

Akuutti hormonaalinen ja neuromuskulaarinen vaste
maksimi- ja pakkotoistokuormituksessa

Juha Ahtiainen

Jyväskylän Yliopisto
Liikuntabiologian laitos
Liikuntafysiologian
pro gradu –tutkielma
Kevät 2001
Työn ohjaaja:
Keijo Häkkinen

Tiivistelmä

Juha Ahtiainen, 2001. Akuutti hormonaalinen ja neuromuskulaarinen vaste maksimi- ja pakkotoistokuormituksessa. Liikuntafysiologian pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. 110s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kahden erilaisen voimaharjoittelussa käytettävän harjoitusmenetelmän, maksimi- ja pakkotoistomenetelmän, vaikutusta välittömiin hormonaalisiin ja neuromuskulaarisiin vasteisiin. Hormonaalisista vasteista tutkittiin voimaharjoitusten välitöntä vaikutusta seerumin testosteroni-, vapaa testosteroni-, kortisoli- ja kasvuhormonipitoisuuksiin. Neuromuskulaarisista muuttujista tutkittiin voimaharjoitusten vaikutusta alaraajojen ojentajalihaksiston maksimaaliseen tahdonalaiseen isometriseen voimantuottoon ja sen aikaiseen lihasaktiivisuuteen sekä veren laktaattipitoisuuteen. Lisäksi tutkittiin isometrisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden palautumista kolme vuorokautta voimaharjoitusten jälkeen.

Tutkittavat jaettiin harjoitustaustansa perusteella voimailijoihin (n=8) ja kuntoilijoihin (n=8). Koehenkilöt suorittivat kahden viikon välein kaksi erilaista voimaharjoitusta samaan vuorokauden aikaan. Näistä ensimmäinen toteutettiin maksimitoistoperiaatteella ja toinen pakkotoistomenetelmällä. Kuormitusliikkeenä oli neljä sarjaa jalkaprässiä, kaksi sarjaa jalkakyykyä ja kaksi sarjaa reiden ojennusta. Toistoja suoritettiin aina 12 jokaisessa sarjassa. Sarjojen välinen palautusaika oli kaksi minuuttia ja harjoitusliikkeiden välillä neljä minuuttia. Maksimitoistoperiaatteella kuorma asetettiin siten, että koehenkilö kykeni itse suorittamaan kaikki toistot. Pakkotoistokuormituksessa sarjapainoja lisättiin maksimitoistokuormitukseen nähden siten, että koehenkilö ei itse kyennyt suorittamaan harjoitussarjoja loppuun asti, vaan tutkija avusti suoritusta juuri sen verran kuin tarvitsi harjoitussarjan loppuun asti viemiseksi. Maksimaalinen isometrinen voimantuotto ja sen aikainen lihasaktiivisuus mitattiin sekä verinäytteet hormoni- ja laktaattipitoisuuden määrittämiseksi otettiin ennen kuormitusta, toisen ja neljännen jalkaprässisarjan jälkeen, kyykkysarjojen jälkeen, reiden ojentaja –liikkeen jälkeen sekä 15 ja 30 minuuttia kuormituksen loppumisen jälkeen. Maksimaalinen isometrinen voimantuotto ja sen aikainen lihasaktiivisuus mitattiin myös 24, 48 ja 72 tuntia kuormitusten jälkeen.

Kaikissa pakkotoistosarjoissa yhteensä käytetty kuorma oli $13.2 \pm 11.2\%$ suurempi ($p < .001$) kuin maksimitoistosarjoissa. Vähennettäessä pakkotoistokuormituksessa tehdystä työstä avustuksen määrä, ei maksimi- ja pakkotoistokuormituksissa tehdyissä kokonaistyömäärässä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Pakkotoistokuormituksessa suoritettiin avustettuna 6.0 ± 3.2 toistoa 12 toiston harjoitussarjasta. Maksimaalinen isometrinen voimantuotto laski koko kuormituksen jälkeen merkitsevästi maksimitoistoissa $61.7 \pm 9.3\%$:iin ($p < .001$) ja pakkotoistoissa $43.5 \pm 12.2\%$:iin ($p < .001$) verrattuna ennen kuormitusta (pre) mitattuun arvoon. Voimantuoton aleneminen oli pakkotoistokuormituksessa merkitsevästi suurempaa ($p < .01-.001$) verrattuna maksimitoistokuormitukseen. Pakkotoistokuormituksesta palautuminen oli ensimmäisen vuorokauden kohdalla tilastollisesti merkitsevästi alempana ($p < .01$) kuin maksimitoistokuormituksessa ja oli alentunut pre – arvoon nähden vielä kolmantena vuorokautena ($p < .05$) kuormituksen jälkeen. Isometrisen voimantuoton aikainen lihasaktiivisuus laski merkitsevästi ($p < .05-.01$) pakkotoistokuormituksen aikana verrattuna pre – arvoon. Veren laktaattipitoisuus nousi merkitsevästi ($p < .001$) alkuarvoon nähden sekä maksimi- että pakkotoistokuormituksessa. Seerumin testosteroni- ja vapaa testosteronipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ja pakkotoistokuormituksessa ($p < .05-.001$). Seerumin kortisolipitoisuus nousi merkitsevästi sekä maksimi- ($p < .05-.001$) että pakkotoistokuormituksessa ($p < .001$). Kortisolipitoisuus oli merkitsevästi ($p < .05$) korkeampi pakkotoistokuormituksessa kyykyn, reisiojennuksen sekä 15 ja 30 minuutin palautumisen jälkeen verrattuna maksimitoistokuormitukseen. Seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ($p < .01-.001$) ja pakkotoistokuormituksessa ($p < .05-.001$). Pakkotoistokuormituksessa kasvuhormonipitoisuuden muutosprosentti oli neljännen jalkaprässisarjan, kyykyn, reisiojennuksen sekä 15 ja 30 minuutin palautumisen jälkeen merkitsevästi ($p < .05-.01$) korkeammalla kuin maksimitoistokuormituksessa.

Molemmat voimaharjoitusmenetelmät, sekä maksimi- että pakkotoistomenetelmä, johtivat samankaltaiseen välittömään harjoitusvaikutukseen hermo-lihasjärjestelmän väsymyksen ja hormonivasteen korostuessa pakkotoistoja käytettäessä. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että kyseistä kuormitusmallia käytettäessä pakkotoistojen käyttö stimuloi hormonitoimintaa, erityisesti kortisolin ja kasvuhormonin osalta ja lisää hermo-lihasjärjestelmän kuormittumista.

Sisällys

1. JOHDANTO	1
2. MAKSIMIVOIMAHARJOITTELUN PERUSPERIAATTEET	2
2.1. MAKSIMIVOIMAHARJOITTELUN ERI VAIKUTUSALUEET JA YLIKUORMITUSPERIAATE	2
2.2. HYPERTROFISEN MAKSIMIVOIMAHARJOITTELUN OMINAISPIIRTEET	3
2.3. PAKKOTOISTOT MAKSIMIVOIMAHARJOITTELUN ERITYISMENETELMÄNÄ	5
3. VOIMAHARJOITUKSEN VAIKUTUKSET HERMO-LIHAS- JÄRJESTELMÄÄN JA HORMONAALISEEN SÄÄTELYYN	6
3.1. VOIMAHARJOITUKSEN VÄLITTÖMÄT VAIKUTUKSET LIHAKSISTON AKTIVOITUMISEEN JA VOIMANTUOTTOON	7
3.2. ENERGIALÄHTEET VOIMAHARJOITUKSESSA JA HERMO-LIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO	9
3.3. VOIMAHARJOITUKSEN AIHEUTTAMA VÄLITÖN HORMONAALINEN VASTE..	12
3.4. VOIMAHARJOITUKSEN VAIKUTUS PROTEIINIMETABOLIAAN.....	14
3.4.1. Proteiinisynteesin vaikutusmekanismit.....	15
3.4.2. Proteiinien hajoamisen vaikutusmekanismit.....	16
3.4.3. Proteiinimetabolian nettotasapaino	16
4. HORMONAALINEN SÄÄTELYJÄRJESTELMÄ JA HORMONIEN VAIKUTUSTAVAT	18
4.1. HORMONIEN RAKENNE JA ERITYMINEN	18
4.2. HORMONIEN VAIKUTUSMEKANISMIT	19
5. KASVUHORMONI.....	23
5.1. KASVUHORMONIN ERITYMINEN	23
5.2. KASVUHORMONIN RAKENNE.....	25
5.3. KASVUHORMONIN VAIKUTUSMEKANISMIT	25
5.4. IGF-1:N ERITYMINEN JA VAIKUTUSMEKANISMIT	27
5.5. KASVUHORMONI JA VOIMAHARJOITTELU.....	28
5.5.1. Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen	28
5.5.1.1. <i>Kasvuhormonin erittymiseen vaikuttavat neuraaliset tekijät</i>	<i>29</i>
5.5.1.2. <i>Happo-emäs -tasapainon vaikutus kasvuhormonin erittymiseen</i>	<i>30</i>
5.5.1.3. <i>Ravinnon vaikutus kasvuhormonin erittymiseen</i>	<i>30</i>
5.5.1.4. <i>Bioanalyysimenetelmällä mitattavien kasvuhormonivarianttien erittyminen.....</i>	<i>31</i>
5.5.1.5. <i>Voimaharjoituksen vaikutus seerumin IGF-1 pitoisuuteen.....</i>	<i>31</i>
5.5.2. Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen	32
6. TESTOSTERONI.....	33
6.1. TESTOSTERONIN ERITYS JA RAKENNE	33
6.2. TESTOSTERONIN VAIKUTUSMEKANISMIT	34
6.3. TESTOSTERONI JA VOIMAHARJOITTELU.....	37

6.3.1.	Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen.....	37
6.3.2.	Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen.....	39
7.	KORTISOLI.....	40
7.1.	KORTISOLIN ERITYS JA RAKENNE.....	40
7.2.	KORTISOLIN VAIKUTUSMEKANISMIT.....	42
7.3.	KORTISOLI JA VOIMAHARJOITTELU.....	44
7.3.1.	Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen.....	44
7.3.2.	Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen.....	46
8.	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	49
9.	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	50
9.1.	KOEHENKILÖT.....	50
9.2.	KOEASETELMA.....	50
9.3.	MITTAUKSET.....	52
9.3.1.	Isometrisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden mittaaminen.....	52
9.3.2.	Verinäytteet.....	52
9.4.	TILASTOLLISET MENETELMÄT.....	54
10.	TULOKSET.....	55
10.1.	KUORMITUS.....	55
10.2.	MAKSIMAALINEN ISOMETRINEN VOIMANTUOTTO.....	56
10.3.	LIHASAKTIIVISUUS ISOMETRISEN VOIMANTUOTON AIKANA.....	58
10.4.	MAKSIMI- JA PAKKOTOISTOKUORMITUSTEN VAIKUTUKSET VEREN LAKTAATTIPITOISUUTEEN.....	59
10.5.	MAKSIMI- JA PAKKOTOISTOKUORMITUSTEN AIHEUTTAMAT VÄLITTÖMÄT MUUTOKSET SEERUMIN HORMONIPITOISUUKSIIN.....	60
10.5.1.	Testosteroni.....	61
10.5.2.	Vapaa testosteroni.....	62
10.5.3.	Kortisoli.....	62
10.5.4.	Kasvuhormoni.....	64
11.	POHDINTA.....	66
	LÄHTEET.....	76

1. Johdanto

Voimaharjoittelulla pyritään lisäämään lihaksen voimantuottoa ja lihasmassaa. Tehokkaita harjoitusmenetelmiä tarvitaan niin kuntoutuksen, kuntoilun kuin urheilunkin piirissä. Kuitenkaan kaikkia voimaharjoittelun vaikutusmekanismeja ei vielä tarkasti tunneta. Voimaharjoittelu koostuu yksittäisistä harjoitteista, joita sopivin määräjain toistettaessa elimistö mukautuu uuteen vaatimustasoon muun muassa lisäämällä lihaksen supistuvan valkuaisen määrää. Lihaksen rakenteen muutosta selittävistä tekijöistä merkittävimminä pidetään elimistön anabolisia hormoneja, kuten testosteronia ja kasvuhormonia, joiden määrän tiedetään lisääntyvän tilapäisesti yhden voimaharjoituskerran seurauksena. Muita voimaharjoittelun vaikutusmekanismien taustalla olevia tekijöitä on esitetty olevan elimistön hermostollinen, metabolinen ja immunologinen mukautuminen harjoitteluun sekä lihaksen mekaaninen kuormittuminen ja lihasvaurio.

Aikaisempien tutkimusten mukaan yksittäisen voimaharjoituksen luonne ratkaisee sen aiheuttaman välittömän neuromuskulaarisen ja hormonaalisen vasteen. Usealla harjoitussarjalla ja lyhyellä sarjojen välisellä palautuksella toteutettu voimaharjoittelu saa aikaan suurimman anabolisten hormonien erittymisen verenkiertoon. Tämän tyyppisen harjoittelun tiedetään olevan tehokasta lihasmassan kasvattamisessa, joten oletetaan yksittäisen harjoituksen aiheuttaman hormonivasteen määrän olevan ensisijaisen tärkeää lihasmassan lisääntymiselle. (Kraemer ym. 1987 ja 1990, Gotshalk ym. 1997.) Lihasmassan lisäämiseen pyrkivät myös kokeneet voimaharjoittelijat, jotka käyttävät harjoittelussaan erilaisia harjoituksen tehokeinoja. Tällaisista tehokeinoista esimerkkinä on pakkotoistomenetelmä, jossa harjoittelijan uuvuttua avustaja keventää kuormaa juuri sen verran, että muutama lisätoisto saadaan suoritettua. Suuresta kuormituksesta johtuen pakkotoistomenetelmän voisi olettaa olevan erittäin tehokas voimaharjoitusmenetelmä. Tämän harjoitusmenetelmän aiheuttamia neuromuskulaarisia tai hormonaalisia vasteita ei ole aiemmin tutkittu. (Fleck & Kraemer 1997.) Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pakkotoistomenetelmällä suoritettua voimaharjoituksen, jossa samalle lihasryhmälle kohdistuu useita harjoitusliikkeitä, välittömiä vaikutuksia neuromuskulaarisiin ja hormonaalisiin vasteisiin vertaamalla sitä perinteiseen maksimitoistomenetelmällä suoritettavaan voimaharjoitukseen.

2. Maksimivoimaharjoittelun peruseriaatteen

2.1. Maksimivoimaharjoittelun eri vaikutusalueet ja ylikuormitusperiaate

Voimaharjoittelu voidaan jakaa tavoitteiden mukaan eri voimantuotto-ominaisuuksia kehittäviin alueisiin, kuten kesto-, maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelun osa-alueisiin. Maksimivoimaharjoittelu voidaan jakaa hermostolliseen ja hypertrofiseen voimaharjoitteluun eli maksimivoimaharjoittelu voidaan kohdistaa lihaksen hermostollisiin ohjausmekanismeihin ja/tai lihaksen rakenteellisiin ominaisuuksiin. (esim. Häkkinen 1990 s. 203.) Keskeisin voimaharjoittelun eri osa-alueiden kehittämiseen ja yksittäisen voimaharjoituskerran kohdistuvuuteen vaikuttava tekijä on harjoitusintensiteetti eli kuorman suuruus harjoitussarjassa. Suurella intensiteetillä harjoiteltaessa voidaan voimantuottoa kehittää ilman merkittävää lihasmassan kasvua. Toinen merkittävä tietyn voimantuotto-ominaisuuden kehittämiseen vaikuttava tekijä on sarjojen välisen palautustauon pituus. (Fleck & Kraemer 1997 s. 6-8, Häkkinen 1990 s. 69-71, 201-207.)

Perusedellytyksenä hermo-lihasjärjestelmän voimantuoton kehittämiseksi on, että kuormitus eli lihasjännitys ylittää aiemman suoritustason, mihin lihas on totunut. Tätä kutsutaan voimaharjoittelun ylikuormitusperiaatteeksi. (Fleck & Kraemer 1997 s. 6.) Toinen keskeinen periaate on harjoituksen spesifisyys eli harjoitusvaikutus kohdistuu vain harjoitettuihin ominaisuuksiin (Hickson 1980). Voimaharjoitus johtaa suorituskyvyn tilapäisen heikkenemisen kautta suorituskyvyn paranemiseen eli superkompensatioon elimistön adaptoituessa kuormitukseen. Pitkällä aikavälillä kuormitusten toistuessa progressiivisesti suurenevilla kuormituksella voi harjoittelu johtaa lihaksen hypertrofiaan ja voimantuotto-ominaisuuksien paranemiseen. (Delorme 1945.)

Pitkän voimaharjoitustaustan omaava harjoittelija tarvitsee suurta kuormitusjännitystä eli harjoitusintensiteettiä kehittääkseen maksimivoimaansa. Puhtaan maksimivoimakomponentin kehittämiseen kokenut voimaharjoittelija tarvitsee kuormitustasoja, jotka ovat 80 – 100 % harjoittelijan maksimista. Harjoitusmäärän eli volyymin lisäämisellä ei voi korvata suurta harjoitusintensiteettiä, kun tavoitteena on lisätä maksimivoimaa. (Häkkinen 1990 s. 101-102.)

Lihaksen hypertrofiaan tähtäävässä harjoittelussa käytetään yleisesti submaksimaalisia kuormituksia, jotka ovat 60 – 80 % maksimista (Tesch 1992 s. 375). Lihaksen ylikuormittamiseksi käytetään niin suurta kuormitusta kuin lihasväsymys vain sallii (maximal voluntary muscular action). Tällä ei tarkoiteta vain harjoittelijan nostamaa suurinta mahdollista kuormaa (1 RM), vaan myös harjoitussarjan viimeistä toistoa, joka pystytään suorittamaan ennen hetkellistä uupumista. (Fleck & Kraemer 1997 s. 6-7.)

Yleensä harjoitusintensiiteettiä tutkittaessa on keskitytty lähinnä voiman kehittämiseen eikä tutkimuksia harjoitusintensiiteetin merkityksestä lihasmassan lisäämiseksi ole juuri-kaan tehty (Tesch 1992 s. 375). Tutkittaessa lihasmassan ja voiman kasvua eri harjoitusintensiiteeteillä (15, 35 ja 90 % RM:stä), havaittiin voiman ja lihasmassan lisäämiseksi tarvittavan suuren lihaksen jännitystason ja nopeiden lihassolujen aktivoitumisen olevan saavutettavissa myös kevyemmällä kuormituksella kuin 60-70% maksimista. Siten voidaan olettaa harjoituksessa tehtävällä kokonaistyömäärällä olevan olennainen merkitys nimenomaan lihaksen hypertrofian kannalta. (Moss ym. 1997.)

2.2. Hypertrofisen maksimivoimaharjoittelun ominaispiirteet

Lihaksen hypertrofiolla tarkoitetaan lihassolujen supistuvan valkuaisen määrän lisääntymistä (McDonagh & Davies 1984, MacDougall 1986). Voimaharjoittelu vaikuttaa supistuvan valkuaisen määrän lisääntymisen lisäksi myös sen laatuun, koska tutkimuksissa on havaittu IIB -tyypin lihassolujen muuttuvan IIA -tyypin lihassoluiksi voimaharjoittelun myötä (Fleck & Kraemer 1997 s. 133-134).

Hypertrofinen voimaharjoittelu eroaa muusta voimaharjoittelusta erityisesti siinä käytettävän submaksimaalisen kuorman sekä maksimitoistoperiaatteen mukaan. Maksimitoistoperiaate tarkoittaa, että kussakin harjoitussarjassa tehdään useita toistoja niin kauan kuin pystytään virheettömällä suoritustekniikalla ja sarja päättyy hetkelliseen lihasuupumukseen. (Häkkinen 1990 s. 71.) Kehonrakennusharjoittelussa, joka on äärimmilleen vietyä hypertrofista harjoittelua, harjoitussarjat suoritetaan hetkelliseen uu-

pumukseen asti, sillä yleisen käsityksen mukaan se on keskeinen lihaskasvua stimuloiva tekijä (Fleck & Kraemer 1997 s. 119, Tesch 1992 s. 376).

Hypertrofiselle voimaharjoitukselle on tyypillistä, että siinä käytetään useita eri harjoitusliikkeitä lihasryhmää kohden. Harjoituksessa pyritään eristämään harjoitettava lihas ja kohdistamaan kuormitus vain tietylle lihakselle tai lihasryhmälle. Harjoituksessa korostetaan liikkeen eksentristä vaihetta. Harjoitusintensiteetti on kohtalainen, 60-80 % maksimista (6-12 RM). Sarjojen välinen lepo on lyhyt, yleensä alle 90 sekuntia. Sarjojen määrä harjoituksessa on suuri, joten kokonaistoistomääräkin kasvaa suureksi. (Fleck & Kraemer 1997 s. 101, Häkkinen 1990 s. 71-72, 206, Tesch 1992 s. 377-378.) Suuri harjoitusvolyymi (kuorma x toistot x sarjat) kehonrakennusharjoittelussa on todennäköisesti lihaksen hypertrofiaa stimuloiva tekijä (Fleck & Kraemer 1997 s. 240).

Suuren harjoitusvolyymien tarpeellisuudesta lihasmassan kasvattamisessa on vallalla myös osin toisenlainen käsitys. Niin kutsutussa Heavy Duty –harjoitusmenetelmässä harjoitusvolyymi pidetään matalana, esimerkiksi yksi sarja lihasryhmää kohden, mutta lihaksen hypertrofiaa stimuloidaan mahdollisimman suurella suhteellisella intensiteetillä. (Erämetsä ym. 1995 s. 78-82.)

Tutkimuksissa on todettu myös voimaharjoittelun alhaisella volyymilla johtavan lihasvoiman kasvuun samalla tavoin kuin harjoittelun suurella volyymilla (Carpinelli & Otto 1998, Hass ym. 2000). Suuren harjoitusvolyymien on sen sijaan arveltu johtavan matalaa volyymia helpommin liikarasittumiseen (Ostrowsky ym. 1997). Toisaalta tutkimuksissa on havaittu endokriinisen vasteen riippuvan harjoitussarjojen määrästä. Verrattaessa yhden ja useamman harjoitussarjan vaikutuksia hormonaaliseen akuuttiin vasteeseen havaittiin usean sarjan lyhyellä palautuksella aikaansaavan suuremman hormonivasteen (Gotshalk ym. 1997). Viimeisimmät tiedot viittaavat siihen, ettei yhdellä harjoitussarjalla ole mahdollista saavuttaa pitkäkestoisia, lihaksen solutason rakenteellisia muutoksia (Fleck & Kraemer 1997 s. 120). Tehokkaita harjoitusmenetelmiä lihasmassan kasvattamiseksi vielä haetaan tutkimusten avulla (Tesch 1992 s. 375).

2.3. Pakkotoistot maksimivoimaharjoittelun erityismenetelmänä

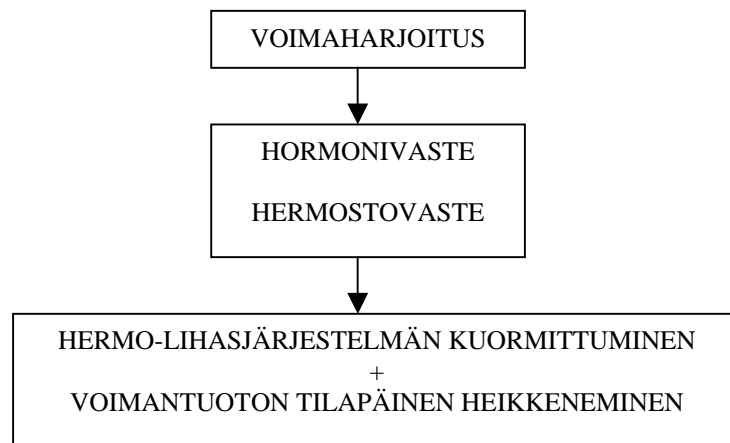
Kokeneella voimaharjoittelijalla voiman ja lihasmassan kehittyminen pitkälläkin aikavälillä on vähäistä. Voiman kehittämiseksi vaaditaan suurta harjoitusintensiiteettiä. (Häkkinen 1990, s. 65-67.) Ylikuormitusperiaatteen mukaisesti tulee harjoitusintensiiteetin kasvaa progressiivisesti sitä mukaa kun harjoittellessa lihasvoima kasvaa. Lihasta voidaan ylikuormittaa progressiivisesti periaatteessa kahdella tapaa, joko lisäämällä harjoituksen intensiteettiä tai volyymia. (Fleck & Kraemer 1997 s. 6-7.)

Lihasta voidaan kuorman ja harjoitusmäärän lisäämisen lisäksi ylikuormittaa myös erilaisin harjoituksen tehokeinoin. Yksi tällainen menetelmä on pakkotoistot (forced reps), joissa avustaja avustaa harjoittelijan uuvuttua vielä muutaman lisätoiston. Tällöin lihas pakotetaan jatkamaan voimantuottoa, kun se on osittain väsynyt. Menetelmän tehokkuuden arvellaan perustuvan useamman motorisen yksikön aktivoitumiseen kuin mitä tavallisella harjoitussarjalla olisi mahdollista ja siten riittävän harjoitusvaikutuksen saavuttamiseen. Pakkotoistomenetelmä aiheuttaa myös merkittävää lihasarkuutta. Pakkotoistojen, kuten muidenkaan vastaavien menetelmien tehokkuutta voiman lisäämisessä ei ole aiemmin tutkittu, vaan menetelmien on oletettu tehokkuus perustuu alan auktoriteettien näkemyksiin. (Fleck & Kraemer 1997 s. 120-121, Häkkinen 1990 s. 71-72, 203-205.)

Voimaharjoituksen sisältäessä pitkäkestoisia lihasjännityksiä suurella jännitystasolla voi verenkierto heikentyä harjoitettavassa lihaksessa. Tällainen tilanne korostuu pakkotoistoja käytettäessä. Myös eksentrisen vaiheen suorituksessa korostuu, sillä avustaja auttaa vain liikkeen konsentrisessä vaiheessa. Avustuksesta riippuen liikeradan eri vaiheissa voi lihastyötapana muuttua normaalista isotonisesta kuormituksesta isokineettiseksi tai ns. muuttuvan vastuksen periaatteen mukaiseksi kuormitukseksi. Harjoittelu muuttuvan vastuksen periaatteella toimivalla voimaharjoituslaitteella johtaa suurempaan neuromuskulaariseen vasteeseen verrattuna tavalliseen harjoituslaitteeseen (Häkkinen ym. 1988a). Näistä tekijöistä johtuen lihasväsymys voi muodostua pakkotoistoja käytettäessä suuremmaksi verrattuna tavallisiin harjoitussarjoihin. (Häkkinen 1990 s. 46-50.)

3. Voimaharjoituksen vaikutukset hermo-lihasjärjestelmään ja hormonaaliseen säätelyyn

Intensiivinen voimaharjoittelu lisää voimantuottoa ja lihasmassaa (McDonagh & Davies 1984) vaikuttamalla elimistön aineenvaihduntaan, hormonitoimintaan, lihasten mekaaniseen kuormitukseen ja neuromotoriseen kontrolliin (Takarada ym. 2000). Ylikuormitusperiaatteen mukaisen voimaharjoituksen välittömän vaikutus on elimistön väsymysreaktio, joka johtaa hormoniresponssiin ja hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksien tilapäiseen heikkenemiseen (ks. kuva 1). Lihasväsymystä ja sen määrää voidaan pitää akuutin harjoitusvaikutuksen osoittimena (Häkkinen 1990 s. 50).



Kuva 1. Malli voimaharjoituksen aiheuttamasta hermo-lihasjärjestelmän välittömästä kuormittumisesta ja voimantuottokyvyn tilapäisestä heikkenemisestä intensiivisen voimaharjoituksen yhteydessä. (Edington & Edgerton 1976, mukailtu lähteestä Häkkinen 1990 s. 43)

Elimistö mukautuu voimaharjoittelun aiheuttamaan ulkoiseen ärsykkeeseen neuromuskulaaristen ja hormonaalisten mekanismien avulla (Kraemer ym. 1998b). Hermosto mukautuu voimaharjoitteluun säätelämällä työskentelevien motoristen yksiköiden määrää, syttymistaajuutta ja keskinäistä koordinaatiota (Moritani 1992). Voimaharjoittelu vaikuttaa myös lihasaktivaatiota inhiboiviin tekijöihin lisäten agonistilihasten voimantuottoa (Moritani 1992) ja vähentäen antagonistilihasten koaktivaatiota (Häkkinen 1994). Voimaharjoittelun aiheuttamat neuraaliset muutokset ovat määrältään suuria ja ovat merkittävä tekijä lihasvoiman kasvussa (Rutherford & Jones 1986, Häkkinen ym. 1988c). Voimaharjoittelun alkuvaiheen hermostollisen mukautumisen jälkeen lihasmassan kasvun vaikutus korostuu voimantuoton kehittymisessä (Häkkinen ym. 1992, Mo-

ritani 1992, Deschenes ym. 1993). Voimaharjoittelun aiheuttamia lihasten rakenteellisia muutoksia ovat solutyypin muuttuminen hitaammaksi, muutokset lihassolun supistuvan valkuaisen koostumuksessa ja määrässä sekä rakenteelliset muutokset luu-lihas -liitoksessa (Moritani 1992).

3.1. Voimaharjoituksen välittömät vaikutukset lihaksiston aktivoitumiseen ja voimantuottoon

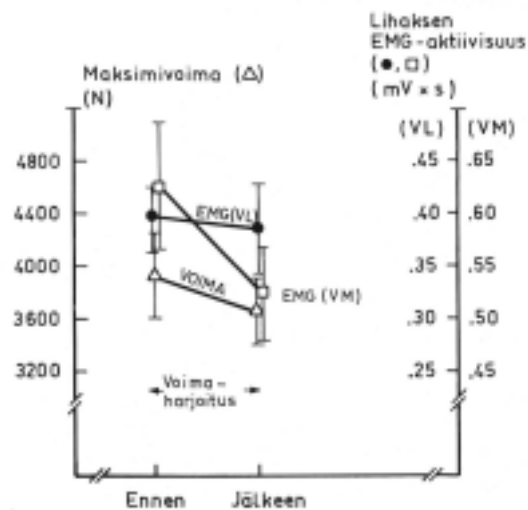
Henkilön tahdonalaisesti tuottamaa maksimivoimaa ja siihen kulunutta aikaa voidaan mitata isometrisessä supistustilanteessa voima-aika –käyrän analyysin avulla. Voima-aika –käyrän jyrkkyyteen vaikuttaa henkilön kyky rekrytoida mahdollisimman monta, erityisesti nopeaa motorista yksikköä, mahdollisimman suurella syttymisfrekvenssillä. Tähän vaikuttaa henkilön harjoitustausta ja lihaksen solujakauma. Uupuneen lihaksen maksimaalisen kertasuorituksen voima-aika –käyrän muutokset näkyvät systemaattisesti koko käyrän alueella. Lihäsväsymyksen välittömät vaikutukset aiheuttavat absoluuttisen maksimivoiman pienenemisen ja voima-aika –käyrän loivenemisen eli voimantuottoajat tietyn submaksimaalisen voimatasen tuottamiseen pitenevät. Lihäsväsymyksen välittömät vaikutukset näkyvät myös lihaksen relaksaatioajan pitenemisenä ja relaksaationopeuden heikkenemisenä. (Häkkinen 1990 s. 27-35, Viitasalo ym. 1985 s. 59-61.)

Voima-aika –käyrän loiveneminen johtuu toisaalta keskushermoston heikentyneestä kyvystä rekrytoida (nopeita) motorisia yksiköitä suurella syttymisfrekvenssillä väsymyksestä johtuen. Toisaalta voima-aika –käyrän loiveneminen voi johtua väsymyksestä erityisesti nopeissa lihassoluissa, jotka kuormittuvat suurta voimatasoa vaativassa voimaharjoituksessa. Myös eksentrisen lihastyötapa samoin kuin kuormitus muuttuvan vastuksen periaatteella aiheuttaa suuremman lihäsväsymyksen ja siten myös voima-aika –käyrä on loivempi. (Häkkinen 1990 s. 48-50.)

Elektromyografialla (EMG) tutkitaan lihasten toimintaa selvittämällä lihaksista lähteviä sähköisiä signaaleja (Basmajian & De Luca 1985 s. 1). Lihasten aktivoitumista voidaan mitata isometrisen voima-aika –analyysin kanssa samanaikaisesti EMG:n avulla. Näin rekisteröity EMG-signaali edustaa lihaksen motoristen yksiköiden yhteisaktiivisuutta,

joten sitä voidaan käyttää kuvaamaan mitattavan lihaksen aktivoitumistasoa ja/tai -määrää sekä aktivoitumisen nopeutta. EMG kuvaa keskushermoston kykyä aktivoida lihaksen motorisia yksiköitä ja siten lihaksen aktivaatiotasolla ja tuotetulla isometrisellä voimalla on lähes suora yhteys. (Häkkinen 1990 s. 27.)

Isometrisen voimantuoton yhteydessä käyttökelpoinen EMG mittaustapa on IEMG -analyysi. Olennaista eri mittauskertojen verrattavuuden kannalta on, että elektrodien paikka ja nivelkulma suorituksen aikana on sama. (Enoka 1994 s. 168-169, Clarys & Cabri 1993) Vastaavanlaista tutkimusasettelua on käytetty aiemmin tutkittaessa yksittäisen voimaharjoituskerran aiheuttamaa hermo-lihasjärjestelmän kuormittumista ja lihasväsymystä (kuva 2) (Häkkinen ym. 1988b, Häkkinen & Komi 1986).



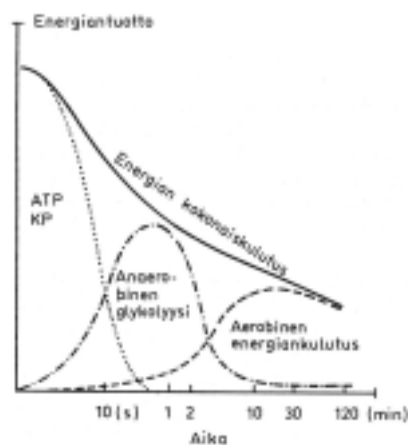
Kuva 2. Maksimivoimaharjoituksen akuutit vaikutukset maksimaaliseen tahdonalaiseen EMG-aktiivisuuteen sekä maksimivoimaan (Häkkinen ym. 1988b teoksessa Häkkinen 1990 s.45)

Maksimivoimaharjoituksen välitön vaikutus on hermostollisen kapasiteetin lasku kuormitettujen lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen aktivointiin harjoituksen aiheuttaman lihasväsymyksen vuoksi. Tämä voidaan havaita kuormitettujen lihasten maksimaalisen EMG:n vähenemisenä harjoituksen päätyttyä. Tällöin väsyminen tapahtuu pääasiassa keskushermostossa, joten kyseessä on ns. hermostollinen väsyminen. (Häkkinen 1990 s. 45.) Välttämättä neuraalinen väsymys ei ilmene suorituksen jälkeisessä isometrisessä lihastyössä, vaan väsymyksen aiheuttamat muutokset lihasaktiivisuudessa voidaan havaita dynaamisen lihastyön aikaisessa EMG:ssä (Ahtiainen & Häkkinen 2000). Aiemmin on tutkittu isometrisen voimantuoton ja lihasaktivaation palautumista lihas-

vauriota aiheuttavan harjoittelun jälkeen (Warren ym. 1999). Sen sijaan isometrisen voimantuoton ja sen aikaisen lihasaktiivisuuden palautumista usean vuorokauden ajan tyypillisen voimaharjoittelun jälkeen ei ole aiemmin tutkittu.

3.2. Energialähteet voimaharjoituksessa ja hermo-lihasjärjestelmän voimantuotto

Aineenvaihdunnan energialähteiden riittävyys on hermostollisen ohjauksen lisäksi merkittävä lihaksen suorituskykyyn vaikuttava tekijä (esim. Enoka 1994 s. 286). Lihaksen välittömiä energialähteitä ovat ATP ja kreatiinifosfaatti, jotka riittävät muutaman sekunnin lihastyöhön. Tätä kutsutaan anaerobiseksi maitohapottomaksi energiantuottotavaksi. (Margaria ym. 1933.) Maitohappoa muodostuu anaerobisessa lihastyössä glykolyysin lopputuotteesta, pyruvaatista, kun happea ei ole saatavilla riittävästi tai energiaa tarvitaan paljon ja nopeasti (Katz & Sahlin 1990). Tätä kutsutaan anaerobiseksi maitohapolliseksi energiantuottotavaksi ja se riittää noin 45 sekunnin työskentelyyn (Margaria ym. 1933). Energiantuottotavat toimivat samanaikaisesti ja voimaharjoituksen käytännön toteutus määrää, mitkä energiantuottotavat painottuvat suorituksessa eniten. Hypertrofisessa voimaharjoituksessa, jossa sarjojen kesto on alle minuutin korostuu anaerobisen glykolyysin käyttö energian lähteenä (kuva 3).



