Tässä tutkimuksessa kronobiologiset mittaukset suoritettiin aikajärjestyksessä samana päivänä (ensimmäinen mittaus aamulla), jolloin on oletettavissa, että mittauksissa joiden välissä on ainoastaan kolme – neljä tuntia ja yksissä mittauksissa on monta eri mitattavaa voimamuuttujaa (taulukko 3), saa aikaan väsymistä mittausten edetessä. Tämä voi heikentää ryhmien tulosta iltapäivällä ja illalla mitattuna, jolloin väsymystä voi olla jo olemassa. Kaikilla ryhmillä iltapäivän ja iltapäivän suoritustasot olivat samanlaiset ensimmäisissä kronobiologisissa mittauksissa ja CONTROL ryhmän suurin muutos oli illalla mitattuna 10 viikon jakson jälkeen, joten väsymistä ei voi pitää ainoana selitettävänä tekijänä EVENING ryhmän lähes yhtä suurelle voimien kasvulle aamulla, iltapäivällä ja illalla. Muutosprosentit ovat molemmilla harjoitusryhmillä lähellä toisiaan kaikilla mittausajankohdilla ja muutosprosenttien keskihajonnat ovat suuria (taulukko 6), joten mitään yleistystä harjoitusaikaspesifisyydestä muutosprosenttien perusteella ei voida tehdä.

Youngstedt & O`Connor (1999) arvelivat, että päivittäiset vaihtelut suoritustasossa voivat johtua ruokailutottumuksista. Monet tutkijat ovat mitanneet aamun suoritustason yön kestävän paaston jälkeen, mutta ovat antaneet koehenkilöiden syödä kolme tuntia ennen iltapäivän ja illan mittauksia. Tällaiset erot ruokailuissa voi muuttaa glykokeenin päivittäisen tasojen vaihtelua. Suoritustasojen päivittäistä vaihtelua on löydetty myös muuttujissa, jotka eivät ole riippuvaisia glykokeenitasoista (Atkinson & Reilly 1996). Tässä tutkimuksessa koehenkilöt suorittivat aamumittauksen yön yli kestävän paaston ja saivat syödä kolme tuntia ennen päivän ja iltapäivän mittauksia. Kuitenkin mittauksissa mitattiin



maksimaalista isometristä polven ojennusta, jonka kesto oli noin kolme sekuntia. Näin ollen yön yli kestäväällä paastolla ei ollut merkitystä tämän tutkimuksen tuloksiin.

Guette ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin, että nelipäisen reisilihaksen maksimaalisella voluntaarisella isometrisellä jalan ojennusvoimalla on selkeää suoritustason vaihtelua päivän aikana. Kuitenkaan neuraalisella ohjauksella ei ollut vaihtelua päivän aikana (Guette ym. 2005). Heidän mukaansa päivittäinen suoritustason vaihtelu on sidoksissa perifeerisiin muuttujiin, mieluummin kuin neuraaliseen ohjaukseen. Samanlaiseen johtopäätökseen päätyivät Martin ym. (1999) ja Castaingts (2004) tutkimuksiensa tuloksien perusteella, jossa tutkimuskohteina olivat adductor pollicis lihas ja pohjelihas. Tässä tutkimuksessa oikean jalan nelipäisen reisilihaksen tilavuuden kasvu (MORNING 3,15 % ja EVENING 3,19 %, kuva 7) ja oikean jalan isometrisen ojennuksen vääntömomentti (taulukko 6) oli molemmilla harjoitteluryhmällä lähes yhtä suurta, joten spesifistä korrelaatiota lihasvolyymien kasvulle ja eri aikaan suoritetuille vääntömomenteille ei löytynyt.

## **8.2 Lihaksen poikkipinta-ala ja volyymi**

Nelipäisen reisilihaksen lihasvolyymi ja kaikki nelipäisen reisilihaksen 13 poikkipinta-alan leikkauskohtaa kasvoivat molemmilla ryhmillä merkitsevästi verrattuna kontrolliryhmään (taulukko 6, kuva 9) ja suurinta kasvu oli 3/15 reiden pituutta polvesta lähtien. Harjoitteluryhmien välillä merkitseviä eroja ei ollut. Poikkipinta – alojen kasvu oli suurinta distaalisessa reiden päässä (CSA 3 – 5/15, taulukko 6). Häkkisen ym. (1998a) tutkimuksessa samanlaisella harjoittelumuodolla, mutta aiemmin harjoittelemattomilla miehillä lihaksen poikkipinta – ala kasvoi 12,2 % 10 viikon HS/HL voimaharjoittelun seurauksena. Häkkisen (1998b) tutkimuksessa keski – ikäisillä miehillä (40 vuotta) kuuden kuukauden voimaharjoittelu sai aikaan 4,9 % poikkipinta – alan kasvun 1/3 reiden pituudelta polvesta lähtien. Naricin ym. (1989) kahdeksan viikon voimaharjoittelun jälkeen nelipäisen reisilihaksen keskimääräinen poikkipinta-alan kasvu oli aiemmin harjoittelemattomilla miehillä 8.5 % ja suurinta pinta-alan kasvu oli 2/10 reiden pituutta polvesta lähtien. Ahtiaisen ym. (2003) tutkimuksessa nelipäisen reisilihaksen poikkipinta –

ala kasvoi viidellä ensimmäisellä poikkipinta – alan leikkauskohdalla merkitsevästi kahdeksasta. Muissakin tutkimuksissa nelipäisen reisilihaksen kasvu on ollut suurinta ensimmäisissä poikkipinta – aloissa polvesta lukiin (Häkkinen ym. 2001, 2002). Nelipäisen reisilihaksen kasvu on tässä tutkimuksessa samansuuntainen kuin muissakin tutkimuksissa: suhteellinen kasvu oli suurinta reiden distaaliossa (taulukko 6). Lähes kaikissa tutkimuksissa on tutkittu aiemmin harjoittelemattomia ja erilaisilla harjoitusmetodeilla, joten tuloksia ei suoraan voi verrata muihin tutkimuksiin, joissa lähes poikkeuksetta kasvu on ollut hieman suurempaa kuin tässä pro – gradu tutkielmassa. Tämän tutkimuksen harjoittelussa yhdisteltiin hypertrofisia, nopeusvoima ja maksimivoimaharjoitteita (taulukko 4). Hermostollinen maksimivoimaharjoittelu aiheuttaa vain verraten vähän lihaskasvua hyvän voimaharjoitustaustan omaavilla henkilöillä (Häkkinen ym. 1985, Häkkinen 1986) ja hypertrofisella harjoitteella taas saadaan aikaan suurin lihasmassan kasvu, joissa sarjojen kestot on noin 6 – 12 toistoa ja useita liikkeitä samalle lihasryhmälle (Häkkinen 1990). Nopeusvoimaharjoittelu aiheuttaa taas selvästi vähemmän lihasmassan kasvua kuin normaali maksimivoimaharjoittelu (Häkkinen ym. 1985a, 1985b ja Häkkinen 1986). Verraten pieneksi jäänyt lihaksen poikkipinta – alan kasvu voi johtua paljolti harjoittelumetodista, mitä tässä tutkimuksessa käytettiin. Tämän tutkimuksen koko jalkojen harjoitteluvolyymistä oli hypertrofisia harjoitteita 44,4 % (taulukko 3) ja harjoitteita verraten vähän muihin jalkojen harjoitteisiin verrattuna, joten suurempi lihaksen kasvu olisi ollut yllättävää. Viiden jälkimmäisen (taulukko 3) viikon maksimivoimaharjoitteet olivat jo todella raskaita, joten hypertrofia harjoitteiden suoritus on voinut taten vaikeutua.

