

**VOIMAHARJOITUKSEN AKUUTTI VAIKUTUS MAKSIMIVOI-
MAAN, VEREN LAKTAATTIPITOISUUTEEN JA VEREN pH-
ARVOON ENNEN VOIMAHARJOITTELUJAKSOA JA SEN
JÄLKEEN VANHOILLA HARJOITTELEMATTOMILLA MIE-
HILLÄ**

Hermann Oksanen

Liikuntafysiologia

Kandidaatintutkielma LFY.A005

Jyväskylän yliopisto

Liikuntabiologian laitos

Työn ohjaaja: Antti Mero, Juha Hulmi

TIIVISTELMÄ

Oksanen, Hermanni 2008. Voimaharjoituksen akuutti vaikutus maksimivoimaan, veren laktaattipitoisuuteen ja veren pH-arvoon ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen vanhoilla harjoittelemattomilla miehillä. Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 36s.

Voimaharjoittelun on aikaisemmissa tutkimuksissa osoitettu lisäävän mm. maksimivoimaa ja parantavan kykyä vastustaa lihasväsymystä submaksimaalisilla kuormilla. Yksittäisen raskaan voimaharjoituksen on myös osoitettu aiheuttavan merkittäviä akuutteja muutoksia. Näitä muutoksia ovat mm. maksimivoiman lasku väsymisen johdosta, kasvanut laktaatin tuotto ja veren pH:n lasku. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten 21 viikon mittainen voimaharjoittelujakso vaikuttaa yksittäisen raskaan voimaharjoituksen aikaansaamiin akuutteihin muutoksiin maksimivoimassa, veren laktaattipitoisuudessa ja veren pH-arvoissa vanhoilla harjoittelemattomilla miehillä.

Koehenkilöinä toimi 10 keski-ikästään 61-vuotiasta miestä. Koehenkilöt suorittivat yksittäisen raskaan voimaharjoituksen ennen voimaharjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Voimaharjoittelujakso kesti 21 viikkoa ja sen aikana koehenkilöt tekivät voimaharjoituksen, valvotuissa olosuhteissa, kahdesti viikossa. Raskaiden voimaharjoitusten yhteydessä otettiin neljä verinäytettä; ennen harjoituksen alkua, heti harjoituksen päätyttyä sekä 15 ja 30 minuuttia sen päättymisestä. Verinäytteet analysoitiin käyttämällä Nova Biomedical STAT Profile pHOX Plus L-analysaattoria ja niistä tarkasteltiin veren laktaattipitoisuutta ja pH:ta. Lisäksi koehenkilöt suorittivat kuusi jalkojen maksimaalista ojennusvoimatestiä harjoituksen yhteydessä: Yksi ennen harjoituksen alkua ja yksi jokaisen harjoitussarjan jälkeen.

Voimaharjoittelujakso ei aiheuttanut merkittäviä muutoksia voimaharjoituksen aikaansaamissa akuuteissa vasteissa. Ainoastaan voimaharjoituksen aikaansaama nousu veren laktaattipitoisuudessa kasvoi tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$), ollen 15,6 % suurempi harjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa. Maksimivoima kasvoi 16,2 % ($p < 0,01$) voimaharjoittelun vaikutuksesta, maksimivoima putosi harjoituksen edetessä kuitenkin suhteessa yhtä paljon harjoittelun jälkeen kuin ennen harjoittelua. Veren pH arvoissa tapahtuneisiin

muutoksiin voimaharjoittelujakso ei vaikuttanut. Veren suurimman laktaattipitoisuuden ja matalimman pH-arvon välinen korrelaatiokerroin oli ennen harjoittelujaksoa -0,82 ($p < 0.01$) ja harjoittelujakson jälkeen -0,32 (ns).

Voimaharjoittelun jälkeen mitatut korkeammat laktaattipitoisuudet voivat kertoa lihaksen parantuneesta kyvystä poistaa laktaattia soluista tai lisääntyneestä lihaksiston motoristen yksiköiden rekrytoinnista. Sen sijaan korkeammista veren laktaattipitoisuuksista huolimatta ennallaan säilyneet veren pH -arvot voivat kertoa hieman erilaisesta elimistön käsittelynopeudesta lihaksen poistaessa laktaattia ja vetyioneja vereen. Ja vaikka voimamittauksissa suhteellinen väsyminen oli yhtä suurta harjoittelujakson jälkeen, on kuitenkin todettava, että samoilla absoluuttisilla kuormilla olisi väsyminen todennäköisesti ollut vähäisempää.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	6
2 LUURANKOLIHAS	8
2.1 Rakenne.....	8
2.2 Toiminta	9
2.2.1 Lihassupistus	9
2.2.2 Lihastyötavat	10
2.2.3 Lihaskoivu.....	10
2.3 Lihakseen energia-aineenvaihdunta.....	11
2.4 Lihaskoluuyyvit	12
2.5 Ikääntymisen vaikutukset.....	13
3 VOIMAHARJOITTELU	15
3. 1 Voimaharjoittelun vaikutukset.....	15
3.2 Voimaharjoituksen vaikutus voimantuottoon	16
4 HAPPO-EMÄSTASAPAINO	17
4.1 Säätely	17
4.1.1 Puskurointi	18
4.1.2 Respiratorinen säätely	19
4.1.3 Renaalinen säätely.....	19
4.2 Voimaharjoituksen vaikutus happo-emästasapainoon	20
4.3 Voimaharjoituksen vaikutus laktaatin tuottoon	20
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT	22
5.1 Tutkimuksen tarkoitus.....	22

5.2 Hypoteesit	22
6 MENETELMÄT	23
6.1 Koehenkilöt	23
6.2 Voimaharjoittelujakso	23
6.3 Akuutti voimaharjoitus	23
6.4 Mittaukset	24
6.4.1 Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima	24
6.4.2 Verikokeet	24
6.5 Tilastolliset menetelmät	25
7 TULOKSET	26
7.1 Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima	26
7.2 Laktaatti	27
7.3 Veren pH	28
8 POHDINTA	30
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Lihassoiman tuottamiseksi elimistön on muutettava kemiallinen energiaa mekaaniseksi energiaksi (McArdle ym. 2001, 359). Tämä tapahtuu lihaksessa olevien supistuvien komponenttien avulla (Enoka 2002, 253). Elimistön energia valuuttana toimii korkeaenerginen fosfaattiyhdiste ATP. Ilman ATP:tä lihassupistusta ei voi syntyä. Tästä syystä elimistön on jatkuvasti tuotettava lisää ATP:tä ravintoaineista saamansa energian avulla. Lihakset voivat tuottaa ATP:tä kolmella eri tavalla, joko polttamalla hapen avulla esim. hiilihydraatteja (aerobinen energiantuotto), pilkkomalla glukoosia hapettomassa tilassa (anaerobinen energiantuotto) tai käyttämällä korkeaenerginen fosfaattiyhdisteen kreatiinifosfaatin varastoitunutta energiaa. Aerobinen energiantuotto on hyötysuhteeltaan paljon anaerobista parempi, se on kuitenkin myös varsin hidasta. Tästä syystä rasittavan ja nopeasti suuria määriä ATP:tä kuluttavan lihastyön aikana ATP:tä tuotetaan pääasiassa anaerobisesti. (McArdle ym. 2001.)

Elimistön kemialliset reaktiot ovat suurelta osin varsin herkkiä happo-emästasyapainossa tapahtuville muutoksille. Käytössä on kuitenkin useita järjestelmiä, joiden avulla elimistö voi säädellä pH:ta. (Guyton & Hall 2000.) Voimaharjoittelun kannalta tämä on merkittävää sillä anaerobisen energiantuoton lopputuotteena syntyy maitohappoa, joka laskee kudosten ja elimistön nesteiden pH:ta (McArdle ym. 2001).

Voimaharjoittelun tarkoituksena on yleensä kasvattaa lihasten kokoa ja maksimaalista voimantuottoa. Tähän pyritään tekemällä suorituksia joissa lihakset joutuvat työskentelemään hyvin lähellä maksimaalista voimatasoaan. (Komi 2003, 6.) Voimaharjoituksella on myös osoitettu olevan huomattavia akuutteja vaikutuksia. Sen on osoitettu laskevan maksimaalista voimantuottoa, ja lisäävän veren laktaattipitoisuutta ja siten myös alentavan veren pH:ta. (McArdle ym. 2001). Fyysinen suorituskyky laskee merkittävästi ikääntymisen myötä ja tästä syystä ikääntymisen vaikutuksia suorituskykyyn on tutkittu runsaasti. Tutkimuksissa on huomattu, että yksi merkittävimmistä suorituskykyä alentavista tekijöistä on vähentynyt fyysinen aktiivisuus. (Kirkendall & Garrett 1998)

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mitkä ovat voimaharjoituksen akuutit vaikutukset lihaksen maksimaaliseen voimantuottoon, veren laktaattipitoisuuteen ja veren pH -arvoon. Toisaalta tarkoituksena oli myös selvittää muuttuvatko voimaharjoituksen akuutit vaikutukset kuuden kuukauden voimaharjoittelujakson aikana.

2 LUURANKOLIHAS

Luurankolihas muodostaa merkittävän osan elimistöstämme, sillä sen osuus kehostamme on noin 40 % (Guyton & Hall 2000, 67). Kehomme noin 660 luurankolihaksen tehtävä on myös varsin merkittävä. Ihmisen liikkuminen edellyttää adenosini trifosfaatin (ATP) kemiallisen energian muuttamista mekaaniseksi energiaksi luurankolihasessa. Luurankolihas-ten synnyttämän mekaanisen energian aikaansaamat voimat vaikuttavat elimistön luiseen vipujärjestelmään ja siten aiheuttavat luiden liikkeen nivelakselinsa ympäri. Tämä puolestaan mahdollistaa kappaleen tai itse kehon liikuttamisen painovoimaa vastaan. (McArdle ym. 2001, 359.)