Kuva 3. Energialähteet intensiivisen lihastyön aikana (Keul ym. 1969 teoksessa Häkkinen 1990 s. 20)

Lihaksessa maitohappo hajoaa laktaatiksi ja H^+ -ioneiksi, jolloin lihas happamoituu. Maitohappoa diffundoituu myös verenkiertoon, jossa se metaboloituu natriumkarbonaa-

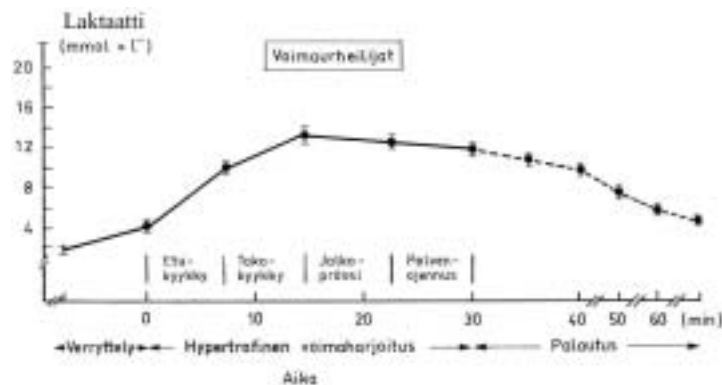
tin vaikutuksesta laktaatiksi. Siten veren laktaattipitoisuuden mittaamisella suorituksen aikana ja sen jälkeen voidaan tutkia työskentelevien lihasten maitohapon muodostusta. Happamoituminen aiheuttaa solunsisäisiä muutoksia, kuten häiriötä supistuvassa mekaniismissa (esim. kalsiumin kyvyssä sitoutua troponiiniin), fosfaattivarastojen vähentymistä, glykolyysiin osallistuvien entsyymien aktiivisuuden vähenemistä ja siten ATP:n tuoton häiriötä, Na- ja K⁻ ionipitoisuuksien epätasapainoa sekä tubulus -järjestelmän häiriötä, joka vaikeuttaa hermoimpulssin etenemistä solun sisällä. Lisäksi laktaatti ja H⁺ -ionit ärsyttävät hermopäätteitä aiheuttaen kipua. Myös laktaatti itsessään vähentää lihaksen voimantuottoa. (Fleck & Kraemer 1997 s. 55, McArdle ym. 1991 s. 377, Green 1997.) Lihaksen pH:n lasku heikentää fosfofruktokinaasi -entsyymien aktiivisuutta, mikä on tärkeimpiä entsyymejä glykolyysissä (Costill ym. 1984). Elimistössä on erityisiä puskurijärjestelmiä kompensoimaan lisääntyntä happamuutta, kuten bikarbonaatti- ja fosfaattijärjestelmät sekä proteiineja, kuten veren hemoglobiini, jotka sitovat itseensä ylimääräisiä H⁺ -ioneja (McArdle ym. 1991 s. 285-287).

Anaerobisen lihastyön aikana muodostuu happivajetta, joka suorituksen jälkeen näkyy kohonneena hapenkulutuksena eli kiihtyneenä hengityksenä. Tällöin laktaatista muodostetaan maksassa glykogeneina, glukoosia ja proteiineja. (Brooks ym. 1973.) Suurin osa laktaatista, noin 60 % hapetetaan suoraan energiaksi ja vain pieni osa eritetään virtsan ja hien mukana pois. Laktaatin poistumista lihaksistosta voidaan edistää kevyellä lihastyöllä. (McArdle ym. 1991 s. 136, Fleck & Kraemer 1997 s. 57.)

Yksittäisen voimaharjoituksen luonne määrää sen, mitä spesifisiä energialähteitä harjoituksessa ensisijaisesti käytetään. Harjoituksessa käytettävä liikenoisuus, kuorman määrä ja suorituksen kesto määrää mitä spesifiä energianlähdettä harjoituksessa kuormitetaan. Voiman tai kuorman ollessa suuri jää liikenoisuus sekä työn kesto verraten vähäiseksi. Tällöin kuormittuvat lähinnä välittömät ja anaerobiset energialähteet. (Häkkinen 1990 s. 44-45, 52-54.) Lihaksen hypertrofiaan tähtäävä maksimivoimaharjoittelu sisältää pitkäkestoisia, intensiivisiä kuormituksia ja harjoitussarjojen väliset tauot ovat lyhyitä. Näistä seikoista johtuen verenkierto työskentelevissä lihaksissa heikkenee. Tällöin saattaa ilmetä lihasten välittömien energiavarastojen riittämätöntä palautumista runsaan maitohapon muodostuksen vuoksi ja väsymysvaikutukset ilmenevät nopeasti. Tätä kutsutaan ns. lihastason väsymykseksi. (Häkkinen 1990 s. 46.) Lyhytaikaisessakin maksimaalisessa suorituksessa lihasväsymys johtuu osittain maitohapon muodostumi-

sesta (Fleck & Kraemer 1997 s. 55). Hermostollinen maksimivoimaharjoitus kuormittaa nopeasti palautuvia välittömiä energialähteitä, joten lihastyön energia-aineenvaihdunta ei yleensä muodostu suoritusta rajoittavaksi tekijäksi (Häkkinen 1990 s. 44). Yli kymmenen sekuntia kestävässä maksimaalisissa suorituksissa korostuu energiantuotto anaerobisen glykolyysin avulla. Tällaisten psykologisesti kuormittavien, lähelle uupumusta suoritettavien harjoitussarjojen toisto useita kertoja aiheuttaa maitohapon kasautumista lihaksiin ja siten suurempia laktaattipitoisuuksia kuin yksi uupumukseen asti suoritettu harjoitussarja. (McArdle ym. 1991 s. 441.)

Harjoitusvolyymin vaikutus maitohapon muodostumiseen on havaittu useissa tutkimuksissa. Tutkittaessa harjoitussarjan toistomäärän merkitystä elimistön maitohapon muodostukseen, havaittiin suuren toistomäärän (3 sarjaa, 15 toistoa/sarja) lisäävän laktaattipitoisuutta lyhyitä harjoitussarjoja (3 sarjaa, 5 toistoa/sarja) huomattavasti enemmän (Abernethy & Wehr 1997). Tutkittaessa harjoitussarjojen toistomääriä sekä sarjojen välisiä palautustaukoja, havaittiin suuren toistomäärän ja lyhyen palautuksen lisäävän laktaattipitoisuutta eniten (Kraemer ym. 1993b). Lisäksi laktaattipitoisuudella ja kasvuhormonin erittymisellä on tutkimuksissa havaittu olevan yhteyttä (Kraemer ym. 1993b ja 1998b). Veren laktaattipitoisuus nousee huomattavan korkealle voimaharjoituksen myötä (kuva 4).



Kuva 4. Hypertrofistyyppisen voimaharjoituksen vaikutus veren laktaattipitoisuuteen (Tesch ym. 1986 teoksessa Häkkinen 1990 s. 47)

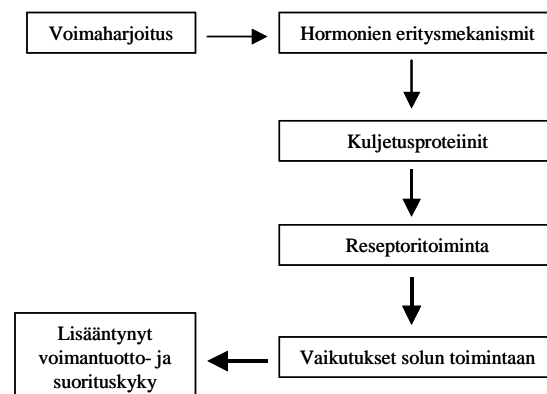
Tutkittaessa lyhytkestoista, intensiivistä suoritusta on havaittu laktaattipitoisuuden ja EMG:n korreloivan hyvin toistensa kanssa lihäsäsymyksen mittareina (Horita & Ishiko 1987). Hermo-lihasjärjestelmän väsymistä on tutkittu aiemmin isometrisen voimantuoton voima-aika -käyrän analyysin avulla yhdistettynä EMG -analyysiin ja laktaattipitoisuuden mittauksiin. Laktaattipitoisuuden nousulla ja voimantuoton laskulla on ha-

vaittu selkeä yhteys. (Häkkinen 1994.) Runsas maitohapon muodostus pidentää välittömien energianlähteiden palautumista normaalille tasolle sarjapalautusten aikana. Pitkäkestoisen suurella intensiteetillä ja lyhyillä palautumisajoilla tapahtuvan harjoituksen myötä voi myös lihaksen glykogeenipitoisuudet vähentyä.

Glykogeenivarastojen täydentymiseksi ennen seuraavaa harjoitusta tarvitaan riittävää ja monipuolista ravintoa. (Häkkinen 1990 s. 21.) Pitkäaikaisen voimaharjoittelun myötä lihaksen ATP-, KP- ja glykogeenivarastot kasvavat lisäten henkilön anaerobista kapasiteettia (MacDougall 1986). Kapillaarien ja lihassolujen mitokondrioiden määrä voi taas vähentyä suhteessa lihaksen koon muutokseen, jolloin aerobinen suorituskyky voi heikentyä (Tesch ym. 1984).

3.3. Voimaharjoituksen aiheuttama välitön hormonaalinen vaste

Hermostollisen vasteen lisäksi hermo-lihasjärjestelmän kuormittumiseen vaikuttaa harjoituksen aiheuttama välitön hormonaalinen vaste (kuva 5) (Häkkinen 1990 s. 43). Endokriininen järjestelmä erittää verenkiertoon anabolisia hormoneja, kuten kasvuhormonia ja testosteronia, sekä katabolisia hormoneja, kuten kortisolia. Lihaskudoksen kasvua lisäävä tehostunut proteiinien aineenvaihdunta on endokriinisen järjestelmän erittämien anabolisten ja katabolisten hormonien tasapainon ja vuorovaikutuksen säätelyn alaisena. (Kraemer ym. 1999.)



Kuva 5. Kaavio endokriinisen järjestelmän tapahtumista vaiheittain voimaharjoituksesta lisääntyneeseen voimantuottoon (Mukailtu lähteestä Kraemer 1992a, s. 292).

Voimaharjoitus lisää anabolisten hormonien määrää verenkierrossa ja tätä voimaharjoituksen aikaansaamaa välitöntä hormonivastetta pidetäänkin tärkeänä stimuluksena lihasmassan kasvulle (Kraemer ym. 1999). Koska anabolisten hormonien (Florini 1987) ja voimaharjoittelun on todettu kasvattavan lihaksia (MacDougall ym. 1977, Staron ym. 1984), on lihasmassan kasvun arveltu ainakin osaksi johtuvan harjoituksen aiheuttamasta endogeenisten anabolisten hormonien ja kasvutekijöiden lisääntymisestä (Kraemer ym. 1990). Kuitenkin pitkällä aikavälillä hormonipitoisuuksissa on havaittu vain vähäisiä muutoksia (McMurray ym. 1995).

Joka tapauksessa lyhytaikainenkin perifeerisen hormonipitoisuuden nousu lisää todennäköisyyttä plasman hormonien ja kohdesolun hormonireseptorien väliseen kontaktiin (Kraemer ym. 1990). Verenkierron anabolisten hormonien määrän onkin havaittu olevan yhteydessä suorituskykyyn painonnostossa (Häkkinen ym. 1987 ja 1988c, Moritani 1992) sekä lihasmassan ja voimantuoton kasvuun ikääntyneillä (Rudman 1985, Griggs ym. 1989, Copeland ym. 1990a, Häkkinen & Pakarinen 1994, Rosen & Conover 1997, Häkkinen ym. 2000).

Lihassoiman ja -massan lisäämiseksi tarvitaan voimaharjoituksen jälkeen palautumista. Voimaharjoitus saa aikaan lihassoluvaurioita, joiden korjausta ja lihaskudoksen uudelleen muodostumista ravitsemus, hormonit ja kasvutekijät säätelevät. (Florini 1987.) Määrälliset ja laadulliset muutokset lihassolun rakenneproteiineissa ovat riippuvaisia hormonien vaikutuksesta ravintoaineiden saatavuuteen (Staron ym. 1994, Tarnopolsky ym. 1992, Thissen ym. 1994, Volek ym. 1997). Mahdollisesti voimaharjoituksen välitön hormonivaste johtaa pitkällä aikavälillä muutoksiin fysiologisissa mekanismeissa mahdollistaen kuormitukseen mukautumisen (Häkkinen ym. 1990).

Hormonivaste vaihtelee eri kuormitusmalleissa. Veren glukoosi-, insuliini-, kortisoli-, testosteroni-, estrogeeni- ja endorfiinivaste on erilainen anaerobisessa kuin aerobisessa lihastyössä. (Kindermann ym. 1982, Schwarz & Kindermann 1990.) Voimaharjoituksen akuutti hormonivaste on suurimmillaan suoritettaessa useita harjoitussarjoja lyhyillä palautustauoilla, jolloin myös harjoituksen metabolinen kuormitus on korkea (Kraemer ym. 1990 ja 1991). Tämän kaltainen harjoitussysteemi on kehonrakentajien suosiossa (Kraemer ym. 1987). Lihashypertrofiaan tähtäävän voimaharjoituksen onkin arveltu

vaativan akuutin hypoksian ja aineenvaihduntatuotteiden kertymistä lihakseen (Takarada ym. 2000).

Anabolisten hormonien lisääntymisen lisäksi myös katabolisen hormonin, kortisolin, pitoisuus verenkierrossa lisääntyy (Skierska ym. 1976). Anabolisten ja katabolisten hormonien suhteen on arveltu edustavan elimistön kuormittuneisuutta pitkällä aikavälillä (Häkkinen ym. 1985b) ja siten mittaavan liikaharjoittelua (Fry & Kraemer 1997, Adlercreutz ym. 1986). Voimantuottokyvyn muutokset liittyvät veren hormonipitoisuuksien vaihteluun levossa (Häkkinen ym. 1987, Häkkinen & Pakarinen 1991) ja harjoituksen jälkeen (Koziris ym. 1992), joten hormonipitoisuuksia seuraamalla voidaan oletettavasti ennakoida liikaharjoittelua (Fry ym. 1998).

3.4. Voimaharjoituksen vaikutus proteiinimetaboliaan

Voimaharjoitus saa aikaan endokriinisen vasteen, joka yhdessä ravitsemuksellisten tekijöiden kanssa lisää proteiinien synteesiä ja siten aiheuttaa lihaksen hypertrofiaa (McArdle ym. 1991 s. 439-442). Keskeisimmät proteiinisynteesiin vaikuttavat hormonit ovat testosteroni sekä insuliini, joka vaikuttaa ehkäisevästi proteiinien hajoamiseen harjoituksen jälkeen (Tipton & Wolfe 2001). Voimaharjoituksen aiheuttama lihasjännitys lisää aminohappojen kuljetusta lihassoluihin ja lisää proteiinisynteesiä (Goldberg ym. 1975). Myös lihasjännityksen aiheuttamat lihassolujen mikroauriot voivat lisätä proteiinisynteesiä (Antonio & Gonyea 1993). Voimaharjoituksen aiheuttaman proteiinisynteesin lisääntymisen myötä lihassolun myofibrillit paksunevat ja niiden lukumäärä lisääntyy (Alway ym. 1989). Supistuvan valkuaisen määrän lisääntymisen kanssa samassa suhteessa lisääntyy myös lihassolun tumien ja DNA:n määrä mahdollistaen lihassolun rakenteiden uudelleen muodostumisen ja ylläpysymisen (Adams & Haddad 1996). Tämä johtuu harjoituksen mekaanisen kuormituksen aikaansaamasta kudonvauriosta ja sen aiheuttaman kasvutekijävasteen vaikutuksesta satelliittisolujen jakautumiseen ja erilaistumiseen (Vierck ym. 2000). Voimaharjoituksen myötä myös sidekudossolujen solutumien määrä lisääntyy (Goldberg ym. 1975) ja lihaksen sidekudokset vahvistuvat ja kollageenin määrä lisääntyy (Stone 1988).

3.4.1. Proteiinisynteesin vaikutusmekanismit

Voimaharjoituksen jälkeen sekä proteiinien hajoaminen että proteiinien synteesi kiihtyy (Biolo ym. 1995b ja 1997). Voimaharjoituksen jälkeinen tila on merkityksellisempi proteiinimetabolian kannalta kuin itse harjoitus, joka toimii stimuluksena proteiinimetabolian muutoksille (Biolo 1995b, Tipton ja Wolfe 1998). Proteiinisynteesi lisääntyy voimaharjoituksen jälkeen ja palautuu noin 36 tunnin kuluessa lähtötasolle (Chesley ym. 1992, MacDougal ym. 1995, Phillips ym. 1997). Lihasten kasvu edellyttää anabolista tilaa, jolloin proteiinisynteesi on jatkuvasti proteiinien hajoamista suurempaa (Chesley ym. 1992, Phillips ym. 1997). Lihaksen proteiineista n. 60% on myofibrillaarisia proteiineja, joten oletettavasti myös niiden määrä ja koko kasvaa proteiinisynteesin kiihtyessä (Phillips ym. 1997). Proteiinisynteesin alkutekijänä arvellaan olevan lihasten mekaanisen kuormituksen, lisääntyneen verenkierron kuormitetuissa lihaksissa ja/tai hormonaalisten tekijöiden (Tipton ja Wolfe 1998). Vähäinkin lihasten mekaaninen kuormittaminen riittää stimuloimaan proteiinisynteesiä (Ferrando ym. 1997). Päivittäistä proteiinisynteesiä säätelevät hormonit ovat insuliini, kasvuhormoni ja IGF-1. Testosteronin ja kasvuhormonin merkitys on suuri kasvuiässä. Aikuisiällä niillä on tärkeä kehon proteiineja ylläpitävä vaikutus. (Umpleby & Russell-Jones 1996.)

Voimaharjoituksen seurauksena RNA:n määrä ei ole lisääntynyt, sen sijaan RNA –aktiivisuus lisääntyy merkitsevästi (Chesley ym. 1992, Phillips ym. 1997). Tästä voidaan päätellä, että nimenomaan post-transkriptio kiihtyy eli solun ribosomit ovat tällöin tehokkaampia tuottamaan proteiineja ja siten proteiinisynteesi lisääntyy (Chesley ym. 1992). Myöskin translaation aloitustekijöiden on arveltu olevan selittäjänä proteiinisynteesin lisääntymiselle voimaharjoituksen jälkeen (Rasmussen ym. 2000).

Kuormitus aiheuttaa verenkierron vilkastumista kuormitetuissa lihaksissa, verisuonten vasodilataatiota ja kapillaarien aukeamista. Verenkierron lisääntyminen lisää glukoosin ja todennäköisesti myös aminohappojen siirtymistä soluun (Biolo ym. 1995b). Kapillaarit aukeavat harjoituksessa ja konsentraatioero pienenee veren ja soluvälinesteen välillä. Tällöin aminohapot pääsevät lähelle soluja, solujen aminohappojen saanti ja proteiinisynteesi lisääntyy (Biolo ym. 1997). Aminohappojen kuljetus kiihtyy harjoituksen myötä ja harjoitus tehostaa niiden hyväksikäyttöä (Biolo ym. 1997, Phillips ym. 1997). Aminohappojen saannin arvellaankin olevan proteiinisynteesiä rajoittava tekijä (Tipton

ja Wolfe 1998). Proteiinimetabolian kiihtyessä kuormitetuissa lihaksissa se samanaikaisesti vähenee kuormittamattomissa lihaksissa (Tipton ja Wolfe 1998). Sukupuolella ei ole havaittu olevan merkitystä proteiinisynteesiin tasoon (Phillips ym. 1999). Proteiinisynteesi lisääntyy myös iäkkäillä voimaharjoituksen johdosta (Yarasheski ym. 1993 ja 1999), mutta ikääntyneillä proteiinisynteesi on heikentynyt verrattuna nuoriin (Welle ym. 1995). Harjoitelleilla koehenkilöillä on havaittu vähäisempää proteiinien metaboliaa verrattuna voimaharjoitteluun tottumattomiin koehenkilöihin. Tämän on arveltu johtuvan voimaharjoittelun aiheuttamasta lihasvaurioherkkyyden vähentymisestä (Phillips ym. 1999).

3.4.2. Proteiinien hajoamisen vaikutusmekanismit

Voimaharjoitus aiheuttaa proteiinien hajoamista (Phillips ym. 1999). Proteiinien hajoamisen arvellaan johtuvan lihassoluvauriosta, soluun kertyvästä kalsiumista, neutraaleista proteaaseista, calpain mekaniismista, lysosomaalisesta järjestelmästä, ATP-ubiquitin järjestelmästä, immuunivasteesta ja/tai hormonaalisista tekijöistä (Biolo ym. 1995b, Phillips ym. 1997 ja 1999, Tipton ja Wolfe 1998). Keskeisimmät lihassolujen proteiineja purkavat hormonit ovat glukagoni, glukokortikoidit ja adrenaliini (Umpleby & Russel-Jones 1996). Voimakas kuormitus aiheuttaa lihassoluvaurioita jopa 80%:ssa lihassoluja (MacDougall ym. 1995). Erityisesti eksentrisen lihastyön aiheuttaa lihassolujen vaurioitumista ja sen oletetaan vaikuttavan proteiinien metaboliaan (Phillips ym. 1997). Koehenkilön harjoitustausta vaikuttaa proteiinien hajoamiseen. Kokemattomilla voimaharjoittelijoilla on proteiinisynteesi suurempi, mutta niin on myös proteiinien hajoaminenkin suurempaa verrattuna voimailijoihin (Phillips ym. 1999), joilla proteiinien hajoamisen taso on alhainen (Phillips ym. 1997).

3.4.3. Proteiinimetabolian nettotasapaino

Proteiinien hajoamiseen vaikuttaa koehenkilön harjoitustausta, ravitsemustila sekä kuormituksesta kulunut aika (Phillips ym. 1997). Proteiinimetabolian nettotasapaino voidaan laskea vähentämällä proteiinisynteesin määrästä proteiinien hajoamisen määrä (Biolo ym. 1995a).

Voimaharjoitus lisää proteiinisynteesiä, muttei paastotilanteessa riitä kääntämään proteiinimetabolian tasapainoa positiiviseksi (Biolo ym. 1995b). Positiivisen nettotasapainon saavuttaminen edellyttää ravinnon nauttimista proteiinimetabolian mittauksen aikana. Kuitenkaan nautitun typen tai kalorien määrä ei selitä proteiinisynteesin kiihtymistä. Aminohappopitoisuuden lasku veressä aiheuttaa proteiinien hajoamista. Aminohappolisän nauttimisen avulla saavutettu normaalia suurempi verenkierron aminohappojen määrä lisää aminohappojen vaihduntaa verenkierron ja lihassolujen välillä, lisää proteiinisynteesiä ja voi myös vähentää proteiinien hajoamista. (Biolo ym. 1997.) Proteiinisynteesin lisääntymisen kannalta oleellista on välttämättömien aminohappojen saanti (Rasmussen ym. 2000, Tipton ym. 1999). Aminohappojen ja hiilihydraattien nauttiminen voimaharjoituksen jälkeen voi optimoida harjoituksesta palautumista (Biolo ym. 1997, Tipton ja Wolfe 1998).

Proteiinimetabolian säätelyn teoriaoletuksena on, että alkutekijänä ensivaiheessa proteiinisynteesi lisääntyy, jonka jälkeen proteiinien hajoaminen lisääntyy tarjotakseen aminohappoja rakennusaineeksi kiihtyneelle proteiinisynteesille (Phillips ym. 1997, Tipton ja Wolfe 1998). On mahdollista, että voimaharjoituksen aiheuttamaa proteiinisynteesin kasvua ja suurta aminohappojen tarvetta ei aminohappolisää nautittaessa tarvitse korvata lisäämällä proteiinien hajottamista (Biolo ym. 1997). Proteiinimetabolian eri osatekijät, proteiinien synteesi ja hajoaminen sekä aminohappojen kuljetusmekanismit voivat olla itsenäisesti säädelyjä (Tipton ja Wolfe 1998). On myös spekuloitu, onko synteesimekanismi vai aminohappojen kuljetus soluun lähtökohtana proteiinisynteesin lisääntymiselle. Tutkimuksissa aminohappojen kuljetuksen on havaittu ennustavan ja korreloivan hyvin proteiinisynteesin lisääntymisen tasoon. (Biolo ym. 1997.) Proteiinimetabolian tutkimuksella voi olla merkitystä voimaharjoittelun ja ruokavalion suunnittelussa. Oletettavaa on, että seuraava voimaharjoitus tulisi alkaa vasta proteiinisynteesin vähennyttyä takaisin perustasolle. (MacDougall ym. 1995.) Tämän mukaan sopiva harjoitusfrekvenssi olisi kahdesta kolmeen kertaa viikossa (Chesley ym. 1992).

4. Hormonaalinen säätelyjärjestelmä ja hormonien vaikutustavat

4.1. Hormonien rakenne ja erittyminen

Ihmiskeho mukautuu jatkuvasti kehon sisäisiin ja ulkopuolelta tuleviin muutoksiin kahden eri järjestelmän avulla. Elimistön eri osien välisestä viestityksestä vastaa hermojärjestelmä, joka välittää viestejä hermoston avulla ja endokriininen järjestelmä, jossa erikoistuneet rauhaset erittävät erilaisia hormoneja. Nämä järjestelmät ovat yhteydessä toisiinsa, sillä endokriinistä järjestelmää säädellään hermoston avulla. (Granner 1991 s. 463.) Endokriininen järjestelmä säätelee elimistön aineenvaihduntaa, kuten solun kemiallisten reaktioiden nopeutta, eri aineiden kuljetusta solukalvon läpi ja solujen kasvua tai eritystä. Suurin osa yleisistä hormoneista eritetään erityisistä endokriinisistä rauhasista, kuten hypofyysin etulohkosta (esim. kasvuhormoni), lisämunuaisen kuorikerrokselta (esim. kortisoli) ja kiveksistä (esim. testosteroni). (Guyton & Hall 1996 s. 925-926.)

Hormoni määritellään kemialliseksi aineeksi, joka syntetisoidaan ja eritetään kehon nesteisiin yhdestä solusta, soluryhmästä tai kudoksesta ja kuljetetaan verenkierron avulla vaikuttamaan fysiologisesti jonkin toisen solun tai elimen toimintaan. Hormoneilla voi olla myös parakriinistä toimintaa eli ne vaikuttavat erittyessään vierellään oleviin soluihin sekä autokriinistä toimintaa eli vaikutus kohdistuu itse hormonia erittävän solun toimintaan. (Granner 1991a s. 463, Guyton & Hall 1996 s. 925-926).

Kemialliselta rakenteeltaan hormonit voidaan jaotella steroideihin (esim. testosteroni ja kortisoli), aminohappo tyrosiinin johdannaisiin (esim. tyroksiini) tai peptideihin (esim. kasvuhormoni) (Guyton & Hall 1996 s. 927, Granner 1991a s. 464). Proteiinihormonit muodostetaan rauhasolujen granulaarisessa endoplastisessa retikkelissä kuten muutkin eritettävät proteiinit. Alkumuotoa kutsutaan preprohormoniksi ja siitä edelleen muodostunutta pienempää proteiinia prohormoniksi. Prohormonista poistetaan Golgin elimessä vielä osasia, jonka jälkeen lopullinen aktiivinen proteiinihormoni on muodostettu. Golgin elin varastoi hormonimolekyylit eritettäviin vesikkeleihin, kunnes spesifi paikallinen kemiallinen, neuraalinen, hormonaalinen tai fysikaalinen signaali saa aikaan

niiden erittymisen. Varastoituneiden steroidihormonien määrä rauhassoluissa on pieni, mutta prekursori molekyylejä, kuten kolesterolia sekä kolesterolin ja lopullisen hormonin välimuotoja on soluissa runsaammin. Tarkoituksen mukaisen stimuluksen jälkeen solun entsyymitoiminta saa aikaan muutamassa minuutissa tarvittavat kemialliset muutokset lopullisten hormonien välittömän erityksen aikaan saamiseksi. (Guyton & Hall 1996 s. 927.)

Hormonien erityksen määrää säädellään sisäisen palautejärjestelmän avulla. Endokriiniset rauhaset tyypillisesti erittävät hormonia liiallisesti, mikä vaikuttaa kohde-elimen toimintaan. Kohde-elimen toiminta kiihtyy ja kun liiallista toimintaa esiintyy, niin jokin toiminnan tekijä vaikuttaa hormonia erittävään rauhaseen ja vähentää sen hormonin tuotantoa (ns. negatiivinen feedback). Siten tärkeä tekijä negatiivisessä palautejärjestelmässä on kohde-elimen toiminnan aktiivisuus, joka hidastaa hormonin lisäeritystä. (Guyton & Hall 1996 s. 928.) Ainutlaatuinen ominaisuus hypotalamuksen ja hypofyysin välillä on, että hypofyysin erittämä hormoni itsessään voi vähentää eritystään ns. lyhyen palautejärjestelmän avulla (Granner 1991a s. 465).

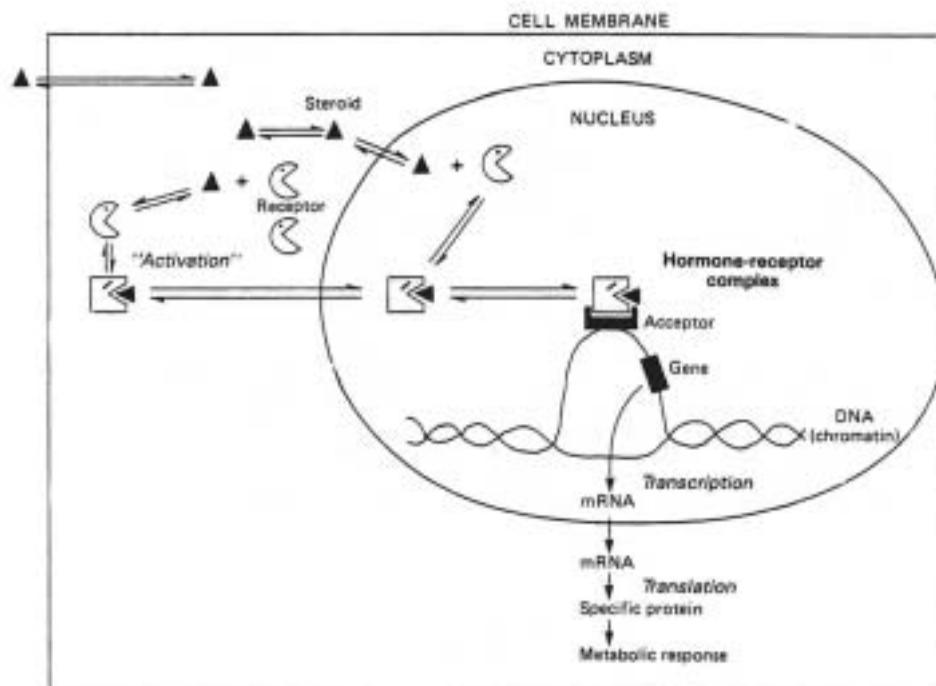
4.2. Hormonien vaikutusmekanismit

Hormonilla voi olla yksi kohdekudos tai se voi vaikuttaa useisiin kudoksiin, joilla on tietty biokemiallinen tai fysiologinen vaste hormonille ja joiden reseptoreihin hormoni voi sitoutua. Hormonit liittyvät hormonireseptoreihin solukalvossa tai sen pinnalla (proteiinihormonit), sytoplasmassa tai solutumassa (steroidihormonit). Hormonin reseptoriin sitoutumisen jälkeen hormonin ja reseptorin kombinaatio saa yleensä aikaan solussa toimintojen sarjan, joka taas säätelee solun toimintoja. (Guyton & Hall 1996 s. 928.)

Jokainen reseptori on erikoistunut vain tietylle hormonille ja määrää, mitkä hormonit vaikuttavat mihinkin kudokseen. Reseptorien määrä kohdesolussa vaihtelee jatkuvasti, sillä reseptoriproteiinit itsessään inaktivoituvat tai tuhoutuvat toimintansa aikana. Muuna aikana inaktivoituneita reseptoreita joko uudelleen aktivoidaan tai uusia reseptoreita muodostetaan. Hormonien sitoutuminen kohdereseptoreihin saa usein aikaan aktiivisten

reseptorien määrän vähenemistä tai vähentynyttä reseptorimolekyylien muodostumista. (Guyton & Hall 1996 s. 928.)

Hormoni vaikuttaa kohdekudokseen aktivoimalla kohdereseptoreita, jotka muuttavat itse reseptorin toimintaa. Tämän jälkeen reseptori saa suoraan aikaan hormonin vaikutukset eri mekanismien avulla. Hormonin ja reseptorin yhteenliittymä voi muuttaa solukalvon läpäisevyyttä avaamalla ja sulkemalla kanavia yhdelle tai useammalle ionille. Toinen mekanismi on aktivoida solunsisäisiä entsyymejä välittömästi solukalvon sisällä tai saada aikaan toisiohjetin muodostumisen solukalvon sisällä, kun hormoni liittyy reseptoriin. Yksi tällainen toisiohjetin on cAMP. Se aktivoi entsyymisarjan ja fysiologisia vasteita, kuten entsyymiaktivaatiota, muutoksia solukalvon läpäisevyydessä, lihaspistuksen tai lihaksen veltostumisen, proteiinisynteesiä tai erityistä riippuen aktivoituista entsyymeistä. Muita tärkeitä toisiohjetteja ovat kalsium-ioni, calmodulin ja solukalvon fosfolipidien hajoamisen tuotteet. Kolmas mekanismi on solunsisäisten reseptorien aikaansaama geenien aktivaatio (kuva 6).

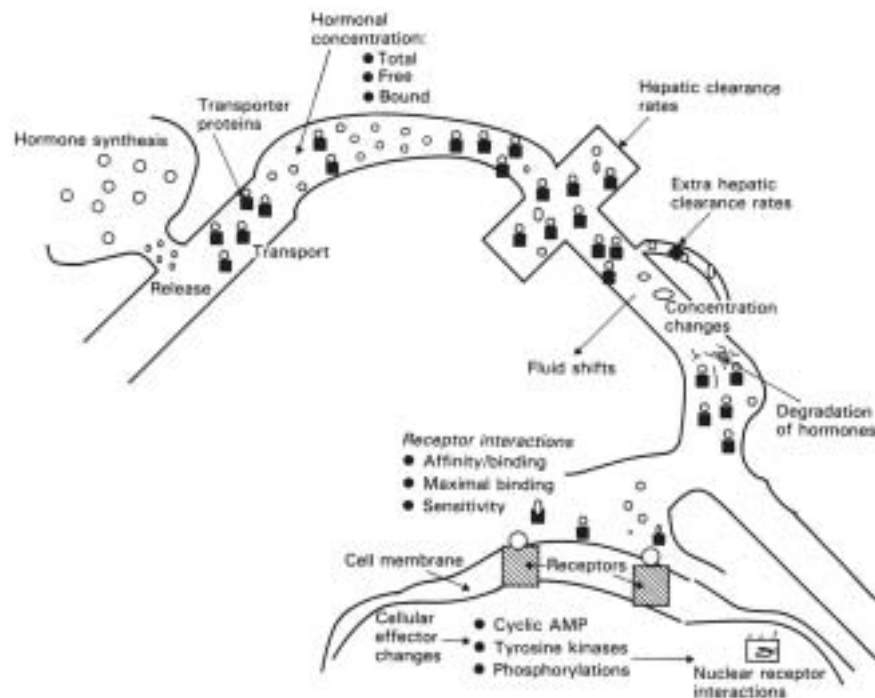


Kuva 6. Steroidihormonin vaikutusmekanismi solussa (Granner 1991b s. 474).

Aktivoitunut hormoni-reseptori yhdistelmä sitoutuu tai aktivoi solutumassa tiettyä DNA-ketjun osaa, joka taas aloittaa tietyn geenin transkription muodostaakseen lähettiRNA:ta. Siten minuuttien tai päivien kuluttua vasta muodostuneet proteiinit ilmestyvät

soluun ja säätelevät uusia tai lisääntyneitä solun toimintoja. (Guyton & Hall 1996 s. 928-931.) Esimerkiksi kasvuhormoni voi vaatia kuukausia täyden vaikutuksen aikaansaamiseksi (Guyton & Hall 1996 s. 927). Androgeenireseptorit kuuluu ligand-reseptoreihin ja ne sijaitsevat solutumassa ja satelliittisolussa. Androgeenihormonit kiinnittyvät reseptoriin muodostaen androgeenihormoni-reseptori -kompleksin (AR-kompleksi), joka siirtyy hormonia vastaavaan elementtiin solutumassa. Tiettyyn geeniin sitoutuessa AR-kompleksi lisää sen transkriptiota. (Kadi ym. 2000.)

Tietyn biologisen prosessin aikaan saamiseksi tarvitaan usein korkea paikallinen hormonipitoisuus. Hormonin kokonaisvaikutus ja paikallinen pitoisuus kohdekudoksessa riippuu ¹⁾ hormonin synteessin ja erityksen nopeudesta, ²⁾ erittävän- ja kohdekudoksen etäisyydestä toisistaan, ³⁾ hormonien sitoutumisesta ja irtoamisesta plasman sitojaproteiineista, ⁴⁾ hormonien muuntumisen nopeudesta inaktiivisesta tai lähes aktiivisesta muodosta aktiiviseen muotoon sekä ⁵⁾ hormonin poistumisen nopeudesta verenkierrosta hajoamisen tai erityksen johdosta pääasiassa maksan ja munuaisten kautta (kuva 7).



Kuva 7. Verenkierron hormonipitoisuuteen ja harjoitusadaptaatioon vaikuttavat tekijät endokriinisessä järjestelmässä (Kraemer 1992a teoksessa Komi PV (ed.) *Strength and Power in Sport*, s. 294).

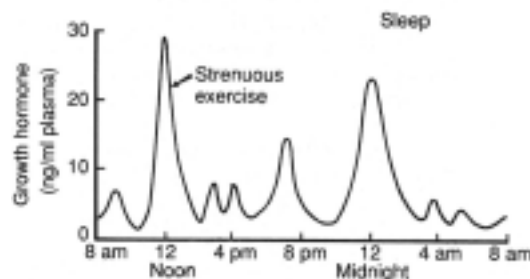
Hormonin todellinen vaikutus tietyllä hetkellä riippuu ¹⁾ solukalvon, sytoplasman tai tumen hormonireseptorien aktiivisuudesta ja/tai määrästä ja ²⁾ solun biologisesta aktiivisuudesta ja herkkyydestä muutoksille hormonin reseptoriin sitoutumisen jälkeen. Klassisen palautejärjestelmän lisäksi muutokset jossain tai joissakin näissä prosesseissa voi aiheuttaa muutoksia kohdekudoksen hormoniaktiivisuudessa. (Granner 1991a s. 464-465.)