### **8.3 Jalkakyykky ja MVC**

Ennen tätä tutkimusta suoritettu 10 viikon HS/HL voimaharjoittelu paransi maksimijalkakyykkyä 31,6 % harjoitteluryhmäläisillä, jonka aikana harjoituskertoja kertyi keskimäärin 22,4. Harjoittelu suoritettiin progressiivisesti kuormaa nostaen harjoituksesta harjoitukseen alkaen 40 %:sta päättyen 90 %:iin maksimista. Tulos oli samansuuntainen aiemmin tehtyjen tutkimuksien kanssa, jossa harjoituskertojen määrä on ollut 21 kertaa. Donsin ym. (1979) tutkimuksessa dynaaminen maksimivoima kasvoi 24 %, kun harjoittelu

suoritettiin 50 % kuormalla maksimista ja 42 % kun harjoittelu suoritettiin 80 % kuormalla maksimista. Stowersin ym. (1983) tutkimuksessa jalkakyykyn maksimivoiman kasvu oli 28 %, kun harjoittelu suoritettiin progressiivisesti kuormaa nostaen. Ennen harjoittelemattomilla suurin kasvu maksimivoimassa harjoittelun ensimmäisillä viikoilla on sidoksissa lihaksen neuraalisen ohjauksen parantumiseen ja harjoituksen edetessä lihaksen kasvu ottaa suuremman osan maksimivoiman kasvusta (Moritani & DeVries 1979). Lisäksi tekniikkaa vaativissa maksimivoimasuorituksissa (esim. jalkakyykky) voimien kasvuun harjoittelun alkuvaiheessa vaikuttaa myös suoritustekniikan parantuminen, joka perustuu parantuneeseen lihasten synkronisointiin ja neuraalisen ohjauksen ajoitukseen.

Tämän tutkimuksen aikana molempien harjoitusryhmien parannus jalkakyykyn maksimipainoissa oli 5,67 %, joka ei ollut merkitsevä ero kontrolliryhmään (2,77 %) nähden (taulukko 7). Häkkisen ja Komin tutkimuksessa (1983) havaittiin, että pitämällä harjoitusintensiiteettiä kovana (80 – 90 %) koko tutkimusjakson ajan lihasten tahdonalainen hermotus kasvoi huomattavasti ensimmäisten 4 – 8 viikon aikana. Kasvu kesti noin 8 – 12 harjoitusviikkoon saakka. Tämän jakson aikana havaittiin myös maksimivoiman kehittymisen olevan suurimmillaan. Tämän jälkeen lihasten tahdonalaisen hermotuksen kasvu pysähtyi tai kääntyi jopa laskuun. Samaan aikaan myös maksimivoiman kehitys taantui. He (Häkkinen & Komi 1983) päättelivät, että harjoitusjakso muodostui liian rasittavaksi ja koehenkilöt ajautuivat ”hermostolliseen” ylläsitustilaan. Häkkisen mukaan (1990) hermoston toiminnan kannalta kannattaa intensiivisen maksimivoimaharjoitusjaksojen pituudet jakaa korkeintaan 8 – 12 ( $\pm$  2) viikon mittaisiksi. Liian raskas harjoittelu voi johtaa myös ”hormonaaliseen” ylikuntoon, esimerkiksi se voi alentaa testosteronin lepopitoisuutta (Raastadt ym. 2001), testosteroni/kortisoli ja testosteroni/SHGB suhteita (Häkkinen ym. 1985c ja 1987). Näiden hormonien pitoisuudet ja suhteet ovat yhteydessä voimien muutokseksi kanssa (Raastadt ym. 2001, Häkkinen ym. 1985c ja 1987). Ylikuntoilassa kortisolin pitoisuuden on todettu nousevan, testosteronin ja vapaan testosteronin määrän laskevan (Fry & Kraemer 1997, Earnest ym. 2000). Tätä tutkimusta ennen harjoiteltiin intensiivisesti HS/HL voimaharjoittelua 10 viikkoa, jonka maksimivoimaosuusintensiteetti oli 40 – 90 % ja HS/HL harjoittelu jatkui toiset 10 viikkoa tässä tutkimuksessa, jonka maksimivoimaharjoittelun intensiteetit olivat 70 – 100

% . Tämän tutkimuksen tulosten mukaan voi olla, että tutkimuksen aikana hermostollinen ohjaus ei enää parantunut ja koehenkilöt olivat ”hermostollisesti” rasittuneita. Ennen tutkimusta suoritettu harjoittelu oli jo vaativa, joten tämän tutkimuksen harjoittelu ei enää saanut aikaan merkitsevää kehitystä. Jalkakyykky ei kasvanut merkitsevästi kummallakaan harjoitusryhmällä kontrolliryhmään nähden. Voi olla, että sama neuraalisen ohjauksen ylläpitäminen pätee myös maksimaalisen isometrisen polven ojennuksen tuloksiin, jotka eivät myöskään kasvaneet harjoitteluryhmillä tilastollisesti merkitsevästi kontrolliryhmään nähden. Mikään voimamuuttujan muutos ei korreloinut lihaksen koon muutoksen kanssa. Kuitenkin lihaksen koko kasvoi merkitsevästi molemmilla ryhmillä, joten harjoittelijat eivät voineet mahdollisesti olla hormonaalisessa ylikunto-tilassa.

Maksimaalinen voluntaarinen isometrinen oikean jalan ojennus harjoittelijoilla parani ennen tätä tutkimusta suoritettuna 10 viikon voimaharjoittelun aikana 9,1 %. Tämän tutkimuksen aikana MORNING ryhmä paransi oikean jalan ojennusvoimaansa 11,2 % ja EVENING ryhmä 12,7 % (Taulukko 5 keskiarvo kaikista mittausajankohtien muutosprosentista) 120° polvikulmalla suoritettuna. 21 viikon voimaharjoittelu sai aikaan 21 % parannuksen jalan isometrisessä ojennusvoimassa, jossa polvikulmana käytettiin 110° (Ahtiainen ym. 2003). Tutkimuksessa MVC ei enää parantunut merkitsevästi harjoitusviikkojen 14 – 21 välillä. Häkkisen ym. (1998a) tutkimuksessa aiemmin harjoittelemattomilla 10 viikon HS/HL voimaharjoittelun jälkeen oikean jalan ojennusvoima parani 15,6 % 110° polvikulmalla. Tämän tutkimuksen MVC:n kasvu molemmilla harjoitusryhmillä oli aiempiin tutkimukseen verrattaessa samansuuntaisia, mutta merkitsevää kasvu ei ollut kuitenkaan CONTROL ryhmään verrattuna.

MVC:n, lihaksen poikkipinta – alojen ja maksimaalisen jalkakyykyn muutokset 10 viikon aikaspesifisen HS/HL harjoituksen vaikutuksesta osoittavat, että eri aikaan suoritettulla voimaharjoittelulla ei ole merkitsevästi erilaista adaptaatiota lihaksen voimien kasvuun tällaisella tutkimusinterventiolla.

## 8.4 Tutkimuksen toteutus

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan pitää luotettavina. Koehenkilöitä oli riittävästi kaikissa ryhmissä, jotta yleistyksiä spesifisestä harjoitteluajankohdasta voidaan tämän kaltaisen tutkimusprotokollan perusteella tehdä. Isometrinen voimamittaus on todettu erittäin luotettavaksi (Viitasalo ym. 1980, Going, ym. 1987) ja helposti validoitavaksi. Se korreloi merkitsevästi jalkakyykyn suoritustasoon tässä tutkimuksessa ( $p=0,018 - 0,05$ ), joten isometrinen jalan ojennusvoima pitäisi olla hyvä mittaustapa kuvaamaan kronobiologista vaihtelua. Koehenkilöt olivat tottuneet isometrisiin voimamittauksiin aiemmin MA-Study 2004 suoritetuissa mittauksissa, joten oppimisefekti ei vaikuta näissä kronobiologisten mittauksen tuloksissa. Mittausprotokolla oli hyvin validoitu samanlaiseksi kaikissa mittauksissa ja kronobiologisissa mittauksissa pyrittiin siihen, että samalla koehenkilöllä on koko päivän ajan sama mittaaja, jotta mittaustapahtuma olisi aina samanlainen myös ohjaajan osalta. Koehenkilöiden ruokailua kontrolloitiin kronobiologisten mittauspäivien aikana.