2.1 Rakenne

Luurankolihakset muodostuvat tuhansista rinnakkain järjestäytyneistä pitkistä sylinterin muotoisista soluista eli lihassäikeistä, joilla on useita tumia. Samoin kuin lihasten myös lihassolujen koko vaihtelee merkittävästi riippuen niiden tehtävästä ja sijainnista. Lihassolujen pituus voi vaihdella silmän lihasten muutamasta mm suurten jalkalihasten lähes 30 cm. Paksuudeltaan lihassolut ovat noin 0,15 mm. Lihassolun kemiallisesta koostumuksesta suurin osa eli noin 75 % on vettä. Proteiinien osuus on puolestaan noin 20 %. Loput 5 % on suoloja ja muita aineita, kuten korkeaenergisii fosfaatteja, laktaattia, hiilihydraatteja, aminohappoja ja rasvoja. Lisäksi solussa on vielä useita eri entsyymejä, mineraaleja ja ioneja. (McArdle ym. 2001, 359.)

Kutakin lihassolua ympäröi ohut sidekudoskalvo endomysium. Toinen sidekudoskerros perimysium, ympäröi noin 150 lihassolun kimppua ja muodostaa lihassykimpun. Lisäksi koko lihasta ympäröi vahva sidekudoskalvo, epimysium. Kalvokerrokset suojaavat lihaksen rakenteita ja mahdollistavat lihasten kiinnittymisen jänteiden kautta luihin. Endomysiumin alla jokaista lihassolua ympäröi lisäksi ohut elastinen kalvo, sarcolemma, joka sulkee sisäänsä lihassoluliman, sarcoplasman. Solulima sisältää mm. lihaksen supistuvat proteiinit,

entsyymit, tumat ja muut erikoistuneet soluorganellit. Sarcoplasmassa on myös laaja toisiinsa liittyvien tubulaaristen kanavien muodostama verkosto (sarcoplasmic reticulum). Tämä monimutkainen verkosto toimii lihassolun tukirakenteena. Sillä on kuitenkin myös merkittävä rooli lihassupistuksen synnyssä. (McArdle ym. 2001, 359.)

Lihassolu muodostuu useista rinnakkaisista noin 1 μm paksuisista myofibrilleistä, jotka antavat luustolihaselle sille tyypillisen, valomikroskoopilla nähtävän, poikkijuovaisen rakenteen. Myofibrilleissä on useita peräkkäisiä noin 2.5 μm pituisia z-levyjen rajaamia sarkomeerejä, jotka ovat lihaksen pääasiallinen supistuva komponentti. Sarkomeerit puolestaan muodostuvat, pääasiallisen proteiininsa mukaan nimetyistä, ohuista aktiinifilamenteista ja paksuista myosiinifilamenteista. (Nigg ja Herzog 1999, 149.) Myofilamentit ovat järjestäytyneet rinnakkain myofibrillin pitkän akselin suuntaisesti. Aktiinin ja myosiinin, joiden osuus on noin 85 % myofibrillikompleksista, lisäksi myofibrilleissä esiintyy myös 12 – 15 muuta proteiinia jotka vaikuttavat proteiinien väliseen toimintaan lihassupistuksen aikana. (McArdle ym. 2001, 359.)

2.2 Toiminta

2.2.1 Lihassupistus

Lihaksen pienin toiminnallinen yksikkö on motorinen yksikkö. Motorisella yksiköllä tarkoitetaan alfamotoneuronia ja kaikkia sen hermottamia lihassoluja. Lihassupistus syntyy, kun motorista hermoa pitkin etenevä aktiopotentiaali saa aikaan välittäjäaineen vapautumisen hermolihasliitoksessa, joka edelleen johtaa aktiopotentiaalın syntyyn lihassolukalvolla. Lihassolukalvoa pitkin etenevä aktiopotentiaali tunkeutuu lihaksen syvempiin osiin ja aiheuttaa kalsiumionien vapautumisen sarkoplasmisesta reticulumista. Kalsiumionit mahdollistavat myosiini- ja aktiinifilamenttien kiinnittymisen toisiinsa. (Guyton & Hall 2000, 68.)

Lihassolun merkittävin ominaisuus on sen kyky tuottaa voimaa. Lihaksen supistuessa myosiinimolekyylin poikittaissillat kiinnittyvät aktiiniin, taipuvat ATP:n ansiosta ja sitten irtau-

tuvat, jolloin myofilamentit liukuvat toistensa lomitse ja vetävät sarkomeerin z-levyjä lähemmäs toisiaan. Tämä poikkisiltasykliksi kutsuttu ilmiö toistuu, myosiini ikään kuin ”kävelee” aktiinia pitkin. Yhden sarkomeerin aiheuttama lyheneminen ja toisaalta sen tuottama voima on varsin pieni, mutta useat peräkkäiset ja rinnakkaiset yhtäaikaisesti toimivat sarkomeerit mahdollistavat koko lihaksen lyhenemisen ja merkittävän voimantuoton. Samanaikaisesti supistuvien lihassolujen ja siten myös sarkomeerien määrä on varsin suuri. Tästä syystä on mahdotonta hallita jokaista lihassolua erikseen. Lihas jakautuukin suurempiin toiminnallisiin osiin, edellä mainittuihin motorisiin yksiköihin. (Enoka 2002, 253.)

2.2.2 Lihastyötavat

Lihas voi toimia joko isometrisesti tai dynaamisesti. Isometrisessä tilanteessa lihas supistuu, mutta lihassolujen pituus ei juuri muutu. Dynaaminen lihastyö voidaan jakaa edelleen kahteen eri työtapaan. Konsentrisessä lihastyössä lihassolut lyhenevät ja tuottavat voimaa ja saavat aikaan liikkeen nivelessä. Esimerkiksi kyynärnivelen koukistuessa tekee hauislihas konsentrisestä lihastyöstä. Eksentrisessä lihastyössä ulkoinen voima, esimerkiksi painovoima, ylittää lihaksen tuottaman voiman ja lihassolut pitenevät voimaa tuottaessaan. Esimerkiksi hauislihas toimii eksentrisesti vastustaessaan kyynärnivelen ojennusta. (McArdle ym. 2001, 510.)

2.2.3 Lihasvoima

Yksinkertaisesti lihasvoima voidaan määritellä maksimaaliseksi vääntömomentiksi, jonka lihas tai lihakset pystyvät tuottamaan tietyn nivelen liikuttamiseksi. Lihakset voivat kuitenkin toimia maksimaalisella suoritusasollaan, joko isometrisesti, eksentrisesti tai konsentrisesti. Lisäksi dynaamiset suoritukset on mahdollista tehdä useilla eri nopeuksilla. Voimaan vaikuttavien useiden tekijöiden ansiosta voima vaihtelee eri olosuhteissa merkittävästi. Tästä syystä onkin järkevää määritellä voimaksi lihaksen tai lihasryhmän tietyllä nopeudella tuottama maksimivoima. (Komi 2003, 6.)

2.3 Lihaksen energia-aineenvaihdunta

Elimistö tarvitsee energiaa toimiakseen. Tämän energian se saa syömästämme ruoasta hiilihydraatin, rasvojen ja proteiinien muodossa. Biologisen työn, esim. lihastyön, aikaansaamiseksi solu voi kuitenkin käyttää ainoastaan korkeaenergisii fosfaattiyhdisteitä pääasiassa adenosiinitrifosfaattia (ATP). ATP on adosiinista, riboosista ja kolmesta fosfaatti radikaalista muodostunut yhdiste, jonka kaksi viimeistä fosfaattiryhmää ovat kiinnittyneet siihen korkeaenergisin sidoksin. Solut voivat syntetisoida ATP:tä sitomalla ravintoaineiden energiaa sen korkeaenergisiiin sidoksiin. Tämän kemiallisen energian solut voivat vapauttaa käyttöönsä hydrolysoimalla ATP:n ADP:ksi. (Guyton & Hall 2000, 772.)

Muista elimistömme soluista poiketen, ATP:n kulutus lihaksessa vaihtelee merkittävästi levon ja työn välillä. Levon aikana, lihas kuluttaa hyvin pieniä määriä ATP:tä, kun taas supistuessaan se kuluttaa ATP:tä varsin nopealla tahdilla (McArdle ym. 2001, 510). Lihassupistuksen aikana suurin osa ATP:stä kuluu poikkisiltojen muodostamiseen. Pieniä määriä kuitenkin kuluu myös kalsiumin pumppaamiseen takaisin sarkoplasmiseen verkostoon supistuksen päättyessä, sekä kalium- ja natriumionien pumppaamiseen solukalvon läpi aktiopotentiaalien mahdollistamiseksi. (Guyton & Hall 2000, 74.)

ATP:tä on lihaksessa varastoituneena kuitenkin varsin pieni määrä, joka riittää ylläpitämään supistuksen vain muutaman sekunnin ajan. Lihas pystyy uudelleen muodostamaan ATP:tä kolmella eri tavalla: Ensimmäinen niistä on kreatiinifosfaatin (KP) hyödyntäminen. Kreatiinifosfaatti on ATP:n kaltainen korkeaenerginen fosfaattiyhdiste, joka voi luovuttaa oman fosfaattiryhmänsä ADP:lle muodostaakseen ATP:tä. Kreatiinifosfaatin määrä lihaksessa on kuitenkin myös varsin pieni, vain noin viisi kertaa ATP:n määrä. Tästä syystä ATP ja kreatiinifosfaatti varastot riittävät yhdessä vain noin 5 – 8 sekunnin maksimaalisen lihassupistuksen ylläpitämiseen. (Guyton & Hall 2000, 74.)