Veren hormonipitoisuutta säätelee erityksen ja poistuman määrä. Hormoni voi poistua plasmasta tuhoutumalla kudosten aineenvaihdunnan myötä, sitoutumalla kohdereseptoreihin tai poistumalla maksan kautta sappeen (steroidit) tai munuaisten kautta virtsaan. Veren hormonipitoisuutta tutkitaan yleisesti RIA (radioimmunoassay) -menetelmällä, jonka avulla voidaan mitata erittäin pieniäkin hormonipitoisuuksia. RIA -menetelmässä tietty määrä radioaktiivisella isotoopilla merkittyä hormonia kilpailee luonnollisen hormonin kanssa vasta-aineen sitoutumispaikoista. Siten merkityn hormonin ja vasta-aineen määrästä voidaan 10-15% virhemarginaalilla määrittää luonnollisen hormonin määrä. (Guyton & Hall 1996 s. 931.)

5. Kasvuhormoni

5.1. Kasvuhormonin erittyminen

Kasvuhormonia eritetään hypofyysin etulohkosta ja sen eritystä säädelään lähes täysin hypotalamuksen erittämän kasvuhormonia vapauttavaa hormonin (GHRH) ja kasvuhormonin vapautumista estävää hormonin (GHIH) välityksellä. Näistä GHRH:n erityks on kasvuhormonin erityksen kannalta merkityksellisempi. (Guyton & Hall 1996 s. 936 ja 940.) Kasvuhormonia erittyy pulsoivasti ja sen normaali pitoisuus veressä aikuisilla on 1.6 ja 3.0 ng/ml:n välillä ja lapsilla n. 6 ng/ml (kuva 9) (Guyton & Hall 1996 s. 932).



Kuva 8. Kasvuhormonin erityks vuorokauden aikana. Kasvuhormonin erityks kasvaa voimakkaasti rasittavan liikunnan ja yöaikaan nukahtamisen yhteydessä. (Guyton & Hall 1996 s. 939.)

Siten harjoituksen aiheuttaman kasvuhormonipitoisuuden nousun on oltava määrältään suurta ja on tärkeää seurata kasvuhormonipitoisuutta kuormituksen jälkeen mahdollisen pulsaatiovaikutuksen poissulkemiseksi (Tremblay ym. 1995). Veren kasvuhormonipitoisuus voi nousta jopa 50 ng/ml:aan nälkiintymisessä ja pitoisuus on suhteessa proteiinien vajeeseen (Guyton & Hall 1996 s. 932). Kasvuhormonin pulsaatioeritys on nuorilla voimakasta, kun taas ikääntyessä erityks vähenee ja pulsaatio tasoittuu (Finklestein ym. 1972, Vermeulen ym. 1972). Kasvuhormonin erityks laskee korkealla iällä neljäsosaan nuoruuden tasosta (Guyton & Hall 1996 s. 932). Ikääntyneiden kasvuhormonin ja IGF-1 järjestelmän heikkenemistä kutsutaan somatopaussiksi (Copeland ym. 1990a). Naiset kompensoivat alhaista testosteronitasoaan korkealla kasvuhormonipitoisuudella (Kraemer ym. 1991, 1993b). Naisilla korkea kasvuhormonin perustaso liittyy estrogeeniherkkyyteen ja kasvuhormonipitoisuuden nousu erilaisiin ärsykkeisiin on miehiä suurempi (Kraemer ym. 1991).

Kasvuhormonin pulsoiva erityys lisääntyy nälkiintymisen, hypoglykemian, veren alhaisen rasvahappopitoisuuden, fyysisen harjoituksen, psyykkisen jännityksen, stressin, trauman, katekolamiinien, dopamiinin ja serotoniinin vaikutuksesta sekä tunnetilojen seurauksena. Erityys on suurimmillaan kahden ensimmäisen tunnin aikana nukahtamisesta. Hypoglykemia on tehokas stimulaattori kasvuhormonin tilapäiselle erityksen lisääntymiselle. (Guyton & Hall 1996 s. 932, 940.)

Kasvuhormonien eritystä säädellään neuraalisten ja humoraalisten mekanismien avulla (Gosselink ym. 1998). Hypotalamuksen hormonit eritetään hermopäätteistä ja kuljetaan hypofyysin etulohkoon hypotalamus-hypofyysi porttilaskimon kautta. Hypotalamus puolestaan saa viestejä lähes kaikista mahdollisista hermoston osista. (Guyton & Hall 1996 s. 933-936.) Lihasten afferentit hermoradat kulkevat hypotalamuksen paraventrikulaariseen nukleukseen, mikä säätelee kasvuhormonin eritystä, sekä lähelle hypofyysin kasvuhormonia tuottavia soluja (Gosselink ym. 1998 ja 2000). Veren ravinto-, elektrolyytti- vesi- ja eri hormonipitoisuudet kiihdyttävät tai heikentävät hypotalamuksen eri osien toimintaa (Guyton & Hall 1996 s. 933-936).

Kasvuhormonin pulsoivaan eritykseen vaikuttaa ravinto ja harjoittelu sekä erityisesti verenkierron substraatit, hormonit ja kasvutekijät (Hartman ym. 1993). Haaraketjuiset aminohapot vaikuttavat veren kasvuhormonin pitoisuuteen (Bratusch-Marrain & Waldausl 1979) ja energian saannin ylittäessä kulutuksen veren kasvuhormoni, testosteroni ja IGF-1 pitoisuudet kasvavat (Forbes ym. 1989). Kasvuhormonin eritystä säätelevät myös muut hormonit, kuten kortisoli ja tyroksiini (Parker & Odell 1979, Mehls ym. 1993) sekä testosteroni (Florini 1987). Kasvuhormonin erityys on negatiivisen palautejärjestelmän vaikutuksen alainen GHRH:n tai GHIH:n välityksellä. Pitkällä aikavälillä kasvuhormonin eritystä säätelee kudosten proteiiniravinteiden määrä. Kasvuhormoni puolestaan lisää uusien proteiinien synteesiä ja samalla säästää solun proteiineja. (Guyton & Hall 1996 s. 940.)

5.2. Kasvuhormonin rakenne

Kasvuhormoni on hypofyysin etulohkon yleisin hormoni (Gosselink ym. 1998). Kasvuhormonin rakenne ja immuunisysteemin aktiviteetti on samanlainen kuin prolaktiinilla (Gala 1991). Kasvuhormoni on rakenteeltaan pieni proteiinimolekyyli, joka sisältää 191 aminohappoa yhdessä ketjussa ja jonka molekyylipaino on 22,005 kDa (Guyton & Hall 1996 s. 936). Kasvuhormonin eri variantteja on 15-20, joita on havaittu esiintyvän, muodostuvan ja erittyvän hypofyysistä. Eri varianttien määrä riippuu pre- ja posttranslationalisista prosesseista, kuten fosforylaatiosta ja proteolyttisestä hajoamisesta (Ellis ym. 1978, Stolar & Baumann 1986, Charrier & Martal 1988, Dore ym. 1991, Schmidt ym. 1995, Hymer ym. 1996). Nämä molekyylirakenteeltaan erilaiset variantit vaihtelevat kooltaan ja mahdollisesti myös biologiselta toiminnaltaan (Baumann ym. 1990, Baumann 1991a ja 1991b, Warner ym. 1993). Kasvuhormonivarianttien koko vaihtelee 5 ja 100 kDa välillä (Baumann ym. 1990, Baumann 1991a ja 1991b). Näistä 22 kDa:ta pienemmät ovat pilkkoutuneita 22 kDa molekyyleistä ja suuremmat ovat yhdistyneitä 22 kDa molekyyleistä (Gosselink ym. 1998). Kasvuhormoniterapiassa käytetään kooltaan 22 kDa molekyyliä, jonka pitoisuutta voidaan mitata RIA -menetelmällä. Muista kasvuhormonivarianteista ei RIA menetelmällä saada tietoa, mutta niitä voidaan tutkia ns. bioassay -menetelmällä. Tässä menetelmässä kasvuhormonin vaikutusta tutkitaan käyttämällä kohdekudoksena rustoa, yleensä tibian epifyysin laajuutta (Greenspan ym. 1949), johon 22kDa variantilla ei ole vaikutusta (Ellis ym. 1978, Grindeland ym. 1974). Hypotalamus säätelee 22 kDa eritystä, mutta sitä suurempien varianttien vaikutusta ja säätelymekanismeja ei vielä tunneta (Gosselink ym. 1998).

5.3. Kasvuhormonin vaikutusmekanismit

Kasvuhormonin vaikutus ulottuu kaikkiin elimistön osiin. Se edistää kasvua lähes kaikissa kudoksissa, jotka kykenevät kasvamaan. Se lisää solujen kokoa vaikuttamalla proteiinien muodostamiseen sekä lisää solujen lukumäärää ja saa aikaan solujen erilaisumista esimerkiksi luu- ja lihassolujen alkeismuodoissa. (Guyton & Hall 1996 s. 936.)

Kasvuhormoni stimuloi aminohappojen kuljetusta solun sisään ja lisää proteiinisynteesiä (Noall ym. 1957, Kostyo 1968, Ianuzzo ym. 1977, Rogozkin 1979, Fryburg ym. 1991, Pell & Bates 1992, Fryburg & Barret 1993). Samalla kasvuhormoni vähentää solun proteiinien pilkkoutumista ja säästää proteiineja mobilisoimalla vapaita rasvahappoja rasvakudoksesta sekä lisää rasvahappojen käyttöä energian lähteenä. Aminohappojen määrän lisääntyminen solun sisällä vastaa ainakin osaksi proteiinisynteesin lisääntymisestä. (Guyton & Hall 1996 s. 937.) Kasvuhormoni lisää RNA translaatiota jopa ilman aminohappopitoisuuden lisääntymistä solussa. Pitkällä aikavälillä kasvuhormoni stimuloi DNA:n transkriptiota ja lisää proteiinisynteesiä, mikäli riittävä määrä ravinteita on saatavilla. (Guyton & Hall 1996 s. 932.) Kasvuhormoni voi myös vaikuttaa myosiiniraskasketjujen esiintymiseen lihassoluissa (Grossman ym. 1997).

Kasvuhormoni vähentää solujen glukoosin käyttöä ja lisää niiden glykogeenivarastoja. Kasvuhormoni lisää akuutisti solujen glukoosin ottoa, mikä laskee veren glukoosipitoisuutta. Tämän jälkeen kasvuhormoni stimuloi maksan glukoosin ottoa ja vähentää glukoosin kuljetusta lihassoluihin. Tällöin veren sokeripitoisuus nousee insuliinin vaikutuksesta riippumatta. Kasvuhormoni ja veren korkea glukoosipitoisuus lisäävät insuliinin eritystä liiallisesti. Insuliini ja hiilihydraatit ovat tarpeellisia kasvuhormonin kasvua edistävälle vaikutukselle lisäämällä aminohappojen kuljetusta soluun sekä tarjoamalla energiaa lisääntyneen aineenvaihdunnan tarpeisiin. (Guyton & Hall 1996 s. 937-938.) Kasvuhormonipitoisuuden lasku mahdollistaa suuremman insuliini herkkyyden lisäten insuliinin kiinnittymistä reseptoreihin (Rizza ym. 1982). Siten kasvuhormonin väheneminen estää glukoosia säästävää mekanismia (Kraemer ym. 1993b). Eri kasvuhormonivarianttien biologinen aktiivisuus voi vaihdella mm. IGF-1 erityksen stimuloinnin kanssa. Esimerkiksi 20 kDa variantilla on anti-insuliininen vaikutus ja 22kDa variantilla insuliinin kaltainen vaikutus. (Dore ym. 1991, Schmidt ym. 1995.)

Kasvuhormonilla on kaksi sitojaproteiinia. Näistä toisen tiedetään sitoutuvan tehokkaasti kasvuhormonireseptoriin ja voi siten edelleen muokata kasvuhormonin vaikutusta. (Baumann 1991a.) Kasvuhormonia sitova proteiini (GHBP) tehostaa kasvuhormonin kasvuvaikutuksia (Martha ym. 1993) ja säätelee kasvuhormonireseptoreiden pitoisuutta (Leung ym. 1987). Aliravitsemus vähentää GHBP pitoisuutta (Leung ym. 1987) ja kasvuhormonipitoisuuden nousulla voidaan kompensoida GHBP:n vähenemistä (Martha ym. 1993).

Kasvuhormonilla ja voimaharjoittelulla on anabolinen vaikutus luustolihakseen (Ullman & Oldfors 1989, Kraemer RR ym. 1992, Grindeland ym. 1994), vaikkakin niiden hypertrofinen vaikutus tapahtuu eri mekanismien avulla (Riss ym. 1986). Kasvuhormoni itsessään kykenee lisäämään lihaksen poikkipinta-alaa (Ullman & Oldfors 1989) ja erityisesti yhdessä lihaksen mekaanisen kuormituksen kanssa voi estää lihasatrofiaa (Grindeland ym. 1994, Linderman ym. 1994, Roy ym. 1996, Grossman ym. 1997). Kestävyysharjoittelu voi aiheuttaa hypotalamus-hypofyyysi – akselin toimintahäiriöitä (Barron ym. 1985, Urhaisen ym. 1998) ja liikaharjoittelu vähentää harjoituksen aiheuttamaa kasvuhormonivastetta (Raastad ym. 1999).

5.4. IGF-1:n erittyminen ja vaikutusmekanismit

Kasvuhormonin vaikutuksesta maksassa muodostetaan somatomeidiinejä, kuten insuliinin kaltaista kasvutekijä 1:tä (IGF-1) (Turner ym. 1988, Isgaard ym. 1989, De Vol ym. 1990, Chandler ym. 1994), jonka vaikutus kasvuun on insuliinin kaltainen (Guyton & Hall 1996 s. 938-939). IGF-1:n molekyylipaino on n. 7500 kDa ja sen pitoisuus plasmassa seuraa kasvuhormonin erityksen tasoa (Guyton & Hall 1996 s. 938-939). Kasvuhormoni ja IGF-1 saavat aikaan kasvua yhdessä ja erikseen (Berelowitz ym. 1981, Schoenle ym. 1982, Turner ym. 1988, Isgaard ym. 1989, Ullman & Oldfors 1989).

Kasvuhormoni on löyhästi sitoutunut kuljettajaproteiineihin, joten se vapautuu verestä kudoksiin nopeasti ja sen puoliintumisaika veressä onkin alle 20 minuuttia. IGF-1 puolestaan vapautuu hitaasti verestä kudoksiin ja sen puoliintumisaika on n. 20 tuntia, mikä pidentää kasvuhormonin kasvua edistävää vaikutusta. (Guyton & Hall 1996 s. 938-939.) Verenkierrossa olessaan IGF-1 on sitoutunut sitojaproteiiniin (IGFBP3), mikä inhiboi sen vaikutusta (McCusker ym. 1991). IGF-1 eritys on suurimmillaan 3-9 tuntia kasvuhormonistimulaation jälkeen (Berelowitz ym. 1981). Myöhemmin IGF-1 pitoisuuden muutokset johtuvat sitojaproteiinien kiinnittymisestä ja vapautumisesta, reseptoripitoisuudesta ja reseptoreihin kiinnittymisestä (Leung ym. 1987, Blum ym. 1989). IGF-1 pitoisuuden lisääntyminen voi johtua poistumisen vähenemisestä, sitojaproteiinien lisääntymisestä tai sen vapautumisesta rasva-, lihas- tai sidekudossoluista vaurion myötä

(Kraemer ym. 1993a). IGF-1:n tai kasvuhormonin sitojaproteiinien pitoisuuden lasku lisää kasvuhormonin pitoisuutta (Roemmich & Sinning 1997). Energia- ja/tai proteiinivaje vähentää IGF-1 pitoisuutta (Thissen ym. 1994).

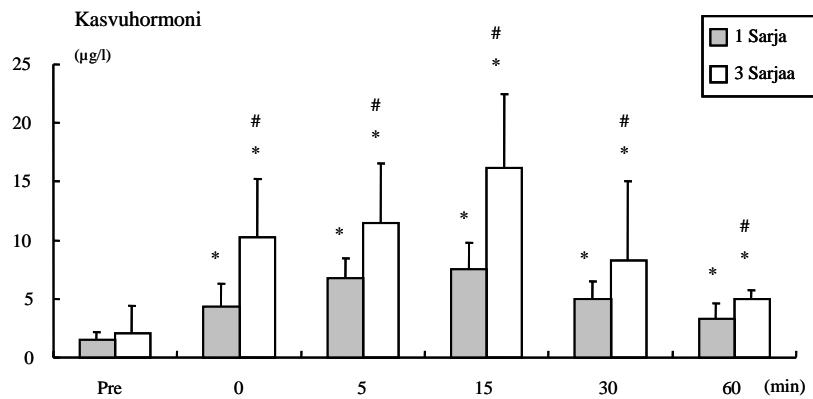
5.5. Kasvuhormoni ja voimaharjoittelu

5.5.1. Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen

Veren kasvuhormoni pitoisuuden nousu voi johtua hypoksiasta, happo-emäs tasapainon muutoksesta, hengen pidättämisestä, hyperventilaatiosta, aineenvaihdunnan substraattien saatavuudesta, neurotransmittereiden vapautumisesta, kehon lämpötilan noususta tai hormonaalisesta tekijöistä (Sutton & Lazarus 1974 ja 1976, Sutton 1977, Weiss ym. 1983, VanHelder ym. 1984a, Djarova ym. 1986, Triplett ym. 1990).

Harjoituksen jälkeinen kasvuhormoni pitoisuuden nousu ylittää normaalin pulsoivan erityksen (Kraemer ym. 1998a) sekä plasman volyymin alenemisen vaikutuksen (McCall ym. 1999). Kasvuhormonin erityksen huippu esiintyy 15 minuutin kuluessa noin kymmenen minuuttia kestäväen harjoituksen jälkeen tai jo harjoituksen aikana, mikäli kuormitusaika on ollut pidempi (Sutton & Lazarus 1976, Karagiorgos ym. 1979, Raynaud ym. 1983). Kasvuhormonin erityksen käynnistymiseen riittää kevyempi kuormitus kuin kortisolin erityksen stimuloimiseen (Viru 1992). Harjoituksen kasvuhormonivasteen tutkimiseksi ja varmentamiseksi on tärkeitä mitata koko vasteen profiili ajan suhteen (Raynaud ym. 1981).

Ikääntyneillä miehillä harjoituksen aiheuttama kasvuhormonivaste on nuoria pienempi (Häkkinen ym. 1998, Kern ym. 1996, Pyka ym. 1994). Naisilla taas jo ennestään suuri kasvuhormonipitoisuus voi ylittää harjoituksen vaikutuksen (Kraemer ym. 1991) ja vaste riippuu kuukautiskierron vaiheesta (DeSouza ym. 1989 ja 1991). Voimaharjoituksessa tehdyn työn määrä vaikuttaa kasvuhormoni vasteeseen (ks. kuva 9). Työn määrän ollessa suuri eli tehtäessä useita 10 toiston harjoitussarjoja lyhyellä palautusajalla on myös kasvuhormoni vaste suurin. (Kraemer ym. 1990.)



Kuva 9. Harjoitussarjojen määrän vaikutus kasvuhormonipitoisuuteen. (* = ero pre - arvoon, # = ero kuormitusmenetelmien välillä) (Mukailtu lähteestä Gotshalk ym. 1997)

5.5.1.1. Kasvuhormonin erittymiseen vaikuttavat neuraaliset tekijät

Hormonien eritykseen vaikuttaa keskushermoston säätely (Galbo ym. 1987, Kjaer ym. 1987) ja afferentti feedback työskentelevien lihasten proprioseptoreista ja metaboreseptoreista (Kjaer ym. 1992). Harjoituksessa nopea endokriininen vaste saa alkunsa kollateraalisisäikeistä motoriselta kuorikerrokselta hypotalamuksen erittäviin soluihin ja autonomiseen keskukseen. Vastetta tukee lisää lihasten proprio- ja metaboreseptoreiden positiivisen palautteen vaikutus. (Few & Davis 1980, Kjaer ym. 1989 ja 1992.) Afferentit hermoradat jaetaan neljään ryhmään (Mitchell & Schmidt 1983), joista ryhmä IV:n hermosolut aktivoituvat lihaskontraktion alussa (Kaufman ym. 1983) vasteen vielä tehostuessa iskemiassa (Kaufman ym. 1984). Epiduraalianestesia estää ohuiden hermosyiden viestinnän, mutta jättää paksummat afferenttiradat ja siten motoriset toiminnot toimiviksi. Hermostollinen feedback ei ole merkityksellinen harjoituksen kasvuhormonivasteelle eikä epiduraalianestesia vaikuta kasvuhormonin eritykseen. (Kjaer ym. 1989.) Keinotekoisessa tilapäisessä halvaannuttamisessa pelkät motoriset käskyt kykenevät lisäämään kasvuhormonin tuottoa (Kjaer 1987).

5.5.1.2. Happo-emäs -tasapainon vaikutus kasvuhormonin erittymiseen

Intensiivisen harjoituksen alkuvaiheessa ja iskemiassa lihassolun sisäiset anaerobisen glykolyysin aineenvaihduntatuotteet, kuten maitohappo ja erityisesti vetyionit aiheuttavat metabolisen asidoosin, joka stimuloi kasvuhormonin eritystä (Sutton & Lazarus 1976, Sutton 1977, VanHelder ym. 1984a, Kraemer ym. 1990 ja 1991, Luger ym. 1992, Gordon ym. 1994). Veren happo-emästasyyppämuutoksen muutos saa aikaan stressireaktion hypotalamuksessa, kun hypotalamuksen verenkierto vähenee (Sutton ym. 1976). Veren pH:n lasku voi myös vaikuttaa GHRH:n sitoutumiseen hypofyysin reseptoreissa (Sethumadhavan ym. 1991).

Laktaatin ei ole havaittu aina korreloivan voimaharjoituksen aiheuttaman kasvuhormonipitoisuuden lisääntymisen kanssa (Kraemer ym. 1992, Schmidt ym. 1995). Harjoituksen intensiteetin kohotessa lisääntynyt glykolyttinen aktiivisuus ja sitä seuraava laktaattipitoisuuden nousu (Sutton ym. 1969, Lassarre ym. 1974), hypoksia (Raynaud ym. 1981) ja henkilön huono fyysinen kunto (Sutton ym. 1969) tehostaa kasvuhormonivastetta verrattuna harjoitukseen samalla työmäärällä, mutta alhaisemmalla intensiteetillä (Kozlowski ym. 1983, VanHelder ym. 1984a ja b, Kraemer ym. 1990).

Kasvuhormonin eritykseen vaikuttaa myös perifeerinen palaute työskentelevien lihasten kemoreseptoreista (Kozlowski ym. 1983, VanHelder ym. 1984a, 1984b ja 1987). Hapamuuden lisääntyminen lihaksessa stimuloi metaboreseptoreja, jotka lähettävät afferentteja signaaleja hypotalamus-hypofyysi systeemiin ryhmä III:n ja erityisesti ryhmä IV:n hermorojien välityksellä ja siten stimuloivat sympaattisen hermoston aktiivisuutta kemoreseptiivisen refleksin välityksellä (Troger ym. 1966, Smythe & Lazarus 1974, Few & Davies 1980, Gosselink 1998).

5.5.1.3. Ravinnon vaikutus kasvuhormonin erittymiseen

Veren glukoosi on yksi tärkeimpiä kasvuhormonin eritystä sääteleviä tekijöitä (Gordon ym. 1994). Insuliini aiheuttaa hypoglykemiaa ja siten nostaa kasvuhormoni ja IGF-1 pitoisuuksia (Roth ym. 1963, Scott & Baxter 1986, Griffen ym. 1987). Veren korkea glukoosipitoisuus vähentää (Galbo 1982), kun taas haaraketjuiset aminohapot, erityi-

sesti leusiini, lisäävät harjoituksen jälkeistä kasvuhormonipitoisuuden nousua (Bratusch-Marrain & Waldausl 1979). Veren sokerin lasku 60-120 minuuttia harjoituksen jälkeen voi johtua kasvuhormonipitoisuuden laskusta 2 tunnin palautumisjakson lopulla (Kraemer ym. 1993a).

5.5.1.4. Bioanalyysimenetelmällä mitattavien kasvuhormonivarianttien erittyminen

Harjoitus stimuloi sekä immunoreaktiivisella menetelmällä havaittavan 22 kDa:n (iGH) että bioanalyysimenetelmällä (bGH) havaittavien kasvuhormoni varianttien eritystä (Kraemer ym. 1998b). bGH:n erityksessä kasvaa kevyessäkin kuormituksessa ja vaihtelu kuormituksessa ja proprioseptiikassa vaikuttaa bGH:n synteesiin ja eritykseen (McCall ym. 2000). Työskentelevien nopeita lihassoluja sisältävien lihasten proprioseptoreista, kuten lihasspindelleistä ja Golgin jänne-elimistä, lähtevä ja ryhmä I ja II hermoratojen välityksellä kulkeva afferentti feedback vaikuttaa hypofyysin toimintaan ja bGH:n eritykseen (Gosselink ym. 1998 ja 2000). Harjoituksen aiheuttaman bGH:n erityksen vaihtelua ei ole pystytty osoittamaan EMG:n avulla (McCall ym. 2000). iGH:n eritykseen ei neuraalisella afferentilla aktivaatiolla ole ollut vaikutusta (Gosselink ym. 1998), vaan iGH:n eritystä säätelee enemmän adrenergiset ja kolinergiset tekijät sekä opioidiset ja metaboliset tekijät, kuten veren glukoosi-, laktaatti- ja triglyseridipitoisuudet (Giustina and Veldhuis 1998, Gosselink ym. 1998). Ravitsemukselliset tekijät vaikuttavat bGH:n (Ellis ym. 1978, Gosselink ym. 2000), mutta ei iGH:n pitoisuuksiin (Gosselink ym. 2000).

5.5.1.5. Voimaharjoituksen vaikutus seerumin IGF-1 pitoisuuteen

Yksittäisen voimaharjoituksen tai pitkäkestoisen voimaharjoittelun on havaittu aiheuttavan vain vähäisiä muutoksia seerumin IGF-1 pitoisuuteen (Kraemer ym. 1990, 1991, 1993, 1995, 1998, 1999 ja 2000, Kraemer RR ym. 1992, Chandler ym. 1994, Pyka ym. 1994, Nicklas ym. 1995, Bermon ym. 1999, McCall ym. 1999, Maddalozzo & Snow 2000). Siten verenkierron IGF-1 pitoisuus ei edusta kasvuhormoni-IGF-1 -akselin aktiivisuutta. IGF-1 toimii ennemminkin auto/parakriinisenä hormonina lihaksessa tai sen

lisääntynyt erityis maksasta pian eristetään kudoksiin ylläpitääkseen IGF-1 tasapainoa verenkierrassa. IGF-1 vähentää kasvuhormonin eritystä hypotalamuksen ja hypofyyisin tasolla. Kudosten IGF-1 sitoutumisen lisääntyminen voi mahdollisesti palvella solujen lisääntynyttä mitogeenista toimintaa ja samalla suojella elimistöä kasvuhormonin erityksen alenemiselta. (Kraemer ym. 1999.)

5.5.2. Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin kasvuhormonipitoisuuteen

Pitkäkestoinen voimaharjoittelu ei aiheuta merkittäviä muutoksia seerumin basaali kasvuhormonipitoisuuksiin (Craig ym. 1989, Pyka ym. 1994, Staron ym. 1994, Nicklas ym. 1995, Fry ym. 1998, Kraemer ym. 1998b, 1999, Häkkinen ym. 2000). Voimaharjoituksen aiheuttama kasvuhormonin akuuttivaste voi sen sijaan pitkäaikaisen harjoittelun myötä erityisesti ikääntyneillä säilyä suuruudeltaan samanlaisena, mutta pidentyä kestoltaan (Häkkinen ym. 2001).

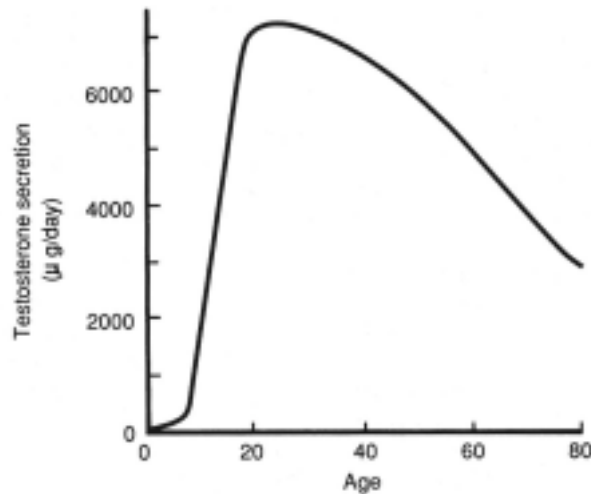
Pitkäaikainen harjoittelu lisää IGFBP3 pitoisuuksia (Kraemer ym. 1999) ja voi mahdollisesti lisätä kasvuhormoni- ja IGF-1 reseptoreiden lukumäärää tai sitomiskykyä soluissa (Allen ym. 1997). Harjoitus stimuloi myös muita kasvutekijöitä, joilla voi olla synergististä vaikutusta kasvuhormonin ja IGF-1:n kanssa (Allen ym. 1997). Erityisesti lihasatrofian ehkäisyssä on havaittu tarvittavan sekä voimaharjoitusta että kasvutekijöiden erittymistä (Grindeland ym. 1994, Linderman ym. 1994, Roy ym. 1996).

6. Testosteroni

6.1. Testosteronin erityys ja rakenne

Kivekset erittävät useita miessukupuolihormoneja eli androgeeneja, kuten testosteronia, dihydrotestosteronia (DHT) ja androstenedionea. Testosteronia tuotetaan kivesten Leydigin soluissa sekä vähäisiä määriä myös lisämunuaisissa sekä naisilla munasarjoissa. Androgeenit ovat rakenteeltaan steroideja ja niitä voidaan muodostaa joko kolesterolista tai asetyyli koentsyymi A:sta. (Guyton & Hall 1996 s. 1009-1010.) Testosteronin eritystä säädelään hypotalamus-hypofyyysi systeemin avulla. Hypotalamus erittää gonadotropiinia vapauttavaa hormonia (gonadotropin-releasing hormone, GnRH), joka puolestaan stimuloi hypofyyysin etulohkoa erittämään kahta muuta hormonia, luteinisoivaa hormonia (LH) ja follikkelia stimuloivaa hormonia (FSH). LH puolestaan stimuloi ensisijaisesti testosteronin eritystä kiveksistä. (Guyton & Hall 1996 s. 1013.)

GnRH:ta eritetään katkonaisesti muutamia minuutteja kerrallaan 1-3 tunnin välein ja vaikutuksen voimakkuus riippuu näiden syklien tiheydestä ja GnRH:n määrästä jokaisella syklillä. LH:n erityys seuraa lähes täsmällisesti GnRH:n pulsoivaa vapautumista. Ilman GnRH:ta hypofyyysi ei eritä LH:ta juuri lainkaan. LH on glykoproteiini ja proteiiniin sitoutuneen hiilihydraattien määrä molekyylissä vaihtelee huomattavasti eri olosuhteissa, mikä voi muuttaa sen vaikuttavuutta. Testosteronia eritetään kiveksistä LH:n vaikutuksesta ja eritettävän testosteronin määrä riippuu lähes suoraan käytettävissä olevan LH:n määrästä. Testosteronilla on negatiivinen palautevaikutus GnRH:n ja luultavasti myös LH:n eritykseen. (Guyton & Hall 1996 s. 1013.) Lisäksi testosteronin eritystä säätelee kortisoli- ja tyroksiinipitoisuudet (Franchimont 1983). Testosteronin pitoisuus vaihtelee merkittävästi yksilöittäin (Rowe ym. 1975) ja vuorokauden ajan suhteen (Murray & Corker 1973, Naftolin ym. 1973). Testosteronia ei tuoteta oikeastaan lainkaan lapsuudessa, kunnes puberteetin aikana testosteronin tuotanto lisääntyy nopeasti kestäen koko eliniän vähentyen 50 ikävuoden jälkeen 20-50% tasolle huippuarvosta 80 ikävuoteen mennessä (kuva 10) (Guyton & Hall 1996 s. 1011).



Kuva 10. Testosteronin erityys nousee huippuunsa puberteetin aikana, jonka jälkeen se tasaisesti vähenee ikääntyessä (Guyton & Hall 1996 s.1011).

6.2. Testosteronin vaikutusmekanismit

Testosteroni vastaa kehon miehisistä sukupuolitunnusmerkeistä, kuten karvoituksesta, kaljuudesta, matalasta äänestä, ihosta, lihaksista, luustosta, perusaineenvaihdunnasta, punaisten verisolujen määrästä sekä elektrolyytti- ja nestetasapainosta (Guyton & Hall 1996 s. 1011-1012).

Testosteronin vaikutukset ovat tulosta lisääntyneestä proteiinien muodostuksesta kohdesoluissa (Guyton & Hall 1996 s. 1012-1013). Harjoituksessa testosteronin ja kasvuhormonin vaikutukset ovat synergistisiä (Aynsley-Green ym. 1976). Testosteroni saa aikaan androgeenisia prosesseja solun toiminnassa ja on siten mukana lihaksen hypertrofiassa (Inoue ym. 1994). Testosteroni lisää anabolisesti proteiinien sitoutumista sekä tehostaa neuraalista toimintaa (Mooradian ym. 1987, Crist ym. 1991, Tenover 1994). Testosteronin vaikutus harjoittelun alussa kohdistuu neuraalisiin komponentteihin lisäämällä neurotransmittereiden synteesiä (Mooradian ym. 1987, Staron ym. 1990 ja 1994) ja lihassolun rakenteeseen, kuten solutyyppiin ja myosiiniraskasketjujen esiintymiseen (Staron ym. 1990, 1994). Myöhemmin vaikutus kohdistuu proteiinisynteesiin lisääntyvästi, sillä testosteronin anabolisen vaikutuksen käynnistyminen kestää kauan (Staron ym. 1990 ja 1994). Lisäksi testosteroni vaikuttaa lihasten hypertrofiaan aktiivisella satelliittisolulla ja yhdistämällä niitä jo olemassa oleviin lihassoluihin (Joubert

& Tobin 1995). Testosteroni voi myös lisätä anabolialla sitoutumalla glukokortikoidireseptoreihin ja siten vähentää kortisolin vaikutusta (Danhaive & Rousseau 1988). Testosteronin vaikutus voi kohdistua myös kortisolin toimintaan post-reseptorisessa vaiheessa (Danhaive & Rousseau 1988, Hickson & Marone 1993). Testosteroni lisää voimantuottoa ja siten harjoituksen kokonaistyömäärää kyetään lisäämään. Tämän ja testosteronin aiheuttaman glykogeenisin aineenvaihdunnan tehostumisen johdosta veren laktaatin ja glukoosin määrä lisääntyy. (Kraemer ym. 1998b.) Testosteronin vaikutavuutta säätelee veren hormonipitoisuuden nousun lisäksi solutasolla vaikuttaa androgeenireseptorien pitoisuus sekä veren sitojaproteiinien pitoisuus ja paikallinen verenkierto (McCall ym. 1999).

Erityyksen jälkeen n. 97% testosteronista kiinnittyy löyhästi plasman albumiiniin tai tiukemmin beta-globuliiniin, jota kutsutaan sukupuolihormoneja sitovaksi globuliiniksi (SHBG), ja kiertää veressä tässä muodossa 30-60 minuuttia. Siinä ajassa testosteroni joko sitoutuu kudoksiin tai se hajotetaan inaktiivisiksi muodoiksi, jotka myöhemmin eritetään pois. (Guyton & Hall 1996 s. 1010.) SHBG vähentää kudosten testosteronin saatavuutta (Kraemer ym. 1998b), sillä testosteroni yhdistyneenä SHBG:hen ei suuri-molekyylisenä voi siirtyä kapillaareista solukalvon läpi solutumaan vaikuttamaan säätelytekijöihin (Manni ym. 1985, Pardridge 1987). Vapaaksi testosteroniksi kutsutaan sitoutumatonta ja albumiiniin sitoutunutta testosteronia (Kraemer ym. 1999). Korkea vapaa testosteronipitoisuus parantaa testosteronin bioaktiivisuutta (Mooradian ym. 1987, Nankin & Calkins 1986), sillä vapaa testosteroni vaikuttaa suoraan kohdesoluun lisäten proteiinisynteesiä ja lihaksen hypertrofiaa (Mooradian ym. 1987, Sutton ym. 1973, Tenover 1994). Vapaan testosteronin lisäksi myös sitoutuneella testosteronilla on vaikutusta kudokseen (Ekins 1990). Vapaan testosteronin pitoisuus riippuu sitojaproteiineista sekä reseptorivuorovaikutuksesta (Kuoppasalmi 1980a, Longcope ym. 1990, Mooradian ym. 1987, Vermeulen ym. 1972). Vapaan testosteronin määrän kasvu voi olla myös kompensatiota kokonaistestosteronipitoisuuden vähenemiseen (Adlercreutz ym. 1986). Vapaan testosteronin määrällä ja harjoitettavuudella on havaittu olevan yhteyttä ikääntyneillä (Häkkinen & Pakarinen 1993) ja sen on havaittu reagoivan herkemmin liikaharjoitteluun (Häkkinen & Pakarinen 1991).

Suurin osa kudoksiin sitoutuneesta testosteronista muunnetaan kohdesoluissa solunsisäisen entsyymin, 5 α -reduktaasin vaikutuksesta DHT:ksi, joka sitoutuu sytoplasman

reseptori proteiiniin. Osa testosteronin vaikutuksista riippuu tästä muutoksesta. (Guyton & Hall 1996 s. 1010.) DHT–reseptori kombinaatio siirtyy solutumaan, missä se sitoutuu tuman proteiineihin ja vaikuttaa DNA-RNA transkriptioon. Puolen tunnin kuluessa RNA polymeeraasi tulee aktivoitua ja RNA:n pitoisuus kasvaa soluissa, josta seuraa solun proteiinien progressiivinen lisääntyminen. Joissakin kudoksissa ei ole 5 α -reduktaasi entsyymiä testosteronin muuntoon DHT:ksi. Näissä kudoksissa testosteroni vaikuttaa suoraan, tosin puolella teholla DHT:n verrattuna solun proteiinien tuotantoon. (Guyton & Hall 1996 s. 1012-1013.)