Nelipäisen reisilihaksen määrittämisessä korrelaatio pinta – alojen piirtämiselle oli 0,99 ja keskimääräinen virhe pinta – alan määrittämisessä oli  $0,36 \pm 0,26$  %. Poikkipinta-alojen tuloksissa on täten suhteessa paljon virhettä, koska muutokset olivat pieniä (taulukko 6). Eniten virhettä tulee pieninten pinta – alojen määrittämisessä, riippuen analyysiohjelman resoluutiosta. Toinen virhelähde mittauksissa on koehenkilön asento ja paikka suhteessa mittauskelaan. Jos koehenkilön mitattava jalka on hieman eri asennossa eri mittauksissa, muuttuu lihaksen poikkipinta – ala jo mittausteknisesti. Kelan asetuksesta koehenkilöön nähden koituu myös virhettä. Jos kela on polvesta katsottuna jälkimittauksissa alempana tai ylempänä kuin alkumittauksissa, tulee poikkipinta – aloihin jo merkittävä muutos varsinkin pienimpiin pinta-aloihin. Kaikki nämä virhelähteet mukaan ottaen voi virhe pinta – alojen määrittämiseen voi olla suurempi kuin pelkkä kuvien analysoinnista tapahtuva virhe. Koehenkilöitä oli kaikissa ryhmissä paljon, joten se vähentää hieman mittausvirheen määrää.

Aiemmin kuvattu ”Cyclic Latin Square” (Folkard & Monk, 1980) mittausprotokollaa olisi ollut hyvä noudattaa tässä tutkimuksessa kronobiologisissa mittauksissa väsymyksen välttämiseksi. Joidenkin koehenkilöiden mielestä kronobiologisissa mittauksissa oli liikaa mitattavia voimamuuttujia (taulukko 2) ja he kertoivat väsyneensä päivän edetessä. Kuitenkin aamun suoritustaso oli koko tutkimuksen ajan kaikilla ryhmillä matalin (taulukko 7), joka on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (mm. Reilly&Down 1992, Reilly 1990, Gauthier ym. 2001, Stockton ym. 1978, Wyse ym. 1994, Raschka ym 2002). Väsymisefektiä oli vaikea tämän pro – gradu tutkimuksen tulosten perusteella selvittää.

Tutkimuksen aikaspesifinen voimaharjoittelu alkoi kesäkuun alkupuolella ja loppui elokuun lopulla. Tutkimuksen ajankohta voi vaikuttaa myös mittausten tuloksiin. Suurin osa koehenkilöistä olivat töissä käyviä ja suurimmalta osalla heistä vuosiloma oli juuri tämän tutkimuksen aikana. Tämän tutkimuksen aikana harjoittelijat pyrkivät suorittamaan harjoitukset arkipäivinä, jotta heillä olisi viikonloput vapaat mennä kesämökeille tai muille lomamatkoille. Vuosiloma voi vaikuttaa motivaation tasoon harjoitella voimaharjoittelua. Se voi vaikuttaa osaltaan myös EVENING ryhmän tuloksiin kronobiologisissa mittauksissa, koska vuosiloman aikana heidän ei tarvinnut herätä aamukahdeksaan töihin. Harjoitteluajikaspesifisen voimaharjoittelun tuloksiin voi myös vaikuttaa vuodenajankohta minä aikana sitä suoritetaan. Ihmisen suorituskykykin vaihtelee vuodenaikojen mukaan, joten vaste harjoitteluun voi olla erilainen eri vuodenaikana suoritettuna. Laajempi määrä muuttujia olisi voinut tarkentaa aikaspesifisen voimaharjoittelun vaikutusta.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin 10 viikon aikaspesifisen HS/HL voimaharjoittelun vaikutusta lihaksen voimantuottoon ja kokoon. Koehenkilöt olivat harjoitelleet aiemmin jo 10 viikkoa samassa tutkimuksessa, jolloin harjoittelu suoritettiin iltapäivällä (16.00 – 19.00). Ennen tätä tutkimusta suoritettua 10 viikon voimaharjoittelun vaikutusta suorituskyvyn rytmille ei saada selville, koska ennen sitä harjoittelujaksoa ei kronobiologisia mittauksia tehty. Se on voinut nostaa kaikkien harjoittelijoiden suorituskyvyn tasoja iltapäivällä ja näin ollen ensimmäisen kronobiologisten mittausten voimatasot ennen tämän tutkimuksen harjoittelujaksoa eivät olisi todellisia. Tulevaisuudessa aikaspesifisen harjoittelun

vaikutusta täytyisi tutkia pidemmällä aikavälillä, jossa tehtäisiin välimittauksia, jolloin adaptaation suuruus ja nopeus pystyttäisiin selvittämään.

## **8.5 Jatkotutkimusehdotuksia**

Ihmisen suorituskykyyn vaikuttaa vuorokaudenajankohta normaaleissa olosuhteissa ja endogeenisilla mekanismeilla on vaihtelulle vaikutusta. Kuitenkaan tarkkaa tietoa ei endogeenisten ja eksogeenisten muuttujien vaikutuksesta ei ole suoritusasteen vaihteluun. Suorituskyvyn päivittäisen vaihtelun mekanismeista ja vaikutuksista olisi ainakin hyötyä huippu – urheilijoille, jotka kilpailevat ympäri maailmaa. Aikavyöhykkeestä toiseen siirtyminen ei siirrä ihmisen ”sisäistä kelloa” heti, joten ainakin alussa suorituskyky seuraa rytmiä, joka oli aikavyöhykkeessä, josta lähdettiin. Julkaisuja on tehty, joissa ehdotetaan miten matkustaminen aikavyöhykkeestä toiseen vaikuttaa urheilijoiden adaptoitumiseen (Cardinali ym. 2002, O`Connor ym. 2004), mutta tarvitaan kuitenkin paljon lisätutkimuksia, niin laboratorio- kuin kenttäolosuhteissa, jotta saataisiin selville rytmien adaptoitumisen nopeus ja niiden vaikutus suorituskykyyn. Jos tietyillä ominaisuuksilla on aikaspesifinen adaptaatio, niin esim. heittolajeissa voisi tehdä niitä harjoituksia, jotka eniten vaikuttavat heiton pituuteen harjoituksissa samoihin aikoihin, jolloin kilpailut yleensä on. Jos selvä aikaspesifinen adaptaatio harjoittelulle on olemassa, niin adaptaation nopeus täytyisi tutkimuksissa selvittää, jotta harjoittelun ajoitus voitaisiin tehdä oikeaan aikaan.

## **8.6. Yhteenveto**

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että 10 viikon aikaspesifinen voimaharjoittelu ei saanut aikaan aikaspesifisiä muutoksia lihasvoimaan ja lihaksen kasvuun. Molemmilla harjoitusryhmillä oli samansuuruinen jalkakyykyn maksimin ja nelipäisen reisilihaksen kasvu. Suuntaus aikaspesifiseen adaptaation oli molemmilla harjoitusryhmillä oikean jalan ojennusvoimassa, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, joten sen perusteella ei voi tehdä yleistystä harjoittelun aikaspesifisyydestä.

