

**24 VIIKON YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHAR-
JOITTELUN VAIKUTUS SEERUMIN HORMONIPITOI-
SUUKSIIN JA FYYSISEEN SUORITUSKYKYYN KESTÄ-
VYYSHARJOITELLEILLA MIEHILLÄ**

Olli-Pekka Mykkänen

Pro gradu
Valmennus- ja testausoppi
Syksy 2016
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Ohjaaja: Keijo Häkkinen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	5
2 ENDOKRIININEN JÄRJESTELMÄ JA SEN AKUUTIT VASTEET KUORMITUKSEEN	7
2.1 Endokriinisen järjestelmän rakenne ja toiminta	7
2.2 Akuutit hormonaaliset vasteet kestävyys- ja voimakuormitukseen	10
2.2.1 Kestävyyskuormitus	11
2.2.2 Voimakuormitus	15
2.2.3 Yhdistetty kestävyys- ja voimakuormitus	18
3 HARJOITTELUN AIKAANSAAMAT KROONISET ADAPTAATIOT HORMONIEN LEPOPITOISUUKSISSA JA AKUUTEISSA VASTEISSA	21
3.1 Adaptaatiot hormonien lepopitoisuuksissa	21
3.2 Adaptaatiot akuuteissa hormonaalisissa vasteissa	22
4 YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN AIHEUTTAMAT KROONISET ADAPTAATIOT SUORITUSKYVYSSÄ	24
4.1 Adaptaatiot voimantuotossa	24
4.2 Adaptaatiot kestävyysuorituskyvyssä	26
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	29
6 MENETELMÄT	31
6.1 Koehenkilöt	31
6.2 Koeasetelma	32
6.2 Harjoittelu	33
6.3 Mittaukset	37
6.4 Tilastolliset analyysit	40
7 TULOKSET	42

7.1 Hormonien lepopitoisuudet	42
7.2 Akuutit hormonaaliset vasteet	46
7.3 Maksimivoima ja nopeusvoima	50
7.4 Kestävyyssuorituskyky ja taloudellisuus	52
8 POHDINTA	55
8.1 Muutokset hormonaalisessa toiminnassa	57
8.2 Muutokset kestävyysuorituskyvyssä ja taloudellisuudessa	60
8.3 Muutokset voimantuotossa	61
8.4 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet	61
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	63
LÄHTEET	64

1 JOHDANTO

Kestävyys- ja voimaharjoittelu ovat molemmat tärkeitä sekä hyvinvoinnin kannalta että huippu-urheilussa. Niin kuntoilijoille kuin huippu-urheilijoillekin kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistäminen samaan harjoitukseen tarjoaa mahdollisuuden säästää aikaa joko muihin päivittäisiin toimintoihin tai saattaa mahdollistaa kestävyysurheilijalle harjoitusmäärien lisäämisen. Lisäksi kestävyys- ja voimaharjoittelun toteuttaminen samassa harjoituksessa saattaa olla hyödyllisempää molempien ominaisuuksien yhden aikaisen kehittämisen näkökulmasta.

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on osoitettu useissa tutkimuksissa haittaavan maksimaalisen voiman ja nopeusvoiman kehittymistä (Häkkinen ym. 2003; Hickson 1980). Erityisesti suurten harjoitusvolyymien sekä määrällisen ja kovaintensiteettisen kestävyysharjoittelun on todettu vaikuttavan negatiivisesti voiman kehittymiseen (Wilson 2012). Kestävyysominaisuuksien kehittymisen osalta yhdistetyn harjoittelun ei ole huomattu vaikuttavan negatiivisesti kestävyuden kehittymiseen (Chtara ym. 2005; Ferrauti ym. 2010; Hickson 1980; Kraemer ym. 1995).