Testosteronipitoisuuden perustaso veressä säätelee testosteronin tuottoa, sitoutumista ja poistumaa sekä kehon homeostaasia (Moore-Ede 1986). Testosteroni poistuu elimistössä erityisesti maksassa, mutta myös maksan ulkopuolisissa kudoksissa (Kraemer 1999). Testosteroni, joka ei sitoudu kudoksiin, muunnetaan nopeasti pääasiassa maksassa androstenedioniksi ja dehydroepiandrosteroniksi ja liitetään joko glucuronideihin tai sulfaateihin. Nämä eritetään joko suolistoon maksan ja sapen kautta tai munuaisten kautta virtsaan. (Guyton & Hall 1996 s. 1010.)

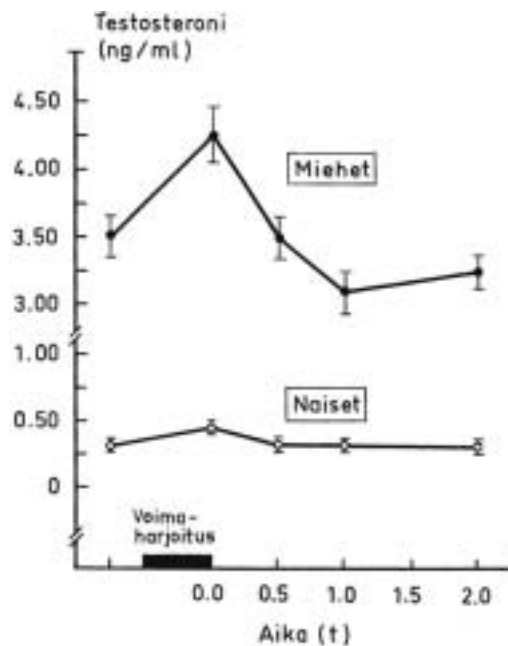
Seerumin hormoneja muunnetaan aktiivisimmiksi molekyyleiksi perifeerisissä kudoksissa. Tämä voi tapahtua kohdekudoksissa, kuten testosteronin muuntuessa DHT:ksi. Perifeeristä muutosta voi esiintyä myös ei-kohdekudoksissa, kuten muodostettaessa dehydroepiandrosteronia lisämunuaisissa, joka voidaan muuntaa androstenedioniksi maksassa ja joka taas voidaan muuntaa testosteroniksi tai estroneksi ja estradioliksi rasva-, maksa- tai ihosoluissa. (Granner 1991a s. 464.) Myös estrogeenejä muodostetaan testosteronista ja androstanediolista kehon kudoksissa, erityisesti maksassa (Guyton & Hall 1996 s. 1010).

Naisilla on havaittu miehiä suurempia pitoisuuksia SHBG:ssä (Häkkinen & Pakarinen 1993) sekä androstenedionessa, jonka vaikuttavuus on testosteronia ja DHT:tä pienempi. Naisten suuret testosteronipitoisuuden vaihtelut selittyvät yksilöllisillä eroilla ja munuaisten erityksellä. (Kraemer ym. 1993.)

6.3. Testosteroni ja voimaharjoittelu

6.3.1. Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen

Hormonivasteen aikaansaamiseksi tarvitaan harjoituksessa tietyn volyymikynnyksen ylittyminen (Kraemer ym. 1991 ja 1992, Viru ym. 1998). Välittömästi riittävän harjoitusärsyksen jälkeen testosteronipitoisuus nousee 20-30% (kuva 11) (Kraemer ym. 1990, Schwab ym. 1993, Fry ym. 1994).



Kuva 11. Voimaharjoituksen vaikutus testosteronipitoisuuteen miehillä ja naisilla (Weiss ym. 1983 teoksessa Häkkinen 1990 s. 52)

Testosteronipitoisuus on suurimmillaan kun insuliinipitoisuus on alimmillaan (Chandler ym. 1994, Kraemer ym. 1998a). Testosteronipitoisuus laskee 30-60 min harjoituksen jälkeen (Kraemer ym. 1990, Chandler ym. 1994), mikä LH:n pysyessä muuttumattomana johtuu Leydigin solujen vähentyneestä LH vasteesta, mikä taas johtuu aiemmasta verenkierron testosteronipitoisuuden noususta (Tsuruhara ym. 1977). Testosteronipitoisuus nousee jälleen 90-120 minuuttia harjoituksen loputtua ja palautuu ennalleen (Kraemer ym. 1990). SHBG pitoisuus ei muutu akuutissa vasteessa (Fahrner & Hackney 1998). Akuutin vasteen suuruus riippuu henkilön iästä sekä harjoituksen lepotauoista, kokonaistyömäärästä ja aktivoituvan lihasmassan määrästä (Kraemer 1988, Craig ym. 1989, Kraemer ym. 1990, 1991 ja 1998a, Jensen ym. 1991, Häkkinen & Pakarinen

1993a, 1995, Gotshalk ym. 1997). Myös ravitsemukselliset tekijät voivat vaikuttaa testosteronin lepopitoisuuksiin (Volek ym. 1997) ja harjoituksen aiheuttamaan akuuttiin vasteeseen (Chandler ym. 1994). Voimaharjoituksen aiheuttaman testosteronivasteen on havaittu olevan hyvin samankaltainen toistettaessa harjoitus eri päivinä (Kraemer ym. 1998c).

Hormonisäätelyssä vallitsee eri säätelymekanismit levossa ja harjoituksessa (Fry ym. 1991). Harjoituksen aiheuttama testosteroni pitoisuuden nousu voi johtua ¹⁾ plasman volyymin laskun aiheuttamasta hemokonsentraatiosta (Rowell ym. 1964, Metivier ym. 1980, Wilkerson ym. 1980, Kindermann ym. 1982, Weiss ym. 1983, Cadoux-Hudson ym. 1985), ²⁾ pitkäkestoisessa harjoituksessa vähentyneestä poistumasta johtuen vähentyneestä maksan verenkierrosta (Rowell ym. 1964, Kinderman ym. 1982, Weiss ym. 1983, Cadoux-Hudson ym. 1985), ³⁾ lisääntyneestä kivesten testosteronin erityksestä (Metivier ym. 1980, Cumming ym. 1986) ja vapautumisesta johtuen nitraatti oksidin aiheuttamasta vasodilataatiosta ja verenkierron muutoksista kiveksissä (Meskaitis ym. 1997), ⁴⁾ LH:n lisääntyneestä pulsaatiosta tai erityksestä (Vermeulen ym. 1972, Mooradian ym. 1987, Kraemer 1988, Longcope ym. 1990, Tenover 1997) sekä ⁵⁾ LH:sta riippumattomasta laktaatin vaikutuksesta testosteronin eritykseen lisäämällä kivesten cAMP:n tuottoa (Lu ym. 1997).

Voimaharjoituksen aiheuttama testosteronin erityksen lisääntyminen ja/tai poistuman vähentyminen vastaa pitoisuuden kasvusta, koska veren testosteronipitoisuuden kasvu voi ylittää plasmavolyymien muutoksen vaikutuksen (Fry ym. 1998). Miehillä suuri akuutti vaste selittyy hypofyysi-kives -akselin lisääntyneen erityksen tai kivesten verenkierron muutoksen avulla paremmin kuin plasman volyymin muutoksella tai vähentyneellä poistumalla maksan kautta (Rowell ym. 1964, Cadoux-Hudson ym. 1985). Plasmavolyymien muutoksella korjaamattoman tutkimusaineiston katsotaan edustavan paremmin todellista kohdesolujen ”aistimaa” perifeeristä veren testosteronipitoisuutta, mikä voi liittyä reseptoreihin (Cappon ym. 1994, Fry 1994). Voimaharjoituksen aiheuttama testosteronipitoisuuden nousu ei myöskään välttämättä selity LH vaikutuksesta johtuvana (Häkkinen ym. 1988b) eikä liian lyhytkestoisena poistuman vähenemisellä (Schwab ym. 1993). Testosteronipitoisuuden nousu harjoituksen alussa johtuu sympaattisesta aktiivisuudesta (Jezova & Vigas 1981, Fahrner & Hackney 1998) ja suorasta katekolamiinivälitteisestä varastoituneen testosteronin vapautumisesta kiveksistä (Eik-

Nes 1969). Lisäksi verenkierron katekolamiinit stimuloivat kivesten testosteronin eritystä (Eik-Nes 1969, Jezova & Vigas 1981). Adrenaliinin ja noradrenaliinin pitoisuus nousee harjoituksen intensiteettiin korreloiden (Jezova ym. 1985), mutta testosteronivasteen ja katekolamiinien erityksen välillä ei aina ole havaittu yhteyttä (Pullinen ym. 1998). Vasta harjoituksen myöhemmässä vaiheessa tarvitaan LH:ta stimuloimaan testosteronin tuotantoa (Koziris ym. 2000). Yksittäisen voimaharjoituksen ei ole havaittu vaikuttavan harjoituksen jälkeen samana päivänä syljestä mitattuun testosteronipitoisuuteen (Kraemer ym. 2001).

6.3.2. Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin testosteronipitoisuuteen

Pitkällä aikavälillä voimaharjoittelu saattaa lisätä testosteronin lepopitoisuutta erityisesti miehillä (Häkkinen ym. 1988), mikä liittyy kudosten rakentumis- ja uudelleenmuodostusprosesseihin harjoitukseen mukautumisessa (Kraemer ym. 1998b) ja kivesten LH-vasteen paranemiseen (Fry ym. 1994). Krooninen harjoittelu myös tehostaa testosteronipitoisuuden nousua harjoituksen jälkeen (Lukaszewska ym. 1976, Häkkinen ym. 1988c, Kraemer ym. 1998b). Harjoitustaustan vaikutus solu- ja molekyyllitasolla ilmenee muutoksina testosteronin poistumisessa ja hajoamisessa maksassa sekä muissa kudoksissa, muutoksina kuljetusproteiinien kuljetus- ja sitomiskyvyssä sekä reseptorien määrässä ja kiinnittymisherkkyudessa (Kraemer ym. 1992). Pitkällä aikavälillä harjoittelu voi myös vaikuttaa palautemekanismeihin ja perifeeristen endokriinisten rauhasen, kuten kivesten, toiminnallisiin muutoksiin solujen rakenteessa (Kraemer ym. 1992), erityksessä ja verenkierron ominaisuuksissa (Kraemer ym. 1991).

Harjoitus vaikuttaa sympaattisen hermoston aktiivisuuteen (Lehmann ym. 1992), mikä lisää testosteronin eritystä harjoituksen seurauksena (Eik-Nes 1969, Jezova & Vigas 1981, Jezova ym. 1985). Sympaattisen hermoston väsyminen ja adrenergisten reseptoreiden määrän lasku selittää muutoksia hormonivasteessa esimerkiksi liikaharjoittelussa (Fry ym. 1994). Pitkäaikaisen harjoittelun myötä testosteronin vaikuttavuutta lisää myös androgeenireseptoreiden lukumäärän kasvu (Fry ym. 1994, Inoue ym. 1994, Kadi ym. 2000).

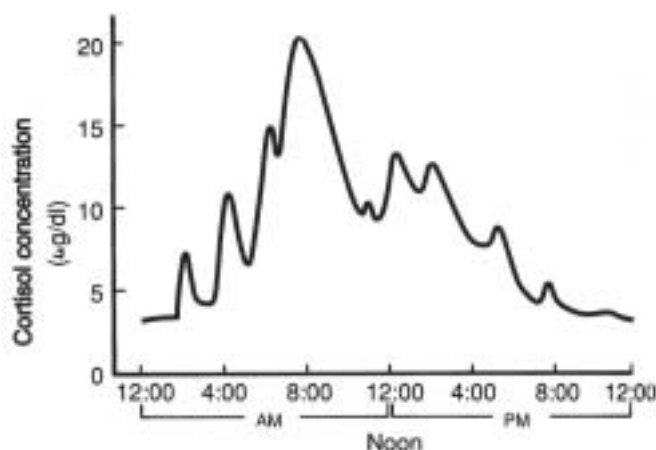
7. Kortisoli

7.1. Kortisolin erityys ja rakenne

Kortisoli on rakenteeltaan steroidihormoni ja sitä eritetään lisämunuaisen kuoren keski- ja syväkerroksesta. Kortisoli kuuluu glukokortikoideihin, joita on useita erilaisia. Näistä kortisoli on määrältään ja vaikuttavuudeltaan merkittävin. (Guyton & Hall 1996 s. 957-959.) Kortisolin erityys on kontrolloitu lähes täysin hypofyysin etulohkon erittämällä kortikotropiinilla (ACTH). ACTH:n erityys taas on säädelty hypotalamuksen erittämän kortikotropiinia vapauttavan hormonin (CRF) avulla, jonka eritystä säätelee hermostolliset yhteydet limbisestä järjestelmästä ja alemmasta aivorungosta. (Guyton & Hall 1996 s. 965-966.) ACTH:n eritystä stimuloi erityisesti hypoglykemia (Farrel ym. 1983, Tabata ym. 1984, Heitkamp ym. 1993) pääasiassa CRF:n tai katekolamiinien välityksellä (Urhausen ym. 1995).

Myös perifeerinen mekanismi vaikuttaa hypotalamus-hypofyysi-lisämunuaisydin (HPA) –akselin toimintaan, kun lihaksen Na^+ , K^+ ATPaasi pitoisuus ja sen myötä solukalvon ärtyvyys laskee. Tällöin intrasellulaarinen homeostaasi häiriintyy ja kemoreseptorit välittävät negatiivisen palautteen HPA –akseliin. (Buono ym. 1987.) ACTH:n vaikutus perustuu lisämunuaisen kuorikerroksella toisiolähetin aktivointiin, joka saa aikaan kolesterolin muuntumisen pregnenoloneksi, joka taas on lisämunuaisen kuorikerroksen hormonien muodostamista säätelevä kynnystekijä (Guyton & Hall 1996 s. 965-966). Myös lisämunuaisen kuorikerrokseen kulkevien sympaattisten ja parasympaattisten hermoratojen hermopäätteistä erittyvä noradrenaliini (Robinson ym. 1977) stimuloi kortisolin eritystä (Walker ym. 1991).

Psyykinen tai fyysinen stressi, kuten fyysisen kuormituksen tai kudsvaurion aiheuttama kipu, lisää merkittävästi ACTH:n eritystä muutamassa minuutissa johtaen jopa 20 kertaiseen kortisolin eritykseen lisämunuaisen kuorikerrokselta. Kortisolilla on suora negatiivinen palautevaikutus hypotalamukseen vähentämällä CRF:n muodostusta ja hypofyysin etulohkoon vähentämällä ACTH:n muodostusta. Plasman kortisolipitoisuus vaihtelee vuorokauden ajan mukaan hypotalamuksen rytmin säätelemänä (kuva 12). (Guyton & Hall 1996 s. & Hall 1996 s. 966.)



Kuva 12. Kortisolin erityis vuorokauden ajan mukaan (Guyton & Hall 1996 s. 966).

Kortisolin erityis on suurimmillaan aamulla tuntia ennen heräämistä, jolloin kilpirauhashormonin taso on laskeva ja kasvuhormonin vapautuminen alimmillaan. Tällöin glukoositoleranssi ja insuliinisensitiivisyys on optimaalinen. (Van Cauter ym. 1997.) Aamulla veren kortisolipitoisuus on n. 20 µg/dl (Guyton & Hall 1996 s. 966). Keskipäivällä glukoositoleranssi ja kortisolitaso laskee, kasvuhormonin erityis kasvaa ja kilpirauhashormonien taso on alhainen. Keskiyöllä glukoositoleranssi ja kortisolitaso on minimissään sekä kasvuhormonin pulsatiivinen erityis ja kilpirauhashormonien taso suurimmillaan. (Scheen ym. 1998.) Myöhään illalla hypotalamus-hypofyysilisämunaaisydin –akselin toiminta on vähäistä (Scheen ym. 1998) ja veren kortisolipitoisuus n. 5 µg/dl (Guyton & Hall 1996 s. & Hall 1996 s. 966). Kortisolin tasoon vaikuttaa myös aterioiden ajoitus, koko ja koostumus (Anderson ym. 1987, Raben ym. 1992, Scheen ym. 1998). Verenpaineen nousu voi myös lisätä kortisolin eritystä (Fleck & Dean 1987).

ACTH saa aikaan kortisolin erittymistä ja kortisolin erityis ja poistuminen verenkierrosta ovat yhteydessä toisiinsa (Davies & Few 1973, Blichert-Toft ym. 1979, Kraemer 1988, Kraemer ym. 1989, Horrocks ym. 1990). ACTH pitoisuus voi myös nousta ilman kortisoli vastetta, johtuen alentuneesta lisämunaisten reseptoriherkkyydestä (Raastad ym. 2000). Lisämunaisten ACTH vasteeseen vaikuttaa kortikotropiinia vapauttava hormoni (Van Oers 1992), vasoactive intestinal polypeptide eli VIP (Bloom ym. 1987) ja munuaisten autonomisen hermoston aktiivisuus (Dijk ym. 1989). Ikääntyneillä kortisolia erittyy vähemmällä ACTH pitoisuudella (Brandenberger & Follenius 1975, Sherman ym. 1985, Kern ym. 1996). Tämä johtuu todennäköisesti kortisolireseptorien määrän lisää-

tymisestä, joten ikääntyneiden stressireaktio pienempään ärsykkeeseen on nuoria suurempi (Kraemer ym. 1998a).

Veren kortisolipitoisuuden muutokset johtuvat kortisolin tuotosta, sitoutumisesta reseptoreihin ja/tai poistumisesta metabolian myötä (Neary ym. 1994). Veren kortisolista n. 94%:ia on sitoutuneena pääasiassa kortisolia sitovaan globuliiniin ja vähemmässä määrin albumiiniin. Kortisoli sitoutuu kohdekudoksiin tai tuhoutuu 1-2 tunnin kuluessa erityksestä. Kortisoli hajotetaan pääasiassa maksassa ja sitä eritetään keskimäärin 15-20mg päivässä pääasiassa glucuronideihin siotutuneina sappinesteeseen ja virtsaan. (Guyton & Hall 1996 s. 957-959.)

7.2. Kortisolin vaikutusmekanismit

Testosteroni ja kasvuhormoni ovat anabolisia hormoneja, jotka lisäävät proteiinisynteesiä ja hypertrofiaa (Crowley & Matt 1996). Kortisolilla on vastakkainen vaikutus. Se on erittäin vaikuttava hormoni ja vastaa n. 95%:ista kaikista glukokortikoidien vaikutuksista (Guyton & Hall 1996 s. 957-959). Lisääntynyt glukokortikoidien määrä on yhdistetty katoboliaan, jolloin proteiinien hajoaminen lisääntyy, proteiinisynteesi vähenee sekä aminohappoja vuotaa ulos solusta (Seene & Viru 1982, Cumming 1983 ja 1989, Odedra ym. 1983, Axelrod & Reisine 1984, Häkkinen ym. 1985b, Kayali ym. 1987, Tsai ym. 1991, Kraemer ym. 1993b, Neary ym. 1994, Bell ym. 2000). Kortisoli voi myös vähentää testosteronin vaikutusta (Doerr & Pirke 1976).

Kortisoli säätelee proteiinien aineenvaihduntaa ja lisää vapaiden aminohappojen määrää (Viru 1999). Kortisoli mobilisoi aminohappoja perifeerisistä kudoksista lisäten samanaikaisesti maksan toimintaa lisäämällä sen entsyymejä. Kortisoli vähentää aminohappojen kuljetusta lihassoluun sekä RNA:n muodostusta ja siten lihaksen proteiinisynteesiä. Kortisoli aiheuttaa myös lisääntynyttä solun proteiinien kataboliaa. Aminohapot siirtyvät ulos solusta ja lisäävät plasman aminohappopitoisuutta. Siten kortisoli mobilisoi aminohappoja muista kuin maksasta ja vähentää kudosten proteiinivarastoja. (Guyton & Hall 1996 s. 962-963.)

Kortisoli lisää glukoneogeneesiä aktivoimalla glukoneogeenin entsyymejä ja glukoneeenisiä aminohappoja lihaksista, jolloin veren glukosipitoisuus kasvaa. Kortisolilla on löyhä yhteys glukagoniin ja adrenaliiniin, joilla on myös glukoneogeeninen tehtävä. (Koziris ym. 2000.) Kortisoli lisää aminohappojen kuljetusta maksasoluihin ja lisää proteiinisynteesiä ja plasman proteiinien muodostusta maksassa. Kortisoli lisää myös aminohappojen hajotusta ja lisää aminohappojen muodostusta glukosiksi, joka tehostaa glukoneogeneesiä. Tämä johtuu kortisolin vaikutuksesta lisätä kaikkia niitä entsyymejä, joita tarvitaan aminohappojen muuntamiseksi glukosiksi maksan soluissa eli se aktivoi DNA transkriptiota ja mobilisoi aminohappoja lihaksista. Kortisoli stimuloi glukoneogeenin määrää maksassa 6-10 kertaiseksi. Kortisoli vähentää myös jonkin verran glukosin käyttöä muissa elimistön soluissa. (Guyton & Hall 1996 s. 962-963.)

Aminohappojen mobilisaatio on hyödyllistä energia-aineenvaihdunnalle ja uusien proteiinien tuotannolle. Kortisoli ei tavallisesti mobilisoi solun toiminnallisia proteiineja, kuten supistuvia rakenneproteiineja. (Guyton & Hall 1996 s. 963-964.) Kortisoli hajottaa proteiineja erityisesti tyyppi I soluissa (Deschenes ym. 1994), kun taas glukokortikoidihoito kohdistuu enemmän tyyppi II soluihin (Crowley & Matt 1996).

Kortisoli lisää rasvahappojen mobilisaatiosta rasvakudoksesta. Kortisoli aktivoi lipolyysejä, jolloin vapaiden rasvahappojen määrä kasvaa. (Koziris ym. 2000.) Tämä voi johtua vähentyneestä glukosin kuljetuksesta rasvasoluihin, mitä tarvitaan triglyseridien varastointiin ja säilyttämiseen rasvasoluissa. Plasman lisääntynyt vapaiden rasvahappojen pitoisuus ja solujen lisääntynyt rasvahappojen hapetus muuttaa aineenvaihduntaa käyttämään rasvahappoja energiaksi, mikä on tärkeä tekijä glukosin ja glykogeenin sääntymiseen pitkällä aikavälillä. (Guyton & Hall 1996 s. 963.) Pitkäkestoisessa harjoituksessa kortisoli parantaa energian saantia estämällä vapaiden rasvahappojen re-esterifiointia katekolamiinien aiheuttaman lipolyyysin jälkeen (Urhausen ym. 1995).

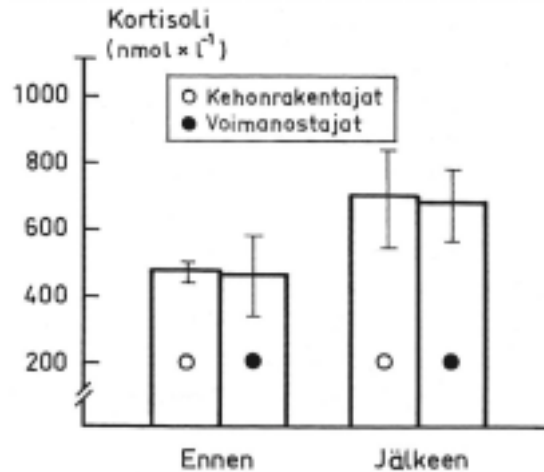
Kortisoli voi ehkäistä suurimman osan tulehdusta aiheuttavista tekijöistä. Kortisolilla on kyky stabiloida lysosomikalvoja ja vähentää prostaglandiinien ja leukotrienien sekä valkosolujen muodostusta. Myös aminohappojen mobilisointi voi olla hyödyllistä vaurioituneen kudoksen korjaamisessa. (Guyton & Hall 1996 s. 964.) Leukosyyttien taso verenkierrossa liittyy kortisolin pitoisuuden vaihteluihin (Pedersen 1991, Weicker &

Werle 1991). Voimaharjoituksen aiheuttamalla kortisolivasteella ja leukosyyttien määrän lisääntymisellä ei ole kuitenkaan havaittu olevan yhteyttä (Kraemer ym. 1996).

7.3. Kortisoli ja voimaharjoittelu

7.3.1. Voimaharjoituksen välitön vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen

Kortisolipitoisuus nousee yleisen stressireaktion yhteydessä tai korkeatehoisen harjoituksen jälkeen (Viru 1994) vastaamaan elimistön metabolisia vaatimuksia (Koziris ym. 2000). Harjoituksen aiheuttamaan kortisolivasteeseen vaikuttaa kortisolipitoisuuden vuorokautinen vaihtelu (Häkkinen ym. 1988b, Thuma ym. 1995). Aamulla, kun kortisolipitoisuus on suurimmillaan ja HPA-akseli toimii täydellä teholla, ei harjoitus välttämättä lisää kortisolin eritystä. Iltapäivällä kortisolipitoisuuden laskuvaiheessa myös harjoitusvaste on suurimmillaan (Scheen ym. 1998). Kortisolivasteeseen vaikuttaa aerobinen tai anaerobinen kuormitustapa (Kraemer ym. 1989) sekä harjoituksen kesto ja intensiivisyys (Few 1974, Dessypris ym. 1976, Kuoppasalmi ym. 1980a, Kindermann ym. 1982, Farrell ym. 1983, Fry ym. 1992, Kraemer ym. 1993b, Viru ym. 1999). Kortisolivaste on suurimmillaan voimaharjoituksessa, kun harjoitussarjoja on useita ja sarjatauot lyhyitä (Kraemer ym. 1993). Tällöin harjoituksen metaboliset ja anaerobisen energiantuoton vaatimukset ovat suuria. Osa kortisolivasteesta tapahtuu glykolyyttisen ja katekolaminien stimulointimekanismin välityksellä (VanHelder ym. 1986, Kraemer ym. 1987 ja 1993b). Kestävyysharjoituksessa kortisolin erityks lisääntyy suorituksen kestäessä yli 20 minuuttia yli 60% teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Davies & Few 1973, Cashmore ym. 1977). Lisäksi kortisolivasteeseen vaikuttaa henkilön kunto, lämpötila, ilmanpaine, ruokavalio, tunteet, väsymys ja biorytmit (Viru ym. 1999). Ruokavalio vaikuttaa metabolisten muutosten kautta (Sutton & Casey 1975, Tegelman ym. 1986). Harjoittelemattomilla henkilöillä voimaharjoituksen jälkeen kortisoli arvot nousevat harjoitelleita korkeammalle (McMillan ym. 1993). Kortisolivaste, samoin kuin kasvuhormonin erityks, tehostuu hypoksiassa (Davies & Few 1976, Sutton 1977, Raynaud ym. 1981). Kortisolipitoisuus voi nousta myös veren oton epämiellyttävyyden myötä (McCall ym. 1999). Yksittäinen voimaharjoitus saa aikaan miesvoimaurheiljoilla merkittävän seerumin kortisolipitoisuuden kasvun (kuva 13).



Kuva 13. Kortisolipitoisuuden nousu voimaharjoituksen myötä (Kraemer ym. 1987 teoksessa Häkkinen 1990 s. 53).

Kortisoli vaikuttaa harjoituksen metaboliseen vasteeseen erilaisilla vuorokauden eri aikoina johtuen kortisolipitoisuuden ajallisesta vaihtelusta (Scheen ym. 1998). Harjoituksen aikana kortisoli tukee adrenaliinin metabolisia vaikutuksia (Virus ym. 1999). Se tehostaa ja ylläpitää kohonnuttua Na, K-ATPaasi aktiivisuutta (Körge ym. 1974), stimuloi glukoosi-alaniini sykliä (Virus ym. 1994), glykogeeni metabolismia (Virus M. ym. 1994) ja urea synteesiä (Litvinova & Virus 1995). ACTH:n pitoisuuden lasku voi olla merkinä väsymyksestä tai liikakuormittumisesta. Suuri kortisoli pitoisuus kuvastaa adaptaatio-prosessin suurta kuormitusta (Virus ym. 1999) ja samalla harjoitusvaste pienenee. (Fry ym. 1992.)

ACTH pitoisuus nousee harjoituksen myötä (Kraemer ym. 1998a) ja sen vaikutus kortisolipitoisuuden lisäämiseksi kestää yli 5min (Kraemer ym. 1993a, Fry ym. 1998). Kortisolin eritystä säätelevät myös motorinen keskus sekä työskentelevien lihasten hermostollinen feedback proprio- ja metaboreseptoreista, jotka säätelevät kortikotropiinin eritystä (Kjaer ym. 1989, Kjaer 1992). Hermostollinen komponentti ja proprioseptinen feedback mukautuvat ensimmäisinä harjoitukseen (Bosco ym. 1983, Häkkinen & Komi 1985). Vähäinen kortisolivaste voi selittyä riittämättömällä motorisen keskuksen ja lihasten feedback stimulaatiolla (Bosco ym. 2000) tai hippocampuksen serotonergisten rakenteiden inhiboivasta vaikutuksesta hypotalamuksen erityskeskuksiin (Knigge & Hays 1963). Lisäksi harjoitusvasteessa sympaattinen hermosto aktivoi lisämunuaisen kuorikerrosta (Holzwarth ym. 1987). Insuliini, joka on osittain kortisolin vastavaikuttaja

hormoni, laskee harjoituksen seurauksena johtuen veren katekolamiinien noususta (Richter ym. 1980) sekä beta-adrenoreseptorien aktiivisuudesta (Galbo ym. 1977, Berger ym. 1980) ja sen säätely välittyy sympaattisten alfa-reseptoreiden välityksellä (Galbo ym. 1977).

Suuri kortisolipitoisuus harjoituksen jälkeen säästää lihaksen glykogeenejä ja tehostaa glukoneogeneesiä (Kraemer ym. 1993b). Kortisolin vaikutuksesta glykogeenin resynteesi paranee (Poland ym. 1975) ja glykogeeniä siirtyy maksaan lihasten sijasta (Urhausen ym. 1995). Proteiinikatabolinen vaikutus glukoplastisiin aminohappoihin lisää glukoneogeneesiä (Urhausen ym. 1995), proteiinien kierrätystä ja vapaita aminohappoja proteiinisynteesin käyttöön (Virus ym. 1999).

Kortisolin ohella voidaan tutkia prolaktiinia, joka on toinen ns. stressihormoni, (Hickson ym. 1994) sekä beta-endorfiinia, jonka tuotanto hypofyyisin etulohkossa stimuloituu CRF:n avulla ja joka muodostetaan ACTH:n kanssa samasta prekursorista, propiomelanocortinista (Kraemer ym. 1993a ja 1998a, Bosco ym. 2000). ACTH:n ja beta-endorfiinin vaste harjoitukseen aiheuttamaan stimulaatioon on määrältään samankaltainen (Kraemer ym. 1996).

7.3.2. Pitkäaikaisen voimaharjoittelun vaikutus seerumin kortisolipitoisuuteen

Tutkimuksissa pitkäaikainen voimaharjoittelu on laskenut kortisolipitoisuuksia (Folletius & Branderbenger 1986, Alen ym. 1988, Kraemer ym. 1999, McCall ym. 1999) tai kortisolipitoisuus on säilynyt ennallaan (Häkkinen ym. 1987b, 1988c, 1989, 1994, 2000) tai kortisolipitoisuus on lisääntynyt (Kraemer ym. 1998b). Harjoittelu lisää HPA-akselin aktiivisuutta ja ACTH tuottoa, muttei kortisolin määrää (Wittert ym. 1996). Harjoittelu ei vaikuta kortisolia sitovan proteiinin määrään (Villanueva ym. 1986, Pestell ym. 1989) eikä poistumaan (Villanueva ym. 1986), joten mahdollisesti lisämunuaisen herkkyys ACTH:lle alenee (Tharp & Buuck 1974, De Souza ym. 1991, Lehmann ym. 1993) tai negatiivinen palaute järjestelmä heikkenee (Heuser ym. 1991). Kortisolipitoisuuden väheneminen harjoittelun myötä vähentää kortisolin katabolista vaikutusta lihakseen (Seene & Virus 1982) mahdollistaen tehostuneen proteiinien sitoutumisen ja hypertrofian tyyppi I soluissa vähentyneen hajottamisen myötä (Doerr & Pirke 1976).

Kortisolipitoisuus taas lisääntyy yhdistetyssä kestävyys- ja voimaharjoittelussa (Kraemer ym. 1995, Bell ym. 1997) ja pitkäaikaisissa seurantatutkimuksissa kortisolipitoisuuden muutos voi johtua myös kausiluonteisesta vaihtelusta (McCall ym. 1999).

Pitkäaikainen voimaharjoittelu laskee harjoituksen aiheuttamaa kortisolipitoisuuden nousua (Häkkinen ym. 1985b, Kraemer ym. 1995, Kraemer ym. 1999). Kortisolin harjoitusvaste voi alentua ACTH vähenemisen myötä (Kraemer ym. 1999) tai ACTH reseptorien määrän vähentymisen myötä, jos ACTH pitoisuus pysyy muuttumattomana (Kraemer ym. 1989) tai hypotalamuksen ja/tai hypofyysin toiminnan muutoksesta, jos beta-endorfiinin pitoisuus vähenee (Fry ym. 1993).

Eläinkokeissa kortisolin on havaittu aiheuttavan lihasatrofiaa enemmän nopeissa kuin hitaissa lihassoluissa. Tätä voidaan ehkäistä harjoittelulla, jossa erityisesti harjoitusvoilyymi vaikuttaa atrofian syntymiseen lihassolujen kesken. Testosteronilla ei voida kompensoida kortisolin aiheuttamaa atrofiaa. Siten lihaksen kasvua voidaan ennustaa kortisolin pitoisuuksilla paremmin kuin testosteronipitoisuudella tai testosteronin ja kortisolin välisellä suhteella. (Crowley & Matt 1996.)

Voimaharjoitukseen mukautumisessa ja siitä palautumisessa kortisolilla on merkitystä lihaksen valkuaisten uudelleen muodostumisessa (Axelrod & Reisine 1984, Konagaya & Max 1986). Kortisolipitoisuuden aleneminen edistää anabolista tilaa. Kortisoli hajottaa proteiinia, joten alentuneet pitoisuudet ovat pääasiallinen hypertrofian mekanismi tyyppi I:n soluissa, koska niiden hypertrofia perustuu enemmän vähentyneeseen proteiinien hajotuksen kuin lisääntyneeseen proteiinisynteesiin. (Kraemer ym. 1998b.)

Androgeenireseptorit lisääntyvät kestävyysharjoittelun yhteydessä tyyppi I soluissa, mutta voimaharjoittelussa ne puolestaan vähenevät tyyppi I soluissa ehkäistäkseen hypertrofiaa. Harjoittelun myötä kortisolin vaikutus vähenee lihaksissa ja kiveksissä sallien suuremman testosteronin tuoton. (Deschennes ym. 1994.) Siten voimaharjoittelussa myös tyyppi I solut hypertrofoituvat vähentyneen kortisolin vaikutuksen vuoksi (Deschennes ym. 1994) ja voimaharjoittelu voi siten kompensoida kortisolin vaikutuksen (Crowley & Matt 1996). Tällä ei kuitenkaan ole havaittu olevan vaikutusta suorituskykyyn (Bell ym. 1997).

Liikaharjoitelleilla henkilöillä ACTH vaste hypoglykemiaan vähenee (Barron ym. 1985). Liikaharjoittelu vaikuttaa kortisolipitoisuuteen vähentämällä noradrenaliini pitoisuuksia (Hooper ym. 1993) tai ACTH:n bioaktiivisuus vähenee johtuen muutoksesta propiomelanocortinin tuotannossa (Barron ym. 1985). Kortisolin liikamäärä liittyy HPA -akselin vajaatoimintaan ja liikaharjoitteluun (Barron ym. 1985). Kortisolin määrä lisääntyy, kun HPA -akselin aktiivisuutta säätelevä negatiivinen palaute mekanismi heikkenee johtuen kortikosteronireseptorien pitoisuuden vähenemisestä hippocampuksessa. Tämä johtuu kortikosteroidien katabolisesta vaikutuksesta säätelyjärjestelmän neurooneihin, joiden vastustuskyky metabolisia muutoksia vastaan heikkenee (Sapolsky ym. 1985). Tämä ei vaikuta kortisolin tai ACTH:n lepo- tai stimuloituihin pitoisuuksiin, vaan HPA -akselin aktiivisuuden palautumiseen perustasolle (Seeman & Robbins 1994).

Testosteroni-kortisoli –suhde laskee harjoituksen jälkeen (Fry ym. 1993 ja 1994) ja lisäessä harjoituksen määrää (Häkkinen ym. 1987b, Häkkinen & Pakarinen 1991, Fry ym. 1994). Testosteroni-kortisoli suhde korreloi liikaharjoitteluun (Häkkinen ym. 1987b) ja liikaharjoittelun osoittamiseksi on esitetty vapaan testosteronin ja kortisolin suhteen olevan suurempi tai yhtä suuri kuin 30% tai arvon alle $0.35 \cdot 10^{-3}$ (Adlercreutz ym. 1986, Banfi ym. 1993). Testosteroni-kortisoli suhteen aleneminen lisää riskiä liikaharjoitustilaan (Vervoorn ym. 1991), ehkäisee palautumista heikentämällä regeneraatioprosesseja vaurion jälkeen (Boone ym. 1990) sekä heikentää glykogeenin täydentymistä (Johansson ym. 1990).

8. Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia nuorten miesvoimaurheilijoiden ja -kuntoilijoiden akuutteja hormonaalisia ja neuromuskulaarisia vasteita pakko- ja maksimitoistomenetelmällä suoritettussa voimaharjoituksessa, jossa suoritetaan useita harjoitusliikkeitä samalle lihasryhmälle. Hormonaalisista vasteista tutkittiin em. voimaharjoitusten aiheuttamaa akuuttia seerumin testosteronin, vapaan testosteronin, kortisolin ja kasvuhormonipitoisuuden muutosta. Neuromuskulaarisista tekijöistä tutkittiin maksimaalista tahdonalaista isometrisistä voimantuottoa ja sen aikaista lihasaktiivisuutta sekä veren laktaattipitoisuutta.

Tutkimusongelmat

1. Onko maksimi- ja pakkotoistomenetelmällä suoritettujen yksittäisen voimaharjoituksen välittömällä vaikutuksella eroa alaraajojen ojentajalihasten maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon ja sen aikaiseen lihasaktiivisuuteen sekä veren laktaattipitoisuuteen?
2. Onko maksimi- ja pakkotoistomenetelmällä suoritettulla voimaharjoituksella eroa akuutteihin testosteroni, vapaa testosteroni, kortisoli ja kasvuhormonivasteisiin?
3. Onko maksimi- ja pakkotoistomenetelmällä suoritettulla voimaharjoituksella eroa maksimaalisen isometrisen voimantuoton ja sen aikaisen lihasaktiivisuuden palautumiseen harjoituksen jälkeen?
4. Onko maksimi- ja pakkotoistomenetelmällä suoritettujen voimaharjoitusten aiheuttamissa akuuteissa neuromuskulaarisissa ja hormonaalisissa vasteissa eroa voimaurheilijoiden ja kuntoilijoiden välillä?

9. Tutkimusmenetelmät

9.1. Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 16 vapaaehtoista nuorta miestä, jotka jaettiin kahteen tutkimusryhmään harjoitustaustansa perusteella. Kahdeksalla koehenkilöllä oli aiempaa kokemusta voimaharjoittelusta (voimaurheilijat) ja toiset kahdeksan koehenkilöä olivat liikunnallisesti aktiivisia, mutta he eivät säännöllisesti harjoitelleet kuntosalilla (kuntoilijat) (Taulukko 1). Voimailijoiden kehon paino, vastus lateralis -lihaksen paksuus ja oikean alaraajan ojentajalihasten dynaaminen maksimivoima oli kuntoilijoita tilastollisesti merkitsevästi ($p < .05$) suurempi. Koska akuuteissa hormonivasteissa ja maksimaalisessa isometrisessä voimantuotossa ennen kuormitusmittauksia ei tutkimusryhmien välillä ollut merkitseviä eroja, käsitellään tutkimuksen tuloksia ryhmäkohtaisen tarkastelun lisäksi myös molemmat tutkimusryhmät yhdistettyinä. Tutkimus oli Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksymä ja koehenkilöt allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen (liite 1).

Taulukko 1. Koehenkilöiden taustatiedot

	Voimaurheilijat (n = 8)	Kuntoilijat (n = 8)	Ryhmien välinen P-arvo	Ryhmät yhdistettyinä (n = 16)
Ikä (v)	27.8 ± 4.3	25.8 ± 2.4	0.277	26.8 ± 3.5
Pituus (cm)	178.2 ± 5.9	182.2 ± 6.7	0.220	180.2 ± 6.4
Paino (kg)	86.6 ± 8.0	75.7 ± 7.3	0.016	80.9 ± 9.1
Rasva %	15.4 ± 4.0	12.9 ± 1.9	0.065	13.8 ± 3.5
Rasvaton paino (kg)	72.6 ± 4.8	66.5 ± 6.9	0.060	69.6 ± 6.5
Oikean jalan dynaaminen maksimivoima (kg)	123.8 ± 11.9	108.1 ± 14.1	0.032	115.9 ± 15.0
Vastus lateralis- lihaksen paksuus (mm)	31.1 ± 0.9	28.1 ± 1.1	0.047	29.4 ± 3.1
Isometrinen maksimivoima (N)	3172.7 ± 162.4	2875.1 ± 157.3	0.209	3027.5 ± 473.0
Voimaharjoittelutausta (v)	6.0 ± 3.0	-		

9.2. Koeasetelma

Tutkimus sisälsi kaksi kuormitusmittausta samaan vuorokauden aikaan noin kahden viikon välein. Kuormituksesta palautumista seurattiin kolmen vuorokauden ajan kuor-

mitusten jälkeen. Mittausten aikataulu ja kulku on esitetty liitteessä 2. Ensimmäinen kuormitusmittaus toteutettiin aina ns. maksimitoistomenetelmällä, jossa jokainen sarja suoritettiin 12 maksimitoistoon (12RM) asti. Kuormitusliikkeinä oli neljä sarjaa jalkaprässiä (David 210) 59.5 ± 2.0 asteen polvikulmasta, kaksi sarjaa jalkakyykyä Smith – laitteessa 70 asteen polvikulmaan kontrolloituna äänimerkin avulla sekä kaksi sarjaa reiden ojennusta (David 200) 59.4 ± 1.6 asteen polvikulmasta (maksimitoistokuormitus). Sarjojen välinen palautusaika oli kaksi minuuttia ja liikkeiden välillä neljä minuuttia. Toiseen kuormitusmittaukseen sarjapainot arvioitiin maksimitoistokuormituksen perusteella lisäämällä noin 15% käytettyihin sarjapainoihin. Tavoitteena oli, että koehenkilö kykeni itse suorittamaan noin kahdeksan toistoa ja loput toistot 12 toiston sarjasta suoritettiin avustajan avustamana (pakkotoistokuormitus). Avustuksen voima mitattiin jalkaprässissä ja reisiojennuksessa käsikahvaan liitetyn voimadynamometrin ja kyykyssä voimalevyn avulla. Konsentrisen työvaiheen aika mitattiin elektronisen goniometrin avulla. Molempien kuormitusten aikaisten mittausten lisäksi isometrisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden palautumista seurattiin 24, 48 ja 72 tuntia kuormituksen jälkeen. Vastus lateralis -lihaksen paksuus määritettiin B-muodon ultraäänen avulla (Aloka SSD-280ls) ennen molempia kuormitusmittauksia. Ruokavalio kontrolloitiin ruokapäiväkirjan avulla kahtena mittausta edeltävänä päivänä ja mittauspäivänä. Koehenkilöitä pyydettiin noudattamaan normaalia ruokavaliotaan ja nauttimaan ravintoa samalla tavalla ennen molempia kuormitusmittauksia. Ruokavalion samankaltaisuus arvioitiin ruokapäiväkirjoista ilman tarkempaa analyysia. Juominen oli molempien kuormitusmittausten aikana sallittu vain rajoitetusti. Koehenkilöt saivat halutessaan kostuttaa suutaan. Mittausten aikainen harjoittelu kontrolloitiin haastattelun avulla. Voimailijoilla edellisestä alaraajojen voimaharjoituksesta tuli olla kulunut noin viikko. Mittausta edeltävinä päivinä ja palautusmittauspäivinä ei sallittu voimakasta alaraajojen kuormittamista ja myös muu harjoittelu tuli olla kuormitukseltaan kevyttä.

Koehenkilöt kävivät ennen varsinaisia kuormitusmittauksia esimittauksessa, jossa koehenkilöiltä mitattiin pituus, paino ja rasvaprosentti (Durnin & Womersley 1967), oikean jalan maksimivoima jalkaprässissä (David 210) sekä harjoiteltiin maksimaalisen isometrisen voimantuoton mittausta, arvioitiin kuormitusmittauksissa käytettävät sarjapainot ja määritettiin laitteiden asetukset. Lisäksi otettiin kuormitusmittausten kanssa samaan kellonaikaan kaksi kontrolliverinäytettä puolen tunnin välein.

9.3. Mittaukset

9.3.1. Isometrisen voimantuoton ja lihasaktiivisuuden mittaaminen

Alaraajojen ojentajalihasten maksimaalinen tahdonalainen isometrinen voimantuotto ja sen aikainen lihasaktiivisuus (EMG) mitattiin jalkadynamometrissä 107° polvinivelkulmalla (Häkkinen ym. 1985). Ennen kuormitusta maksimaalinen lihassupistus suoritettiin kolme kertaa. Lisäsuorituksia tehtiin, mikäli maksimaalinen voima kohosi yli 5% aiempaan suoritukseen nähden. Maksimaalinen voima pyrittiin aina tuottamaan niin nopeasti kuin mahdollista. Isometrinen voimanmittaus toistettiin yhden kerran välittömästi toisen ja neljännen jalkaprässisarjan jälkeen, toisen jalkakyykkysarjan jälkeen sekä kahdesti peräkkäin toisen reiden ojentaja -harjoitussarjan jälkeen. Lihasaktiivisuus mitattiin bipolaarisilla pintaelektrodeilla (napojen väli 2cm) oikean jalan vastus lateraalisen (VL) ja vastus medialiksen (VM) motorisista pisteistä lihasrunгон suuntaisesti. Motoriset pisteet määritettiin lihasstimulaattorin avulla ja mittauskohdat merkittiin ihoon tatuomalla. Elektrodienn kiinnityskohdista poistettiin ihokarvat ja hiekkapaperin avulla kuollut ihosolukko. Lopuksi iho puhdistettiin puhdistusaineella (Neoamisept). Signaalin johtumisen parantamiseksi elektrodien kontaktipinnoille levitettiin elektrodipastaa ja elektrodien kiinnitys varmistettiin teipeillä. Signaalin häiriöttömyys varmistettiin oskilloskoopin näytöltä. Lihasaktiivisuus rekisteröitiin telemetrisesti (Glonner Biomes 2000, kaistaleveys 3-360 Hz, -3dB). Voima- ja EMG signaalit taltioitiin CODAS -tiedonkeruu järjestelmällä (Dataq Instruments, Inc.) 1024 Hz:n näytteenottotaajuudella tietokoneelle ja nauhurille (RACALL). Isometrisen voimantuoton aikainen VL ja VM lihasten aktiivisuuden (iEMG) keskiarvo analysoitiin 500-1500ms väliseltä ajalta (Häkkinen ym. 1985).

9.3.2. Verinäytteet

Kaikki verinäytteet otti näytteen ottoon koulutuksen saanut laboratoriohoitaja, joka vastasi myös näytteiden jatkokäsittelystä. Verinäytteet otettiin makuuasennossa lukuun ottamatta toisen jalkaprässisarjan jälkeen otettua näytettä, joka otettiin koehenkilön istuessa harjoituslaitteessa. Koehenkilöiltä otettiin kuormitusmittauksen aikana seitsemän

verinäytettä käsivarren sisemmästä tai ulommasta iholaskimosta seerumin hormonipitoisuuksien määrittämistä varten 2x10ml seerumiputkiin sekä samanaikaisesti sormenpääverinäyte veren laktaattipitoisuuden määrittämistä varten. Verinäytteet otettiin ennen kuormitusta, välittömästi toisen ja neljännen jalkaprässisarjan, kyykkysarjojen ja reisiöjennus sarjojen jälkeisten isometristen mittausten jälkeen sekä 15 ja 30 minuuttia suorituksen loppumisen jälkeen. Kuormitusmittausten verinäytteistä analysoitiin myös hemoglobiini ja hematokriitti plasmavolyymien muutoksen määrittämistä varten (Dill & Costill 1974). Esimittauksessa otettiin kaksi verinäytettä puolen tunnin välein samaan kellon aikaan kuormitusmittausten kanssa hormonipitoisuuksien vuorokausivaihtelun määrittämiseksi. Näistä ensimmäinen vastasi kuormitusmittauksen ensimmäistä näytettä ja toinen välittömästi suorituksen jälkeen otettavaa näytettä.

Seerumin testosteronin, vapaan testosteronin, kortisolin ja kasvuhormonin pitoisuuden määrittäminen suoritettiin Oulun Yliopistollisen sairaalan kliinisessä laboratoriossa. Hormonipitoisuuksien määrittämistä varten seeruminäytteet säilytettiin -20°C määrittämishetkeen saakka. Seerumin testosteronipitoisuus määritettiin chemiluminescence-menetelmällä ACS:80 analysaattorilla (Chiron Diagnostic). Aiemman tutkimuksen mukaan (Häkkinen ym. 2000) mittausten sensitiivisyys oli 0.42 nmol/l ja variaatiokerroin (CV) 6.7%. Seerumin vapaan testosteronin pitoisuus määritettiin RIA menetelmällä (Diagnostic Products Corp). Mittauksen sensitiivisyys oli 0.52 pmol/l ja CV 3.8%. Seerumin kortisolin pitoisuus määritettiin RIA menetelmällä ja mittausten sensitiivisyys oli 0.05 $\mu\text{mol/l}$ ja CV 4.0%. Kasvuhormonipitoisuus määritettiin RIA menetelmällä (Pharmacia Diagnostic). Mittauksen sensitiivisyys oli 0.2 $\mu\text{g/l}$ ja CV 2.5-5.1%. Oulun Yliopistollisen sairaalan laboratorion (1998) antamat laboratoriotutkimusten viiteväliä (aikuiset miehet, aamulla annetut verinäytteet) testosteronille olivat 9.0-38.0 nmol/l, vapaalle testosteronille 50-140 pmol/l, kortisolille 0.15-0.65 $\mu\text{mol/l}$ ja kasvuhormonille alle 7 $\mu\text{g/l}$.

Laktaatin määrittäminen suoritettiin rinnakkaismäärittämisnäytteenä entsyymaattisesti biokemiallisella Boehringer Mannheimin menetelmällä Hitachi 2000 spektrofotometrillä sormenpääverinäytteestä. Kapillaariputkiin otettu 25 μl :n verimäärä saostettiin koeputkessa, jossa oli 0,5ml jääkylmää perkloorihappoa punasolujen hajottamiseksi ja entsyymaattisten reaktioiden estymiseksi. Näyte pakastettiin -20°C :ssa määrittämishetkeen saakka, jos sitä ei sentrifigoitu heti kymmenen minuutin ajan nopeudella 3500 kierrosta minuutissa. Mää-

ritys suoritettiin supernatantista perustuen entsyymaattiseen reaktioon, jossa muodostuvan NADH:n määrä mitataan spektrofotometrisesti.

9.4. Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen analyysi suoritettiin SPSS 9.0 for Windows –ohjelman avulla. Muuttujien tilastollisessa käsittelyssä käytettiin ajan suhteen GLM varianssianalyysimenetelmää (Repeated Measures). Keskiarvoja verrattiin ensimmäiseen mittaukseen (simple). Kuormitusten välisessä vertailussa käytettiin parittomien otosten T-testiä ilman varianssien yhtä suuruuden oletusta. Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin yksisuuntaisen Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen avulla. Tulokset on esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina. Kuvissa hajonta on esitetty keskiarvon keskivirheenä (SE). Tilastollisen merkitsevyyden kuvaamisessa on käytetty tähtisymbolia seuraavasti: * = $p < .05$, ** = $p < .01$ ja *** = $p < .001$.

10. Tulokset

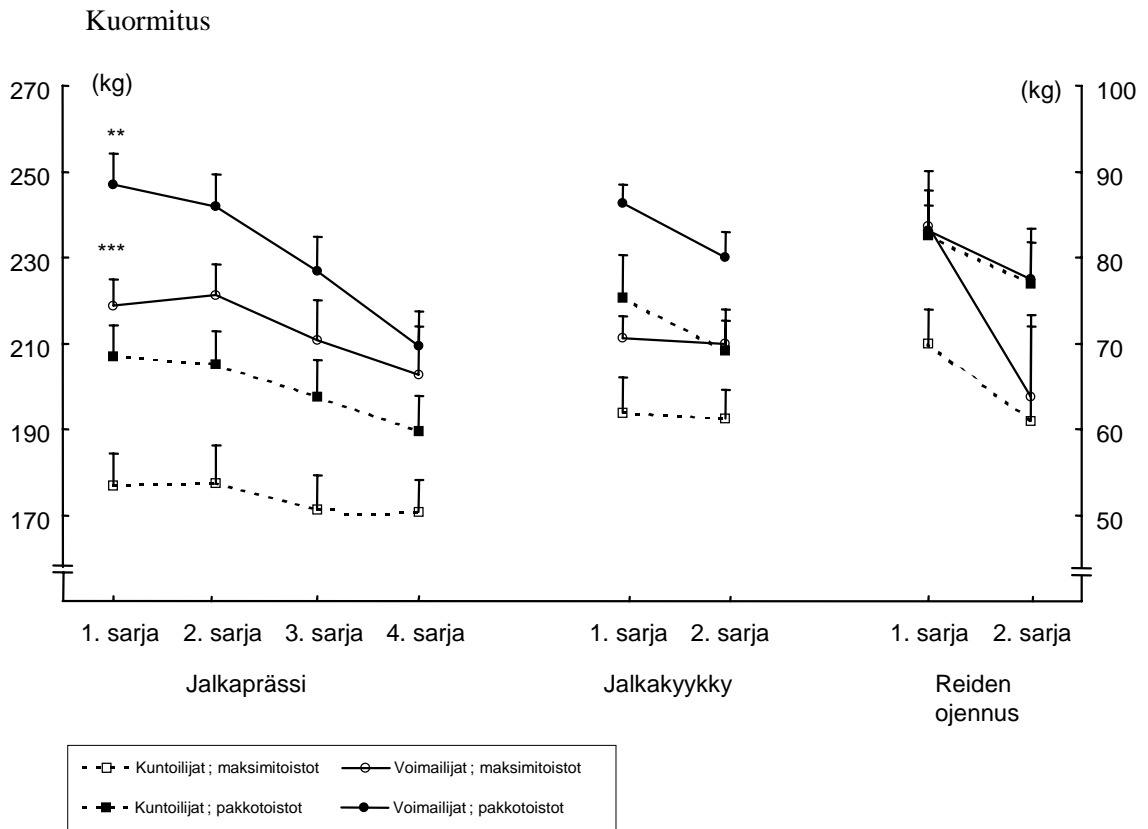
10.1. Kuormitus

Koehenkilöt suorittivat pakkotoistokuormituksen 12 toiston sarjoista avustettuna 6.0 ± 3.2 toistoa. Pakkotoistojen lukumäärä sarjoittain sekä käytetyn avustuksen suuruus toistoittain on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Pakkotoistokuormituksessa suoritettujen avustettujen toistojen lukumäärä sarjoittain ja pakkotoistokuormituksessa käytetty avustus (keskiarvo kilogrammoina) toistoittain voimailija ja kuntoilijaryhmät yhdistettynä.

	Jalkaprässi				Kyykky		Reiden ojennus	
	1. sarja	2. sarja	3. sarja	4. sarja	1. sarja	2. sarja	1. sarja	2. sarja
Avustettujen toistojen lukumäärä	6.7 \pm 3.7	7.6 \pm 3.2	8.2 \pm 2.7	7.3 \pm 3.1	3.5 \pm 2.8	4.7 \pm 2.7	4.8 \pm 2.3	5.1 \pm 2.3
Toisto 1	18.3	20.6	40.7	40.2	5.8	3.6	3.3	10.4
Toisto 2	4.1	4.4	4.6	9.1	0.0	0.0	2.0	2.2
Toisto 3	6.4	5.5	6.1	4.5	0.0	0.0	0.7	1.9
Toisto 4	8.9	6.1	10.4	4.4	3.2	0.0	0.9	1.2
Toisto 5	8.1	14.4	12.3	9.6	1.0	0.0	0.5	1.3
Toisto 6	12.2	11.8	20.0	7.6	2.3	5.3	1.2	2.5
Toisto 7	14.6	17.9	25.0	12.4	8.1	10.2	3.5	3.5
Toisto 8	17.0	26.2	23.6	20.4	11.1	16.8	11.1	11.7
Toisto 9	25.4	27.1	28.2	17.0	17.8	23.3	14.7	18.3
Toisto 10	23.0	33.5	33.9	28.4	20.7	26.5	22.6	27.4
Toisto 11	29.9	31.2	39.1	27.4	24.9	29.9	24.9	23.8
Toisto 12	24.6	35.8	41.5	32.9	26.2	27.5	26.4	28.8

Pakkotoistokuormituksissa jäi totaalisen uupumuksen vuoksi suorittamatta yhteensä 4 toistoa. Maksimitoistokuormituksissa täytyi kesken sarjaa vähentää kuormaa yhteensä kahdeksassa sarjassa, jotta 12 toiston sarja saatiin suoritetuksi. Konsentrisen vaiheen kesto oli keskimäärin 28.4% pitempi pakkotoistoissa (1537 ± 467 ms) verrattuna maksimitoistoihin (1100 ± 257 ms) ($p < .001$). Kaikissa pakkotoistosarjoissa yhteensä käytetty kuorma oli $13.2 \pm 11.2\%$ suurempi ($p < .001$) kuin maksimitoistosarjoissa. Pakkotoistoissa jalkaprässin ensimmäisen sarjan kuorma oli $15.1 \pm 5.8\%$ ($p < .001$) suurempi kuin maksimitoistoissa. Voimailijoiden ensimmäisen jalkaprässisarjan kuorma oli maksimitoistoissa ($p < .001$) ja pakkotoistoissa ($p < .01$) suurempi kuin kuntoilijoilla (kuva 14).



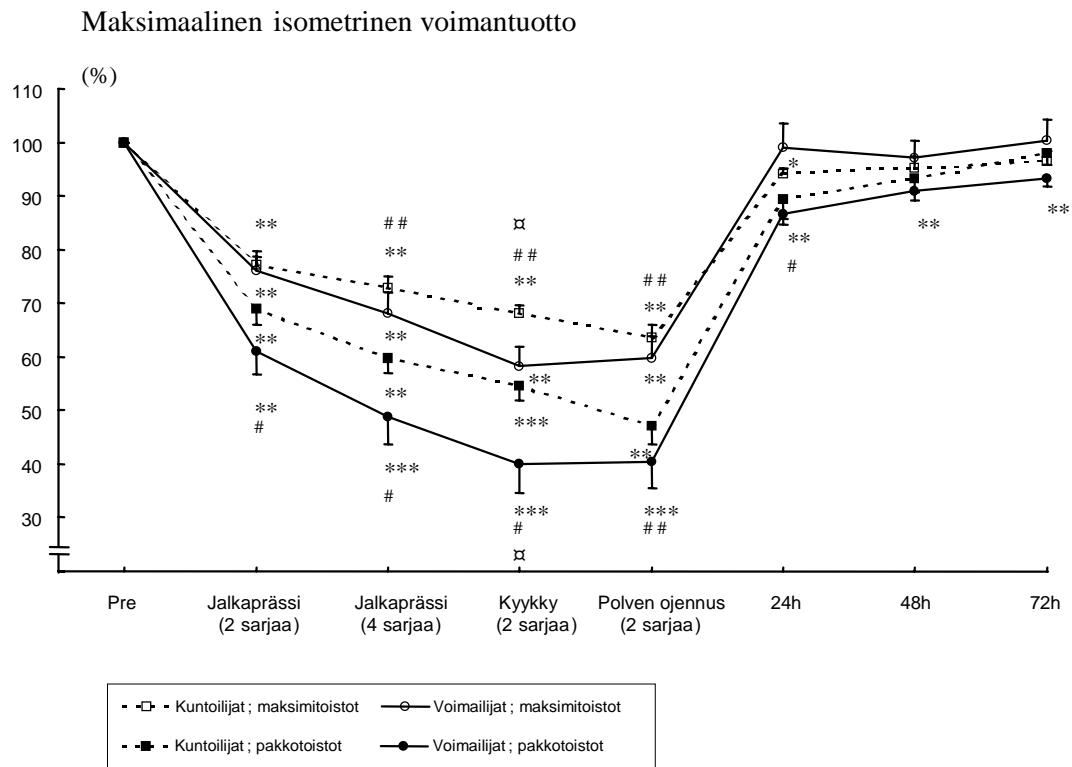
Kuva 14. Koeryhmien käyttämät sarjapainot maksimi- ja pakkotoistoissa sarjoittain. Ensimmäisen jalkaprässisarjan kuorma oli voimailijoilla kuntoilijoita suurempi pakko- ja maksimitoistoissa (*).

Harjoitusvolyymi (kuorma * sarjat * toistot) oli kuntoilijoilla maksimitoistoissa $11498 \pm 1482\text{kg}$ ja pakkotoistoissa $13230 \pm 1648\text{kg}$ ($p < .001$). Voimailijoilla vastaavat arvot olivat maksimitoistoissa $13823 \pm 1315\text{kg}$ ja pakkotoistoissa $15023 \pm 1402\text{kg}$ ($p < .001$). Vähennettäessä pakkotoistokuormituksessa tehdystä työstä avustuksen määrä, ei maksimi- ja pakkotoistokuormituksissa tehdyissä kokonaistyömäärissä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

10.2. Maksimaalinen isometrinen voimantuotto

Maksimaalinen isometrinen voimantuotto laski kuntoilijoilla koko kuormituksen jälkeen maksimitoistokuormituksessa $63.5 \pm 6.9\%$:iin (2875 ± 445 N:sta 1830 ± 356 N:iin, $p < .01$) ja pakkotoistoissa $47.1 \pm 10.1\%$:iin (2834 ± 142 N:sta 1297 ± 328 N:iin, $p < .01$) (kuva 15). Voimailijoilla isometrinen voimantuotto laski koko kuormituksen jälkeen maksimitoistokuormituksessa $59.8 \pm 11.4\%$:iin (3173 ± 459 N:sta 1888 ± 432 N:iin,

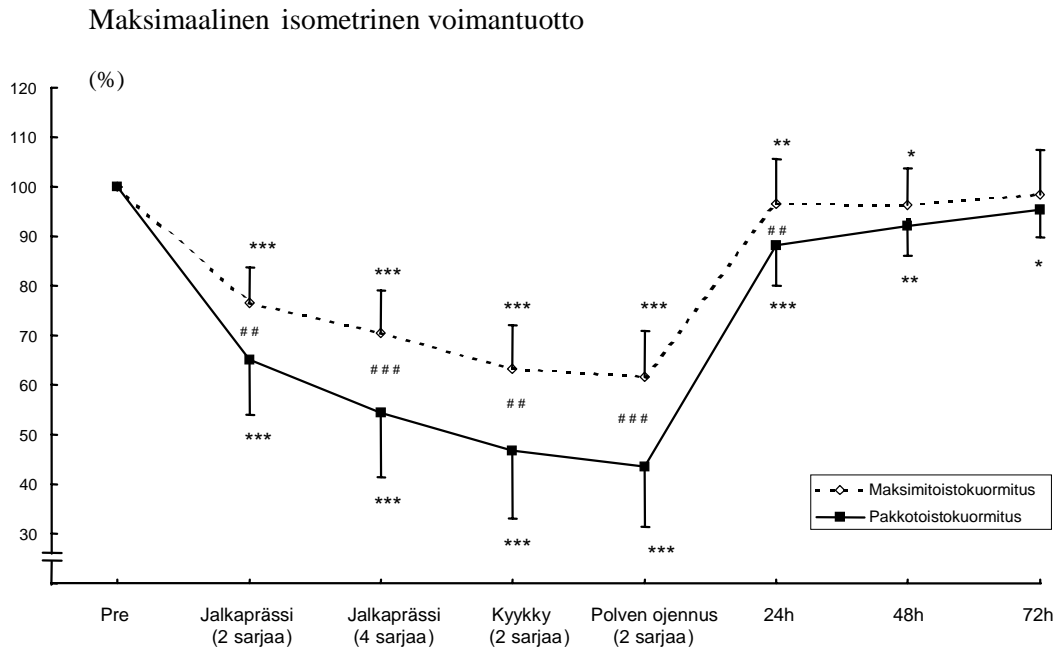
$p < .001$) ja pakkotoistoissa $40,3 \pm 13,6\%$:iin (3228 ± 531 N:sta 1284 ± 409 N:iin, $p < .001$). Molemmilla koeryhmillä oli merkitsevä ero ($p < .01$) koko kuormituksen jälkeen maksimi- ja pakkotoistokuormitusten välillä. Voimailijoiden ja kuntoilijoiden välillä oli merkitsevä ero isometrisessä voimantuotossa jalkakyykyn jälkeen ($p < .05$) maksimi- ja pakkotoistokuormituksissa. Kuormituksesta palautuminen oli hidastunut erityisesti voimailijaryhmässä pre -arvoon verrattuna ($p < .001-.01$)



Kuva 15. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat muutokset maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon voimailijoilla ja kuntoilijoilla. (* = eroa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta, # = tilastollisesti merkitsevä ero saman koeryhmän kuormitusten välillä, □ = tilastollisesti merkitsevä ero koeryhmien välillä samassa kuormituksessa).

Voimailija ja kuntoilija ryhmät yhdistettyinä maksimaalinen isometrinen voimantuotto laski koko kuormituksen jälkeen merkitsevästi maksimitoistoissa $61,7 \pm 9,3\%$:iin (3024 ± 463 N:sta 1859 ± 383 N:iin, $p < .001$) ja pakkotoistoissa $43,5 \pm 12,2\%$:iin (3031 ± 498 N:sta 1290 ± 360 N:iin, $p < .001$) verrattuna pre- arvoon (kuva 16). Voimantuoton aleneminen oli pakkotoistokuormituksessa merkitsevästi suurempaa ($p < .01-.001$) verrattuna maksimitoistokuormitukseen. Pakkotoistokuormituksesta palautuminen oli ensimmäisen vuorokauden kohdalla tilastollisesti merkitsevästi alempana ($p < .01$) kuin mak-

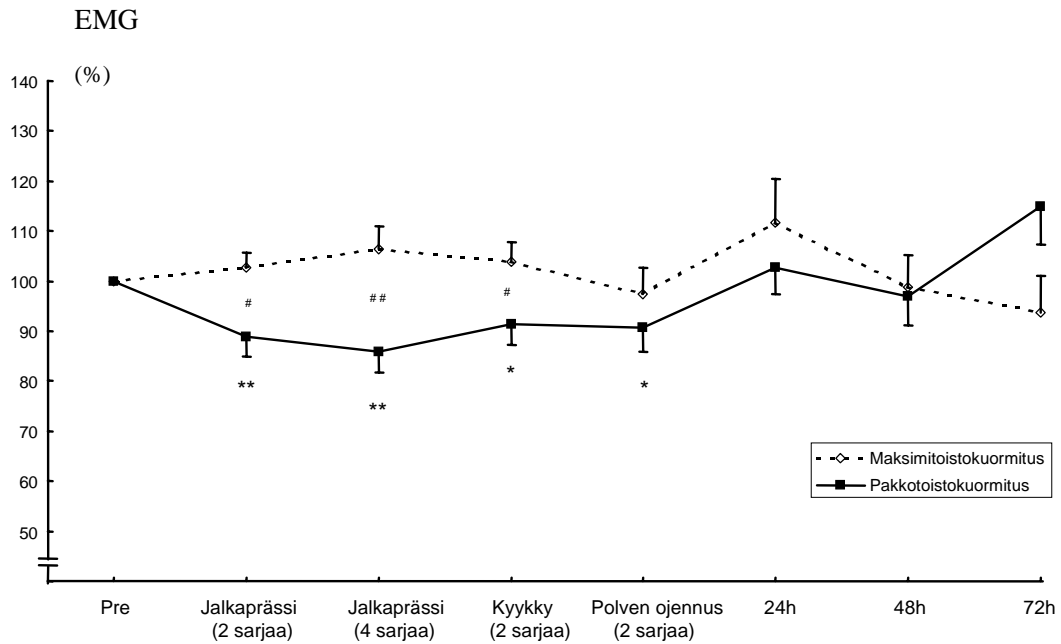
simitoistokuormituksessa ja oli alentunut pre –arvoon nähden vielä kolmantena vuorokautena ($p < .05$).



Kuva 16. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat muutokset maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon (* = eroa tilastollisesti merkitsevästi pre –arvosta, # = tilastollisesti merkitsevä ero kuormitusten välillä).

10.3. Lihasaktiivisuus isometrisen voimantuoton aikana

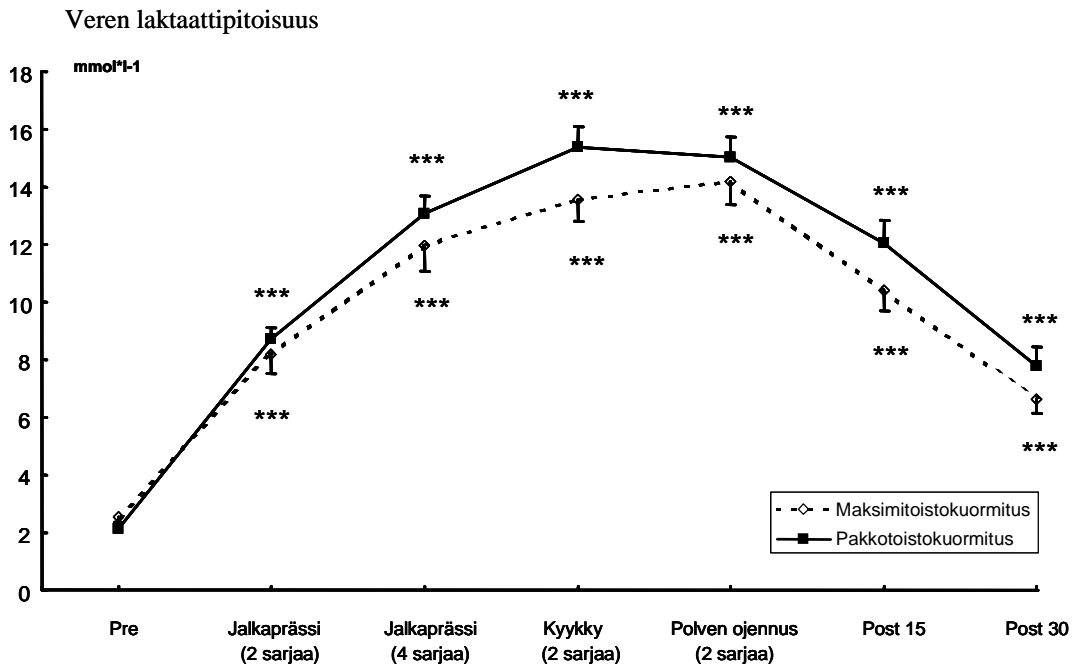
Voimailijoilla lihasaktiivisuudessa isometrisen suorituksen aikana 500-1500ms aikavälillä mitattuna oli merkitsevä ero ($p < .05$) toisen prässisarjan jälkeen maksimi- ja pakkotoistokuormitusten välillä. Koeryhmät yhdistettyinä lihasaktiivisuus laski merkitsevästi ($p < .05-.01$) pakkotoistokuormituksen aikana verrattuna pre –arvoon (kuva 17). Lihasaktiivisuus erosi merkitsevästi ($p < .05-.01$) toisen ja neljännen jalkaprässisarjan sekä jalkakyykkysarjojen jälkeen maksimi- ja pakkotoistokuormitusten välillä. Palautumismittauspäivinä ei lihasaktiivisuudessa ollut tilastollisesti merkitseviä eroja pre –arvoon nähden tai kuormitusmenetelmien välillä.



Kuva 17. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat muutokset maksimaalisen isometrisen voimantuoton aikaiseen lihasaktiivisuuteen (* = eroaa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta, # = tilastollisesti merkitsevä ero kuormitusten välillä).

10.4. Maksimi- ja pakkotoistokuormitusten vaikutukset veren laktaattipitoisuuteen

Veren laktaattipitoisuus kohosi merkitsevästi ($p < .01$ -.001) voimailijoilla ja kuntoilijoilla maksimi- ja pakkotoistokuormitusten jälkeen (kuva 18). Koeryhmien tai kuormitusmenetelmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Koeryhmät yhdistettyinä veren laktaattipitoisuus nousi merkitsevästi ($p < .001$) kaikissa mittauspisteissä alkuarvoon nähden sekä maksimi- että pakkotoistokuormituksessa. Kuormitusmenetelmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Laktaattipitoisuuden ja voimantuoton muutokset kuormituksen jälkeen korreloivat sekä maksimitoisto- ($r = -.609$, $p < .01$, $n = 16$) että pakkotoistokuormituksessa ($r = -.597$, $p < .05$, $n = 14$).



Kuva 18. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat muutokset maksimaaliseen isometriseen voimantuottoon. Kaikki mittauspisteet molemmissa kuormituksissa olivat merkitsevästi ($p < .001$) kohonneet pre-arvoon verrattuna.

10.5. Maksimi- ja pakkotoistokuormitusten aiheuttamat välittömät muutokset seerumin hormonipitoisuuksiin

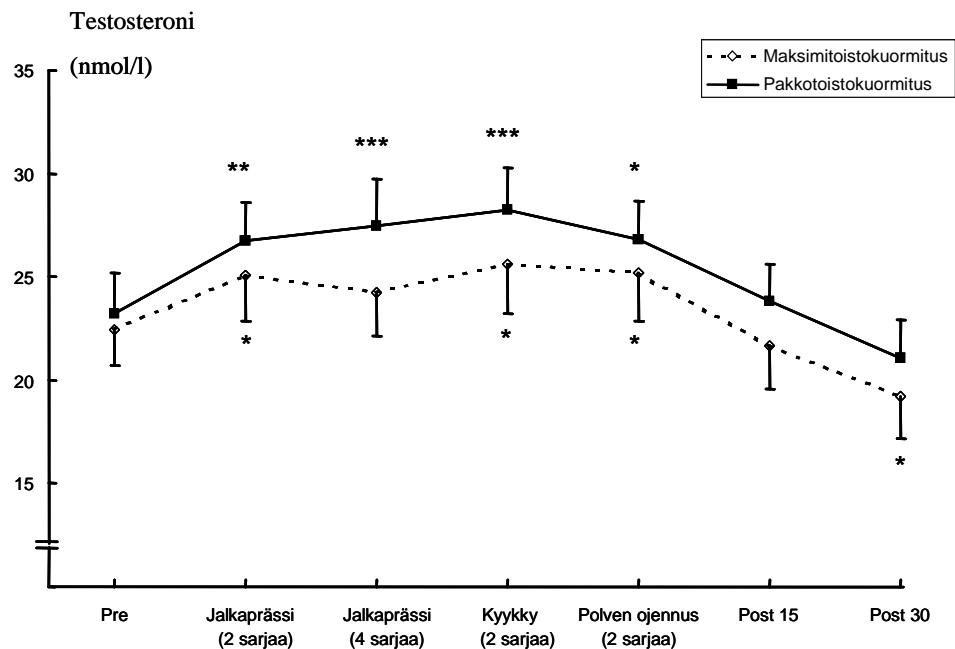
Kaikkien koehenkilöiden seerumin hormonipitoisuudet pre –mittauksissa olivat viiterajojen sisällä lukuun ottamatta yhden koehenkilön testosteronipitoisuutta. Kuormitusten aiheuttamissa hormonivasteissa ei ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, joten maksimi- ja pakkotoistokuormitusten akuutit hormonivasteet esitetään molemmat tutkimusryhmät yhdistettyinä. Puolen tunnin välein kuormituksen kanssa samaan kelloaikaan otetuissa kontrolliverinäytteissä ei hormonipitoisuuksissa ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia (taulukko 3). Molemmilla koeryhmillä hormonipitoisuudet nousivat sekä maksimi- että pakkotoistokuormitusten vaikutuksesta tilastollisesti merkitsevästi lukuun ottamatta kuntoilijoiden testosteronipitoisuuksia maksimitoistokuormituksessa. Plasmavolyymi laski kuormitusten jälkeen ($p < .001$), mutta kuormitusten välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja.