Näin ollen, jos adaptaatio voimaharjoitteluun on aikaspesifinen, 10 viikon harjoittelujakso ei ole riittävän pitkä saamaan aikaan merkitseviä muutoksia.

## 9 LÄHTEET

Aagaard, P., Simonsen, E.B., Trolle, M., Bangsbo, J. & Klausen, K. 1996 Specificity of training velocity and training load on gains in isokinetic knee joint strength. *Acta Physiologica Scandinavica* 156, 123-129.

Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andresen, J.L., Magnusson, S.P., Bojsen-Moller, F. & Dyhre-Poulsen, P. 2000. Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 10, 58-67.

Adams, G.R., Hather, B.M., Baldwin, K.M. & Dudley, C.A. 1993. Skeletal muscle heavy chain composition and resistance training. *Journal of Applied Physiology* 74, 911-915.

Ahtiainen, J.P., Arto 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 *Eur J Appl Physiol* 89: 555–563

Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S.Y. ym. 1999. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31, 588-594.

Alway, S.E., Grumbt, W.H., Stray-Gundersen, J. & Gonyea, W.J. 1992. Effects of resistance training on elbow flexors of highly trained competitive bodybuilders. *Journal of Applied Physiology* 72, 1512-1521.

Alway, S.E., MacDougall, J.D. & Sale, D.G. 1989. Contractile adaptations in the human triceps surae after isometric exercise. *Journal of Applied Physiology* 66, 2725-2732.

Andersen, J.L. & Aagaard, P. 2000. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle and Nerve* 23, 1095-1104.

Antonio, J. & Gonyeau, W.J. 1993a. Progressive stretch overload of skeletal muscle results in hypertrofia before hyperplasia. *Journal of Applied Physiology* 75, 1263-1271.

Appell, H.J., Forsberg, S. & Hollmann, W. 1988. Satellite cell activation in human skeletal muscle after training: evidence for muscle fibre neof ormation. *Internatiol Journal of Sports Medicine* 9. 297-299.

Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T. & Waterhouse, J. 2005. Diurnal variation in cycling performance. Influence of warm up. *J. Sports Sci.* 23:321–329.



- Atkinson, G. & Reilly, T. 1996. Circadian variation in sports performance. *Sports Med.* 21(4):292–312.
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B.H., Letson, D., Chuinard, R. & D'Ambrosia, R. 1998. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *American Journal of Sport Medicine* 16, 113-122.
- Bernardi, M., Solomonow, M. & Baratta, R.V. 1997. Motor unit recruitment strategy of antagonist muscle pair during linearly increasing contraction. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 37(1), 3-12.
- Binder, M.D., Kroin, J.S., Moore, G.P. & Stuart, D.G. 1997. The response of Golgi tendon organs to single motor unit contractions. *J. Physiol (Lond)* 271: 337-349.
- Bischoff, R. 1989. Analysis of muscle regeneration using single myofibres in culture. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, S164-S172.
- Blomquist, C.H., Holt, J.P. 1994. Chronobiology of the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in Men and Women. In: *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin, Springer Verlag, 315-383.
- Brown, A.B., McCartney, N., Moroz, D., Sale, D. & MacDougall, J.D. 1988. Strength training effects in aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20, S80.
- Bullard, J.M. 1992. The growth hormone response to exercise at different times of the day. Microfilm Publications, College of Human Development and Performance, University of Oregon Eugene, Ore., 1 microfiche (58 fr.): neative, ill.; 11 x 15 cm.
- Caridinali, D., Bortman, G., Liotta, G., Lloret, S., Albornoz, L., Cutrera, R., Batista, J., Gallo, P. 2002. A multifactorial approach employing melatonin to accelerate resynchronization of sleep-wake cycle after a 12 time-zone westerly transmeridian flight in elite soccer athletes. *J. Pineal Res.* 32(1):41–46.
- Carolan, B. & Caffarelli, E. 1992. Adatations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology* 73, 911-917.
- Carpentier, A., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1996. Velocity-dependent muscle strategy during plantarflexion in humans. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 6, 1-11.
- Carpentier, A., Duchateau, J. & Hainaut, K. 1999. Load-dependent muscle strategy during plantarflexion in humans. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 9, 1-11.
- Carroll, T.J., Abernethy, P.J., Logan, P.A., Barber, M. & McEniery, M.T. 1998. Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 78, 270-275.

- Castaingts, V., Martin, A., Van Hoecke, J. & Perot, C. 2004. Neuromuscular efficiency of the triceps surae in induced and voluntary contractions: morning and evening evaluations. *Chronobiol Int.* 2004 Jul;21(4-5):631-43.
- Chambers, R.L. & McDermott, J.C. 1996. Molecular basis of skeletal muscle regeneration. *Canadian Journal of Applied Physiology* 21, 155-184.
- Chesley, A., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Atkinson, S.A. & Smith, K. 1992. Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 73, 1383-1388.
- Chiakulus, J.J. & Pauly, J.E. 1965. A study of post-natal growth of skeletal muscle in the rat. *Anatomical Record* 152, 55-62.
- Chilibeck, P.D., Syrotuik, D.G. & Bell, G.J. 1999. The effect of strength training on estimates of mitochondrial density and distribution throughout muscle fibres. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 80, 604-609.
- Colson, S., Pousson, M., Martin, A. & Van Hoecke, J. 1999. Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 9, 13-20.
- Cracraft, J.D. & Betajan, J.H. 1977. Effect of muscle training on the pattern of firing of single motor units. *American Journal of Physical Medicine* 56, 183-193.
- Darr, K.C. & Schultz E. 1987. Exercise induced satellite cell activation in growing and mature skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 63, 1816-1821.
- Dawson, B. ym. 1998. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol.* 78, 163.
- Desmedt, J.E. & Godaux, E. 1997. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment patterns of single motor units of the tibialis anterior muscle. *Journal of Physiology* 264, 673-693.
- Dons, B., Bollerup, K., Bonde-Petersen, F. & Hancke S. 1979. The effect of weight-lifting exercise related to muscle fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40:95-106.
- Dosseville F., Mossay S., Larue, J., Gauthier A., & Davenne D. 2002. Physical exercise and time of day: Influences on spontaneous motor tempo. *Perceptual and Motor Skills* 95, 965-972.
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. 2005. CIRCADIAN RHYTHMS IN SPORTS PERFORMANCE—AN UPDATE *Chronobiology International*, 22(1): 21-44.

- Earnest, C.P., Olson, M.A., Broeder, C.E. ym 2000. In vivo 4-androstene-3,17-dione and 4-androstene-3 $\beta$ ,17 $\beta$ -diol supplementation in young men. *Eur J Appl Physiol* 81:229-32
- Edgar, D.M., Reid, M.S., Dement W.C. 1997. Serotonergic afferents mediate activity-dependent entrainment of the mouse circadian clock. *Am J Physiol* 273, R265-R269.
- Edgerton, V.R., Smith, J.L. & Simpson, D.R. 1975. Muscle fibre types of human leg muscles. *Histochemical Journal* 7: 259-266.
- Edington, D. & Edgerton, V.R. 1976. *The biology of physical activity*. Boston: Houghton Mifflin Co.
- Enoka, R.M. 1997. Neural adaptations with chronic physical activity. *Journal of Biomechanics* 30, 447-455.
- Enoka, R.M. 1994. *Neuromechanical basis of kinesiology*, 2nd edition. Champaign (IL.): Human Kinetics.
- Felici, F., Rosponi, A., Sbriccoli, P., Filligoi, G., Fattorini, L. & Marcheti, M. 2001. Linear and non-linear analysis of surface electromyograms in weightlifters. *European Journal of Applied Physiology* 84, 337-342.
- Fischmann, D.A. 1972. Development of striated muscle. In: *The Structure and Function of Muscle: Structure, Part 1, Vol.1.* edited by G.H. Bourne), 75-148. Academic Press, New York.
- Fleck, S.J. & Kraemer W.J. 1997. *Designing resistance training programs*, 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Folkard, S. & Monk, T. H. 1980. Circadian rhythms in human memory. *Br. J. Psychol.* 71:295-307
- Fry, A.C. & Kraemer, W.J. 1997. Resistance exercise overtraining and overreaching: neuroendocrine responses. *Sports Med* 23: 106-29
- Fuglevand, A.J., Winter, D.A. & Patla, A.E. 1993. Models of recruitment and rate coding organization in motor unit pools. *Journal of Neurophysiology* 70, 2470-2488.
- Garland, S.J., Cooke, J.D., Miller, K.J., Ohtsuki, T. & Ivanova, T. 1996. Motor unit activity during human single joint movements. *Journal of Neurophysiology* 76, 1982-1990.
- Gauthier, A. Davenne, D., Martin, A., Van Hoecke, J. 2001. Time of day effect on isometric and isokinetic torque developed during elbow flexion in humans. *Eur. J. Appl. Physiol* 84, 249-252.
- Giacomoni, M., Bernard, T., Gavarry, O., Altare, S. & Falgairette, G. 1999. Diurnal variations in ventilatory and cardiorespiratory responses to submaximal treadmill exercise in fe-

males. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 20(6), Nov/Dec, 591-597.

Gibala, M.J., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Stauber, W.T. & Elorriaga, A. 1995. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *J Appl Physiol* 78, 2, 702 - 708.

Gibala, M.J., Inertisano, S.A., Tarnopolsky, M.A. 2000. Myofibrillar distribution following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength trained men. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 78, 656-661.

Giddings, C.J. & Gonyea, W.J. 1992. Morphological observations supporting muscle fiber hyperplasia following weight-lifting exercise in cats. *Anatomical Record* 233, 178-195.

Going, S.B., Massey, B.H., Hoshizaki, T.B. ym. 1987. Maximal voluntaric isometric force production characteristics of skeletal muscle in children 8 – 11 years. *Res Q Exerc Sport* 58:487-501.

Goldspink, G. 1970. The profileration of myofibrils during muscle fiber growth. *Journal of Cell Science* 6, 593-603.

Goldspink, G. 1974. Development of muscle. In: *Growth of Cells in Vertebrae tissues.* (edited by Goldspink, G.). 69-99. Chapman& Hall, London.

Goldspink, G. 1992. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: *Strength and Power in Sports.* (edited by Komi, P.V.) 211-229, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Gollnick, P.D., Timson., B.F., Moore, R.L. & Reidy, M. 1981. Muscle enlargement and number of fibers in skeletal muscle of rats. *Journal of Applied Physiology* 50, 939-943.

Gonyea, W.J. 1980. Role of exercise in inducing increases in skeletal muscle fiber number. *Journal of Applied Physiology* 48, 421-426.

Gonyea, W.J., Ericson, G.C. & Bnde-Peterson, F. 1977. Skeletal muscle fiber splitting induced by weight lifting exercise in cats. *Acta Physiologica Scandinavica* 99, 105-109.

Gonyea, W.J., Sale, D., Gonyea, Y. & Mikesky, A. 1986. Exercise induced increases in muscle fiber number. *European Journal of Applied Physiology* 55, 137-141.

Gray, A., Feldman, H.A., Mc Kinlay, J.B., Longcope, C. 1991. Age, disease, and changing sex hormone levels in middle-aged men: results of the Massachusetts male aging study. *J. Clin. Endocrinol. Metab* 73, 1016-1025.

Green, H., Goreham, C., Ouyang, J., Ball-Burnett, M. & Ranney, D. 1999. Regulation of fiber size, oxidative potential, and capillarization in human muscle by resistance exercise. *American Journal of Physiology* 276, 591-596.

- Gryzlo, S.M., Patek, R.M., Pink, M. & Perry, P. 1994. Electromyographic analysis of knee rehabilitation exercises. *Journal of Orthopaedic and Sport Physical Therapy* 20, 36-43.
- Guette, M., Gondin, J. & Martin, A. 2005. Time-of-Day Effect on the Torque and Neuro-muscular Properties of Dominant and Non-Dominant Quadriceps Femoris. *Chronobiol Int.* 22(3):541-58.
- Guyton, A.C. 1986. *Textbook of medical physiology*. 7. painos. Philadelphia, Pa.: Saunders.
- Halberg, F. 1986. *Chronobiology, a science in tune with the rhythms of life*. Mineapolis: Bolger Publications.
- Hall-Griggs, E.C.B. 1970. The longitudinal division of overloaded skeletal muscle fibers. *Journal of Anatomy* 107, 459-470.
- Harridge, S.D., Kryger, A. & Stensgaard, A. 1999. Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. *Muscle and Nerve* 22. 831-839.
- Hasan, Z. & Stuart, D.G. 1984. Mammalian muscle receptors. Teoksessa Davidoff, R.A. (toim.) *Handbook of spinal cord*. New York: Marcel Dekker. S. 559-607.
- Haus, E. & Halberg, F. 1970. Circannual rhythm in level and timing of serum corticosterone in standardized inbred mature C-mice. *Environ Res Mar*; 3(2): 81-106.
- Haus, E. & Touitou, S. 1994. *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin, Springer Verlag, 730.
- Henneman, E., Somjen, G. & Carpenter, D.O. 1965. Functional significance of cell size in spinal motor neurons. *Journal of Neurophysiology* 28, 560-580.
- Herzog, W. 1994. Muscle. Teoksessa Nigg, B.M. & Herzog, W. (toim.) *Biomechanics of the Musculo-skeletal System*. Chichister: John Wiley & Sons Ltd.
- Higbie, E.J., Cureton, K.J., Warren, G.L. III & Prior, B.M. 1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology* 81, 2173-2181.
- Hill, D.W. 1996. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *Journal of sports medicine and physical fitness* 36(3), Sept, 155-160.
- Hill, D.V, Cureton, K.J. & Collins, M.A. 1989. Circadian specificity in exercise training. *Ergonomics*, 32 (1), 79-92.
- Hultman, E. 1980. Glycogen loading and endurance capacity. Teoksessa Stull, G.A. (toim.) *Encyclopedia of Physical Education, Fitness and Sport*. Salt Lake City: Brighton Pub. Co. s. 274-291.

Huxley, A.F. 1957. Muscle structure and theories of contraction. *Prog Biophys Chem* 7: 255-318.

Huxley, A.F. & Simmons, R.M. 1971. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature* 233: 533-538.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Hannonen, P., Häkkinen, A., Airaksinen, O., Valkeinen, H. & Alen, M. 2002. Effects of strength training on muscle strength, cross-sectional area, maximal electromyography activity, and serum hormones in premenopausal women with fibromyalgia. *The Journal of Rheumatology* 2: 1287-1295.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W., Häkkinen, A., Valkeinen, H. & Alen, M. 2001. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormone during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology* 91: 569-580.

Häkkinen K., Pakarinen A., Kraemer W.J., Newton R.U. & Alen M. 2000a. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*.55, Feb 2000: B95-105.

Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R.U. & Kraemer, W.J. 2000b. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology* 83, 51-62.

Hakkinen, K., Newton, R.U., Gordon, S.E., McCormick, M., Volek, J.S., Nindl, B.C., Gotshalk, L.A., Campbell, W.W., Evans, W.J., Hakkinen, 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. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. Nov;53(6):B415-23.

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. *J. Appl. Physiol.* 84(4): 1341–1349

Häkkinen, K., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U.M., Newton, R.U. & Kraemer, W.J. 1996. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica* 158, 77-88.

Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1995. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women of different ages. *Int J Sports Med*, 16, 507-513.