Toinen merkittävä energian lähde, josta muodostetaan sekä ATP:tä että KP:tä, on lihaksiin varastoitunut glykogeeni. Glykogeenin nopea pilkkominen pyruvaattihapoksi ja maitohapoksi vapauttaa energia jota voidaan hyödyntää muuttaessa ADP:tä ATP:ksi. Tällä glyko-

lyysiksi kutsutulla mekanismilla on kaksi merkittävää etua. Ensinnäkin se voi tuottaa ATP:tä ilman happea, joka mahdollistaa lihastyön tekemisen silloin kun happea ei ole saatavilla. Toisaalta nopeus, jolla ATP:tä tuotetaan, on noin 2.5-kertainen verrattuna ATP:n tuotantoon oksidatiivisten mekanismien kautta. Glykolyysin heikkoutena on kuitenkin se, että sen lopputuotteet kertyvät varsin nopeasti lihassoluun ja rajoittavat sen kykyä ylläpitää supistusta jo noin yhden minuutin jälkeen. (Guyton & Hall 2000, 74.)

Kolmas ja viimeinen energian lähde on oksidatiivinen metabolia, jolla tarkoitetaan eri ravintoaineiden yhdistämistä hapen kanssa ATP:n muodostamiseksi. Pitkäkestoista lihastyötä vaativien suoritusten ATP:stä suurin osa, noin 95 %, tuotetaan tällä tavalla. Oksidatiivisessa metaboliassa voidaan käyttää ”polttoaineena” kaikkia kolmea merkittävää ravintoaineryhmää. Erittäin pitkien suoritusten aikana suurin osa energiasta saadaan rasvoja pilkkomalla. Lyhyempien, alle 2-4 tuntia kestävien suoritusten energiasta kuitenkin jopa puolet voi tulla varastoidusta glykokeenistä. (Guyton & Hall 2000, 74.)

Suuria voimia vaativan lihastyön suorittaminen kuluttaa runsaasti energiaa. ATP:n tuotto oksidatiivisen metabolian välityksellä esimerkiksi voimaharjoittelun yhteydessä onkin liian hidasta. Tästä syystä suurin osa voimaharjoittelun yhteydessä käytettävästä ATP:stä tulee anaerobisista lähteistä. Koska ATP ja KP varastot kuitenkin ehtyvät varsin nopeasti, on lihaksen tuotettava energiaa glykolyysin avulla, joka johtaa lihaksen glykokeenivarastojen vähenemiseen ja maitohapon määrän kasvuun. (Guyton & Hall 2000, 816.)

2.4 Lihassolutyypit

Yhden motorisen yksikön kaikilla lihassoluilla on samat ominaisuudet, eri yksiköihin kuuluvien lihassolujen välillä voi kuitenkin olla suuriakin eroja. Suurimmat erot liittyvät siihen kuinka nopeasti solut kykenevät pilkkoman ATP:tä, joka puolestaan vaikuttaa lihaksen supistusnopeuteen. Supistusnopeutensa mukaan lihakset jaetaan kahteen päätyyppiin, hitaisiin tyyppiin I ja nopeisiin tyyppiin II lihassoluihin. II-tyypin solut jaetaan lisäksi kahteen ryhmään:

Nopeisiin ja väsyviin (IIX), sekä nopeisiin ja väsytystä kestäviin (IIa). (Haug ym. 1999. 246.)

Pienemmät motoriset yksiköt koostuvat yleensä hitaista lihassoluista ja suuremmat motoriset yksiköt nopeista lihassoluista. Pienet ja hitaat motoriset yksiköt tuottavat ATP:tä pääasiassa oksidatiivisen fosforylaation avulla aerobisesti. Suuret ja nopeat puolestaan tuottavat suurimman osan ATP:tään glykolyysin avulla anaerobisesti. Aerobisen energian tuotonsa ansiosta hitaat motoriset yksiköt eivät juuri väsy, mutta toisaalta niiden tuottama voima on myös melko alhainen. Ne toimivatkin tilanteissa, joissa vaaditaan kestävyyttä ja korkeintaan kohtalaista voimantuottoa. Nopeiden motoristen yksiköiden tilanne on päinvastainen: Ne kykenevät tuottamaan suuria voimia ja nopeasti. Anaerobisen glykolyysin ansiosta soluihin kuitenkin kertyy nopeasti maitohappoa, joka johtaa väsymiseen. (Haug ym. 1999. 246.)

2.5 Ikääntymisen vaikutukset

Ikääntymisen on osoitettu vaikuttavan luurankolihasrakenteeseen ja toimintaan. Ruumiilla tehdyissä tutkimuksissa on lihasten poikkipinta-alan huomattu laskevan ikääntymisen myötä. Mahdollisia syitä tälle on kaksi, solujen määrän vähentyminen ja yksittäisten solujen poikkipinta-alan pieneneminen. Tutkimuksissa on osoitettu, että lihassolujen määrä alkaa laskea 25 ikävuoden jälkeen ja putoaa noin 39 prosenttia 80 ikävuoteen mennessä. Myös lihassolujen poikkipinta-alan on osoitettu muuttuvan ikääntymisen myötä. Tyypin I lihassoluihin ikääntyminen ei juuri vaikuta, mutta tyypin II lihassolujen poikkipinta-ala voi laskea 15 – 25 %. Myös lihassolutyypin suhteellisissa osuuksissa tapahtuu muutoksia. II-tyypin lihassolujen hermotus saattaa katketa, jolloin I-tyypin motoristenhermojen haarat saattavat ottaa tehtäväkseen hermotusta vaille jääneen lihassolun hermotuksen. Tästä seuraa I-tyypin motoristenyksiköiden koon ja lihassolujen suhteellisen osuuden kasvaminen. Yhdessä kaikki muutokset johtavat lihasmassan pienenemiseen, joka puolestaan tarkoittaa alentunutta voimantuottokykyä. Koska I-tyypin lihassolujen kyky tuottaa voimaa on pie-

nempi suhteessa II-tyyppin soluihin, korostuu lihaksen alentunut kyky tuottaa voimaa solutyypin suhteellisissa osuuksissa tapahtuvien muutosten takia. (Kirkendall & Garrett 1998.)

Lihaksen energia-aineenvaihdunnassa tapahtuu myös muutoksia ikääntymisen myötä. Muutoksia ei kuitenkaan juuri tapahdu anaerobisen energian tuotannon osalta, vaan ne keskittyvät lähinnä aerobiseen energiantuotantoon. Aerobisesta energiantuotannosta kertovien entsyymien aktiivisuuden on huomattu olevan noin 25 % alhaisempi vanhoilla ihmisillä, joka osaltaan selittää tutkimuksissa huomattua noin 10 % pudotusta hapenottokyvyssä vuosikymmentä kohden. Aerobisen energiantuotannon heikentyminen on merkittävää, koska heikentynyt kyky tuottaa energiaa aerobisesti johtaa heikentyneeseen kykyyn tuottaa ATP:tä. Jos saatavilla olevan ATP:n määrä on pienempi, ei lihas pysty ylläpitämään yhtä suurta tehoa. Toisin sanoen kyky vastustaa väsymistä heikkenee. (Kirkendall & Garrett 1998.)

3 VOIMAHARJOITTELU

Voimaharjoittelu parantaa lihasten kykyä jännittyä ja sen tarkoituksena onkin pääasiassa parantaa lihaksen maksimaalista voimantuottoa. Tähän pyritään yleensä tekemällä suorituksia, joissa lihakset joutuvat toimimaan suurilla vastustavia voimia vastaan. Tällaisesta harjoittelusta käytetäänkin yleensä termiä vastusharjoittelu. Vastusharjoittelua voidaan suorittaa useilla erityyppisillä laitteilla, vapailla painoilla tai hyödyntämällä kehoon vaikuttavaa painovoimaa. (Komi 2003, 6.) Ollakseen tehokasta on voimaharjoittelun oltava progressiivista, eli lihaksia on ylikuormitettava jatkuvasti. Lisäksi voimaharjoittelujakson keston tulee olla riittävän pitkä. Kohtuullisia tuloksia on saavutettu jo 12 – 24 viikon mittaisilla matala intensiteettisillä harjoitusjaksoilla. Jotta kuitenkin saavutettaisiin merkittäviä parannuksia maksimivoimassa erityisesti vanhemmilla ihmisillä, tulisi harjoittelujaksojen olla vieläkin pidempiä ja intensiteetin vähintään kohtalainen. (Kirkendall & Garrett 1998.)

3.1 Voimaharjoittelun vaikutukset

Lihassoiman kasvu voimaharjoittelun vaikutuksesta on useiden eri tekijöiden summa. Voimaharjoittelujakson alussa nähdään yleensä melko merkittävä soiman lisääntyminen, joka voidaan selittää neuraalisilla tekijöillä. Voimaharjoittelun vaikutuksesta henkilöiden kyky aktivoida lihaksiaan maksimaalisesti paranee. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat mm. keskushermoston parantunut kyky aktivoida lihaksia, motoristen yksiköiden parantunut synkronisaatio ja alentunut hermostollinen inhibiatio. Neuraalisten tekijöiden merkitys soiman lisääntymisessä on suurimmillaan voimaharjoittelujakson alussa ja alenee harjoitusjakson edetessä. Neuraalisilla tekijöillä on huomattu olevan erityisen suuri merkitys iäkkäämpien henkilöiden soiman kehittämisessä. (McArdle ym. 2001, 529.)