Taulukko 3. Esimittauksen yhteydessä kuormitusmittauksen kanssa samaan kellonaikaan puolentunnin välein otetut kontrolliverinäytteet

Hormoni	Näyte 1	Näyte 2	p-arvo
Testosteroni (nmol/l)	23.5 ± 9.5	22.1 ± 7.0	0.31
Vapaa testosteroni (pmol/l)	51.4 ± 18.8	54.9 ± 21.9	0.80
Kortisoli (µmol/l)	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.61
Kasvuhormoni (µg/l)	0.4 ± 1.2	0.3 ± 0.9	0.92

10.5.1. Testosteroni

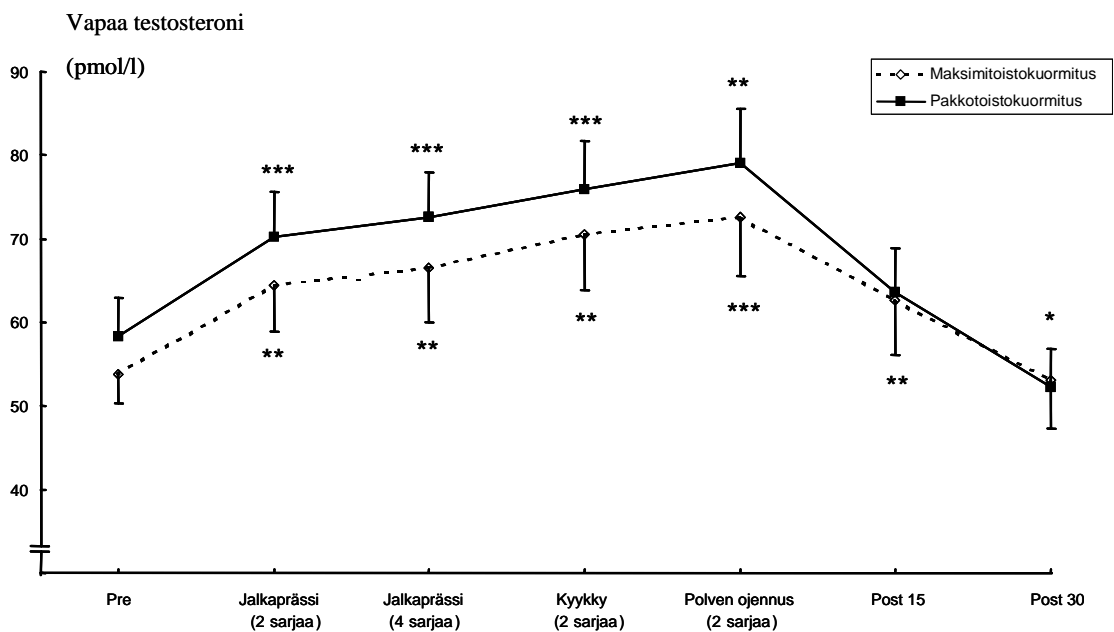
Seerumin testosteronipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ($p < .05$) ja pakkotoistokuormituksessa ($p < .05-.001$) (kuva 19). Maksimitoistokuormituksen jälkeen testosteronipitoisuus laski alle lähtötason ($p < .05$, post 30). Kuormitusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.



Kuva 19. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat seerumin testosteronipitoisuuden muutokset (* = eroa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta).

10.5.2. Vapaa testosteroni

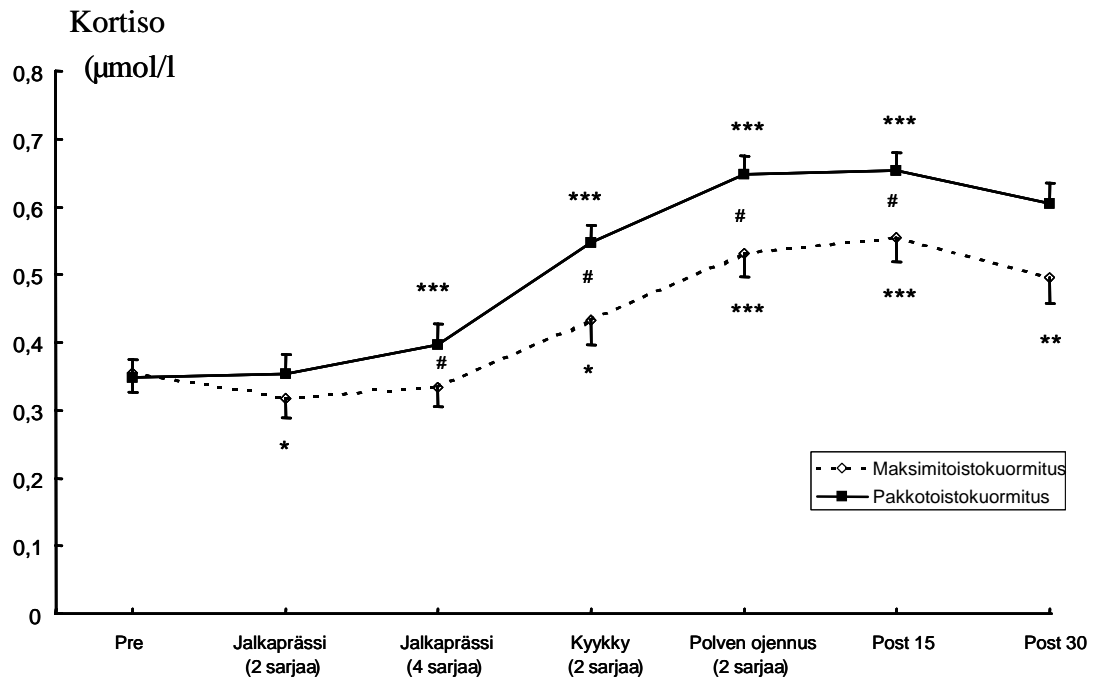
Seerumin vapaa testosteronipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ja pakkotoistokuormituksessa ($p < .01-.001$) (kuva 20). Maksimitoistokuormituksen jälkeen vapaa testosteronipitoisuus laski alle lähtötason ($p < .05$, post 30). Kuormitusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Kokonaistestosteronin ja vapaan testosteronin muutokset kuormituksen jälkeen korreloivat sekä maksimitoisto- ($r = .691$, $p < .01$, $n = 16$) että pakkotoistokuormituksessa ($r = .624$, $p < .01$, $n = 16$).



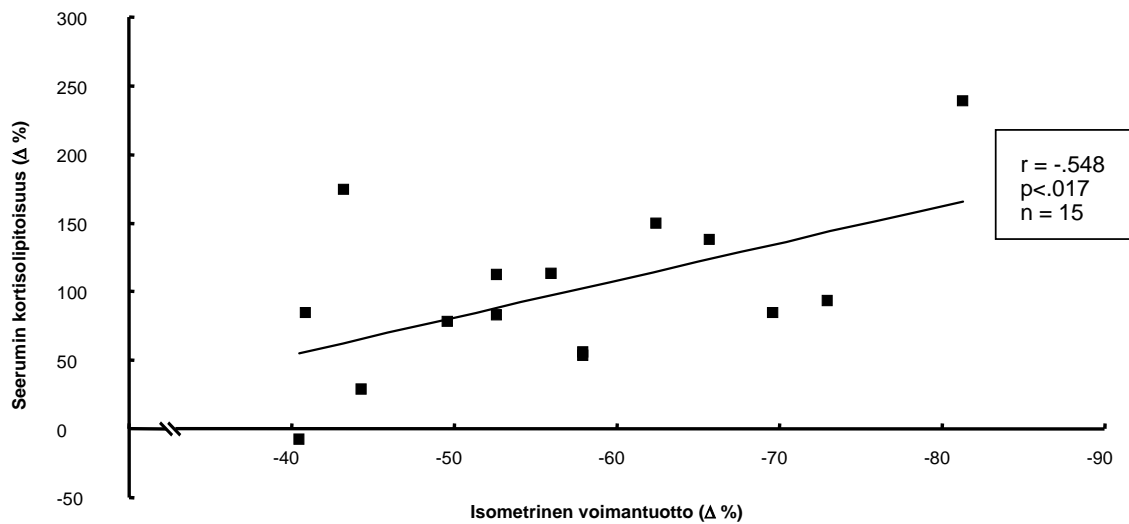
Kuva 20. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat seerumin vapaan testosteronipitoisuuden muutokset (* = eroa tilastollisesti merkitsevästi pre-arvosta).

10.5.3. Kortisoli

Seerumin kortisolipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ($p < .05-.001$) ja pakkotoistokuormituksessa ($p < .001$) (kuva 21). Maksimitoistokuormituksessa kortisolipitoisuus laski alle lähtötason ($p < .05$) kahden jalkaprässisarjan jälkeen. Kortisolipitoisuus oli merkitsevästi ($p < .05$) korkeampi pakkotoistokuormituksessa kyykyn, reisiuojennuksen sekä 15 ja 30 minuutin palautumisen jälkeen. Pakkotoistokuormituksessa kortisolipitoisuuden ja isometrisen voimantuoton muutokset korreloivat keskenään ($r = -.548$, $p < .05$, $n = 15$) (kuva 22).



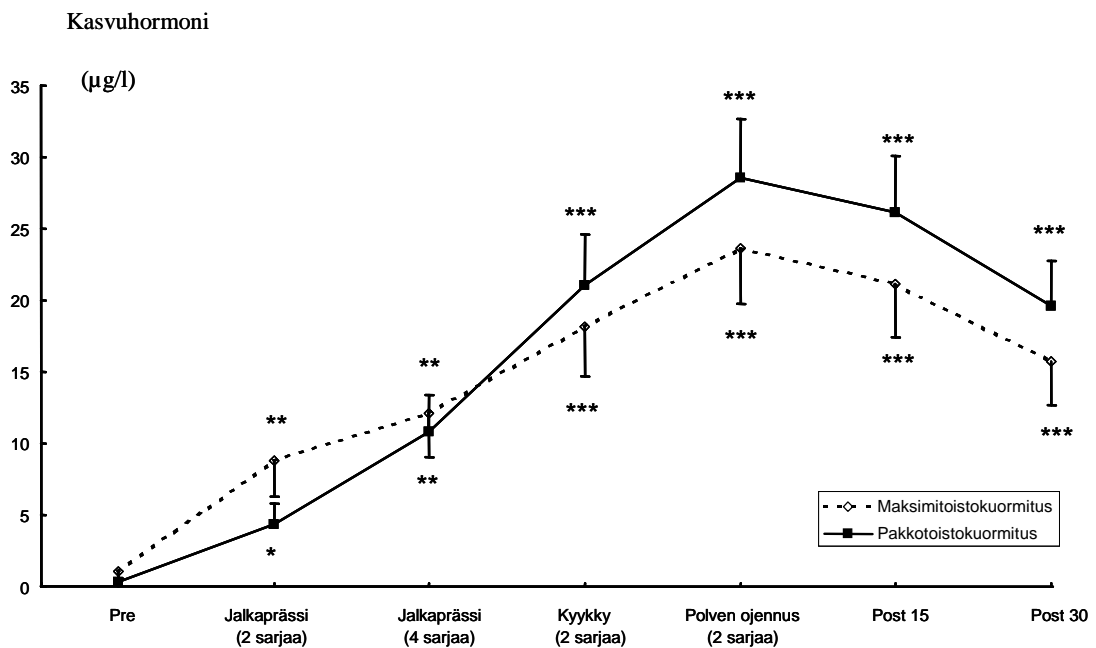
Kuva 21. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat seerumin kortisolipitoisuuden muutokset (* = eroaa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta, # = tilastollisesti merkitsevä ero kuormitusten välillä).



Kuva 22. Maksimaalisen isometrisen voimantuoton alenemisen ja kortisolipitoisuuden muutoksen yhteys ($r = -.548$) pakkotoistokuormituksen jälkeen.

10.5.4. Kasvuhormoni

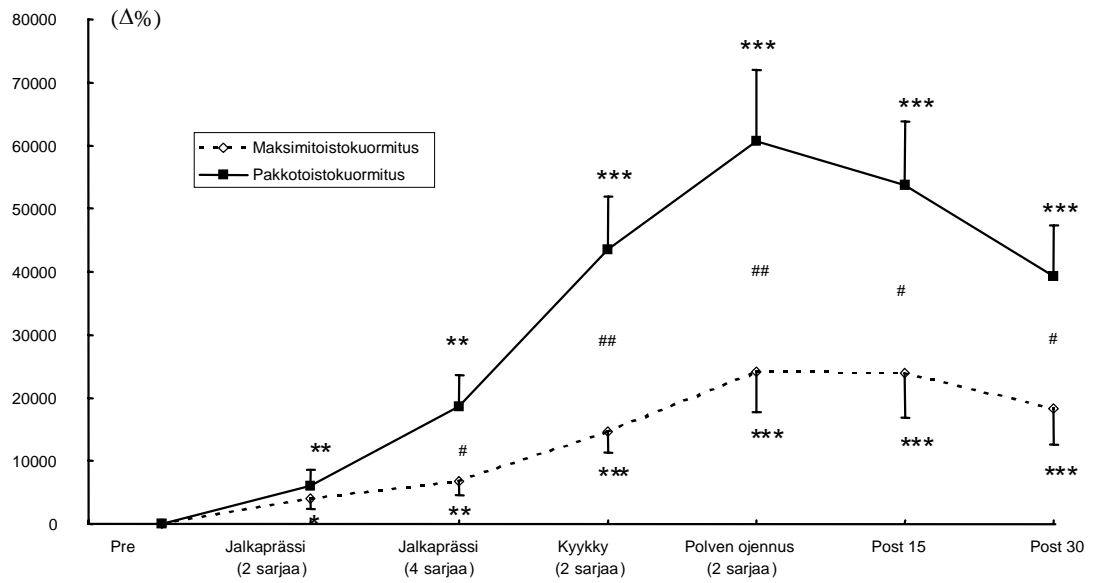
Seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi merkitsevästi maksimi- ($p < .01-.001$) ja pakko-
toistokuormituksessa ($p < .05-.001$) (kuva 23). Kuormitusten välillä ei ollut tilastollisesti
merkitseviä eroja. Seerumin kasvuhormoni- ja laktaattipitoisuudet korreloivat maksimi-
toisto- ($r = .663$, $p < .01$, $n = 16$) ja pakkotoistokuormituksen jälkeen ($r = .553$, $p < .05$, n
 $= 15$).



Kuva 23. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat seerumin kasvuhormonipitoisuu-
den muutokset (* = eroa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta).

Pakkotoistokuormituksessa kasvuhormonipitoisuuden muutosprosentti oli neljännän
jalkaprässisarjan, jalkakyykyn, reisojennuksen sekä 15 ja 30 minuutin palautumisen
jälkeen merkitsevästi ($p < .05-.01$) korkeammalla kuin maksimitoistokuormituksessa
(kuva 24).

Kasvuhormoni



Kuva 24. Maksimi- ja pakkotoistokuormituksen aiheuttamat seerumin suhteellisen kasvuhormonipitoisuuden muutokset (* = eroaa tilastollisesti merkitsevästi pre -arvosta, # = tilastollisesti merkitsevä ero kuormitusten välillä).

11. Pohdinta

Molemmat tutkimuksessa käytetyt kuormitusmenetelmät sekä voimailijoilla että kuntoilijoilla johtivat varsin suureen isometrisen voimantuoton alenemiseen sekä veren laktaatti- ja seerumin hormonipitoisuuksien kohoamiseen. Tutkimustulokset osoittavat pakkotoistokuormituksen aiheuttavan suuremman maksimaalisen isometrisen voimantuoton alenemisen ja hitaamman palautumisen harjoituksen jälkeen verrattuna maksimitoistokuormitukseen. Lisäksi isometrisen voimantuoton aikainen lihasaktiivisuus oli tilastollisesti merkitsevästi alentunut pakkotoistokuormituksen aikana verrattuna lähtöarvoonsa ja maksimitoistokuormitukseen. Seerumin kortisoli- ja kasvuhormonipitoisuudet kohosivat tilastollisesti merkitsevästi enemmän pakkotoistokuormituksessa. Testosteronin ja vapaan testosteronin sekä laktaatin pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kuormitusmenetelmien välillä.

Aiempiä tutkimuksia pakkotoistomenetelmän vaikutuksesta akuuttiin harjoitusvasteeseen ei ole tehty. Myöskään voimaharjoituksen aiheuttamaa välitöntä hormonaalista vastetta ei ole aiemmin tutkittu, kun kuormitusmallina on ollut useita eri harjoitusliikkeitä samalle lihasryhmälle. Tässä tutkimuksessa käytetty kuormitusmalli kuvastaa harjoitusliike-, sarja- ja toistomäärältään todellista bodaustyyppistä reiden etuosan lihasten voimaharjoitusta. Jokaisen sarjan kuorma pyrittiin asettamaan siten, että sarja suoritettiin aina toistomaksimiin asti ja sarja päättyi tilapäiseen lihasuupumukseen. Siten kuormitukset toteutettiin ylikuormitusperiaatteen mukaisesti. Pakkotoistoissa käytetty kuorma oli molemmilla ryhmillä suurempi varsinkin kuormituksen alussa verrattuna maksimitoistokuormitukseen. Väsymyksen myötä kuorman määrän ero maksimi- ja pakkotoistokuormituksen välillä väheni. Vähennettäessä pakkotoistoissa käytetyistä sarjapainoista avustuksen määrä, ei kuormituksissa tehdyn kokonaistyön määrä eronnut tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään mahdollista harjoitustaustan vaikutusta mitattaviin muuttujiin. Tutkimusjoukoksi valittiin nuoret miehet, koska heidän hormonivasteensa voimaharjoitukseen on aiempien tutkimusten mukaan suurta ja he kykenevät kuormitusmittauksessa vaadittavaan aggressiiviseen suoritukseen. Koeryhmien väliset erot mitattavissa muuttujissa olivat kuitenkin vähäisiä, vaikkakin voimailijaryh-

män koehenkilöt olivat painavampia, heidän vastus lateralis –lihas oli paksumpi ja oikean alaraajan ojentajalihasten dynaaminen maksimivoima oli suurempi. Akuuteissa hormonivasteissa ja ennen kuormitusta mitatussa maksimaalisessa isometrisessä voimantuotossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, joten tutkimuksen tuloksia käsiteltiin myös koeryhmät yhdistettyinä. Isometrinen voimantuotto oli ainoa muuttuja, missä kuormituksen myötä voimailija- ja kuntoilijaryhmien välillä oli havaittavissa tilastollisesti merkitseviä eroja. Vähäiseen ryhmien väliseen eroon on lähinnä syynä kuntoilijaryhmän liikuntaa harrastavien koehenkilöiden hyvä lihaskunto. Toisaalta voimailijaryhmän koehenkilöt eivät kaikki olleet puhtaasti voimaurheilijoita, vaan osa heistä harrasti kuntosaliharjoittelun lisäksi myös muuta liikuntaa.

Tutkimuksessa käytetyn kuormitusmallin aiheuttamat muutokset voimantuotossa, lihasaktiivisuudessa, laktaatti- ja hormonipitoisuuksissa vastasivat aiempia vastaavanlaisia kuormituksia sisältäneitä tutkimuksia (Kraemer ym. 1987, 1990, 1998a ja 1999, Häkkinen ym. 1987b ja 1988b, Häkkinen & Pakarinen 1993 ja 1995). Molemmat kuormitusmallit johtivat merkittävään maksimaalisen isometrisen voimantuoton alenemiseen. Voimantuoton heikkeneminen kuormituksen myötä voi johtua keskushermoston heikentyneestä kyvystä rekrytoida erityisesti nopeita motorisia yksiköitä suurella syttymisfrekvenssillä (Häkkinen 1990 s. 34). Selkein osoitus pakkotoistojen kuormittavuudesta oli suurempi harjoituksen jälkeinen isometrisen voimantuoton aleneminen verrattuna maksimitoistoihin. Tämä voi johtua maitohapon kertymisestä työskenteleeviin lihaksiin ja/tai keskushermoston alentuneesta kyvystä aktivoida erityisesti nopeita motorisia yksiköitä.

EMG kuvaa keskushermoston kykyä aktivoida lihaksen motorisia yksiköitä ja sitä voidaan käyttää kuvaamaan mitattavan lihaksen aktivoitumistasoa ja/tai –määrää sekä aktivoitumisen nopeutta. Maksimivoimaharjoituksen välitön vaikutus on hermostollisen kapasiteetin lasku kuormitettujen lihasten maksimaaliseen tahdonalaiseen aktivointiin harjoituksen aiheuttaman lihasväsymyksen vuoksi. Tämä voidaan havaita kuormitettujen lihasten maksimaalisen EMG:n vähenemisenä harjoituksen päätyttyä. Tällöin väsyminen tapahtuu pääasiassa keskushermostossa, joten kyseessä on ns. hermostollinen väsyminen. (Häkkinen 1990 s. 27, 45-50.) Voimantuoton ja lihasaktivaation tuloksien perusteella voimantuoton aleneminen ei maksimitoistokuormituksen yhteydessä johdu kovinkaan paljon lihasaktivaation heikentymisestä, vaan on perifeerisen, lihastason vä-

symyksen seurausta. Pakkotoistokuormitus sen sijaan aiheutti perifeerisen väsymyksen lisäksi myös hermostollisen harjoitusvasteen ja johti keskushermostoperäiseen lihasväsymykseen, mikä näkyi EMG laskuna isometrisen lihastyön aikana kuormitetuissa lihaksissa. Mahdollisista neuraalisten ohjausmekanismien vaikutuksista suorituskykyyn ei tämän tutkimuksen perusteella tiedetä. Isometrisen voimantuoton ohella mitattiin kuormitusten vaikutusta voimantuotto-ominaisuuksiin myös kevennyshypyn avulla (julkaisematon tutkimustieto). Räjähävää voimantuottoa mittaava kevennyshyppy ja sen konsentrisen vaiheen aikainen lihasaktiivisuus tuki isometrisessä voimantuotossa ja sen aikaisessa lihasaktiivisuudessa havaittuja tutkimustuloksia.

Voimantuottokyvyn heikkenemiseen voi vaikuttaa myös pakkotoistoissa korostuva eksentrisen lihastyön määrä. Ulkopuolisen avustuksen myötä kuormitus voi myös muuttua muuttuvan vastuksen tai isokineettisen periaatteen mukaiseksi lihastyöksi. Eksentrisen lihastyön korostuminen pakkotoistojen myötä koskee tässä tutkimuksessa lähinnä vain jalkakyykkyä, jossa koehenkilö ei voi uupuessaan pudottaa painoa alas vapaasti johtuen vaarasta jäädä ”painojen alle”. Tutkimuksessa käytetyissä jalkaprässissä ja polven ojennuslaitteessa tätä vaaraa ei ole. Jalkaprässi ja polven ojennuslaite olivat muuttuvan vastuksen periaatteella toimivia, mikä voi vähentää eroa maksimi- ja pakkotoistomenetelmän välillä.

Voimantuottokyvyn heikkeneminen voi johtua myös happamuuden lisääntymisestä työskentelevissä lihaksissa (McArdle ym. 1991 s. 377, Fleck & Kraemer 1997 s. 55, Green 1997). Tätä osoittaa veren laktaattipitoisuuden nousu kuormituksen myötä, joka korreloi voimantuoton alenemisen suhteellisen muutoksen kanssa. Kuormituksessa sarjojen kesto oli noin 30-45 sekuntia, jolloin anaerobinen glykolyysi korostuu energian lähteenä. Laktaattipitoisuus nousi molemmissa kuormituksissa erittäin korkealle. Pakkotoistomenetelmässä maitohapon muodostus oli suurempaa kuin maksimitoistomenetelmässä, joskin ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tämä voi johtua suuremmasta kuormituksesta työskentelevissä lihaksissa, jolloin niiden verenkierto heikkenee ja maitohappoa keräytyy lihaksiin. Alentuneen pH:n ja laktaatin vaikutuksesta työskentelevien lihasten supistuvan koneiston toiminta häiriintyy ja energiavarastojen täytyminen heikkenee. Pakkotoistoissa maitohapon tuotto voi olla lisääntynyt työskentelevissä lihaksissa johtuen suuremmasta harjoitusvolyymista (kuorma * sarjat * toistot) lisäten anaerobisen energiantuoton osuutta. Tätä oletusta tukee suurempi syketaso välittömästi sarjan

jälkeen ja sarjapalautusten aikana sekä suurempi subjektiivinen kuormittavuus (Borgin –asteikon avulla) pakkotoistoissa kuin maksimitoistoissa (tutkimustuloksia ei julkaistu). Pakkotoistojen suurempi laktaattipitoisuus voi johtua myös työajan kestosta. Koehenkilöt saivat suorittaa toistot haluamaansa tahtiin, jolloin konsentrisen vaiheen kesto oli pitempi pakkotoistoissa verrattuna maksimitoistoihin johtuen suuremmasta kuormasta ja uupumuksesta. Ruokavalion mahdollinen vaikutus maitohapon muodostukseen ja voimantuottokykyyn pyrittiin vakioimaan kontrolloimalla ruokavalio kuormitusmittauspäivänä ja kaksi päivää ennen kuormitusmittauksia.

Lihasvauriota ja sen esiintyvyyttä on tutkittu varsinkin eksentrisen lihastyön yhteydessä. Voimaharjoittelu sisältää myös voimakasta eksentristä lihastyötä, josta seuraa oletettavasti jonkin asteinen lihasvaurio. Siten lihasvaurion asteen mittaamisella voidaan mahdollisesti arvioida sopivaa harjoitustiheyttä. Voimaharjoittelu voi aiheuttaa lihasvaurioita, jotka voivat ilmetä lihaskipuna ja/tai toiminnan vajauksena. Lihasvaurion astetta tutkimuksissa voidaan arvioida kliinisten (esimerkiksi kipujana), morfologisten (vaurioalueen kuvaus), biokemiallisten (lihasproteiinit veressä) ja kuormitusfysiologisten (voimantuotto-ominaisuudet, nivelten liikelaajuus) mittareiden avulla (Warren ym. 1999). Tässä tutkimuksessa lihasvauriota ja voimaharjoituksesta palautumista mitattiin maksimaalisen isometrisen voimantuoton ja sen aikaisen lihasaktiivisuuden avulla. Lisäksi lihasvauriota mitattiin lihasarkuuden, lihaksen turvotuksen ja seerumin kreatiini-entsyymi -aktiivisuuden (CK) avulla (tutkimustuloksia ei julkaistu). Harjoituksen aiheuttamaa lihasarkuutta arvioitiin kipujana –mittarin avulla, jota on yleisesti käytetty subjektiivisen kiputuntemuksen mittaajana. Jäykkyys ja turvotus ovat yleisiä tuntemuksia heti voimaharjoituksen jälkeen ja harjoituksen kuormittavuudesta riippuen muutaman seuraavan päivän ajan. Välitön turvotus johtuu lihaksen nestetasapainon muutoksesta ja veriplasman pakkautumisesta työskenteleviin lihaksiin. Myöhemmin turvotus voi liittyä viivästyneeseen lihaskipuun ja johtua tulehdusreaktiosta kuormitetussa lihaksessa. CK on solukalvoilla esiintyvä entsyymi ja sen pitoisuus seerumissa edustaa soluvaurioiden esiintymistä. (Ebbeling & Clarkson 1989.) Lihaksen paksuus (turvotus) kasvoi välittömästi harjoituksen jälkeen ja palautui lähtötasolleen vuorokauden kuluessa (tutkimustuloksia ei julkaistu). Lihasarkeus ja CK kohosivat molempien kuormitusten seurauksena, mutta tulokset eivät eronneet merkittävästi maksimi- ja pakkotoistokuormituksen välillä kuormitusmittausten jälkeisinä kolmena päivänä.

Molemmat kuormitusmallit johtivat suureen välittömään testosteroni-, vapaan testosteroni-, kortisoli- ja kasvuhormonipitoisuuden nousuun. Kortisoli- ja kasvuhormonipitoisuuden kasvu oli pakkotoistokuormituksessa suurempaa kuin maksimitoistokuormituksessa. Voimailijoiden ja kuntoilijoiden välillä ei hormonivasteissa ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Seerumin hormonipitoisuuksista riippumatta harjoitustausta voi vaikuttaa hormonitoimintaan tehostamalla hormonireseptorien sitomiskykyä (Kraemer 1999). Hormonipitoisuudet olivat ennen kuormitusta normaalien viitearvojen sisällä ja kuormitusten aiheuttamat seerumin hormonipitoisuuksien muutokset vastasivat aiempia samankaltaista kuormitusta käyttäneitä tutkimuksia (Kraemer ym. 1987, 1990, 1998a ja 1999, Häkkinen ym. 1987b ja 1988b, Häkkinen & Pakarinen 1993 ja 1995). Kuormitusmittausten kanssa samaan vuorokauden aikaan otettujen kontrolliverinäytteiden arvot eivät eronneet ennen kuormitusta otettujen näytteiden arvoista, eikä puolen tunnin välein otettujen kontrolliverinäytteiden välillä tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Ruokavalion vaikutusta hormonipitoisuuksiin pyrittiin ehkäisemään vakioimalla ruokavalio kaksi päivää ennen molempia kuormitusmittauksia ja kuormitusmittauspäivinä. Plasmavolyymien muutoksen vaikutus hormonipitoisuuksiin kuormitusmittausten välillä ehkäistiin sallimalla koehenkilön juoda molempien kuormitusmittausten aikana vain rajoitetusti. Energiaravintoaineiden nauttimista ei sallittu välittömästi ennen kuormitusmittauksia eikä sen aikana insuliinin erityksen lisääntymisen välttämiseksi.

Seerumin testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuudet kohosivat merkitsevästi sekä maksimi- että pakkotoistokuormituksen jälkeen. Testosteronipitoisuuden nousu oli yleisesti ottaen suurempi pakkotoistokuormituksessa, mutta kuormitusten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Vapaan testosteronin pitoisuus kohosi molemmissa kuormituksissa samalla tavoin ja testosteronin ja vapaan testosteronin pitoisuuden nousu korreloi toisiinsa nähden. Vapaan testosteronin osuus edustaa elimistön bioaktiivisen testosteronin määrää. Vapaan testosteronin määrän nousu mahdollistaa suuremman todennäköisyyden hormonimolekyylin ja solujen androgeenireseptorien väliseen kontaktiin ja luo siten edellytyksiä solun toiminnan muuttumiselle anabolisemmaksi. Toisaalta lisääntynyt veren hormonipitoisuus voi vaikuttaa reseptorien toimintaan ja johtaa kudosten alentuneeseen testosteronin käyttöön (Kraemer ym. 1990). Toisaalta androgeenireseptorien määrän on myös havaittu lisääntyvän testosteronin lisääntymisen myötä (Doumit ym. 1996). Joka tapauksessa voidaan olettaa elimistön anabolisten hormoni-

en, kuten testosteronin, lisääntymisen lyhyeksikin aikaa voimaharjoituksen myötä edistävän elimistön anabolista tilaa.

Testosteroni lisää voimantuottoa vaikuttamalla neurotransmittereihin. Se myös lisää proteiinisynteesiä. Testosteronin erittymisen lisääntyminen voimaharjoituksen myötä voi johtua kivesten verenkierron vilkastumisesta, sympaattisen hermoston aktiivisuudesta, laktaatin ja/tai LH:n vaikutuksesta. Myös poistuman määrän väheneminen sekä plasmavolyymien aleneminen voivat selittää verenkierron hormonimäärän kasvua. Plasmavolyymien muutoksissa ei ollut havaittavissa ryhmien tai kuormitusten välillä tilastollisesti merkitseviä eroja (julkaisematon tutkimustulos). Tämän tutkimuksen perusteella seerumin testosteronipitoisuuden nousun syitä ei tiedetä, mutta kirjallisuuden perusteella merkittävimpiä ovat kivesten verenkiertoon liittyvät tekijät. Testosteronipitoisuus laski odotetusti alle lähtötason puolen tunnin kuluessa, mikä johtunee testosteronipitoisuuden nousun aiheuttamasta kivesten heikentyneestä LH vasteesta. Mielenkiintoinen havainto tutkimuksessa oli seerumin testosteronipitoisuuden kääntyminen laskusuuntaan jo jalkakyykyn jälkeen erityisesti pakkotoistokuormituksessa. Testosteronipitoisuuden aleneminen jalkakyykyn ja reisojennuksen välillä ei pakkotoistokuormituksessa kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää. Testosteronipitoisuuden aleneminen voi johtua pienemmästä työskentelevän lihasmassan määrästä reisojennus liikkeessä, testosteronin tuottomekanismien pettämisestä kovan kuormituksen vuoksi, veren laktaattipitoisuuden vähenemisestä ja/tai poistuman lisääntymisestä maksan kautta. Kokonaistestosteronipitoisuudesta poiketen vapaan testosteronin pitoisuus jatkoi nousuaan harjoituksen loppuun asti, mikä voi olla osoituksena elimistön kompensaatiomekanismista suuren kuormituksen aiheuttamaa stressiä vastaan.

Kortisoli vaikuttaa muun muassa aminohappojen ja hiilihydraattien aineenvaihduntaan. Se tehostaa glukoneogeneesiä ja lisää proteiinien kierrätystä. Tässä mielessä voimaharjoituksen aiheuttamaa välitöntä kortisolivastetta voidaan pitää elimistön anabolista tilaa tukevana. Toisaalta harjoituksen aikaan saama kortisolipitoisuuden nousu voi vaikuttaa testosteronipitoisuuteen inhiboimalla GnRH:n eritystä (MacAdams ym. 1986) ja/tai ACTH voi kilpailla LH:n kanssa Leydigin solujen reseptoreista (Beitins ym. 1973). Seerumin kortisolipitoisuus nousi sekä maksimitettä pakkotoistokuormituksen myötä. Pakkotoistokuormituksessa kortisolipitoisuuden nousu oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa kuin maksimitoistokuormituksessa. Kortisolipitoisuus lähti nousuun pakkotois-

tokuormituksessa neljännen jalkaprässisarjan jälkeen ja maksimitoistokuormituksessa vasta jalkakyykyn jälkeen, jolloin ilmeisesti ylittyi kortisoliresponssiin johtava kynnystaso. Kortisolipitoisuuden nousu voi johtua harjoituksen aiheuttaman glykolyyttisen vaatimuksen, katekoliamiinien stimuloivan vaikutuksen ja/tai lihastyön neuraalisen ohjauksen seurauksena. Tutkimuksessa havaittu mielenkiintoinen löydös isometrisen voimantuoton alenemisen ja kortisolipitoisuuden muutoksen yhteydestä pakkotoistokuormituksessa tukee osaltaan olettamusta lihastyön vaikutuksesta voimaharjoituksen aiheuttamaan akuuttiin kortisolivasteeseen. Seerumin kortisolipitoisuuteen vaikuttavat useat eri tekijät (Viru ym. 1999). Näitä tekijöitä pyrittiin ehkäisemään ajoittamalla kuormitusmittaukset samaan vuorokauden aikaan ja kontrolloimalla koehenkilöiden ravitsemuksellista tilaa ennen kuormitusmittauksia.

Kasvuhormoni vaikuttaa lihassoluun anabolisesti lisäämällä aminohappojen kuljetusta solun sisälle ja proteiinisynteesiä. Kasvuhormonia erittyy runsaasti voimakastehoisen harjoituksen myötä. Tässä tutkimuksessa seerumin kasvuhormonipitoisuus nousi merkittävästi molempien kuormitusten jälkeen ja huippuarvot nousivat muihin voimaharjoitustutkimuksiin nähden erittäin korkealle. Kasvuhormonipitoisuuden muutosprosentti oli tilastollisesti merkittävästi suurempi pakkotoistokuormituksessa kuin maksimitoistokuormituksessa. Kasvuhormoni on tärkeä proteiinisynteesiä säätelevä tekijä, joten sen kohoaminen on lihaksen hypertrofian kannalta tärkeää (Kraemer ym. 1987, 1992b). Immunoreaktiivisella menetelmällä mitattavan 22kDa:n kasvuhormonipitoisuuden nousu harjoituksen vaikutuksesta voidaan selittää motorisen keskuksen ja hypoglykemian vaikutuksen lisäksi anaerobisen lihastyön aiheuttaman metaboreseptorien ja sympaattisen hermoston stimulaation avulla. Tätä olettamusta tukee tutkimuksen löydös seerumin kasvuhormonipitoisuuden ja veren laktaattipitoisuuden korrelaatiosta molemmissa kuormituksissa. Kasvuhormonin muutosprosentin kohoaminen merkittävästi suuremmaksi pakkotoistokuormituksessa voi myös viitata neuraalisten ohjausmekanismien merkityksestä kasvuhormonien erittymiselle. Bioaktiivisuusmenetelmällä mitattavien kasvuhormonivarianttien erittymiseen vaikuttaa lähinnä työskentelevien lihasten neuraalinen vaikutus proprioseptoreiden välityksellä. Näiden muiden kasvuhormonivarianttien erittymisestä ei kuitenkaan tämän tutkimuksen perusteella tiedetä. Tässä tutkimuksessa ei myöskään mitattu voimaharjoitusten vaikutusta veren IGF-1 pitoisuuteen, joka osaltaan vastaa kasvuhormonin vaikutuksesta elimistön toimintaan. Verenkierron IGF-1 pitoisuuden ei ole aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan selkeästi yhteydessä

harjoittelun aiheuttamaan kasvuhormonivasteeseen, joten merkityksellisempää on todennäköisesti kuormittuvassa lihaksessa paikallisesti erittyvän IGF-1:n ja sen varianttien pitoisuuden tutkiminen (Kraemer ym. 1999).