Häkkinen, K. & Pakarinen, A. 1993. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy- resistance protocol in male athletes. *J. Appl. Physiol.*, 74, 882-887

Häkkinen, K., Kallinen, M., Komi, P.V. & Kauhanen, H. 1991. Neuromuscular adaptations during short-term "normal" and reduced training in strength athletes. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 31, 35-42.

Häkkinen, K. 1990. *Voimaharjoittelun perusteet: vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur. J. Appl Physiol.* 57, 133-139.

Häkkinen, K., Kallinen, M., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1988. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training for two years. *Journal of Applied Physiology* 65, 2406-2412.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1987. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med.* Mar;8 Suppl 1:61-5

Häkkinen, K. 1986. Training and detraining adaptations in electromyographic, muscle fibre and force production characteristics of human leg extensors muscles with special reference to prolonged heavy resistance and explosive type strength training. *Studies in Sports, Physical Education and Health* 20. University of Jyväskylä, Jyväskylä.

Häkkinen, K., Alen, M. & Komi, P.V. 1985a. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125;573-585.

Häkkinen, K., Komi, P.V. & Alen, M. 1985b. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation- time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.* 125:587-600.

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M. & Komi, P.V. 1985c. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 53(4):287-93

Häkkinen, K., Komi, P.V. 1983. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15, 6, 455-460.

Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M. ym. 1998. Changes in agonist- antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal on Applied Physiology* 84, 1341-1349.

Jacobs, I. 1987. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 19, 368.

Jacobs, I. 1981. Lactate, muscle glycogen and exercise performance in man. *Acta Physiol Scand Suppl.* 495.

Jacobs, S.C., Wokke, J.H., Bar, P.R. & Bootsma, A.L. 1995. Satellite cell activation after muscle damage in young and adult rats. *Anatomical Record* 242, 329-336.

Jamison, J.C. & Caldwell, G.E. 1993. Muscle synergies and isometric torque production influence of supination and pronation level of elbow flexion. *Journal of Neurophysiology* 70, 947-960.

Jansson, E., Esbjörnsson, M., Holm, I. & Jacobs, I. 1990. Increase in the proportion of fast twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiologica Scandinavica* 140, 359-363.

Jansson, E. ym. Changes in muscle fibre type distribution in man after physical training. *Acta physiol Scand.* 104, 235.

Javierre, C., Ventura, J.L., Segura, R., Calvo M. & Garrido, E. 1996. Is the post-lunch dip in sprinting performance associated with the timing of food ingestion? *Rev Esp Fisiol*, 52, 4, 247-253.

Jongen, H.A.H., Denier van der Gon, J.J. & Gielen, C.C.A.M. 1989. Inhomogeneous activation of motoneurone pools as revealed by co-contraction of antagonist human arm muscles. *Experimental Brain Research* 75, 555-562.

Kadi, F. & Thornell, L.E. 2000. Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content of female trapezius muscle following strength training. *Histochemistry and Cell Biology* 113, 99-103.

Kadi, F., Eriksson, A., Holmner, S., Butler-Browne, G.S. & Thornell, L.E. 1999. Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochemistry and Cell Biology* 111, 189-195.

Kamen, G., Knight, C.A. Laroche, D.P. & Asermely, D.G. 1998. Resistance training increase vastus lateralis motor unit firing rates in young and old adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (Suppl.) s. 337.

Kardel, T. 1990. Niels Stensen's geometrical theory of muscle contraction (1667): A reappraisal. *J Biomech* 23: 271-279.

Karlsson, J. 1971. Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man. *Acta Physiol Scand Suppl.* 358.

Kelley, G. 1996. Mechanical overload and skeletal muscle fiber hyperplasia: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology* 81, 1584-1588.

Kellis, E. 1998. Quantification of quadriceps and hamstrings antagonist activity. *Sport Medicine* 25, 37-62.



- Kellis, E. & Baltzopoulos, V. 1997. The effects of antagonist movement on the resultant knee joint moment during isokinetic testing of the knee extensors. *European Journal of Applied Physiology* 76, 253-259.
- Keul, J., Doll, E. & Keppler, D. 1969. *Muskelstoffwechsel*. Muchen: Johann Ambrosius Barth.
- Komi P.V. 2003. *Strength and power in sport*. 2<sup>nd</sup> edition. Blacwell Publishing. Great Britain.
- Komi, P.V. 1986. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *International Journal of Sport Medicine* 7, 10-15.
- Komi, P.V. 1984. Physiological and biomechanical correlates of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. Teoksessa Terjung, R. (toim.) *Exercise and Sport Science Reviews* (Vol. 12). The Collamore Press, USA, s. 81-121.
- Komi, P.V. 1973. Relationship between muscle tension, EMG and velocity on contraction under concentric and eccentric work. Teoksessa Desmedt, J.E. (toim.) *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 1. Base: Karger. S. 596-606.
- Kraemer, W. et al. 1998. The effect of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol*, 78, 69-76.
- Kraemer, W. et al. 1999. Effect of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J. Appl. Physiol.*, 1999, 982-992.
- Kraemer, W. et al. 2001. The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur. J. Appl. Physiol.* Vol. 84, 13-18.
- Kripke, D.F., Drennan, M.D. & Elliott, J.A. The complex circadian pacemaker in affective disorders. In: *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin, Springer Verlag, 265-274.
- Larsson, L. & Tesch, P. A. 1986. Motor unit fiber density in extremely hypertrophied skeletal muscle in man. *European Journal of Applied Physiology* 55, 130-136.
- Lemmer B. 1999. Chronopharmacology and its impact on antihypertensive treatment. *Acta Physiol Pharmacol Bulg*, 24(3):71-80.
- Lemon, P.W.R. 2000. Beyond the zone: protein needs of active individuals *J. Am. Coll. Nutr.* October 1, 19, 90005, 513 - 521.
- Leong, B., Kamen, G., Patten, C. & Burke, J.R. 1999. Maximal motor unit discharge rates in the quadriceps muscles of older weight lifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31, 1638-1644.

- Lind, A.R. & Petrofsky, J.S. 1978. Isometric tension from rotary stimulation of fast and slow cat muscle. *Muscle and Nerve* 1, 213-218.
- Lipkova, J., Sedliak, M. & Shickhofer, P. 2001. Diurnal variation in strength and speed. *Homeostasis*, 41, No 1-2, 76-77.
- Lowe, D.A. & Alway, S.E. 1999. Stretch-induced myogenin, MyoD, and MRF4 expression and acute hypertrophy in quail slow-tonic muscle are not dependent upon satellite cell proliferation. *Cell and Tissue Research* 298, 531-539.
- Luthi, J.M., Howald, H., Classen, H., Rosler, K., Vock, P. & Hoppeler, H. 1986. Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine* 7, 123-127.
- MacDougall, J.D., Gibala, M.J., Tarnopolsky, M.A., MacDonald, J.R., Intersano, S.A. & Yarasheski, K.E. 1995. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology* 20, 480-486.
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.B., Sale, D.G., Moroz, J.R. & Sutton, J.R. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *European Journal of Applied Physiology* 43, 25-34.
- MacDougall, J.D. 1986a. Adaptability of muscle to strength training – a cellular approach. In: *Biochemistry of Exercise VI*, Vol 16. (edited by Saltin B.) 501-513. Human Kinetics, Champaign Illinois.
- MacDougall, J.D. 1986b. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. In: *Human Muscle Power* (edited by Jones, N.L., McCartney & McComas, A.L.) 269-288. Human Kinetics, Champaign Illinois.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Always, S.E. & Sutton, J.R. 1984. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of Applied Physiology* 57, 1399-1403.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Elder, G.C.B. & Sutton, J.R. 1982. Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology* 48, 117-126.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Moroz, J.R., Elder, G.C.B., Sutton, J.R. & Howald, H. 1979. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports* 11, 164-166.
- McPherdan, A.M., Wuerker, R.B. & Hennemann, E. 1965. Properties of motor units in a heterogenous red muscle (soleus) of the cat. *J Neurophysiol* 28: 71-84.