Neuraalisten tekijöiden vaikutus harjoittelujakson alussa on suuri, mutta merkittävimmin lihassoimaan vaikuttaa kuitenkin lihasjännekompleksin fysiologiset ja anatomiset tekijät. Maksimimaalinen soima, joka lihaksen on mahdollista tuottaa, riippuu yksittäisten poikit-

taissiltojen määrästä. Yksi voimaharjoittelun merkittävimmistä vaikutuksista onkin lihassolujen kasvu eli hypertrofia. Hypertrofiassa lihassolun myofibrillien määrä ja paksuus kasvavat. Hypertrofia on seurausta mm. voimaharjoittelun vaikutuksesta kiihtyneestä proteiinisynteesistä ja toisaalta alentuneesta proteiinien kataboliasta, joka johtaa lihassolun supistuvien proteiinien määrän ja solun koon kasvuun. Voimaharjoittelujakson myöhemmässä vaiheessa havaittava voiman lisääntyminen voidaan selittää pääasiassa lihassolun hypertrofialla. (McArdle ym. 2001, 532.)

Muita voimaharjoittelun aikaansaamia muutoksia lihaksessa ovat mm. lihassolujen anaerobisten energiavarastojen paraneminen ja entsyymiaktiivisuuden kasvu. Muutoksia saattaa tapahtua myös lihassolujakaumassa. Se, aiheuttaako voimaharjoittelu hyperplasiaa eli lihassolujen määrän kasvua, on edelleen epäselvää. (McArdle ym. 2001, 532.) Selvää on kuitenkin se, että yhdessä kaikki yllämainitut mekanismit kasvattavat merkittävästi lihaksen maksimaalista voimantuottoa.

3.2 Voimaharjoituksen vaikutus voimantuottoon

Jos lihasta kuormitetaan pitkään tai kuormitus toistetaan useita kertoja, kuten voimaharjoituksen yhteydessä, alkaa lihaksen kyky jännittyä ja tuottaa voimaa heikentyä. Toisin sanoen lihas väsyä. Lihaksen väsyminen johtaa merkittävään laskuun voimantuotossa. Lasku tapahtuu nopeasti heti ensimmäisestä harjoitussarjasta lähtien ollen suurimmillaan harjoituksen päätyttyä. Lihas ja siten myös voimantuotto palautuvat ennalleen levon myötä. Palautuminen saattaa kuitenkin kestää useita tunteja, jopa päiviä jos harjoituksen yhteydessä on tapahtunut rakenteellisia vaurioita. (Nigg ym. 2000, 435)

Lihasten väsymiselle on useita syitä ja siitä syystä se onkin riippuvainen tehtävän laadusta ja intensiteetistä. Mahdollisia väsymistä aiheuttavia tekijöitä ovat mm. keskushermostosta tulevan käskytyksen väheneminen, aktiopotentialin etenemisen heikentyminen, ärsytysupistuskoplauksessa tapahtuvat muutokset sekä metabolisten aineiden loppuminen ja lopputuotteiden kertyminen. (Enoka 2002, 385.)

4 HAPPO-EMÄSTASAPAINO

Vetyatomin luovuttaessa ainoan elektroninsa jäljelle jää yksinäinen protoni, eli vetyioni. Molekyylejä, jotka liuoksessa kykenevät luovuttamaan vetyioneja ja siten nostamaan liuoksen happamuutta, kutsutaan hapoiksi. Emäksiä ovat puolestaan aineet, jotka liuoksessa kykenevät vastaanottamaan vetyioneja ja siten laskemaan liuoksen happamuutta. Liuoksen vetyionien määrä ilmoitetaan yleensä pH-asteikolla. Laskimoveren normaali pH on 7.4. Tila, jossa elimistössä on liikaa vetyioneja eli pH on alle 7,4, kutsutaan asidoosiksi. Jos vetyioneja on puolestaan liian vähän ja pH on yli 7,4, puhutaan alkaloosista. (Guyton & Hall 2000, 346.)

Happoemästäsapainon tarkka säätely on erityisen tärkeää, koska lähes kaikki elimistön entsyymi järjestelmät ovat varsin herkkiä muutoksille vetyionien määrässä. Elämän kannalta suotuisa pH on 6,8–8,0. Normaali tilanteessa vaihtelu ei kuitenkaan ole kovin suurta. Soluvälitilan ja laskimoveren pH on hieman valtimoveren pH:ta alhaisempi noin 7,35 johtuen suuremmasta hiilidioksidin määrästä. Solujen sisäinen pH on myös alhaisempi kuin laskimoveressä. Tämä johtuu solujen metaboliassa syntyvistä hapoista. (Guyton & Hall 2000, 346.)

4.1 Säätely

Akuutit muutokset pH:ssa saavat aikaan voimakkaiden säätelymekanismien käynnistymisen. Ensimmäisenä puolustuslinjana toimivat happo-emäspuskurit. Toisena säätelymekanismina toimii hengityselimistö, joka poistaa vetyioneja elimistöstä. Hitain, mutta myös tehokkain vetyionien määrän säätelijä ovat munuaiset, jotka poistavat ylimääräisen hapon tai emäksen elimistöstä. (Guyton & Hall 2000, 347.)

4.1.1 Puskurointi

Puskurointi tapahtuu heikkojen happojen ja emästen avulla, jotka voivat joko vastaanottaa tai luovuttaa vetyioneja ja siten muuttaa vahvoja happoja ja emäksiä heikommiksi sekunnin murto-osassa. Etuna on se, että heikot hapot ja emäkset eivät luovuta ja vastaanota vetyioneja yhtä helposti kuin vahvemmat ja siten auttavat säilyttämään tasapainon. Puskurointi on nopea tapa säädellä liuoksen pH:ta, mutta se ei kuitenkaan vähennä vetyionien määrää elimistössä. (Tortora & Grabowski 2003. 1001.)

Tärkein elimistön puskurijärjestelmä on bikarbonaattisysteemi. Sen toiminta perustuu heikon emäksen, bikarbonaatti-ionin, ja hiilihapon, heikko happo, toimintaan. Bikarbonaatti-ioni reagoi yhdessä, soluhengityksen yhteydessä jatkuvasti syntyvän, hiilidioksidin kanssa ja muodostaa hiilihappoa. Syntynyt hiilihappo kuljetetaan keuhkoihin, jossa se hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi, ja hiilidioksidi poistuu hengityksen välityksellä. Jos vetyioneista puolestaan on pulaa voi hiilihappo luovuttaa vetyioneja vereen ja siten laskea sen pH:ta. (Tortora & Grabowski 2003. 1002.)

Proteiinit ovat runsaslukuisin veren plasman ja solunsisäisen nesteen puskuriryhmä. Proteiinit koostuvat aminohapoista, joilla kaikilla on vähintään yksi karboksyyli- ja yksi aminoryhmä, jotka ovat proteiinipuskurijärjestelmän toiminnalliset osat. Proteiinin päässä oleva vapaa karboksyyli-ryhmä toimii hapon tavoin luovuttaessaan vetyionin pH:n noustessa. Proteiinin toisessa päässä oleva aminoryhmä puolestaan voi toimia emäksen tavoin ja sitoa itseensä vetyionin ja siten alentaa pH:ta. Proteiinien konsentraatio solunsisäisessä nesteessä on varsin suuri ja siksi ne ovatkin varsin merkittäviä solun sisäisessä puskuroinnissa. (Tortora & Grabowski 2003. 1002.)

Kehon nesteissä toimivia muita puskurijärjestelmiä, ovat mono- ja di-vetyfosfaatista muodostuva fosfaattipuskuri. Sen toiminta perustuu samankaltaiseen mekanismiin kuin bikarbonaattipuskurin. Fosfaattipuskuri on tärkeä solunsisäisten nesteiden ja munuaisten tubulusten puskuri. (Tortora & Grabowski 2003. 1002.) Munuaisten tubulusten tärkeimmän

puskurin muodostavat ammoniakki ja ammoniumioni, sillä kroonisessa asidoosissa tärkein tapa poistaa happoja on ammoniumionien erityys. (Guyton & Hall 2000, 350.)

4.1.2 Respiratorinen säätely

Koska hiilidioksidi lisää vetyionien määrää elimistössä, on hengittämisellä merkittävä rooli pH:n säätelyssä. Hengityksen avulla voidaan poistaa hiilidioksidia, ja koska hiilihappo on mahdollista pilkkoa hiilidioksidiksi ja vedeksi, on hengityksen avulla mahdollista säädellä elimistön pH:ta. Hengityksen nopeutta ja syvyyttä vaihtelemalla voidaan vaikuttaa elimistön nesteiden pH arvoon jo muutaman minuutin kuluessa. Ydinjatkeessa ja periferiassa olevat kemoreseptorit tarkkailevat veren pH:ta. Vetyionikonsentraation noustessa ne aktivoivat ydinjatkeen hengitystä ohjaavia osia, jolloin hengitys kiihtyy. Vetyionikonsentraation las-
kiessa hengityskeskus inhiboituu, josta seuraa hengityksen rauhoittuminen. (Tortora & Grabowski 2003. 1002.) Respiratorinen säätely on fysiologinen puskurijärjestelmä, jonka avulla voidaan puskuroida jopa kaksi kertaa enemmän happoja tai emäksiä kuin kemiallisten puskuroiden avulla (Guyton & Hall 2000, 351).