Tutkimuksen reliabiliteettiin ja validiteettiin vaikuttaa sekä tutkimusmenetelmiin että koehenkilöihin liittyviä tekijöitä. Koehenkilöt suorittivat kahden viikon välein kaksi erilaista voimaharjoitusta samaan vuorokauden aikaan, joten koehenkilöt toimivat itse itsensä verrokkeina. Luotettavien tutkimustulosten kannalta on tämänkaltaisessa tutkimuksessa tärkeää verrannollistaa kaksi erilaista kuormitusmittausta. Tämä on mahdollista kuormittamalla koehenkilöä aina maksimaalisesti, jonka onnistuminen kuitenkin riippuu koehenkilön ”päivän kunnosta”. Suoritustason päivittäisen vaihtelun johdosta kuorman asettaminen jokaiseen sarjaan aina siten, että todellinen 12 toiston maksimitoistosarja saavutettaisiin on osittain sattumanvaraista. Lisäksi kahden osittain erilaisen kuormituksen vertailemisessa vaikuttavat useat eri tekijät. Tässä tutkimuksessa erot hormonaalisissa vasteissa kuormitusten välillä voivat osittain selittyä ulkoisen stimulusen eli kuormituksen kokonaistyömäärän vaihtelusta. Maksimaalisen tahdonalaisen isometrisen voimantuoton mittauksessa ei voida kontrolloida koehenkilön todellista panosta maksimaaliseen suorittamiseen. Lihaskivätyksessä oli suurta vaihtelua kunkin koehenkilön kohdalla ja signaalien häiriöiden vuoksi osa mittaustuloksista jouduttiin hylkäämään. Seerumin hormonipitoisuudet ovat yksilöllisiä ja hormonipitoisuudet ennen kuormitusta ja kuormitusten aiheuttamien hormonivasteiden suuruudet vaihtelivat koehenkilöittäin. Seerumin testosteroni- ja kortisolipitoisuudet vaihtelevat vuorokauden ajan mukaan (Seppälä ym. 1982, Patton ym. 1985, Shader ym. 1986), joten kaikki mitaukset suoritettiin aina vuorokauden aikaan. On myös mahdollista, että aamupäivällä suoritettujen kuormitusmittausten hormonivaste oli lievempi johtuen muutenkin vilkkaasta hormonitoiminnasta. Kasvuhormonipitoisuuteen ennen kuormitusta taas vaikuttaa suuresti osuuko näytteen otto pulsaatioerityksen huippukohtaan. Verinäytteiden otosta ja näytteiden jälkikäsittelystä huolehti erikoislaboratoriohoitaja. Virhelähteiden vähentämiseksi verinäytteet otettiin kymmenen minuutin levon jälkeen mikäli mahdollista ilman staasia ja koehenkilön ollessa aina samassa asennossa. Hormonipitoisuuksien määrittelyssä RIA –menetelmällä aiheutuu tuloksiin 10-15% virhemarginaali (Guyton & Hall 1996 s. 931), joka voi osaltaan vaikuttaa tilastollisten merkitsevyyksien luotettavuuteen. Hormonipitoisuuksien analyysissä ei huomioitu harjoituksen aiheuttaman plasmatilavuuden muutosta, sillä plasmavolyymien muutoksella korjaamaton tutkimusai-

neisto edustaa parhaiten elimistön todellista hormonipitoisuutta ja verenkierron hormonien ja hormonireseptorien välistä vuorovaikutusta (McCall ym. 1999). Ruokavalion mahdollista vaikutusta mitattaviin muuttujiin ei voi täysin sulkea pois, sillä ruokavalion energiaravintoainekoostumusta ei analysoitu tarkasti.

Pakkotoistojen käyttö voimaharjoitusten tehostamisessa on suosittua, kun tavoitteena on erityisesti lisätä lihasmassaa. Pakkotoistomenetelmän tehokkuuden on arveltu johtuvan tavalliseen harjoitteluun verrattuna useampien motoristen yksiköiden aktivoitumisesta. Tätä olettamusta tukee tässä tutkimuksessa havaittu pakkotoistokuormituksen aiheuttama hermostollinen vaste. Tutkimuksen tavoitteena oli osaltaan vastata kysymykseen, tarvitaanko voimaharjoituksessa suorittaa harjoitussarjat uupumukseen saakka saavuttaakseen mahdollisimman tehokas harjoitusvaste. Voimantuoton aleneminen yhdessä neuraalisen väsymyksen ja suuremman hormonivasteen kanssa viittaa pakkotoistomenetelmän hyödyllisyyteen, kun tavoitteena on mahdollisimman tehokas lihasmassan kehittäminen. Toisaalta tutkimuksen tulokset antavat myös viitteitä siitä, että pakkotoistojen käyttö voi koetella harjoittelijan palautumiskykyä. Liiallinen kuormittaminen voi johtaa herkästi ns. ”ylikunto” tilaan. Hermostollispainotteisessa tai tehoperäisessä voimaharjoittelussa voi olla olemassa pakkotoistoja käytettäessä liikaharjoittelun vaara. Tätä olettamusta tukee tutkimuksen löydös isometrisen voimantuoton hitaasta palautumisesta lähtötasolleen pakkotoistokuormituksen jälkeen. Tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin parhaiten sovellettavissa kuormitusmallin mukaiseen hypertrofiseen maksimivoimaharjoitteluun.

Tämän tutkimuksen kaltaista kuormitusmallia ei ole aiemmissa tutkimuksissa käytetty eikä vastaavanlaista kuormituksen intensiteetin vaikutusta hormonaalisiin ja neuromuskulaarisiin vasteisiin ole aiemmin havaittu. Pakkotoistomenetelmän aiheuttama neuraalinen ja hormonaalinen vaste viittaa tehostuneeseen harjoitusvasteeseen ja voi siten pitkällä aikavälillä toistettuna johtaa lisääntyneeseen lihashypertrofiaan. Tutkimus toi uutta tietoa hypertrofispainotteisen maksimivoimaharjoituksen hormonivasteen profiilista, kun samaa lihasryhmää kuormitettiin useilla eri harjoitusliikkeillä. Hormonivaste tehostui pakkotoistokuormituksen kokonaistestosteronia lukuun ottamatta koko kuormituksen ajan. Intensiivisen voimaharjoituksen jatkuessa pitempään voisi olettaa saavutettavan jokaiselle hormonille oma maksimaalinen harjoitusvaste, jolloin lisäharjoittelusta ei akuutin hormonaalisen vasteen näkökulmassa olisi saavutettavissa enempää hyötyä.

Tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa urheilijoiden käytännön voimaharjoittelussa lihaksen hypertrofiaan tähtäävässä harjoittelussa. Kuntoilijoiden ja kuntoutuksen tarpeisiin sovellettuna tutkimuksen tulokset viittaavat harjoitusvasteen saavuttamisessa sarjojen tilapäiseen uupumukseen asti viemisen olevan tärkeää pyrittäessä kehittämään lihasmassaa. Jatkotutkimuksissa tulee täten selvittää johtaako pakkotoistomenetelmän käyttö suurempaan lihasmassan ja –voiman kasvuun pitkäaikaisen harjoittelun myötä ja onko mahdolliset muutokset yhteydessä akuuttiin ja/tai pitkäaikaiseen endogeenisen hormonituotannon adaptoitumiseen.

Tutkimuksen yhteenvetona voidaan todeta molempien kuormitusmallien, sekä maksimitä pakkotoistokuormituksen, johtavan samankaltaiseen harjoitusvaikutukseen. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että kyseistä kuormitusmallia käytettäessä pakkotoistojen käyttö lisää hermo-lihasjärjestelmän kuormitusta sekä lihas- että keskushermoston tasolla sekä stimuloi hormonitoimintaa, erityisesti kortisolin ja kasvuhormonin osalta.

Lähteet

- Abernethy PJ, Wehr M. Ammonia and Lactate Response to Leg Press Work at 5 and 15 RM, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(1):40-44, 1997
- Adams GR, Haddad F. The relationships among IGF-1, DNA content, and protein accumulation during skeletal muscle hypertrophy. *J Appl Physiol* 1996 Dec;81(6):2509-16
- Adlercreutz H, Harkonen M, Kuoppasalmi K, Naveri H, Huhtaniemi I, Tikkanen H, Remes K, Dessypris A, Karvonen J. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int J Sports Med*. 1986 Jun;7 Suppl 1:27-8
- Ahtiainen J, Häkkinen K. Proceedings of 5th Annual Congress of the European College of Sport Sciences, 2000, s.117
- Alen M, Pakarinen A, Häkkinen K, Komi PV, Responses of serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *Int J Sports Med* 1988 Jun;9(3):229-33
- Allen DL, Linderman JK, Roy RR, Grindeland RE, Mukku V, Edgerton VR. Growth hormone/IGF-I and/or resistive exercise maintains myonuclear number in hindlimb unweighted muscles. *J Appl Physiol* 1997 Dec;83(6):1857-61
- Alway SE, Grumbt WH, Gonyea WJ, Stray-Gundersen J. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *J Appl Physiol* 1989 Jul;67(1):24-31
- Anderson KE, Rosner W, Khan MS, New MI, Pang SY, Wissel PS, Kappas A. Diet-hormone interactions: protein/carbohydrate ratio alters reciprocally the plasma levels of testosterone and cortisol and their respective binding globulins in man. *Life Sci*. 1987 May 4;40(18):1761-8
- Axelrod J, Reisine TD. Stress hormones: their interaction and regulation. *Science*. 1984 May 4;224(4648):452-9. Review.
- Aynsley-Green A, Zachmann M, Prader A. Interrelation of the therapeutic effects of growth hormone and testosterone on growth in hypopituitarism. *J Pediatr*. 1976 Dec;89(6):992-9

- Banfi G, Marinelli M, Roi GS, Agape V. Usefulness of free testosterone/cortisol ratio during a season of elite speed skating athletes. *Int J Sports Med.* 1993 Oct;14(7):373-9
- Barron JL, Noakes TD, Levy W, Smith C, Millar RP. Hypothalamic dysfunction in overtrained athletes. *J Clin Endocrinol Metab* 1985 Apr;60(4):803-6
- Basmajian JV, De Luca CJ. *Muscles alive: Their Functions Revealed by Electromyography* 5th ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 1985
- Baumann G, Vance ML, Shaw MA, Thorner MO. Plasma transport of human growth hormone in vivo. *J Clin Endocrinol Metab* 1990 Aug;71(2):470-3
- Baumann G. Growth hormone heterogeneity: genes, isohormones, variants, and binding proteins. *Endocr Rev* 1991a Nov;12(4):424-49
- Baumann G. Metabolism of growth hormone (GH) and different molecular forms of GH in biological fluids. *Horm Res* 1991b;36 Suppl 1:5-10
- Beitins IZ, Bayard F, Kowarski A, Migeon CJ. The effect of ACTH administration on plasma testosterone, dihydrotestosterone and serum LH concentrations in normal men. *Steroids* 1973 Apr;21(4):553-64
- Bell G, Syrotuk D, Socha T, MacLean I, Art Quinney H. Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *J.Strength and Cond.Res.* 1997, 11(1):57-64
- Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Mar;81(5):418-27
- Berelowitz M, Szabo M, Frohman LA, Firestone S, Chu L, Hintz RL. Somatomedin-C mediates growth hormone negative feedback by effects on both the hypothalamus and the pituitary. *Science* 1981 Jun 12;212(4500):1279-81
- Berger D, Floyd JC Jr, Lampman RM, Fajans SS. The effect of adrenergic receptor blockade on the exercise-induced rise in pancreatic polypeptide in man. *J Clin Endocrinol Metab.* 1980 Jan;50(1):33-9
- Bermon S, Ferrari P, Bernard P, Altare S, Dolisi C. Responses of total and free insulin-like growth factor-I and insulin-like growth factor binding protein-3 after resistance exercise and training in elderly subjects. *Acta Physiol Scand* 1999 Jan;165(1):51-6

- Biolo G, Fleming RY, Maggi SP, Wolfe RR Transmembrane transport and intracellular kinetics of amino acids in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1995a Jan;268(1 Pt 1):E75-84
- Biolo G, Maggi SP, Williams BD, Tipton KD, Wolfe RR Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol* 1995b Mar;268(3 Pt 1):E514-20
- Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 1997 Jul;273(1 Pt 1):E122-9
- Blichert-Toft M, Christiansen C, Engquist A, Kehlet H, Lindholm J, Hummer L, Dinesen B. Comparison of pituitary-adrenocortical response to hypoglycaemia and surgery. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1979 Feb;23(1):103-6
- Bloom SR, Edwards AV, Jones CT. Adrenal cortical responses to vasoactive intestinal peptide in conscious hypophysectomized calves. *J Physiol.* 1987 Oct;391:441-50
- Blum WF, Jenne EW, Reppin F, Kietzmann K, Ranke MB, Bierich JR. Insulin-like growth factor I (IGF-I)-binding protein complex is a better mitogen than free IGF-I. *Endocrinology* 1989 Aug;125(2):766-72
- Boone JB Jr, Lambert CP, Flynn MG, Michaud TJ, Rodriguez-Zayas JA, Andres FF. Resistance exercise effects on plasma cortisol, testosterone and creatine kinase activity in anabolic-androgenic steroid users. *Int J Sports Med.* 1990 Aug;11(4):293-7
- Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M, De Lorenzo A, Viru A. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Apr;81(6):449-54
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;50(2):273-82.
- Brandenberger G, Follenius M. Influence of timing and intensity of muscular exercise on temporal patterns of plasma cortisol levels. *J Clin Endocrinol Metab.* 1975 May;40(5):845-9
- Bratusch-Marrain P, Waldhausl W. The influence of amino acids and somatostatin on prolactin and growth hormone release in man. *Acta Endocrinol (Copenh)* 1979 Mar;90(3):403-8

- Brooks GA, Brauner KE, Cassens RG. Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am J Physiol* 1973 May;224(5):1162-6
- Buono MJ, Yeager JE, Sucec AA. Effect of aerobic training on the plasma ACTH response to exercise. *J Appl Physiol*. 1987 Dec;63(6):2499-501
- Cadoux-Hudson TA, Few JD, Imms FJ. The effect of exercise on the production and clearance of testosterone in well trained young men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54(3):321-5
- Cappon J, Brasel JA, Mohan S, Cooper DM. Effect of brief exercise on circulating insulin-like growth factor I. *J Appl Physiol*. 1994 Jun;76(6):2490-6
- Carpinelli RN, Otto RM. Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Med* 1998 Aug;26(2):73-84
- Cashmore GC, Davies CT, Few JD. Relationship between increases in plasma cortisol concentration and rate of cortisol secretion during exercise in man. *J Endocrinol*. 1977 Jan;72(1):109-10
- Chandler RM, Byrne HK, Patterson JG, Ivy JL. Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *J Appl Physiol* 1994 Feb;76(2):839-45
- Charrier J, Martal J. Growth hormones. 1. Polymorphism (minireview). *Reprod Nutr Dev* 1988;28(4A):857-87
- Chesley A, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Smith K Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol* 1992 Oct;73(4):1383-8
- Clarys JP, Cabri J. Electromyography and the Study of Sports: A Review, *Journal of Sports Sciences*, 1993, 11, 379-448
- Copeland KC, Colletti RB, Devlin JT, McAuliffe TL The relationship between insulin-like growth factor-I, adiposity, and aging. *Metabolism* 1990a Jun;39(6):584-7
- Copeland KC, DeSouza MM, Gibson PC. Influence of gonadal steroids on rat pituitary growth hormone secretion. *Res Exp Med (Berl)* 1990b;190(2):137-43
- Costill DL, Verstappen F, Kuipers H, Janssen E, Fink W Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO₃. *Int J Sports Med* 1984 Oct;5(5):228-31

- Craig BW, Brown R, Everhart J. Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mech Ageing Dev* 1989 Aug;49(2):159-69
- Crist DM, Peake GT, Loftfield RB, Kraner JC, Egan PA. Supplemental growth hormone alters body composition, muscle protein metabolism and serum lipids in fit adults: characterization of dose-dependent and response-recovery effects. *Mech Ageing Dev.* 1991 May;58(2-3):191-205
- Crowley MA, Matt KS. Hormonal regulation of skeletal muscle hypertrophy in rats: the testosterone to cortisol ratio. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;73(1-2):66-72
- Cumming DC, Brunsting LA 3d, Strich G, Ries AL, Rebar RW. Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med Sci Sports Exerc.* 1986 Aug;18(4):369-73
- Cumming DC, Quigley ME, Yen SS. Acute suppression of circulating testosterone levels by cortisol in men. *J Clin Endocrinol Metab.* 1983 Sep;57(3):671-3
- Cumming DC, Wheeler GD, McColl EM. The effects of exercise on reproductive function in men. *Sports Med.* 1989 Jan;7(1):1-17. Review.
- Danhaive PA, Rousseau GG. Evidence for sex-dependent anabolic response to androgenic steroids mediated by muscle glucocorticoid receptors in the rat. *J Steroid Biochem.* 1988 Jun;29(6):575-81
- Davies CT, Few JD. Effect of hypoxia on the adrenocortical response to exercise in man. *J Endocrinol.* 1976 OCT;71(1):157-8
- Davies CT, Few JD. Effects of exercise on adrenocortical function. *J Appl Physiol.* 1973 Dec;35(6):887-91
- De Souza MJ, Maguire MS, Maresh CM, Kraemer WJ, Rubin KR, Loucks AB. Adrenal activation and the prolactin response to exercise in eumenorrheic and amenorrheic runners. *J Appl Physiol.* 1991 Jun;70(6):2378-87
- De Souza MJ, Maresh CM, Maguire MS, Kraemer WJ, Flora-Ginter G, Goetz KL. Menstrual status and plasma vasopressin, renin activity, and aldosterone exercise responses. *J Appl Physiol* 1989 Aug;67(2):736-43
- Delorme TL. Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *J. Bone Joint Surg.* 27:645, 1945

- Deschenes MR, Maresh CM, Armstrong LE, Covault J, Kraemer WJ, Crivello JF. Endurance and resistance exercise induce muscle fiber type specific responses in androgen binding capacity. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 1994 Aug;50(3-4):175-9
- Deschenes MR, Maresh CM, Crivello JF, Armstrong LE, Kraemer WJ, Covault J. The effects of exercise training of different intensities on neuromuscular junction morphology. *J Neurocytol.* 1993 Aug;22(8):603-15
- Dessypris A, Kuoppasalmi K, Adlercreutz H. Plasma cortisol, testosterone, androstenedione and luteinizing hormone (LH) in a non-competitive marathon run. *J Steroid Biochem.* 1976 Jan;7(1):33-7
- DeVol DL, Rotwein P, Sadow JL, Novakofski J, Bechtel PJ. Activation of insulin-like growth factor gene expression during work-induced skeletal muscle growth. *Am J Physiol* 1990 Jul;259(1 Pt 1):E89-95
- Dijk DJ, Beersma DG, Daan S, Lewy AJ. Bright morning light advances the human circadian system without affecting NREM sleep homeostasis. *Am J Physiol.* 1989 Jan;256(1 Pt 2):R106-11
- Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 1974 Aug;37(2):247-8
- Djarova T, Ilkov A, Varbanova A, Nikiforova A, Mateev G. Human growth hormone, cortisol, and acid-base balance changes after hyperventilation and breath-holding. *Int J Sports Med* 1986 Dec;7(6):311-5
- Doerr P, Pirke KM. Cortisol-induced suppression of plasma testosterone in normal adult males. *J Clin Endocrinol Metab.* 1976 Sep;43(3):622-9
- Dore S, Brisson GR, Fournier A, Montpetit R, Perrault H, Boisvert D. Contribution of hGH20K variant to blood hGH response in sauna and exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;62(2):130-4
- Doumit ME, Cook DR, Merkel RA. Testosterone up-regulates androgen receptors and decreases differentiation of porcine myogenic satellite cells in vitro. *Endocrinology* 1996 Apr;137(4):1385-94
- Durnin J, Womersley Y. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years, *British Journal of Nutrition*, 32, 77-97, 1967
- Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 1989 Apr;7(4):207-34

- Edington D, Edgerton V. *The Biology of Physical Activity*, Houghton Mifflin Co, Boston, 1976
- Eik-Nes KB. An effect of isoproterenol on rates of synthesis and secretion of testosterone. *Am J Physiol.* 1969 Dec;217(6):1764-70
- Ekins R. Measurement of free hormones in blood. *Endocr Rev.* 1990 Feb;11(1):5-46. Review.
- Ellis S, Vodian MA, Grindeland RE. Studies on the bioassayable growth hormone-like activity of plasma. *Recent Prog Horm Res* 1978;34:213-38
- Enoka RM. *Neuromechanical Basis of Kinesiology*, 2nd ed., Human Kinetics, Champaign, Illinois, 1994
- Erämetsä T, Laakko E, Taimela S. *Pysyvästi Kuntoon*, 2.p, WSOY, Porvoo, 1995
- Fahrner CL, Hackney AC. Effects of endurance exercise on free testosterone concentration and the binding affinity of sex hormone binding globulin (SHBG). *Int J Sports Med.* 1998 Jan;19(1):12-5
- Farrell PA, Garthwaite TL, Gustafson AB. Plasma adrenocorticotropin and cortisol responses to submaximal and exhaustive exercise. *J Appl Physiol.* 1983 Nov;55(5):1441-4
- Ferrando AA, Tipton KD, Bamman MM, Wolfe RR Resistance exercise maintains skeletal muscle protein synthesis during bed rest. *J Appl Physiol* 1997 Mar;82(3):807-10
- Few JD, Davies CT. The inhibiting effect of atropine on growth hormone release during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980;43(3):221-8
- Few JD. Effect of exercise on the secretion and metabolism of cortisol in man. *J Endocrinol.* 1974 Aug;62(2):341-53
- Finklestein JW, Roffwarg HP, Boyar RM, Kream J, Hellman L, Age-related change in twenty-four hour spontaneous secretion of growth hormone, *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 1972, 35:665-670
- Fleck SJ, Dean LS. Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1987 Jul;63(1):116-20
- Fleck SJ, Kraemer WJ. *Designing Resistance Training Programs*, 2nd ed., Human Kinetics, Champaign, Illinois, 1997
- Florini JR. Hormonal control of muscle growth. *Muscle Nerve.* 1987 Sep;10(7):577-98. Review.

- Follenius M, Brandenberger G. Plasma free cortisol during secretory episodes. *J Clin Endocrinol Metab.* 1986 Mar;62(3):609-12
- Forbes GB, Brown MR, Welle SL, Underwood LE. Hormonal response to overfeeding. *Am J Clin Nutr* 1989 Apr;49(4):608-11
- Franchimont P. Regulation of gonadal androgen secretion. *Horm Res.* 1983;18(1-3):7-17. Review.
- Fry AC, Kraemer WJ, Ramsey LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol* 1998 Dec;85(6):2352-9
- Fry AC, Kraemer WJ, Stone MH, Warren B, Kearney JT, Fleck SJ, Weseman CA. The effect of amino acid supplementation on testosterone, cortisol, and growth hormone responses to one week of intensive weightlifting, *International Journal of Sport Nutrition.* 1992, 3:306-322
- Fry AC, Kraemer WJ, Stone MH, Warren BJ, Fleck SJ, Kearney JT, Gordon SE. Endocrine responses to overreaching before and after 1 year of weightlifting. *Can J Appl Physiol.* 1994 Dec;19(4):400-10.
- Fry AC, Kraemer WJ, Stone MH, Warren BJ, Kearney JT, Maresh CM, Weseman CA, Fleck SJ. Endocrine and performance responses to high volume training and amino acid supplementation in elite junior weightlifters. *Int J Sport Nutr.* 1993 Sep;3(3):306-22
- Fry AC, Kraemer WJ. Resistance exercise overtraining and overreaching. *Neuroendocrine responses.* *Sports Med.* 1997 Feb;23(2):106-29. Review.
- Fry RW, Morton AR, Keast D. Overtraining in athletes. An update. *Sports Med.* 1991 Jul;12(1):32-65. Review.
- Fryburg DA, Barrett EJ. Growth hormone acutely stimulates skeletal muscle but not whole-body protein synthesis in humans. *Metabolism* 1993 Sep;42(9):1223-7
- Fryburg DA, Gelfand RA, Barrett EJ. Growth hormone acutely stimulates forearm muscle protein synthesis in normal humans. *Am J Physiol* 1991 Mar;260(3 Pt 1):E499-504
- Gala RD, Prolactin and growth hormone in the regulation of the immune system, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1991, 198:513-527
- Galbo H, Christensen NJ, Holst JJ. Catecholamines and pancreatic hormones during autonomic blockade in exercising man. *Acta Physiol Scand.* 1977 Dec;101(4):428-37

- Galbo H, Kjaer M, Secher NH. Cardiovascular, ventilatory and catecholamine responses to maximal dynamic exercise in partially curarized man. *J Physiol* 1987 Aug;389:557-68
- Galbo H. Endocrinology and metabolism in exercise. *Curr Probl Clin Biochem* 1982;11:26-44
- Giustina A, Veldhuis JD. Pathophysiology of the neuroregulation of growth hormone secretion in experimental animals and the human. *Endocr Rev* 1998 Dec;19(6):717-97
- Goldberg AL, Etlinger JD, Goldspink DF, Jablecki C. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports* 1975 Fall;7(3):185-98
- Gordon SE, Kraemer WJ, Vos NH, Lynch JM, Knuttgen HG. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* 1994 Feb;76(2):821-9
- Gosselink KL, Grindeland RE, Roy RR, Zhong H, Bigbee AJ, Edgerton VR. Afferent input from rat slow skeletal muscle inhibits bioassayable growth hormone release. *J Appl Physiol* 2000 Jan;88(1):142-8
- Gosselink KL, Grindeland RE, Roy RR, Zhong H, Bigbee AJ, Grossman EJ, Edgerton VR. Skeletal muscle afferent regulation of bioassayable growth hormone in the rat pituitary. *J Appl Physiol* 1998 Apr;84(4):1425-30
- Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, Putukian M, Sebastianelli WJ, Newton RU, Häkkinen K, Kraemer WJ. Hormonal Response of Multiset Versus Single-Set Heavy-Resistance Exercise Protocols, *Canadian Journal of Applied Physiology*, 1997, 22(3):244-255
- Granner DK. Characteristics of hormone systems, s. 463-471, 1991
- Granner DK. Hormone actions, s. 472-481, 1991
- Green HJ. Mechanism of Muscle Fatigue in Intense Exercise, *Journal of Sports Sciences*, 1997, 15:247-256
- Greenspan FS, Li CH, Simpson ME, Evans HM. Bioassay of hypophyseal growth hormone: the tibia test. *Endocrinology*, 1949, 45:455-463
- Griffen SC, Russell SM, Katz LS, Nicoll CS. Insulin exerts metabolic and growth-promoting effects by a direct action on the liver in vivo: clarification of the functional significance of the portal vascular link between the beta cells of the pancreatic islets and the liver. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1987 Oct;84(20):7300-4

- Griggs RC, Kingston W, Jozefowicz RF, Herr BE, Forbes G, Halliday D. Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol.* 1989 Jan;66(1):498-503
- Grindeland RE, Roy RR, Edgerton VR, Grossman EJ, Mukku VR, Jiang B, Pierotti DJ, Rudolph I. Interactive effects of growth hormone and exercise on muscle mass in suspended rats. *Am J Physiol* 1994 Jul;267(1 Pt 2):R316-22
- Grindeland RE, Smith AT, Evans ES, Ellis S. Induction of chronic growth hormone deficiency by anti-GH serum. *Endocrinology* 1974 Sep;95(3):793-8
- Grossman EJ, Grindeland RE, Roy RR, Talmadge RJ, Evans J, Edgerton VR. Growth hormone, IGF-I, and exercise effects on non-weight-bearing fast muscles of hypophysectomized rats. *J Appl Physiol* 1997 Nov;83(5):1522-30
- Hartman ML, Veldhuis JD, Thorner MO Normal control of growth hormone secretion. *Horm Res* 1993;40(1-3):37-47
- Hass CJ, Garzarella L, de Hoyos D, Pollock ML. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Jan;32(1):235-42
- Heitkamp HC, Schmid K, Scheib K. Beta-endorphin and adrenocorticotrophic hormone production during marathon and incremental exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993;66(3):269-74
- Heuser IJ, Wark HJ, Keul J, Holsboer F Hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in elderly endurance athletes. *J Clin Endocrinol Metab.* 1991 Sep;73(3):485-8
- Hickson RC, Marone JR. Exercise and inhibition of glucocorticoid-induced muscle atrophy. *Exerc Sport Sci Rev.* 1993;21:135-67. Review.
- Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980;45(2-3):255-63
- Holzwarth MA, Cunningham LA, Kleitman N. The role of adrenal nerves in the regulation of adrenocortical functions. *Ann N Y Acad Sci.* 1987;512:449-64
- Hooper SL, MacKinnon LT, Gordon RD, Bachmann AW. Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Med Sci Sports Exerc.* 1993 Jun;25(6):741-7
- Horita T, Ishiko T. Relationship between Muscle Lactate Accumulation and Surface EMG Activities during Isokinetic Contractions in Man, *European Journal of Applied Physiology*, 1987, 56:18-23

- Horrocks PM, Jones AF, Ratcliffe WA, Holder G, White A, Holder R, Ratcliffe JG, London DR. Patterns of ACTH and cortisol pulsatility over twenty-four hours in normal males and females. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 1990 Jan;32(1):127-34
- Hymer WC, Grindeland RE, Salada T, Nye P, Grossman EJ, Lane PK. Experimental modification of rat pituitary growth hormone cell function during and after spaceflight. *J Appl Physiol* 1996 Mar;80(3):955-70
- Häkkinen K, Kauhanen H, Komi PV. Effects of fatiguing loading with a variable resistance equipment on neural activation and force production of the knee extensor muscles. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 1988a Mar-Apr;28(2-3):79-87
- Häkkinen K, Keskinen KL, Alen M, Komi PV, Kauhanen H, Serum hormone concentrations during prolonged training in elite endurance-trained and strength-trained athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1989;59(3):233-8
- Häkkinen K, Komi P. Effects of Fatigue and Recovery on Electromyographic and Isometric Force- and Relaxation-Time Characteristics of Human Skeletal Muscle, *European Journal of Applied Physiology*, 1986, 55:588-596
- Häkkinen K, Komi PV, Alen M, Kauhanen H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987a;56(4):419-27
- Häkkinen K, Komi PV, Alen M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand*. 1985a Dec;125(4):587-600
- Häkkinen K, Komi PV. Fatiguability in voluntary and reflex contraction after conditioning of human skeletal muscle. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1985b Jul-Aug;25(5):319-30
- Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988b;57(2):133-9
- Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol*. 1988c Dec;65(6):2406-12

- Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med.* 1987b Mar;8 Suppl 1:61-5
- Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Komi PV. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1985b;53(4):287-93
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kallinen M. Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(2):106-11
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Häkkinen A, Valkeinen H, Alen M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force and serum hormones during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology.* 2001, In print.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M, 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* 2000 Feb;55(2):B95-105
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kyrolainen H, Cheng S, Kim DH, Komi PV. Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *Int J Sports Med.* 1990 Apr;11(2):91-8. Review.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Newton RU, Kraemer WJ. Acute hormone responses to heavy resistance lower and upper extremity exercise in young versus old men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998 Mar;77(4):312-9
- Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med* 1995 Nov;16(8):507-13
- Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 1993 Feb;74(2):882-7
- Häkkinen K, Pakarinen A. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 1993 Jun;148(2):199-207
- Häkkinen K, Pakarinen A. Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly males and females. *Acta Physiol Scand* 1994 Feb;150(2):211-9

- Häkkinen K, Pakarinen A. Serum hormones in male strength athletes during intensive short term strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63(3-4):194-9
- Häkkinen K. Neuromuscular Fatigue in Males and Females during Strenuous Heavy Resistance Loading, Electromyography and Clinical Neurophysiology, 1994, 34:205-214
- Häkkinen K. Voimaharjoittelun perusteet, vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi, Gummerus kirjapaino OY, Jyväskylä, 1990
- Ianuzzo D, Patel P, Chen V, O'Brien P, Williams C. Thyroidal trophic influence on skeletal muscle myosin. *Nature* 1977 Nov 3;270(5632):74-6
- Inoue K, Yamasaki S, Fushiki T, Okada Y, Sugimoto E. Androgen receptor antagonist suppresses exercise-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69(1):88-91
- Isgaard J, Nilsson A, Vikman K, Isaksson OG. Growth hormone regulates the level of insulin-like growth factor-I mRNA in rat skeletal muscle. *J Endocrinol* 1989 Jan;120(1):107-12
- Jensen J, Oftebro H, Breigan B, Johnsson A, Ohlin K, Meen HD, Stromme SB, Dahl HA. Comparison of changes in testosterone concentrations after strength and endurance exercise in well trained men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;63(6):467-71
- Jezova D, Vigas M, Tatar P, Kvetnansky R, Nazar K, Kaciuba-Uscilko H, Kozlowski S. Plasma testosterone and catecholamine responses to physical exercise of different intensities in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985;54(1):62-6
- Jezova D, Vigas M. Testosterone response to exercise during blockade and stimulation of adrenergic receptors in man. *Horm Res*. 1981;15(3):141-7
- Johansson C, Tsai L, Hultman E, Tegelman R, Pousette A. Restoration of anabolic deficit and muscle glycogen consumption in competitive orienteering. *Int J Sports Med*. 1990 Jun;11(3):204-7
- Joubert Y, Tobin C. Testosterone treatment results in quiescent satellite cells being activated and recruited into cell cycle in rat levator ani muscle. *Dev Biol*. 1995 May;169(1):286-94
- Kadi F, Bonnerud P, Eriksson A, Thornell LE. The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic-anabolic steroids. *Histochem Cell Biol* 2000 Jan;113(1):25-9

- Karagiorgos A, Garcia JF, Brooks GA. Growth hormone response to continuous and intermittent exercise. *Med Sci Sports* 1979 Fall;11(3):302-7
- Katz A. & Sahlin K. Role of oxygen in regulation of glykolyysis and lactate production in human skeletal muscle. Teoksessa Pandolf KB toim. *Exercise and sport science reviews*, Vol 18, Baltimore, Williams & Wilkins, 1990
- Kaufman MP, Longhurst JC, Rybicki KJ, Wallach JH, Mitchell JH. Effects of static muscular contraction on impulse activity of groups III and IV afferents in cats. *J Appl Physiol* 1983 Jul;55(1 Pt 1):105-12
- Kaufman MP, Rybicki KJ, Waldrop TG, Ordway GA. Effect of ischemia on responses of group III and IV afferents to contraction. *J Appl Physiol* 1984 Sep;57(3):644-50
- Kayali AG, Young VR, Goodman MN. Sensitivity of myofibrillar proteins to glucocorticoid-induced muscle proteolysis. *Am J Physiol.* 1987 May;252(5 Pt 1):E621-6
- Kern W, Dodt C, Born J, Fehm HL. Changes in cortisol and growth hormone secretion during nocturnal sleep in the course of aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1996 Jan;51(1):M3-9
- Keul J, Doll E, Keppler D. *Muskelstoffwechsel*, Barth Verlag, Munchen, 1969
- Kindermann W, Schnabel A, Schmitt WM, Biro G, Cassens J, Weber F. Catecholamines, growth hormone, cortisol, insulin, and sex hormones in anaerobic and aerobic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;49(3):389-99
- Kjaer M, Secher NH, Bach FW, Galbo H. Role of motor center activity for hormonal changes and substrate mobilization in humans. *Am J Physiol* 1987 Nov;253(5 Pt 2):R687-95
- Kjaer M, Secher NH, Bach FW, Sheikh S, Galbo H. Hormonal and metabolic responses to exercise in humans: effect of sensory nervous blockade. *Am J Physiol* 1989 Jul;257(1 Pt 1):E95-101
- Kjaer M. Regulation of hormonal and metabolic responses during exercise in humans. *Exerc Sport Sci Rev.* 1992;20:161-84. Review.
- Knigge KM, Hays M. Evidence of inhibitive role of hippocampus in neural regulation of ACTH release, *Proc Soc Exp Biol Med*, 1963, 114:67-69