Kestävyysjuoksutaustaisilla koehenkilöillä voimatasojen on huomattu kehittyvän samalla tavalla yhdistettyä harjoittelevalla ryhmällä kuin pelkkää voimaharjoittelua tekevällä ryhmällä (Hunter ym. 1987) tai jopa parantuvan yhdistetyn harjoittelun seurauksena (Ferrauti ym. 2010). Voimaharjoittelun yhdistämisestä kestävyysurheilijoiden harjoitusohjelmiin on olemassa jo paljon positiivista näyttöä juoksun taloudellisuuden ja maksimaalisen kestävyys suorituskyvyn osalta (Millett ym. 2002; Paavolainen ym. 1999). Kuitenkaan tutkimuksia, joissa kestävyyttä ja voimaa pyritään kehittämään samassa harjoituksessa, ei juuri ole. Suurin osa saman harjoituksen aikana molempia ominaisuuksia harjoittavista tutkimuksista on keskittynyt suoritusjärjestyksen tutkimiseen ja koehenkilöinä on useimmiten aiemmin harjoitteleemattomia (esim. Schumann ym. 2014; Rosa ym. 2015).

Useimmat tutkimukset ovat osoittaneet voimaharjoittelusta olevan hyötyä kestävyysjuoksijoille suorituskyvyn parantamiseksi ja positiivisten muutosten on osoitettu tulevan

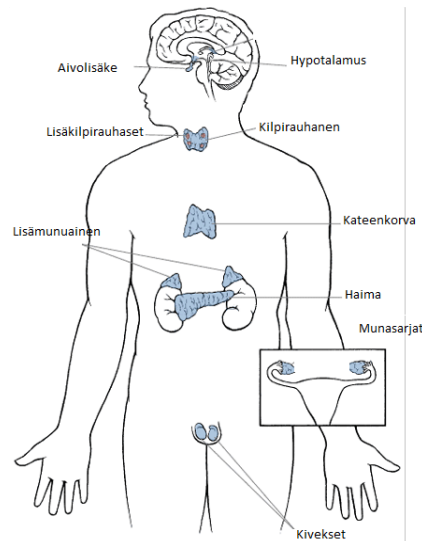
hermolihäs-järjestelmän toiminnan tehostumisesta (voimantuottokyvyn paraneminen, solumuutokset, viivästynyt nopeiden motoristen yksiköiden rekrytointi) (Ronnestad & Mujika 2014). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia elimistön hormonaalisiin toimintoihin sekä lisäksi tarkastella muutoksia kestävyys- ja voimantuottokyvyn sekä voimantuottokyvyn ja voimantuottokyvyn sekä vertailla muutoksia pelkkään kestävyys- ja voimantuottokyvyn harjoitteluun.

2 ENDOKRIININEN JÄRJESTELMÄ JA SEN AKUUTIT VASTEET KUORMITUKSEEN

Endokriinisella järjestelmällä tarkoitetaan elimistön sisäeritysjärjestelmää, joka on hermoston ohella elimistön toinen tapa välittää viestejä kudoksesta toiseen. Hermoston viestien välitysmekanismi perustuu elektrokemialliseen viestintään ja endokriinisen järjestelmän viestinvälitys perustuu kemiallisiin agentteihin, jotka kulkeutuvat verenkierron mukana kohde-elimeen. Nämä viestien välitysjärjestelmät ovat kuitenkin tiiviisti toisiinsa yhteydessä ja vaikuttavat toinen toistensa toimintaan. (Griffin & Ojeda, 2004, 1-5.) Endokriininen järjestelmä muun muassa säätelee elimistön anabolisia ja katabolisia prosesseja ja on siten tärkeä harjoitusvaikutusten syntymisessä. Harjoittelu järkyttää elimistön homeostasiaa, jota ihmisen keho yrittää ylläpitää. Endokriininen järjestelmä auttaa kehoa mukautumaan muutoksiin homeostasiassa. (Kraemer & Rogol 2005).