4.1.3 Renaalinen säätely

Munuaiset säätelevät happo-emästasapainoa erittämällä joko hapanta tai emäksistä virtsaa. Metabolisissa reaktiossa syntyy päivän aikana suuria määriä haihtumattomia happoja, joita ei voida poistaa hiilihapon tavoin hengityksen välityksellä vaan ne on eritettävä virtsaan. Munuaisilla on myös tärkeä rooli bikarbonaatti-ionien erityksen säätelyssä. Alkaloosissa munuaiset erittävät virtsaan bikarbonaatti-ioneja pH:n laskemiseksi. Asidoosissa bikarbonaatti-ioneja puolestaan reabsorboidaan, jolloin pH nousee. Jokaista tubuluksista reabsorboitua bikarbonaatti-onia kohden on eritettävä yksi vetyioni. Alkaloosissa bikarbonaatti-ioneja on enemmän kuin vetyioneja eikä niitä voida reabsorboida vaan ne erittyvät virtsaan. Asidoosissa puolestaan tilanne on päinvastainen ja kaikki bikarbonaatti-ionit reabsorboidaan, jolloin tubuluksiin erittyvät vetyionit puskuroidaan ja eritetään virtsan mukana suo-

loina. (Guyton & Hall 2000, 353.) Ottaen huomioon munuaisten suuren merkityksen happo-emästasapainon säätelyssä on helppo ymmärtää, että munuaisten toiminnan lakkaaminen voi johtaa nopeasti kuolemaan (Tortora & Grabowski 2003. 1002).

4.2 Voimaharjoituksen vaikutus happo-emästasapainoon

Rasittavan ja lyhytkestoisen lihastyön, kuten voimaharjoittelun, yhteydessä energiaa tuotetaan pääasiassa anaerobisesti. Energialähteinä toimivat lihaksen ATP ja KP varastot ja niiden alhaisen määrän takia myös anaerobinen glykolyysi. Tästä syystä rasittavaa lihastyötä tehtäessä tulee happo-emästasapainon säilyttäminen entistä vaikeammaksi. Tämä johtuu vetyionien lisääntyneestä määrästä, joka taas on seurausta kasvaneesta hiilidioksidin ja laktaatin tuotosta. Lyhyiden, all-out tyyppisten, suoritusten yhteydessä pH:n säätely tulee entistä vaikeammaksi, koska niiden aikana laktaatin määrä veressä voi nousta jopa 30 mmol. Tämä määrä laktaattia veressä laskee veren pH arvon noin 6,8. Lihaksessa pH laskee vieläkin alemmas, sen ollessa uupumukseen asti tehdyn suorituksen lopussa 6,4. (McArdle ym. 2001, 302.)

Lihaksen happamuutta levon aikana säädellään pääasiassa vetyionien ulosvirtauksen avulla, joka tapahtuu joko natrium- ja vetyioneja vaihtamalla tai bikarbonaatti kuljetusjärjestelmien välityksellä. Rasittavan lihastyön yhteydessä säätely puolestaan tapahtuu pääasiassa kahden solukalvolla sijaitsevan monokarbonsyalaatti kuljettajaproteiinin (MCT1 ja MCT4) avulla. (Juel ym. 2004.)

4.3 Voimaharjoituksen vaikutus laktaatin tuottoon

Kuten aikaisemmassa kappaleessa mainittiin, suurin osa rasittavan lihastyön aikaisesta energiasta saadaan anaerobisen glykolyysin avulla. Tämä johtuu siitä, että energiantuotto aerobisten mekanismien avulla on liian hidasta. Glykolyysissä energiaa saadaan pilkkomalla glukoosia pyruvaattihapoksi. Mekanismi on kuitenkin epäedullinen, sillä vain noin kol-

me prosenttia glukoosiin varastoituneesta energiasta saadaan hyödynnettyä. Glykolyysin lopputuotteena syntyy pyruvaattihappoa ja vetyioneja, jotka yhdistyvät NAD:n kanssa ja muodostavat NADH:ta. Kumman tahansa lopputuotteen kertyminen soluun johtaa nopeasti glykolyysin keskeytymiseen. Lopputuotteiden määrän kasvaessa ne voivat kuitenkin reagoida keskenään ja muodostaa maitohappoa. Maitohappo on puolestaan mahdollista kuljettaa pois solusta ja se toimii ikään kuin kaivona, joka mahdollistaa lopputuotteiden häviämisen. Ilman maitohapon muodostusta glykolyysi voisikin kestää vain joitakin sekunteja muutaman minuutin sijasta. (Guyton & Hall 2000, 353.)

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

5.1 Tutkimuksen tarkoitus

Mittaukset suoritettiin osana suurempaa tutkimusta, jossa tutkittiin voimaharjoittelun vaikutuksia vanhoilla miehillä. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten 21 viikon mittainen voimaharjoittelujakso vaikuttaa yksittäisen raskaan voimaharjoituksen aiheuttamiin akuuteihin vasteisiin. Tutkittavina muuttujina olivat maksimivoima, veren pH ja veren laktaatti pitoisuus.

5.2 Hypoteesit

Hypoteesi 1. Maksimivoiman pudotus on pienempi voimaharjoittelujakson jälkeen tehdyn voimaharjoituksen yhteydessä.

Hypoteesi 2. Veren laktaatin määrä on korkeampi voimaharjoittelujakson jälkeen tehdyn voimaharjoituksen yhteydessä.

Hypoteesi 3. Voimaharjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa veren pH-arvot ovat alhaisemmat kuin ennen harjoittelua.

0-Hypoteesi 1. Voimaharjoittelulla ei ole vaikutusta maksimivoiman säilymiseen voimaharjoituksen yhteydessä.

0-Hypoteesi 2. Veren laktaatin määrä pysyy ennallaan voimaharjoittelusta riippumatta.

0-Hypoteesi 3. Voimaharjoittelujakso ei vaikuta voimaharjoituksen aikaansaamiin muutoksiin veren pH-arvoissa.

6 MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa toimi 10 vapaaehtoista miestä, joille kaikille suoritettiin lääkärintarkastus ennen tutkimuksen alkua. Koehenkilöt olivat osa suurempaa voimaharjoittelututkimusta. Heidän (keskiarvo \pm keskihajonta) ikä oli 61 v \pm 5,27 v, pituus 177 cm \pm 3,6 cm ja paino 79,3 \pm 5,1. Koehenkilöt olivat melko aktiivisia liikkujia, mutta he eivät olleet saaneet harrastaa säännöllisesti voimaharjoittelua viimeksi kuluneen viiden vuoden aikana. Lisäksi heidän tuli olla terveitä, eivätkä he saaneet käyttää säännöllisesti lääkkeitä tai lisäravinteita, jotka olisivat voineet vaikuttaa tuloksiin.

6.2 Voimaharjoittelujakso

Voimaharjoittelujakson aikana koehenkilöt tekivät voimaharjoituksen kahdesti viikossa valvotuissa olosuhteissa siten, että kertojen välissä oli vähintään kahden päivän palautusjakso. Jokainen voimaharjoituskerta piti sisällään bilateraalisen jalkaprässiliikkeen, sekä bilateraaliset polven ojennus- ja koukistusliikkeet. Lisäksi harjoitettiin muita päälihasryhmiä yläraajoissa, keskivartalossa ja nilkan alueella. Harjoittelujakso oli suunniteltu progressiiviseksi. Harjoittelussa käytetyt kuormat olivat 40 – 85 % kunkin koehenkilön 1RM:stä. Sarjojen määrä oli harjoittelujakson alussa 2 – 3 ja kasvoi loppua kohden 3 – 5, toistojen määrä puolestaan laski alun 15 – 20 lopun 5 – 6 toistoon.

6.3 Akuutti voimaharjoitus

Ennen harjoittelujakson alkua ja harjoittelujakson päätyttyä suoritettiin yksittäinen raskas alaraajoihin kohdistuva voimaharjoitus, jonka suhteellisen kuormittavuuden oli tarkoitus

olla yhtä suuri sekä ennen harjoittelujaksoa, että sen jälkeen. Toisin sanoen absoluuttiset kuormat saattoivat olla suuremmat harjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa, mutta vastasivat yhtä suurta prosenttiosuutta maksimimaalisesta suorituskyvystä. Tämä harjoitus tehtiin, jotta voitaisiin mitata harjoittelun mahdollisesti aikaansaamia muutoksia voimaharjoituksen akuuteissa vasteissa. Akuutti harjoitus koostui raskaasta bilateralisesta jalkaprässikuormituksesta, joka tehtiin David 210 (David Fitness and Medical) jalkaprässilaitteella. Ennen harjoituksen alkua jalkaprässilaitte säädettiin siten, että alkuasennossa polvikulma oli 70 astetta, lisäksi koehenkilöt lämmittelivät kaksi minuuttia kuntopyörällä. Lämmittelyn jälkeen koehenkilöt suorittivat viisi 10 toiston jalkaprässisarjaa kahden minuutin palautuksella, ojentaen jalkansa täysin 180 asteen polvikulmaan, ja koukistaen jälleen alkuasentoon. Kuormat määritettiin siten, että koehenkilöt kykenisivät suorittamaan vaaditut 10 toistoa, heitä myös avustettiin jos se oli tarpeen 10 toiston saavuttamiseksi.