- Malina, R.M. 1986. Growth of muscle tissue and muscle mass. In: Human Growth A Comprehensive Treatise, Vol 2. (edited by Falkner, F. & Tanner, J.M.) 77-99. Plenum Press, New York.
- 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*. 1999 Oct;22(10):1380.
- Mastalgia, F.L. 1981. Growth and development of the skeletal muscle. In: Scientific Foundations of Paediatrics (edited by Davis, J.A. & Dobbing, J.) 590-620. Heinemann, London.
- Masuda, K., Choi, J.Y., Shimojo, H. & Katsuta, S. 1999. Maintenance of myoglobin concentration in human skeletal muscle after heavy resistance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 79, 347-352.
- Mauro, A. 1961. Satellite cells of skeletal muscle fibers. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology* 9, 493-495.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2001. *Exercise Physiology: Energy, nutrition and human performance*. Williams & Wilkins, Baltimore, USA.
- McCall, G.E., Byrnes, W.C., Dickinson, A., Pattany, P.M. & Fleck, S.J. 1996. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology* 81, 2004-2012.
- McDonagh, M.J.N. & Davies, C.T.M. 1984. Adaptive response of mammalian muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology* 52, 139-155.
- McMurray, R.G. & Eubank, T.K. 1995. Nocturnal hormonal responses to resistance exercise. *Eur. Appl Physiol Occup*, 72, 121-126.
- Miller, K.J., Thaloor, D., Matteson, S. & Pavlath, G.K. 2000. Hepatocyte growth factor affects satellite cell activation and differentiation in regenerating skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology* 278, 174-181.
- Milner, T.E., Cloutier, C., Leger, A.B. & Franklin D.W. 1995. Inability to activate muscles maximally during cocontraction and the effect of joint stiffness. *Experimental Brain Research* 107, 293-305.
- Milner-Brown, H.S., Stein, R.B. & Lee, R.G. 1975. Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 38, 245-254.
- Milner-Brown, H.S., Stein, R.B. & Yemm, R. 1973. The contractile properties of human motor units during voluntary isometric contractions. *Journal of Physiology* 228, 285-306.

- Miyazaki, T., Hashimoto, S., Masubuchi, S., Honma, S., Honma, KI. 2001. Phase-advance shifts of human circadian pacemaker are accelerated by daytime physical exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, Jul;281 (1):R 197-205.
- Moore & Ede MC. 1983. The circadian timing system in mammals: two pacemakers pre- side over many secondary oscillators. *Fed Proc*, Aug 42(11), 2802-2808.
- Moritani, T. & DeVries, H.A. 1979. Neural factors vs. hypertrophy in time course of mus- cle strength gain. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* 58, 115-130.
- Morpurgo, B. 1897. Uberaktivitäts-Hypertofie der Willkurlichen Muskeln. *Virchows Archives fur Patologische Anatomie und Physiologie* 15, 552-554.
- Narici, M.V., Hoppeler, H., Kayser, B. ym. 1996. Human guadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandi- navica* 157, 175-186.
- Narici, M.V., Roi, G.S., Landoni, L., Minetti, A.E. & Cerretelli, P. 1989. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the hu- man quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 59(4):310-9.
- O'Connor, P., Youngstedt, S., Buxton, O., Brues, M. 2004. Air Travel in Sports. Federation Internationale de Medecine du Sport, Position Statement. <http://www.firms.org> (accessed July 2004).
- Ontell, J. & Dunn, R.F. 1978. Neonatal muscle growth: a quantitative study. *Amercan Journal of Anatomy* 152, 539-556.
- Orbetzova, MM., Shigarminova, RG., Genchev, GG., Milcheva, BA., Lozanov, LB., Genov, NS. & Zacharieva, SZ. 2003. Role of 24-hour monitoring in assessing blood pres- sure changes in polycystic ovary syndrome. *Folia Med (Plovdiv)*, 45(3), 21-25.
- Patten, C., Kamen, G. & Rowland, D.M. 2001. Adaptation in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle and Nerve* 24, 542-550.
- Phelan, J.N. & Gonyea, W.J. 1997. Effect of radiation on satellite cell activity and protein expression in overloaded mammalian skeletal muscle. *Anatomical Record* 247, 179-188.
- Philips, S.M., Tipton, K.D., Aarsland, A., Wolf, S.E. & Wolfe, R.R. 1997. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Americal Journal of Physiology* 273, 99-107.
- Raastad, T., Glomsheller, T., Bjoro, T., ym 2001. Changes in human skeletal muscle con- tractility and hormone status during 2 weeks of heavy strength training. *Eur J Appl Physiol* 84: 54-63

- Rack, P.M.H. & Westbry, D.R. 1969. The effects of length and stimulus rate on tension in the isometric cat soleus muscle. *Journal of Physiology* 204, 443-460.
- Raschka, C., Mueller-Nalbach, M., Ruehl, T. & Koch, H.J. 2002. Circadian rhythm of heart rate, blood pressure and lactate during stairclimbing with different external weight loads. *Rivista svizzera di Medicina e traumatologia dello sport* 50(4), 151-154.
- Rayne, J. & Crawford, G.N.C. 1975. Increase in fiber numbers of the rat pterygoid muscles during postnatal growth. *Journal of Anatomy* 118, 347-357.
- Reilly, T. & Bangsbo, M. 1999. Environment and Training. In: Bruce, E.: *Training in sport (Applying Sport Science)*. John, W. and sons Cichester: New York: Weinheim: Brisbane: Singapore: Toronto, 1999.
- Reilly, T. & Down, A. 1992. Investigation of circadian rhythms in anaerobic power and capacity of the legs. *The journal of sports medicine and physical fitness*, Vol. 32, No. 4, 346-347.
- Reilly, T. & Marshall, S. 1991. Circadian rythms in power output on a swim bench. *J. Swim. Res.* 7(2):11-13.
- Reilly, T. 1990. Human circadian rhythms and exercise. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 18, 165-180.
- Reitsma, W. 1969. Skeletal muscle hypertrophy after heavy exercise in rats with surgically reduced muscle function. *American Journal of Physical Medicine* 48, 237, 259.
- Richter, HG., Torres-Farfan, C., Rojas-Garcia, PP., Campino, C., Torrealba, F. & Seron-Ferre M. 2004. The circadian timing system: making sense of day/night gene expression. *Biol Res*, 37(1), 11-28.
- Rosenblatt, J.D., Yong, D. & Parry, D.J. 1994. Satellite cell activity is required for hypertrophy of overloaded rat muscle. *Muscle and Nerve* 17, 608-613.
- Roth, S.M., Martel, G.F., Ivey, F.M. ym .2000. Skeletal muscle cell populations in healthy young and older men and women. *Anatomical record* 260, 351-358.
- Rutenfranz, J. & Colquhoun P. 1979. Circadian rhythms in performance. *Scand J Work Environ Health* 5, 167-177.
- Sale, D., MacDougall, J.D., Jacobs, I. & Garner, S. 1990. Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 68, 260-270.
- Sale, D.G. 1988. Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20(5), 135-145.