2.1 Endokriinisen järjestelmän rakenne ja toiminta

Ihmisen sisäeritysjärjestelmän toiminta perustuu sisäeritysrauhaille, jotka ärsykkeen saatuaan erittävät hormoneja suoraan verenkiertoon. Tärkeimmät hormoneja erittävät rauhaset on esitetty kuvassa 1. Rauhaset sisältävät paljon hiusverisuonia, mikä tekee rauhasen valmistamien hormonien siirtymisen verenkiertoon ja sitä kautta edelleen kohdekudoksiin helpoksi. (Griffin & Ojeda 2004, 1-5.)



KUVA 1. Tärkeimmät hormoneja erittävät rauhaset. (Mukailtu: American Medical Association).

Hormonit voidaan jakaa kemiallisen rakenteensa mukaan kolmeen eri pääryhmään: amiini-, peptidi- ja steroidihormoneihin (McArdle ym. 2007, 418). Hormoneja voidaan luokitella myös vaikutustapansa mukaan joko anabolisiin tai katabolisiin hormoneihin. Anaboliset hormonit yhdistetään elimistössä tapahtuviin kudoksia rakentaviin prosesseihin (kuten esimerkiksi lihaskasvu) ja kataboliset hormonit vastaavasti elimistöä purkaviin prosesseihin. Esimerkiksi testosteronilla on osoitettu olevan merkittävä vaikutus proteiinisynteesiin ja rasvattomaan kehon massaan (Mauras ym. 1998). Hormonien vaikutus kohdesoluihin perustuu hormonin sitoutumiselle solukalvolla tai tumassa oleviin spesifeihin reseptoreihin. Näiden spesifien reseptoreiden aktivoituminen saa aikaan kohdesolussa toiminnan muutoksia. Yleisimmät hormonien aikaansaamat toiminnan muutokset ovat proteiinisynteesin muutokset, entsyymiaktiivisuuden muutokset, solukalvon kuljetusmekanismien muutokset ja eritysaktiivisuuden muutokset. (Griffin & Ojeda 2004, 49-63).

Hormonien perustaso veressä ei ole tasainen, vaan hormonit erittyvät verenkiertoon sykäyksittäin vuorokaudenajan mukaan (Rao ym. 1995). Hormonien erittymistä verenkiertoon säädellään pääasiassa palautejärjestelmien avulla. Palautejärjestelmät perustuvat siihen, että tietyn hormonin konsentraatio veressä inhiboi tai stimuloi toisen hormo-

nin eritystä verenkiertoon (negatiivinen tai positiivinen palautejärjestelmä). (Bagatell & Bremner, 1996).

Tärkeimmät elimistön anaboliset hormonit, joiden erittymistä säädelään hypotalamuksen ja aivolisäkkeen etulohkon kautta ovat kasvuhormoni (GH), miessukupuolihormoni testosteroni (T) ja kilpirauhashormonit (T3 ja T4). Kasvuhormonin eritystä aivolisäkkeen etulohkosta säätelevät kasvuhormonia vapauttava hormoni (GHRH), ghreliini ja somatostatiini. Kaikkia edellä mainittuja hormoneja valmistetaan hypotalamuksessa, josta ne kulkeutuvat aivolisäkkeen takalohkoon ja saavat siellä aikaan joko GH: n erittymisen lisääntymisen (GHRH ja ghreliini) tai vähenemisen (somatostatiini). GHRH: n injektioimisen elimistöön on osoitettu lisäävän koehenkilöiden GH: n pitoisuutta verenkierrossa (Malerba ym. 2005). Kasvuhormonin anaboliset vaikutukset välittyvät joko suoraan kohdekudoksiin tai perustuvat somatomeidiinien, insuliinin kaltaisten kasvutekijöiden (IGF-1 ja IGF-2), vapautumiseen maksasta ja kohdekudoksista. Esimerkiksi keinoitekoisen kasvuhormonin injektioinnin on osoitettu lisäävän verenkierron IGF-1 pitoisuutta (Hameed ym. 2004). Kasvuhormonin suorat vaikutukset kohdistuvat veren glukoosipitoisuuden ylläpitoon sekä rasvakudokseen, jossa kasvuhormoni saa aikaan rasvahappojen vapautumista verenkiertoon. Somatomeidiinien välityksellä kasvuhormoni stimuloi proteiinisynteesiä ja uusien solujen kasvua sekä luuston kasvua. (Giustina & Veldhuis 1998; Griffin & Ojeda 2004, 132; McArdle ym. 2007, 429-437.)