- Konagaya M, Max SR. A possible role for endogenous glucocorticoids in orchietomy-induced atrophy of the rat levator ani muscle: studies with RU 38486, a potent and selective antiglucocorticoid. *J Steroid Biochem.* 1986 Sep;25(3):305-8
- Korge P, Roosson S, Oks M. Heart adaptation to physical exertion in relation to work duration. *Acta Cardiol.* 1974;29(4):303-20
- Kostyo JL. Rapid effects of growth hormone on amino acid transport and protein synthesis. *Ann N Y Acad Sci* 1968 Feb 5;148(2):389-407
- Koziris LP, Fry AC, Kraemer WJ, Stone MH, Kearney JT, Fleck SJ, Thrush J, Gordon SE, Triplett NT. Hormonal and competitive performance responses to an over-reaching stimulus in elite junior weightlifters (abstrakti), *Journal of Applied Sports Science Researches*, 1992, 6:186
- Koziris LP, Kraemer WJ, Gordon SE, Incledon T, Knuttgen HG. Effect of acute postexercise ethanol intoxication on the neuroendocrine response to resistance exercise. *J Appl Physiol.* 2000 Jan;88(1):165-72
- Kozlowski S, Chwalbinska-Moneta J, Vigas M, Kaciuba-Uscilko H, Nazar K. Greater serum GH response to arm than to leg exercise performed at equivalent oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;52(1):131-5
- Kraemer RR, Kilgore JL, Kraemer GR, Castracane VD. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1992 Dec;24(12):1346-52
- Kraemer WJ, Clemson A, Triplett NT, Bush JA, Newton RU, Lynch JM. The effects of plasma cortisol elevation on total and differential leukocyte counts in response to heavy-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;73(1-2):93-7
- Kraemer WJ, Dziados JE, Marchitelli LJ, Gordon SE, Harman EA, Mello R, Fleck SJ, Frykman PN, Triplett NT. Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *J Appl Physiol.* 1993a Jan;74(1):450-9
- Kraemer WJ, Fleck SJ, Callister R, Shealy M, Dudley GA, Maresh CM, Marchitelli L, Cruthirds C, Murray T, Falkel JE. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Med Sci Sports Exerc.* 1989 Apr;21(2):146-53

- Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, Harman EA, Marchitelli LJ, Gordon SE, Mello R, Frykman PN, Koziris PL, Triplett TN. Changes in Hormonal Concentrations after Different Heavy-Resistance Exercise Protocols in Women, *Journal of Applied Physiology*, 1993b, 75(2):594-604
- Kraemer WJ, Fry AC, Warren BJ, Stone MH, Fleck SJ, Kearney JT, Conroy BP, Maresh CM, Weseman CA, Triplett NT. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med* 1992 Feb;13(2):103-9
- Kraemer WJ, Gordon SE, Fleck SJ, Marchitelli LJ, Mello R, Dziados JE, Friedl K, Harman E, Maresh C, Fry AC. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 1991 Apr;12(2):228-35
- Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, McCormick M, Nindl BC, Volek JS, Gotshalk LA, Fleck SJ, Campbell WW, Gordon SE, Farrell PA, Evans WJ. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998a Feb;77(3):206-11
- Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, Nindl BC, Volek JS, McCormick M, Gotshalk LA, Gordon SE, Fleck SJ, Campbell WW, Putukian M, Evans WJ. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol*. 1999 Sep;87(3):982-92
- Kraemer WJ, Harman FS, Vos NH, Gordon SE, Nindl BC, Marx JO, Gomez AL, Volek JS, Ratamess NA, Mazzetti SA, Bush JA, Dohi K, Newton RU, Häkkinen K. Effects of exercise and alkalosis on serum insulin-like growth factor I and IGF-binding protein-3. *Can J Appl Physiol* 2000 Apr;25(2):127-38
- Kraemer WJ, Loebel C, Volek J, Ratamess N, Newton R, Wickham R, Gotshalk L, Duncan N, Mazzetti S, Gomez A, Rubin M, Nindl B, Häkkinen K. The effect of heavy resistance exercise upon the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *European Journal of Applied Physiology*, 2001, 84, 13-18
- Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol*. 1990 Oct;69(4):1442-50
- Kraemer WJ, Noble BJ, Clark MJ, Culver BW. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med*. 1987 Aug;8(4):247-52

- Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Fry AC, Gordon SE, Nindl BC, Gothshalk LA, Volek JS, Marx JO, Newton RU, Häkkinen K. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998b Jun;78(1):69-76
- Kraemer WJ, Volek JS, Bush JA, Putukian M, Sebastianelli WJ. Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *J Appl Physiol* 1998c Oct;85(4):1544-55
- Kraemer WJ. Acute and long-term hormonal adaptations to strength training. Proceedings of 4th Annual Congress of the European College of Sport Science, 1999
- Kraemer WJ. Endocrine responses and adaptations to strength training, teoksessa Komi PV (ed.) *Strength and Power in Sport*, s. 291-304, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992a
- Kraemer WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1988 Oct;20(5 Suppl):S152-7
- Kraemer WJ. Hormonal mechanism related to the expression of muscular strength and power, teoksessa Komi PV (ed.) *Strength and Power in Sport*, s. 64-76, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992b
- Kuoppasalmi K, Naveri H, Harkonen M, Adlercreutz H. Plasma cortisol, androstenedione, testosterone and luteinizing hormone in running exercise of different intensities. *Scand J Clin Lab Invest*. 1980a Sep;40(5):403-9
- Kuoppasalmi K. Plasma testosterone and sex-hormone-binding globulin capacity in physical exercise. *Scand J Clin Lab Invest*. 1980b Sep;40(5):411-8
- Lassarre C, Girard F, Durand J, Raynaud J. Kinetics of human growth hormone during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1974 Dec;37(6):826-30
- Lehmann M, Knizia K, Gastmann U, Petersen KG, Khalaf AN, Bauer S, Kerp L, Keul J. Influence of 6-week, 6 days per week, training on pituitary function in recreational athletes. *Br J Sports Med*. 1993 Sep;27(3):186-92.
- Lehmann M, Schnee W, Scheu R, Stockhausen W, Bachl N. Decreased nocturnal catecholamine excretion: parameter for an overtraining syndrome in athletes? *Int J Sports Med*. 1992 Apr;13(3):236-42
- Leung DW, Spencer SA, Cachianes G, Hammonds RG, Collins C, Henzel WJ, Barnard R, Waters MJ, Wood WI. Growth hormone receptor and serum binding protein: purification, cloning and expression. *Nature* 1987 Dec 10-16;330(6148):537-43

- Linderman JK, Gosselink KL, Booth FW, Mukku VR, Grindeland RE. Resistance exercise and growth hormone as countermeasures for skeletal muscle atrophy in hindlimb-suspended rats. *Am J Physiol* 1994 Aug;267(2 Pt 2):R365-71
- Litvinova L, Viru A. Effect of exercise and adrenal insufficiency on urea production in rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;70(6):536-40
- Longcope C, Goldfield SR, Brambilla DJ, McKinlay J. Androgens, estrogens, and sex hormone-binding globulin in middle-aged men. *J Clin Endocrinol Metab.* 1990 Dec;71(6):1442-6
- Lu SS, Lau CP, Tung YF, Huang SW, Chen YH, Shih HC, Tsai SC, Lu CC, Wang SW, Chen JJ, Chien EJ, Chien CH, Wang PS. Lactate and the effects of exercise on testosterone secretion: evidence for the involvement of a cAMP-mediated mechanism. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Aug;29(8):1048-54
- Luger A, Watschinger B, Deuster P, Svoboda T, Clodi M, Chrousos GP. Plasma growth hormone and prolactin responses to graded levels of acute exercise and to a lactate infusion. *Neuroendocrinology* 1992 Jul;56(1):112-7
- Lukaszewska J, Biczowa B, Bobilewicz D, Wilk M, Obuchowicz-Fidelus B. Effect of physical exercise on plasma cortisol and growth hormone levels in young weight lifters. *Endokrynol Pol* 1976 Mar-Apr;27(2):149-57
- MacAdams MR, White RH, Chipps BE. Reduction of serum testosterone levels during chronic glucocorticoid therapy. *Ann Intern Med* 1986 May;104(5):648-51
- MacDougall JD, Gibala MJ, Tarnopolsky MA, MacDonald JR, Interisano SA, Yarasheski KE. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol* 1995 Dec;20(4):480-6
- MacDougall JD, Ward GR, Sale DG, Sutton JR. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol.* 1977 Oct;43(4):700-3
- MacDougall JD. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilisation. *Teoksessa Human muscle power, toim.* Jones NC, Champaign, IL, Human Kinetics, 1986
- Maddalozzo GF, Snow CM. High intensity resistance training: effects on bone in older men and women. *Calcif Tissue Int* 2000 Jun;66(6):399-404
- Manni A, Pardridge WM, Cefalu W, Nisula BC, Bardin CW, Santner SJ, Santen RJ. Bioavailability of albumin-bound testosterone. *J Clin Endocrinol Metab.* 1985 Oct;61(4):705-10

- Margaria R. The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am J Physiol* 1933, 106:607
- Martha PM Jr, Rogol AD, Carlsson LM, Gesundheit N, Blizzard RM. A longitudinal assessment of hormonal and physical alterations during normal puberty in boys. I. Serum growth hormone-binding protein. *J Clin Endocrinol Metab* 1993 Aug;77(2):452-7
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*, Lea & Febiger, Malvern, Philadelphia, 1991
- McCall GE, Byrnes WC, Fleck SJ, Dickinson A, Kraemer WJ. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol*. 1999 Feb;24(1):96-107.
- McCall GE, Grindeland RE, Roy RR, Edgerton VR. Muscle afferent activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *J Appl Physiol* 2000 Sep;89(3):1137-41
- McCusker RH, Busby WH, Dehoff MH, Camacho-Hubner C, Clemmons DR. Insulin-like growth factor (IGF) binding to cell monolayers is directly modulated by the addition of IGF-binding proteins. *Endocrinology* 1991 Aug;129(2):939-49
- McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1984;52(2):139-55. Review.
- McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984;52(2):139-55
- McMurray RG, Eubank TK, Hackney AC. Nocturnal hormonal responses to resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;72(1-2):121-6
- Mehls O, Tonshoff B, Kovacs G, Mayer C, Schurek J, Oh J. Interaction between glucocorticoids and growth hormone. *Acta Paediatr Suppl* 1993 Mar;388:77-82
- Meskaitis VJ, Harman FS, Volek JS, Nindl BC, Kraemer WJ, Weinstock D & Deaver DR. Effects of exercise on testosterone and nitric oxide production in the rat testis, *Journal of Androl*, 1997, Jan-Feb, S, P-37
- Metivier G, Gauthier R, De la Chevrotiere J, Grymala D. The effect of acute exercise on the serum levels of testosterone and luteinizing (LH) hormone in human male athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 1980 Sep;20(3):235-8

- Mitchell JH, Schmidt RT. Cardiovascular reflex control by afferent fibers from skeletal muscle receptors. Teoksessa Shephard JT, Abboud FM, Gligier SR (toim.) Handbook of physiology. American Physiological Society, Bethesda, Md, 1983, s. 623-658
- Mooradian AD, Morley JE, Korenman SG. Biological actions of androgens. *Endocr Rev.* 1987 Feb;8(1):1-28. Review.
- Moore-Ede MC. Physiology of the circadian timing system: predictive versus reactive homeostasis. *Am J Physiol.* 1986 May;250(5 Pt 2):R737-52
- Moritani T. Time course of adaptations during strength and power training, teoksessa Komi PV (ed.) *Strength and Power in Sport*, s. 268-278, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992
- Moss B.M, Refsnes P.E., Abildgaard A., Nicolaysen K. & Jensen J., Effects of Maximal Effort Strength Training with Different Loads on Dynamic Strength, Cross-Sectional Area, Load-Power and Load-Velocity Relationship, *European Journal of Applied Physiology*, 1997, 75:193-199
- Murray MA, Corker CS. Levels of testosterone and luteinizing hormone in plasma samples taken at 10-minute intervals in normal men. *J Endocrinol.* 1973 Jan;56(1):157-8
- Naftolin F, Judd HL, Yen SS. Pulsatile patterns of gonadotropins and testosterone in man: the effects of clomiphene, with and without testosterone added. *J Clin Endocrinol Metab.* 1973 Feb;36(2):285-8
- Nankin HR, Calkins JH. Decreased bioavailable testosterone in aging normal and impotent men. *J Clin Endocrinol Metab.* 1986 Dec;63(6):1418-20
- Neary JP, Wheeler G, MacLean I, Cumming D, Quinney HA. Urinary free cortisol as an indicator of exercise training stress, *Clinical Journal of Sports Medicine*, 1994, 4:160-165
- Nicklas BJ, Ryan AJ, Treuth MM, Harman SM, Blackman MR, Hurley BF, Rogers MA. Testosterone, growth hormone and IGF-I responses to acute and chronic resistive exercise in men aged 55-70 years. *Int J Sports Med* 1995 Oct;16(7):445-50
- Noall MW, Riggs TR, Walker LM, Christensen HN. Endocrine control of amino acid transfer. Distribution of an unmetabolizable amino acid, *Science* 1957, 126:1002

- Odedra BR, Bates PC, Millward DJ. Time course of the effect of catabolic doses of corticosterone on protein turnover in rat skeletal muscle and liver. *Biochem J*. 1983 Aug 15;214(2):617-27
- Ostrowsky KJ, Wilson GJ, Weatherby R, Murphy PW, Lyttle AD. The Effect of Weight Training Volume on Hormonal Output and Muscular Size and Function, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1997, 11(3), 148-154
- Pardridge WM. Plasma protein-mediated transport of steroid and thyroid hormones. *Am J Physiol*. 1987 Feb;252(2 Pt 1):E157-64. Review.
- Parker LN, Odell WD. Evidence for existence of cortical androgen-stimulating hormone. *Am J Physiol* 1979 Jun;236(6):E616-20
- Patton JF, Murphy MM, Frederick FA, Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int J Sports Med* 1985 Apr;6(2):82-5
- Pedersen BK. Influence of physical activity on the cellular immune system: mechanisms of action. *Int J Sports Med*. 1991 Jun;12 Suppl 1:S23-9. Review.
- Pell JM, Bates PC. Differential actions of growth hormone and insulin-like growth factor-I on tissue protein metabolism in dwarf mice. *Endocrinology* 1992 Apr;130(4):1942-50
- Pestell RG, Hurley DM, Vandongen R. Biochemical and hormonal changes during a 1000 km ultramarathon. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 1989 May;16(5):353-61
- Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol* 1997 Jul;273(1 Pt 1):E99-107
- Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol* 1999 Jan;276(1 Pt 1):E118-24
- Poland JL, Myers TD, Witorsch RJ, Brandt RB. Plasma corticosterone and cardiac glycogen levels in rats after exercise. *Proc Soc Exp Biol Med*. 1975 Oct;150(1):148-50
- Pullinen T, Mero A, MacDonald E, Pakarinen A, Komi PV. Plasma catecholamine and serum testosterone responses to four units of resistance exercise in young and adult male athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998 Apr;77(5):413-20

- Pyka G, Taaffe DR, Marcus R. Effect of a sustained program of resistance training on the acute growth hormone response to resistance exercise in older adults. *Horm Metab Res* 1994 Jul;26(7):330-3
- Raastad T, Bjoro T, Hallen J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol* 2000 May;82(1-2):121-8
- Raastad T, Hallen J. Hormonal responses accompanying performance decrements following two weeks of strength exercise overtraining: a case report, Proceedings of 4th Annual Congress of the European College of Sport Sciences, 1999, p.801
- Raben A, Kiens B, Richter EA, Rasmussen LB, Svenstrup B, Micic S, Bennett P. Serum sex hormones and endurance performance after a lacto-ovo vegetarian and a mixed diet. *Med Sci Sports Exerc.* 1992 Nov;24(11):1290-7
- Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE, Wolfe RR. An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol* 2000 Feb;88(2):386-92
- Raynaud J, Capderou A, Martineaud JP, Bordachar J, Durand J. Intersubject variability in growth hormone time course during different types of work. *J Appl Physiol* 1983 Dec;55(6):1682-7
- Raynaud J, Drouet L, Martineaud JP, Bordachar J, Coudert J, Durand J. Time course of plasma growth hormone during exercise in humans at altitude. *J Appl Physiol.* 1981 Feb;50(2):229-33
- Richter EA, Galbo H, Sonne B, Holst JJ, Christensen NJ. Adrenal medullary control of muscular and hepatic glycogenolysis and of pancreatic hormonal secretion in exercising rats. *Acta Physiol Scand.* 1980 Mar;108(3):235-42
- Riss TL, Novakofski J, Bechtel PJ. Skeletal muscle hypertrophy in rats having growth hormone-secreting tumor. *J Appl Physiol* 1986 Nov;61(5):1732-5
- Rizza RA, Mandarino LJ, Gerich JE. Effects of growth hormone on insulin action in man. Mechanisms of insulin resistance, impaired suppression of glucose production, and impaired stimulation of glucose utilization. *Diabetes* 1982 Aug;31(8 Pt 1):663-9
- Robinson PM, Perry RA, Hardy KJ, Coghlan JP, Scoggins BA. The innervation of the adrenal cortex in the sheep, *Ovis ovis*. *J Anat.* 1977 Sep;124(1):117-29
- Roemmich JN, Sinning WE. Weight loss and wrestling training: effects on growth-related hormones. *J Appl Physiol* 1997 Jun;82(6):1760-4

- Rogozkin V. Metabolic effects of anabolic steroid on skeletal muscle. *Med Sci Sports* 1979 Summer;11(2):160-3
- Rosen CJ, Conover C. Growth hormone/insulin-like growth factor-I axis in aging: a summary of a National Institutes of Aging-Sponsored Symposium. *J Clin Endocrinol Metab.* 1997 Dec;82(12):3919-22. Review.
- Roth J, Glick S, Valow RS. Hypoglycaemia: a potent stimulus of growth hormone *Science*, 1963;140:987-988
- Rowe PH, Racey PA, Lincoln GA, Ellwood M, Lehane J, Shenton JC. The temporal relationship between the secretion of luteinizing hormone and testosterone in man. *J Endocrinol.* 1975 Jan;64(1):17-26
- Rowell LB, Blackman JR and Bruce RA, Indocyanine green clearance and estimated hepatic blood flow during mild to maximal exercise in upright man, *Journal of Clinical Investigation*, 1964, 43:1677-1690
- Roy RR, Tri C, Grossman EJ, Talmadge RJ, Grindeland RE, Mukku VR, Edgerton VR. IGF-I, growth hormone, and/or exercise effects on non-weight-bearing soleus of hypophysectomized rats. *J Appl Physiol* 1996 Jul;81(1):302-11
- Rudman D. Growth hormone, body composition, and aging. *J Am Geriatr Soc.* 1985 Nov;33(11):800-7. Review.
- Rutherford OM, Jones DA. The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(1):100-5
- Sapolsky RM, Krey LC, McEwen BS. Prolonged glucocorticoid exposure reduces hippocampal neuron number: implications for aging. *J Neurosci.* 1985 May;5(5):1222-7
- Scheen AJ, Buxton OM, Jison M, Van Reeth O, Leproult R, L'Hermite-Balériaux M, Van Cauter E. Effects of exercise on neuroendocrine secretions and glucose regulation at different times of day. *Am J Physiol.* 1998 Jun;274(6 Pt 1):E1040-9
- Schmidt W, Dore S, Hilgendorf A, Strauch S, Gareau R, Brisson GR. Effects of exercise during normoxia and hypoxia on the growth hormone-insulin-like growth factor I axis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71(5):424-30
- Schoenle E, Zapf J, Humbel RE, Froesch ER. Insulin-like growth factor I stimulates growth in hypophysectomized rats. *Nature* 1982 Mar 18;296(5854):252-3

- Schwab R, Johnson GO, Housh TJ, Kinder JE, Weir JP. Acute effects of different intensities of weight lifting on serum testosterone. *Med Sci Sports Exerc* 1993 Dec;25(12):1381-5
- Schwarz L, Kindermann W. Beta-endorphin, adrenocorticotrophic hormone, cortisol and catecholamines during aerobic and anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;61(3-4):165-71
- Scott CD, Baxter RC. Production of insulin-like growth factor I and its binding protein in rat hepatocytes cultured from diabetic and insulin-treated diabetic rats. *Endocrinology* 1986 Nov;119(5):2346-52
- Seeman TE, Robbins RJ. Aging and hypothalamic-pituitary-adrenal response to challenge in humans. *Endocr Rev.* 1994 Apr;15(2):233-60. Review.
- Seene T, Viru A. The catabolic effect of glucocorticoids on different types of skeletal muscle fibres and its dependence upon muscle activity and interaction with anabolic steroids. *J Steroid Biochem.* 1982 Feb;16(2):349-52
- Seppälä T, Dreyfus J.F., Saanio I., Nuotto E., Zoplición and flunitrazepam in healthy subjects: hypnotic activity, residual effects on performance and combined effects with alcohol. *Drugs Exp. Clin. Res.* 1982, 8:35-47
- Sethumadhavan K, Veeraragavan K, Bowers CY. Demonstration and characterization of the specific binding of growth hormone-releasing peptide to rat anterior pituitary and hypothalamic membranes. *Biochem Biophys Res Commun* 1991 Jul 15;178(1):31-7
- Shader RI, Dreyfuss D, Gerrein JR, Harmatz JS, Allison SJ, Greenblatt DJ. Sedative effects and impaired learning and recall after single oral doses of lorazepam. *Clin Pharmacol Ther* 1986 May;39(5):526-9
- Sherman B, Wysham C, Pfohl B. Age-related changes in the circadian rhythm of plasma cortisol in man. *J Clin Endocrinol Metab.* 1985 Sep;61(3):439-43
- Skierska E, Ustupka J, Biczowa B, Lukaszewska J. Effect of physical exercise on plasma cortisol, testosterone and growth hormone levels in weight lifters. *Endokrynol Pol* 1976 Mar-Apr;27(2):159-65
- Smythe GA, Lazarus L. Suppression of human growth hormone secretion by melatonin and cyproheptadine. *J Clin Invest* 1974 Jul;54(1):116-21
- Staron RS, Hikida RS, Hagerman FC, Dudley GA, Murray TF. Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. *J Histochem Cytochem.* 1984 Feb;32(2):146-52

- Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*. 1994 Mar;76(3):1247-55
- Staron RS, Malicky ES, Leonardi MJ, Falkel JE, Hagerman FC, Dudley GA. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;60(1):71-
- Stolar MW, Baumann G. Big growth hormone forms in human plasma: immunochemical evidence for their pituitary origin. *Metabolism* 1986 Jan;35(1):75-7
- Stone MH. Implications for connective tissue and bone alterations resulting from resistance exercise training. *Med Sci Sports Exerc* 1988 Oct;20(5 Suppl):S162-8
- Sutton J, Lazarus L. Effect of adrenergic blocking agents on growth hormone responses to physical exercise. *Horm Metab Res* 1974 Sep;6(5):428-9
- Sutton J, Lazarus L. Growth hormone in exercise: comparison of physiological and pharmacological stimuli. *J Appl Physiol* 1976 Oct;41(4):523-7
- Sutton JR, Casey JH. The adrenocortical response to competitive athletics in veteran athletes. *J Clin Endocrinol Metab*. 1975 Jan;40(1):135-8
- Sutton JR, Coleman MJ, Casey J, Lazarus L. Androgen responses during physical exercise. *Br Med J*. 1973 Mar 3;1(852):520-2
- Sutton JR, Jones NL, Toews CJ. Growth hormone secretion in acid-base alterations at rest and during exercise. *Clin Sci Mol Med* 1976 Apr;50(4):241-7
- Sutton JR, Young JD, Lazarus L, Hickie JB, Maksvytis J. The hormonal response to physical exercise. *Australas Ann Med* 1969 May;18(2):84-90
- Sutton JR. Effect of acute hypoxia on the hormonal response to exercise. *J Appl Physiol*. 1977 Apr;42(4):587-92
- Tabata I, Atomi Y, Miyashita M. Blood glucose concentration dependent ACTH and cortisol responses to prolonged exercise. *Clin Physiol*. 1984 Aug;4(4):299-307
- Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*. 2000 Jan;88(1):61-5
- Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Swarcz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol*. 1992 Nov;73(5):1986-95

- Tegelman R, Lindeskog P, Carlstrom K, Pousette A, Blomstrand R. Peripheral hormone levels in healthy subjects during controlled fasting. *Acta Endocrinol (Copenh)*. 1986 Nov;113(3):457-62
- Tenover JL. Testosterone and the aging male. *J Androl*. 1997 Mar-Apr;18(2):103-6. Review.
- Tenover JS. Androgen administration to aging men. *Endocrinol Metab Clin North Am*. 1994 Dec;23(4):877-92. Review.
- Tesch P, Colliander E, Kaiser P. Muscle Metabolism during Intense, Heavy-resistance Exercise, *European Journal of Applied Physiology*, 1986, 55, 362-366
- Tesch PA, Thorsson A, Kaiser P. Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *J Appl Physiol* 1984 Jan;56(1):35-8
- Tesch PA. Training for bodybuilding, teoksessa Komi PV (ed.) *Strength and Power in Sport*, s.370-380, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992
- Tharp GD, Buuck RJ. Adrenal adaptation to chronic exercise. *J Appl Physiol*. 1974 Nov;37(5):720-2
- Thissen JP, Ketelslegers JM, Underwood LE. Nutritional regulation of the insulin-like growth factors. *Endocr Rev* 1994 Feb;15(1):80-101
- Thuma JR, Gilders R, Verdun M, Loucks AB. Circadian rhythm of cortisol confounds cortisol responses to exercise: implications for future research. *J Appl Physiol*. 1995 May;78(5):1657-64
- Tipton KD & Wolfe RR. Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2001 Mar;11(1):109-32
- Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D Jr, Wolfe RR Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* 1999 Apr;276(4 Pt 1):E628-34
- Tipton KD, Wolfe RR Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiol Scand* 1998 Mar;162(3):377-87
- Tremblay MS, Chu SY, Mureika R. Methodological and statistical considerations for exercise-related hormone evaluations. *Sports Med* 1995 Aug;20(2):90-108
- Triplett NT, Stone MH, Adams C, Allran KD, Smith TW. Effects of aspartic acid salts on fatigue parameters during weight training exercise and recovery. *Journal of Applied Sport Sciences* 1990, 4:141-147

- Troger WG, Fiedberg SJ, Morton ES, Bogdanoff MD. The effect of beta-receptor blockade upon plasma free fatty acid and growth hormone response to exercise, *Journal of Clinical Investigation* 1966, 45:1081-1088
- Tsai L, Johansson C, Pousette A, Tegelman R, Carlstrom K, Hemmingsson P. Cortisol and androgen concentrations in female and male elite endurance athletes in relation to physical activity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63(3-4):308-11
- Tsuruhara T, Dufau ML, Cigorruga S, Catt KJ. Hormonal regulation of testicular luteinizing hormone receptors. Effects on cyclic AMP and testosterone responses in isolated Leydig cells. *J Biol Chem*. 1977 Dec 25;252(24):9002-9
- Turner JD, Rotwein P, Novakofski J, Bechtel PJ. Induction of mRNA for IGF-I and -II during growth hormone-stimulated muscle hypertrophy. *Am J Physiol* 1988 Oct;255(4 Pt 1):E513-7
- Ullman M, Oldfors A. Effects of growth hormone on skeletal muscle. I. Studies on normal adult rats. *Acta Physiol Scand* 1989 Apr;135(4):531-6
- Umpleby AM, Russell-Jones DL. The hormonal control of protein metabolism. *Baillieres Clin Endocrinol Metab* 1996 Oct;10(4):551-70
- Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med*. 1995 Oct;20(4):251-76. Review.
- Urhausen A, Gabriel HH, Kindermann W. Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1998 Mar;30(3):407-14
- Van Cauter E, Polonsky KS, Scheen AJ. Roles of circadian rhythmicity and sleep in human glucose regulation. *Endocr Rev*. 1997 Oct;18(5):716-38. Review.
- van Oers JW, Hinson JP, Binnekade R, Tilders FJ. Physiological role of corticotropin-releasing factor in the control of adrenocorticotropin-mediated corticosterone release from the rat adrenal gland. *Endocrinology* 1992 Jan;130(1):282-8
- VanHelder WP, Casey K, Goode RC, Radomski WM. Growth hormone regulation in two types of aerobic exercise of equal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1986;55(3):236-9
- VanHelder WP, Casey K, Radomski MW. Regulation of growth hormone during exercise by oxygen demand and availability. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56(6):628-32

- Vanhelder WP, Goode RC, Radomski MW. Effect of anaerobic and aerobic exercise of equal duration and work expenditure on plasma growth hormone levels. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984a;52(3):255-7
- Vanhelder WP, Radomski MW, Goode RC. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984b;53(1):31-4
- Vermeulen A, Rubens R, Verdonck L. Testosterone secretion and metabolism in male senescence. *J Clin Endocrinol Metab* 1972 Apr;34(4):730-5
- Vervoorn C, Quist AM, Vermulst LJ, Erich WB, de Vries WR, Thijssen JH. The behaviour of the plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training. *Int J Sports Med.* 1991 Jun;12(3):257-63
- Vierck J, O'Reilly B, Hossner K, Antonio J, Byrne K, Bucci L, Dodson M. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int* 2000;24(5):263-72
- Viitasalo J., Raninen J. & Liitsola S., Voimaharjoittelu – perusteet ja käytännön toteutus, Gummerus OY, Jyväskylä, 1985
- Villanueva AL, Schlosser C, Hopper B, Liu JH, Hoffman DI, Rebar RW. Increased cortisol production in women runners. *J Clin Endocrinol Metab.* 1986 Jul;63(1):133-6
- Viru A, Litvinova L, Viru M, Smirnova T. Glucocorticoids in metabolic control during exercise: alanine metabolism. *J Appl Physiol.* 1994 Feb;76(2):801-5
- Viru A, Viru M, Bosco C. Cortisol in training monitoring, Proceedings of 4th Annual Congress of the European College of Sport Science, 1999, s.185
- Viru A. Molecular cellular mechanisms of training effects. *J Sports Med Phys Fitness.* 1994 Dec;34(4):309-22. Review.
- Viru A. Plasma hormones and physical exercise. *Int J Sports Med.* 1992 Apr;13(3):201-9. Review.
- Viru M, Litvinova L, Smirnova T, Viru A. Glucocorticoids in metabolic control during exercise: glycogen metabolism. *J Sports Med Phys Fitness.* 1994 Dec;34(4):377-82
- Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA, Incledon T, Boetes M. Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1997 Jan;82(1):49-54§§

- Walker SW, Lightly ER, Clyne C, Williams BC, Bird IM. Adrenergic and cholinergic regulation of cortisol secretion from the zona fasciculata/reticularis of bovine adrenal cortex. *Endocr Res.* 1991;17(1-2):237-65
- Warner MD, Sinha YN, Peabody CA. Growth hormone and prolactin variants in normal subjects. Relative proportions in morning and afternoon samples. *Horm Metab Res* 1993 Aug;25(8):425-9
- Warren GL, Lowe DA, Armstrong RB, 59 Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 1999 Jan;27(1):43-48
- Weicker H, Werle E. Interaction between hormones and the immune system. *Int J Sports Med.* 1991 Jun;12 Suppl 1:S30-7
- Weiss LW, Cureton KJ, Thompson FN. Comparison of serum testosterone and androstenedione responses to weight lifting in men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;50(3):413-9
- Welle S, Thornton C, Statt M Myofibrillar protein synthesis in young and old human subjects after three months of resistance training. *Am J Physiol* 1995 Mar;268(3 Pt 1):E422-7
- Wilkerson JE, Horvath SM, Gutin B. Plasma testosterone during treadmill exercise. *J Appl Physiol.* 1980 Aug;49(2):249-53
- Wittert GA, Livesey JH, Espiner EA, Donald RA. Adaptation of the hypothalamopituitary adrenal axis to chronic exercise stress in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Aug;28(8):1015-9
- Yarasheski KE, Pak-Loduca J, Hasten DL, Obert KA, Brown MB, Sinacore DR Resistance exercise training increases mixed muscle protein synthesis rate in frail women and men ≥ 76 yr old. *Am J Physiol* 1999 Jul;277(1 Pt 1):E118-25
- Yarasheski KE, Zachwieja JJ, Bier DM Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women. *Am J Physiol* 1993 Aug;265(2 Pt 1):E210-4

LIITE 1. Suostumuslomake tutkimuksen koehenkilöksi osallistumiseen

Arvoisa koehenkilö

Professori Keijo Häkkisen johtaman tutkimuksen ” Maksimivoimaharjoittelussa käytettävien pakkotoisto- ja maksimitoistomenetelmien hermo-lihasjärjestelmän välittömien vaikutusten vertailu” tarkoituksena on selvittää voimaharjoittelussa yleisesti käytettävän pakkotoistomenetelmän vaikutusta hermo-lihasjärjestelmän toimintaan, hormonieritykseen ja lihasvaurion esiintyvyyteen. Tutkimuksella toivotaan saatavan tärkeää lisätietoa selvitettäessä voimaharjoituksen vaikutuksia elimistön toimintaan sekä etsittäessä mahdollisimman tehokkaita voimaharjoitusmenetelmiä.

Tutkimus sisältää yhden harjoituskerran, jolloin koehenkilöiltä otetaan kolme verinäytettä. Kahdella mittauskerralla koehenkilöt suorittavat neljä sarjaa jalkaprässillä (David 210), 2 sarjaa jalkakyykkyä Smith –laitteella ja 2 sarjaa reiden ojennus laitteella (David 200) aina yhteensä 12 toistoa joko pakko- tai maksimitoistomenetelmällä. Ennen ja jälkeen rasiituksen koehenkilöiltä testataan isometrinen maksimivoima ja räjähtävä voimantuotto yhdistettynä EMG mittaukseen. Rasiituksen aiheuttamaa hormonivastetta ja maitohappopitoisuuden muutosta mitataan ottamalla verinäytteitä kyynärvarren laskimoista ja sormenpäistä ennen rasiitusta, rasiituksen aikana ja sen jälkeen. Lihasvaurion esiintyvyyttä mitataan isometrisen ja räjähtävän voimantuoton, lihasaktiivisuuden sekä turvotuksen mittauksen avulla. Kreatiinikinaasi –entsyymien aktiivisuutta mitataan verinäytteiden avulla. Mittaukset tehdään ennen rasiitusta, välittömästi sen jälkeen sekä 1. 2. ja 3. päivänä rasiituksen jälkeen.

Kuten suurella teholla tehtävään maksimivoimaharjoitteluun yleensäkin liittyy myös tutkimukseen riskejä, kuten tuki- ja liikuntaelinten vaurioita (lihasrevähdyksiä, kipuja tms.) varsinkin harjoitukseen tottumattomalla. Kuormituskokeissa on aina vaara esiintyä sydämen, verenkiertoelimistön ja/tai hengityselimistön toiminnan häiriöitä, jotka pahimmillaan voivat olla kohtalokkaita. EMG:n pintaelektrodien vaatima ihokäsittely saattaa altistaa elimistön tulehduksille. Infektiovaaraa pienennetään käyttämällä koehenkilökohtaisia ihonkäsittelyvälineitä. Myös testilaitteet saattavat aiheuttaa esim. hiertymiä. Laskimoverinäytteiden otto voi aiheuttaa mustelmia näytteenotto alueelle ja niihin liittyy myös tulehdusvaara. Verinäytteet ottaa siihen koulutuksen saanut henkilö. Lääkäri on tarvittaessa tavoitettavissa puhelinsoitolla. Koehenkilöt ovat tutkimuksen ajan vakuutettuja tapaturmien varalta.

Tutkijat tekevät mittaustuloksista yhteenvedot ja tieteelliset tutkimusraportit, joita käytetään hyväksi sellaisenaan sekä kuntoilun ja urheilun harjoitusmenetelmien yleisessä kehittämisessä. Tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti eikä koehenkilöiden nimiä julkaista. Halutessaan koehenkilöt voivat kysyä lisätietoja tutkimuksesta milloin tahansa tutkimuksen aikana tai Juha Ahtiaiselta puhelinnumerosta 050-5674170.

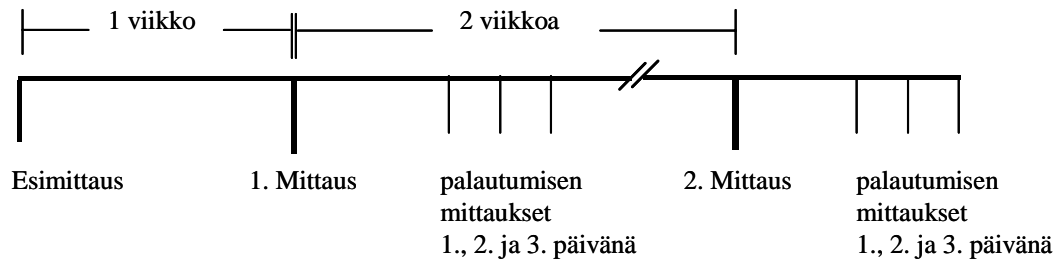
Olen tutustunut suoritettaviin mittauksiin, olen ymmärtänyt niiden tarkoituksen ja niihin liittyvät riski- ja hyötynäkökohdat. Suostun osallistumaan mittauksiin annettujen ohjeiden mukaisesti. Voin kuitenkin halutessani keskeyttää kokeen tai kieltäytyä mittauksista missä tahansa tutkimuksen vaiheessa. Olen terve eikä minulla ole tällä hetkellä tuki- ja liikuntaelimestön sairautta tai loukkaantumista enkä ole ollut kuumeessa kahden viimeksi kuluneen viikon aikana.

Paikka ja aika _____

Allekirjoitus _____

LIITE 2.

Kuormitus- ja palautusmittausten aikataulu



Kuormitusmittauksen kulku

1. Lepo 10 min.
2. Lihasarkuus –kysely, US –mittaus , 1. verinäyte
3. Isometrinen alaraajojen ojentajalihasten maksimivoima
4. Kevennyshyppy
5. Jalkaprässi 1. sarja
6. Jalkaprässi 2. sarja
7. Isometrinen maksimivoima, 2. verinäyte
8. Jalkaprässi 3. sarja
9. Jalkaprässi 4. sarja
10. Isometrinen maksimivoima, US-mittaus, 3. verinäyte
11. Jalkakyykky 1. sarja
12. Jalkakyykky 2. sarja
13. Isometrinen maksimivoima, US-mittaus, 4. verinäyte
14. Reisojennus 1. sarja
15. Reisojennus 2. sarja
16. Isometrinen maksimivoima
17. Kevennyshyppy
18. US –mittaus, RPE, 5. verinäyte
19. +15min; US –mittaus, 6. verinäyte
20. +30min; US –mittaus, 7. verinäyte

Palautumisen mittaukset

1. Lepo 10 min.
2. Lihasarkuus –kysely, US –mittaus , CK -verinäyte
3. Isometrinen maksimivoima
4. Kevennyshyppy