- Sale, D., Quinlan, J., Marsh, E., McComas, A.J. & Belanger, A.Y. 1982. Influence of joint position on ankle plantarflexion in humans. *Journal of Applied Physiology* 52, 1636-1642.
- Sale, D. & MacDougall, D. 1981. Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Canadian Journal of Applied Sport Science* 6, 87-92.
- Schantz, P.G., Källman, M. 1989. NADH shuttle enzymes and cytochrome b5 reductase in human skeletal muscle: effect of strength training. *J Appl Physiol.* 67, 123.
- Schultz, E. 1989. Satellite cell behavior during skeletal muscle growth and regeneration. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, 181-186.
- Schultz, E., Jaryszak, D.L., Gibson, M.C. & Albright, D.J. 1986. Absence of exogenous satellite cell contribution to regeneration of frozen skeletal muscle. *Journal of Muscle Research and Cell Motility* 7, 361-367.
- Semmler, J.G. & Enoka, R.M. 2000. Neural contributions to the changes in the muscle strength. *Teoksessa: Biomechanics in Sport: The Scientific Basis of Performance* (ed. V.M. Zatsiorsky). S. 3-20. Blackwell Science, Oxford.
- Semmler, J.G. & Nordstrom, M.A. 1998. Motor unit discharge and force tremor in skill- and strengthtrained individuals. *Experimental Brain Research* 119, 27-38.
- Simoneau, J-A. ym. 1985. Human skeletal fibre type alteration with high intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol.* 54, 240.
- Sjostrom, M., Lexell, J., Erksson, A. & Taylor, C.C. 1991. Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young men? A left-right comparison of the fiber number in whole anterior tibialis muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 62, 301-304.
- Snow, M.H. & Chortkoff, B.S. 1987. Frequency of bifurcated muscle fibers in hypertrophic rat soleus muscle. *Muscle and Nerve* 10, 312-317.
- Sola, O.M., Christensen, D.L. & Martin, A.W. 1973. Hypertrophy and hyperplasia of adult chicken anterior latissimus dorsi muscles following stretch with and without denervation. *Experimental Neurology* 41, 76-100.
- Solomonow, M., Baten, C., Smit, J. ym. 1990. Electromyogram power spectra frequencies associated with motor unit recruitment strategies. *Journal of Applied Physiology* 68, 1177-1185.
- 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. *J Sports Sci*, Nov;20 (11), 929-37.

- Spiegel, K et al. 2000. Adaptation of the 24-h growth hormone profile to a state of sleep debt. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* 279, R878-R883.
- Staron, R.S., Malicky, F.S., Leonardi, M.J., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. & Dudley, G.A. 1990. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversion in heavy resistance-trained women. *European Journal of Applied physiology and Occupational Physiology* 60, 71-79.
- Staron, R.S., Karapondo, D.L., Kraemer, W.J. ym. 1994 Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 76, 1247-1255.
- Stockton, I.D., Reilly, T., Sanderson, F.H., & Walsh, T.J. Investigation of circadian rhythms in selected components of sports performance, *Communication to the Society of Sports Science, Crewe and Alsager College.*
- Stowers, T., McMillan, J., Scala, D., ym. 1983. The short term effects of three different strength-power training methods. *Nat. Strength Condit. Assoc. J.* 5:24-27.
- Tamaki, T., Akatsuka, A., Tokunaga, M., Ishige, K., Uchiyama, S. & Shiraishi, T. 1997. Morphological and biochemical evidence of muscle hyperplasia following weight-lifting exercise in rats. *American Journal of Physiology* 273, 246-256.
- Tesch, P.A. & Larsson, L. 1982. Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology* 49, 301-306.
- Tesch P.A. ym. 1984. Muscle capillary supply and fibre type characteristics in weight and power lifters. *J Appl Physiol.* 56, 35.
- Tesch, P.A. & Karlsson J. 1985. Muscle fibre types and size in trained and untrained muscle of elite athletes. *J Appl Physiol.* 59, 1716.
- Tesch, P.A. Häkkinen, K. & Komi, P.V. 1985. The effect of strength training and detraining on various enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17, 245.
- Tesch, P.A. 1987. Acute and long term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26, 67-87.
- Tesch, P.A. 1989. Enzyme activities of FT and ST muscle fibres in heavy-resistance trained athletes. *J Appl Physiol.* 83, 67.
- Tesch, P.A. 1998. Strength training and muscle hypertrophy. Teoksessa Häkkinen K. (toim.) *International conference on weightlifting and strength training. Conference book, Lahti, 17 - 22.*
- Thorstensson, A. 1976. Muscle strength, fibre types and enzyme activities in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 433, 1-44.

- Timson, B.F. 1990. Evaluation of animal models for the study of exercise-induced muscle enlargement. *Journal of Applied Physiology* 69, 1935-1945.
- Timson, B.F., Bowlin, B.K., Dudenhoefter, G.A. & George, J.B. 1985. Fibre number area and composition of mouse soleus muscle following enlargement. *Journal of Applied Physiology* 58, 619-624.
- Tipton, K.D & Wolfe, R.R. 1998. Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiol Scand* 162, 3, 377 - 87.
- Torii, J., Shinkai, S., Hino, S., Kurokawa, Y., Tomita, N., Hirose, M., Watanabe, S. & Watanabe, T. 1992. Effect of time of day on adaptive response to a 4-week aerobic exercise program. *Journal of sports medicine and physical fitness* 32(4), Dec, 348-352.
- Van Gutsem, 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.
- Veldhuis et al. 1987. Circadian variation in plasma testosterone. *J. Clin. Endocrinol. Metab*, 73, 150-155.
- Viitasalo, J.T., Saukkonen, S: & Komi, P.V. 1980. Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyogr. Clin Neurophysiol.* 20:487-501.
- Welle, S., Bhatt, K. & Thornton, C.A. 1999. Stimulation of myofibrillar synthesis by exercise is mediated by more efficient translation of mRNA. *Journal of Applied Physiology* 86, 1220-1225.
- Westerblad, H. & Lännergren, J. 1991. Slowing of relaxation during fatigue in single mouse muscle fibers. *J Physiol (Lond)* 434: 323-336.
- Wever, R. 1979. The Effect of Electric Fields on Circadian Rhythms in Men. In: *Life Science and Space Research*, n.8, 117-187
- White, T.P. & Esser, K.A. 1989. Satellite cell and growth factor involvement in skeletal muscle growth. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, 158-163.
- Wierzbicka, M.M., Wiegner, A.W. & Shahani, B.T. 1986. Role of agonist and antagonist muscles in fast arm movements in man. *Experimental Brain Research* 63, 331-340.
- Wilson, G.J., Murphy, A.J. & Walshe, A. 1996. The specificity of strength training: the effect of posture. *European Journal of Applied Physiology* 73, 346-352.
- Winget, C.M. et al. 1985. Circadian rhythms and athletic performance, *Med. Sci. Sports Exercise*, 17, 498.



- Winget, C.M., Soliman, M.R., Holley, D.C. & Meylor, J.S. 1994. Chronobiology of physical performance and sport medicine. In: *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin, Springer Verlag, 230-241.
- Woodbury, J.W., Gordon, A.M. & Conrad, J.T. 1965. Muscle. Teoksessa Ruch, T.C. & Patton, H.D. (toim.) *Physiology and biophysics*. London: saunders. S. 113-152.
- Wright, V., Dowson, D., Longfield, M.D. 1969. Joint stiffness: its characterization and significance. *Biomed Eng*, 4:8-14.
- Wyse, J.P., Mercer, T.H. & Gleeson, N.P. 1994. Time-of day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports Med*, Sep, 28 (3): 167-170.
- Yan, Z. 2000. Skeletal muscle adaptation and cell cycle regulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 28, 24-26.
- Yao, W., Fuglevand, A.J. & Enoka, R.M. 2000. Motor unit synchronization increases EMG amplitude and decreases force steadiness of simulated contractions. *Journal of Neurophysiology* 83, 441-452.
- Youngstedt, S. D. & O'Connor, P. J. 1999. The influence of air travel on athletic performance. *Sports Med*. 28(3):197-207.