6.4 Mittaukset

6.4.1 Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima

Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima mitattiin ennen harjoituksen alkua sekä jokaisen sarjan suorittamisen jälkeen, eli kaikkiaan 6 kertaa. Mittaamiseen käytettiin David 200 jalkadynamometriä. Koehenkilö istui dynamometriin, joka oli ennen harjoituksen alkua säädetty siten, että lonkka kulma oli 110 astetta ja polvikulma 107 astetta. Voimasignaali tallennettiin tietokoneelle ja analysoitiin käyttämällä Signal ohjelmistoa (Cambridge Electronic Design Ltd.), versio 2.15.

6.4.2 Verikokeet

Voimaharjoitussektion aikana koehenkilöiltä otettiin laskimoverinäytteet ennen harjoituksen alkua, välittömästi harjoituksen jälkeen sekä 15 ja 30 minuutin kuluttua harjoituksen päättymisestä. Näytteiden analysointiin käytettiin Nova Biomedical STAT Profile pHOX

Plus L-analysointia (Nova Biomedical). Näytteistä analysoitiin useita eri muuttujia mukaan lukien veren laktaattipitoisuus ja veren pH-arvo.

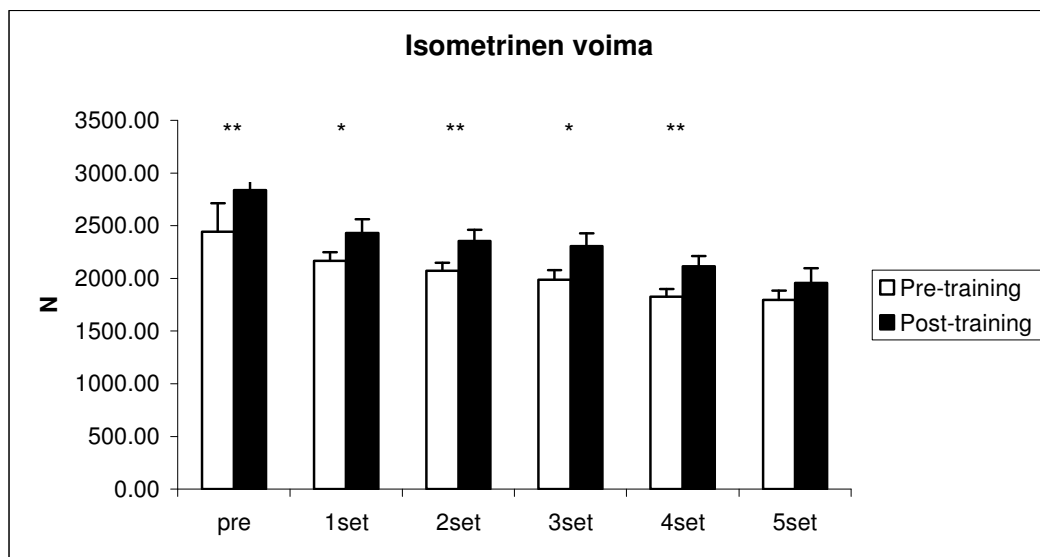
6.5 Tilastolliset menetelmät

Tulosten koostamisessa, analysoinnissa ja kuvaajien piirtämisessä käytettiin apuna Microsoft Office Excel 2003 ohjelmaa. Tulosten tilastollinen merkitsevyys tarkastettiin käyttämällä parillista kaksisuuntaista t-testiä, joka laskettiin käyttämällä Excelin analyysitoimintoa. Tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin 95 % luotettavuus tasoa ($p < 0.05$). Lisäksi tarkasteltiin muuttujien välisiä riippuvuussuhteita laskemalle niille korrelaatiokerroimet. Tarkastelussa käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa.

7 TULOKSET

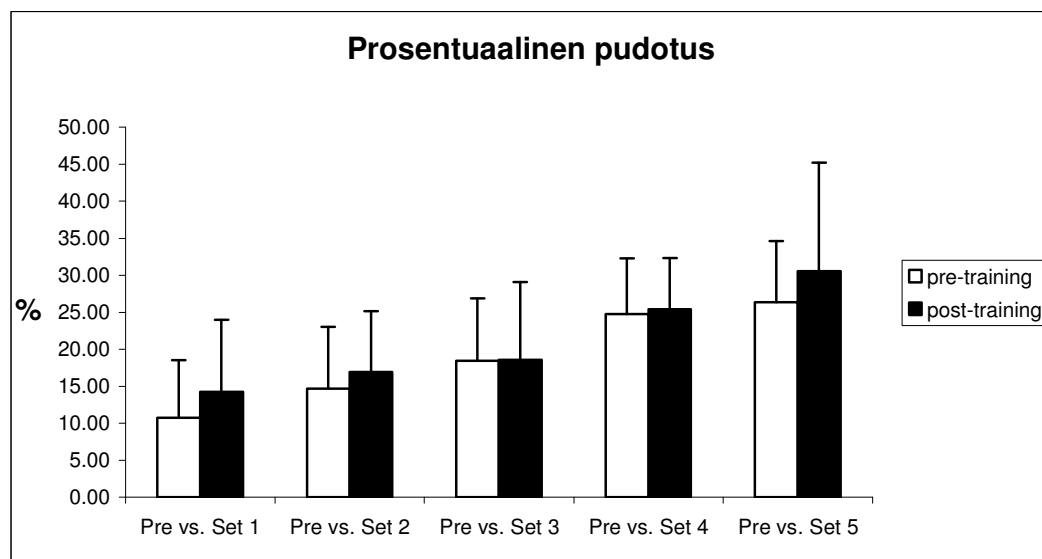
7.1 Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima

Tulokset jalkojen maksimaalisesta ojennustestistä ennen ja jälkeen harjoittelujakson, sekä mittausten väliset tilastolliset merkitsevyydet on esitetty kuvassa 1. Saavutetut maksimi-voima arvot kasvoivat harjoittelun vaikutuksesta ennen harjoitusta tehdyssä Pre-mittauksessa sekä kaikkien harjoitussarjojen jälkeisissä suorituksissa. Ollen 16,2 % suurempi pre-mittauksen jälkeen ja 12,1 % ensimmäisen, 13,6 % toisen, 16,0 % kolmannen, 15,7 % neljännen ja 8,9 % viidennen sarjan jälkeen. Tilastollisesti merkitseviä erot olivat viidennen sarjan jälkeistä suoritusta lukuunottamatta.



KUVA 1. Isometrisen jalkojen ojennusvoima testin tulokset. *= $p < 0,05$, **= $p < 0,01$

Maksimivoimatuloksia tarkasteltiin lisäksi laskemalla kuinka suuri suhteellinen pudotus maksimivoimassa oli tapahtunut kunkin sarjan jälkeen verrattuna ennen harjoituksen alkua mitattuun maksimivoima arvoon (kuva 2.). Tarkoituksena oli selvittää kuinka harjoittelujakso oli vaikuttanut kykyyn vastustaa väsymistä. Suhteellinen pudotus oli suurempi harjoittelujakson jälkeen kaikissa sarjoissa, tilastollisia merkitsevyyksiä ei kuitenkaan saatu. Suurin ero oli ensimmäisen sarjan kohdalla, jossa suhteellinen pudotus oli 32,6 % suurempi harjoittelujakson jälkeen.

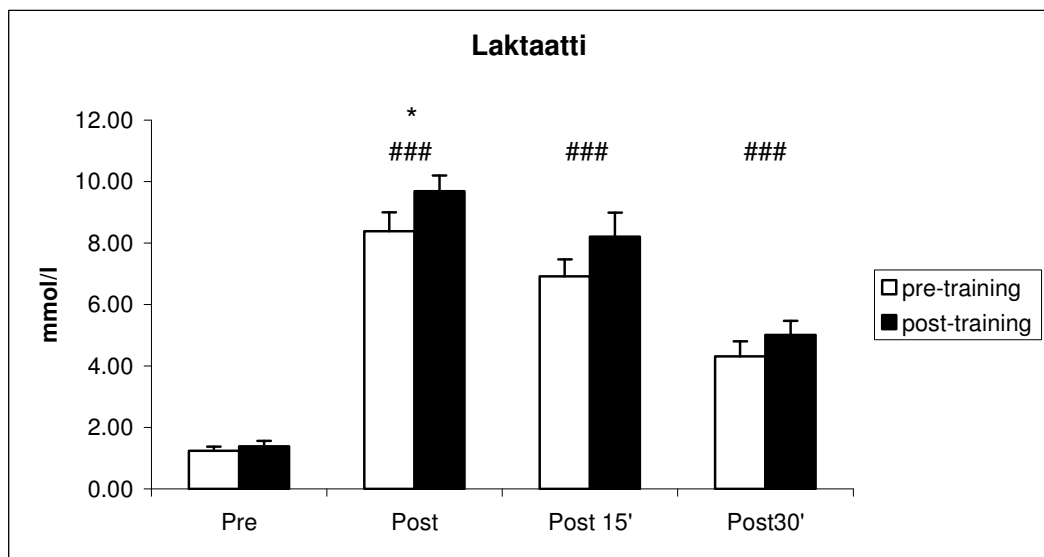


KUVA 2. Suhteellinen maksimivoiman lasku sarjojen jälkeen verrattaessa ennen harjoituksen alkua tehtyyn suoritukseen.

7.2 Laktaatti

Veren laktaattipitoisuudessa tapahtuneet muutokset näkyvät alla olevassa kuvassa 3. Veren laktaattipitoisuus nousi voimaharjoituksen vaikutuksesta huomattavasti. Suurimmat laktaattipitoisuudet mitattiin, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, heti harjoituksen päättymisen jälkeen. Muutos, verrattuna pre-mittaukseen, oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) sekä harjoituksen jälkeen tehdyssä post-mittauksessa että kahdessa palautumisjakson aikana tehdyssä mittauksessa, sekä ennen harjoittelujaksoa että sen jälkeen. Harjoituksen aikaan-

saama nousu laktaatin määrässä oli kuitenkin suurempi harjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa. Laktaatin määrä heti harjoituksen päätyttyä tehdyssä post-mittauksessa oli ennen harjoittelujaksoa 8,4 mmol/l ja harjoittelujakson jälkeen 9,7 mmol/l. Veren laktaattipitoisuus oli siis 15,6 % suurempi harjoittelujakson jälkeen, ero on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$). Palautumisjakson aikana, 15 minuutin ja 30 minuutin kuluttua harjoituksen päättymisestä, tehdyissä mittauksissa laktaatin määrä oli 18,8 % ja 16,2 % suurempi harjoittelujakson jälkeen kuin ennen harjoittelujakson alkua, tulokset eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä.

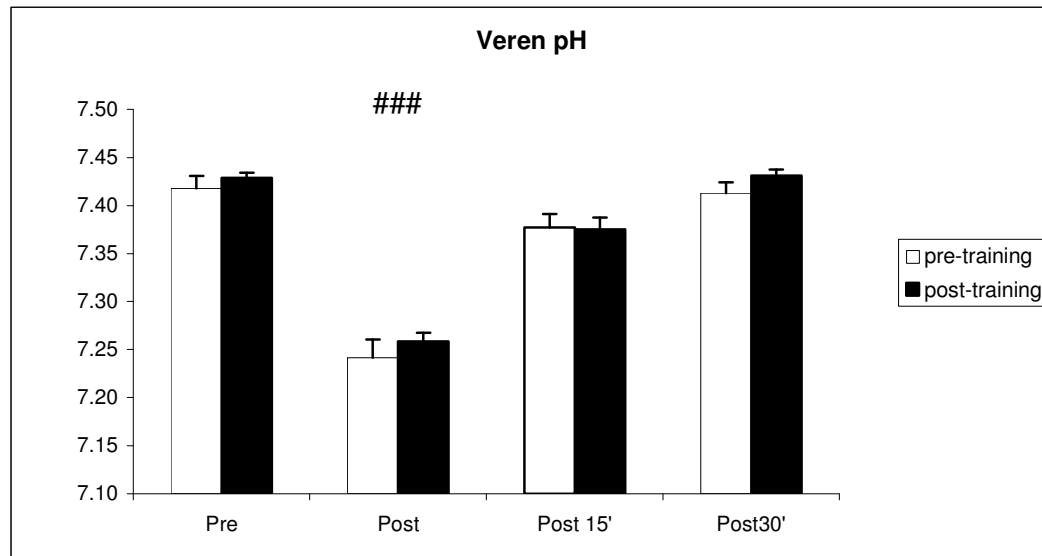


KUVA 3. Veren laktaatti pitoisuus ennen harjoittelujaksoa ja sen jälkeen. *= tilastollinen merkitsevyys ennen harjoittelujaksoa ja harjoittelujakson jälkeen tehtyjen mittausten välillä ($p < 0,05$). ###= tilastollinen merkitsevyys ennen harjoitusta mitattuun pre-mittaukseen ($p < 0,001$)

7.3 Veren pH

Veren pH-mittausten tulokset on esitetty kuvassa 4. Veren pH putosi harjoituksen seurauksena ja oli alhaisimmillaan heti harjoituksen päätyttyä sekä ennen harjoittelujaksoa että sen jälkeen. Pudotus pre-mittaukseen verrattuna oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) heti harjoituksen päätyttyä tehdyssä mittauksessa sekä ennen että jälkeen harjoittelujakson.

Harjoittelujaksolle ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta pH-arvoihin. Harjoittelujakson jälkeiset tulokset olivat kuitenkin hieman korkeammat verrattuna ennen harjoittelujaksoa mitattuihin arvoihin. Esimerkiksi heti harjoituksen jälkeen tehdyissä postmittauksissa pH oli ennen harjoittelujaksoa 7,24 ja harjoittelujakson jälkeen 7,26.



KUVA 4. Veren pH ennen harjoittelujaksoa ja sen jälkeen. ###= tilastollinen merkitsevyys ennen harjoitusta mitattuun pre-mittaukseen ($p < 0,001$)

7.4 Muuttujien väliset suhteet

Muuttujien välisiä suhteita tarkasteltiin laskemalla niiden välinen korrelaatiokerroin. Veren laktaattipitoisuutta ja pH-arvoa verrattaessa käytettiin kunkin koehenkilön suurinta mitattua laktaattipitoisuutta ja matalinta mitattua pH-arvoa. Nämä olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta heti harjoittelun jälkeen mitatut arvot. Korrelaatiokerroin oli näiden muuttujien välillä ennen harjoittelujaksoa $-0,82$ ($p < 0,01$) ja harjoittelujakson jälkeen $-0,32$ (ns.). Lisäksi tarkasteltiin harjoituksen jälkeisen sekä laktaattipitoisuuden että pH-arvon välistä suhdetta harjoituksen jälkeiseen maksimivoima-arvoon. Maksimivoiman ja laktaattipitoisuuden välinen korrelaatio oli ennen harjoittelujaksoa $0,34$ (ns.) ja harjoittelujakson jälkeen $0,59$ (ns.). Maksimivoiman ja pH:n välillä vastaavat kertoimet olivat $-0,19$ (ns.) ja $0,25$ (ns.).

8 POHDINTA

Yksittäisen voimaharjoituksen aikaansaamat akuutit muutokset mitatuissa muuttujissa olivat odotetun kaltaiset. Harjoittelujakson vaikutukset voimaharjoituksen aikaansaamiin akuutteihin muutoksiin eivät kuitenkaan olleet erityisen suuria. Harjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa saavutettiin suuremmat laktaattiarvot, ero oli tilastollisesti merkittävä kuitenkin vain välittömästi harjoituksen jälkeen otetussa näytteessä. Maksimivoima kasvoi harjoittelujakson vaikutuksesta merkittävästi. Kohonneista voimatasoista huolimatta harjoitusarjojen jälkeinen pudotus maksimivoimassa oli suhteessa yhtä suuri tai jopa suurempi kuin ennen harjoittelujaksoa, näin ollen myös absoluuttinen pudotus oli huomattavasti suurempi harjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa. Veren pH:ssa tapahtuneet muutokset olivat hyvin pieniä. pH oli hieman korkeampi harjoittelujakson jälkeen tehdyissä mittauksissa.

Maksimivoiman kasvu harjoitusjakson vaikutuksesta oli odotettua ja kirjallisuudesta löytyy samankaltaisia tuloksia. Esimerkiksi Henwood & Taaffe (2006) tutkivat 8 viikon voimaharjoittelujakson vaikutuksia vanhojen miesten maksimivoimaan, joka kasvoi harjoittelun vaikutuksesta 21,7 %. Osassa tutkimuksista on kuitenkin saatu selvästi suurempia parannuksia maksimivoimassa. Muun muassa 16 viikon korkea intensiteettinen voimaharjoittelujakso paransi vanhoilla miehillä maksimivoimaa jalkaprässissä 72,3 % (Hagerman ym. 2000). Joissain tutkimuksissa on saavutettu jopa satojen prosenttien parannuksia maksimivoimassa. Tulosten suuri vaihtelevuus voidaan selittää osaltaan harjoittelun tyypillä ja kestolla, ja osaltaan koehenkilöryhmien välisillä eroilla. Pidemmät harjoittelujaksot samoin kuin korkeampi intensiteetti johtaa luonnollisesti suurempaan suhteelliseen kehitykseen voimassa. Koehenkilöiden tausta puolestaan vaikuttaa siten, että inaktiivisilla koehenkilöillä lähtötaso on matalampi, joka johtaa nopeampaan kehitykseen erityisesti harjoittelun alkuvaiheessa.

Voiman lasku harjoituksen edetessä oli suhteellisesti suurempi harjoittelujakson jälkeen. Koska harjoituksessa käytettiin suhteellisesti samaa kuormaa, voidaan koehenkilöiden sanoa väsyneen enemmän harjoittelujakson jälkeen. Periaatteessa voimaharjoittelun ei pitäisi vaikuttaa kykyyn vastustaa väsymistä, eli samoilla suhteellisilla kuormilla tehdyssä voima-

harjoituksessa tulisi väsymisen olla samaa luokkaa vaikka maksimivoima olisikin voimaharjoittelun vaikutuksesta kehittynyt (Behm & St-Pierre 1998). Sitä miten voimaharjoittelu vaikuttaa kykyyn vastustaa väsymistä on tutkittu paljon. Tutkimusten tulokset kuitenkin vaihtelevat merkittävästi, eikä voida varmasti sanoa mikä on voimaharjoittelun vaikutus voiman säilymiseen. Artikkelissaan Behm & St-Pierre (1998) raportoivat, että osassa tutkimuksista kyky vastustaa väsymistä parani, osassa säilyi ennallaan ja osassa heikkeni, kuten tässä tutkimuksessa.

Kuten yllä mainittiin, voiman kasvun ei periaatteessa pitäisi parantaa kykyä vastustaa väsymistä maksimaalisissa suorituksissa eikä samoilla suhteellisilla kuormilla tehdyissä harjoituksissa. Tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että submaksimaalisilla ja samoilla absoluuttisilla kuormilla kyky vastustaa väsymistä paranee selvästi (Behm & St-Pierre 1998). Vaikka voimaharjoittelu ei siis paranna kykyä vastustaa väsymistä maksimaalisissa suorituksissa, on se hyödyllistä, koska sen avulla kyky suoriutua submaksimaalisista tehtävistä paranee. Tämä on erityisen tärkeää iäkkäämmillä ihmisillä, sillä se helpottaa jokapäiväisistä askareista suoriutumisessa.

Laktaattipitoisuus oli harjoittelujakson jälkeisessä mittauksessa heti harjoituksen päättymisen jälkeen mitattuna 1.3 mmol/l suurempi kuin ennen harjoittelujaksoa. Juel ym. (2003) tutkivat korkeaintensiteettisen harjoittelun vaikutusta lihaksen kykyyn vapauttaa laktaattia ja vetyioneja. Kahdeksan viikon harjoittelujakson seurauksena veren laktaatti pitoisuus uupumukseen asti tehdyssä lihastyössä kasvoi 2.7 mmol/l, kun taas Pilegaard ym. (1999) huomasivat harjoittelun lisänneen veren laktaattipitoisuutta 1,8 mmol/l.

Syy suuremmalle laktaattipitoisuudelle voi olla absoluuttisesti suurempi työn määrä, joka oli seurausta parantuneen maksimivoiman takia korotetuista harjoittelukuormista. Harjoittelun on kuitenkin myös osoitettu vaikuttavan lihaksen kykyyn sietää ja siirtää laktaattia. Pilegaard ym. (1999) osoittivat tutkimuksessaan, että harjoittelu parantaa lihasolukalvon kykyä siirtää laktaattia ja vetyioneja solusta verenkiertoon ja että ainakin osaltaan tämä on seurausta lisääntyneistä MCT1 ja MCT4 proteiinien määrästä. Myös lisääntyneen veren-

kierron on osoitettu parantavan laktaatin vapautumista samoin kuin parantuneen kapillariisaation, näihin molempiin on mahdollista vaikuttaa harjoittelun avulla (Juel ym. 2003).

Veren pH laski odotetusti voimaharjoituksen vaikutuksesta samanaikaisesti kasvaneen laktaattipitoisuuden kanssa ja oli alimmillaan välittömästi harjoituksen päättymisen jälkeen suoritettussa mittauksessa. Voimaharjoituksen aikaansaamat muutokset veren pH:ssa olivat kuitenkin lähes samanlaiset ennen ja jälkeen voimaharjoittelujakson. Tämä oli hieman yllättävää, koska kuten aikaisemmin mainittiin, oli veren laktaattipitoisuus suurempi voimaharjoittelujakson jälkeisissä mittauksissa verrattuna ennen harjoittelujaksoa tehtyihin mittauksiin. Kasvaneen veren laktaattipitoisuuden pitäisi laskea veren pH:ta (McArdle ym. 2001, 302). Pilegaard ym. (1999) saivat kuitenkin vastaavanlaisen tuloksen omassa tutkimuksessaan. Heillä 1,8 mmol/l nousu veren laktaattipitoisuudessa ei aiheuttanut muutosta veren pH:ssa.

Syynä sille, että veren pH ei laskenut odotetusti voi olla se, että laktaatti pitoisuudessa havaitut erot olivat melko pieniä ja että laktaatin kokonaispitoisuus oli melko alhainen. Toisaalta elimistön laktaatin käsittelykyvyn ja veren pH-arvon säätelyn välinen suhde ei ole lineaarinen, vaan veren pH-arvo palaa lepotasolleen nopeammin, noin 30 minuutin kuluessa, kun taas laktaattipitoisuus palautuu vasta noin tunnin kuluttua harjoituksen päätyttyä (Wilmore & Costill 2004). Osaltaan eroa saattaa selittää myös elimistön harjoittelun vaikutuksesta parantunut kyky säädellä happo-emäs tasapainoa. Tätä tukee Pilegaardin ym. (1999) löydös siitä, että bikarbonaatin määrä veressä oli harjoittelujakson jälkeen matalampi, joka viittaisi siihen, että sitä on mahdollisesti käytetty vetyionien puskuroimiseksi. Ja toisaalta se, että harjoittelujakson jälkeen tuotettu laktaatin määrä oli suurempi; sen pitoisuus lihaksessa pienempi ja kuten aikaisemmin mainittiin pitoisuus veressä suurempi. Tästä huolimatta veren pH:ssa ei tapahtunut muutosta. (Juel ym. 2003.)

Yhteenvetona voidaan todeta, että voimaharjoittelujakso ei vaikuttanut kovinkaan merkittävästi siihen, mitkä ovat yksittäisen raskaan voimaharjoituksen vaikutukset maksimivoiman kehittymisen yhteydessä veren laktaattipitoisuuteen ja veren pH:n vanhoilla miehillä. Voimaharjoittelujakso siis paransi maksimivoimaa merkitsevästi ja huolimatta siitä, että paran-

tunut maksimivoima johti korkeampiin harjoittelukuormiin, pystyivät koehenkilöt suoriutumaan niistä lähes yhtä hyvin ja sarjojen jälkeiset maksimivoimat putosivat suhteessa vain hieman enemmän harjoittelujakson jälkeen. Tämä on hyödyllistä, koska se tarkoittaa parantunutta kykyä vastustaa väsymystä submaksimaalisilla kuormilla.

Ikääntymisen myötä vähentyneen fyysisen aktiivisuuden uskotaan olevan yksi tärkeimmistä heikentyneeseen suorituskyyyn johtavista syistä vanhoilla ihmisillä. Siksi aktiivista elämäntapaa pidetäänkin erityisen tärkeänä toimintakyvyn säilyttämiseksi (Kirkendall & Garrett 1998). Tässä tutkimuksessa havaitut muutokset maksimivoimassa, laktaatin sietokyvyssä ja mahdollisesti parantuneessa happoemästäsapainon säätelyssä tukevatkin yleistä käsitystä siitä, että harjoittelun aiheuttamat muutokset ja sen terveydelliset edut ovat vanhoilla ihmisillä samanlaiset kuin nuorilla (Kirkendall & Garrett 1998).

LÄHTEET

Ahtiainen J., Pakarinen A., Alen M., Kraemer W. & Häkkinen K. 2005. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: Influence on muscle strength, size and hormonal adaptations in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 19, 572–582

.

Behm D. & St-Pierre D. 1998. The Effects of Strength Training and Disuse on the Mechanisms of Fatigue. *Sports Medicine* 25, 175-189

.

Crewther B., Cronin J., & Keogh J. 2005. Possible stimuli for strength and power adaptation: Acute mechanical responses. *Sports Medicine* 35, 967-989

.

Crewther B., Cronin J., & Keogh J. 2006. Possible stimuli for strength and power adaptation: Acute metabolic responses. *Sports Medicine* 36, 65-78.

Enoka R. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics. Champaign.

Gentil P., Oliveira E. & Bottaro M. 2006. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *Journal of Physiological Anthropology* 25, 339-44.

Godfrey R., Madgwick Z. & Whyte G. 2003. The Exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports Medicine* 33, 599-613.

Guyton A. & Hall J. 2000. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia.

Hagerman F., Walsh S., Staron R., Hikida R., Gilders R., Murray T., Toma K. & Ragg E. 2000. Effects of High-Intensity Resistance Training on Untrained Older Men. I. Strength, Cardiovascular, and Metabolic Responses. *Journal of Gerontology* 55, 336-346.

Harmer A., McKenna M., Sutton J., Snøe R., Rueel P., Booth J., Thompson M., MacKay N., Stathis C., Cramer R., Carey M. & Eager D. 2000. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *Journal of Applied Physiology* 89, 1793–1803.

Haug E., Sand O. & Sjaastad O. 1999. *Ihmisen fysiologia*. WSOY, Porvoo

Izquierdo M., Ibanez J., Gonzalez-Badillo J., Häkkinen K., Ratamess N., Kraemer W., French D., Eslava J., Altadill A., Asiain X. & Gorostiagal E. 2006. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology* 100, 1647-1656.

Juel C., Klarskov C., Nielsen J., Krstrup P., Mohr M. & Bangsbo J. 2004. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 286, 245-251.

Kirkendall D. & Garrett W. 1998. The effects of Aging and Training on Skeletal Muscle. *The American Journal of Sports Medicine* 26, 598-602.

Komi P. 2003. *Strength and power in sport*. Blackwell Science Ltd. Oxford.

Kraemer W., Häkkinen K., Newton R., Nindl B., Volek J., McCormick M., Gotshalk L., Gordon S., Fleck S., Campbell W., Putukian M. & Evans W. 1999. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *The American Physiological Society* 982-992.

McArdle W., Katch F. & Katch V. 2001. Exercise physiology: Energy, nutrition and human performance. Lippincott Williams & Wilkins. Baltimore.

Nigg B. & Herzog W. 1999. Biomechanics of the musculoskeletal system. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.

Nigg B., MacIntosh B. & Mester J. 2000. Biomechanics and Biology of Movement. Human Kinetics, Champaign USA.

Pilegaard H., Domino K., Noland t., Juel C., Hellsten Y., Halestrap A. & Bangsbo J. 1999. Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. American Journal of Physiology 276, 255-261.

Pullinen T., Huttunen P. & Komi P. 2000. Plasma catecholamine responses and neural adaptation during short-term resistance training. European Journal of Applied Physiology 82, 68-75.

Seynnes O., de Boer M., & Narici M. 2007. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. Journal of Applied Physiology 102, 368-373.

Tortora G. & Grabowski S. 2003. Principles of Anatomy & Physiology. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.

Wilmore J. & Costill D. 2004. Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics. Hong Kong.