Testosteronin erittymistä kiveksistä säätelee aivolisäkkeen etulohkon erittämä lutenisoiva hormoni (LH) (Cooke ym. 1976). LH: n erittymistä verenkiertoon aivolisäkkeestä stimuloi lutenisoivaa hormonia vapauttava hormoni (LHRH), jota muodostetaan hypotalamuksessa. Testosteronin anaboliset vaikutukset elimistössä ovat proteiinisynteesin stimulointi kohdekudoksissa (esimerkiksi lihakset) (Ferrando ym. 1999) ja lisäksi testosteronin lisäämisen on osoitettu olevan yhteydessä alhaisempaan rasvaprosenttiin (Rodriguez-Tolrà ym. 2013). Testosteroni on sterooidihormoni, joka liikkuu verenkierrossa sekä vapaassa että kuljettajaproteiineihin sitoutuneessa muodossa. Sex-hormone binding globulin (SHBG) on sukupuolihormoneja verenkierrossa sitova proteiini. Biologisesti aktiivinen testosteroni on ns. vapaa testosteroni, joten jos testosteronin kokonaismäärä verenkierrossa ei lisääny, mutta SHBG: n määrä pienenee, niin todennäköisesti veren-

kierrossa on enemmän vapaassa muodossa olevaa testosteronia. (Griffin & Ojeda 2004, 132, 229-230; McArdle ym. 2007, 429-437)

Elimistön katabolisista hormoneista hyvänä esimerkkinä toimii kortisoli (C). Kortisolin eritystä lisämunuaisen kuorikerrokselta stimuloi adrenokortikotropiini (ACTH). Adrenokortikotropiini on aivolisäkkeen erittämä hormoni, jonka erittymistä stimuloi vasopressiini ja kortikotropiinia vapauttava hormoni (CRH). Kortisoli vaikuttaa proteiini-, glukoosi- ja rasvahappojen metaboliaan lisäämällä proteiinien hajottamista aminohapoiksi, lisäämällä rasvakudoksen purkamista rasvahapoiksi ja ehkäisemällä veren glukoosipitoisuuden laskua. (McArdle ym. 2007, 434.) Esimerkiksi suurten kortikosteroidimäärien on havaittu vaikuttavan negatiivisesti lihasten massaan (Tomas ym. 1979) ja proteiinisynteesiin (Rannels & Jefferson 1980).

2.2 Akuutit hormonaaliset vasteet kestävyys- ja voimakuormitukseen

Kestävyys- ja voimakuormitukset saavat molemmat aikaan hormonaalisia vasteita elimistössä (esim. Linnamo ym. 2005; Kraemer ym. 2008; Tremblay ym. 2005; Ahtiainen ym. 2004). Akuuteista vasteista puhuttaessa tarkastellaan kuormituksen aiheuttamia välittömiä muutoksia yleensä veren seerumin hormonien konsentraatiopitoisuuksissa. Vasteisiin vaikuttavat erityisesti kuormituksen tyyppi, intensiteetti, harjoitusmuoto ja koehenkilöiden harjoitustausta (Viru 1992; Häkkinen & Pakarinen 1993). Akuuttien harjoitusvasteiden avulla saadaan selville liikuntasuorituksen aiheuttama välitön vaste elimistössä. Esimerkiksi kohonnut testosteroni (T) tai kasvuhormoni (GH) liikuntasuorituksen jälkeen viittaa siihen, että kyseinen suoritus saa aikaan kehon kudosten kasvua. Kohonnut kortisoli (C) vastaavasti viittaa kiihtyneeseen ketogeneesiin, lipolyysiin ja proteolyysiin. (McArdle ym. 2007, 435.)

2.2.1 Kestävyyskuormitus

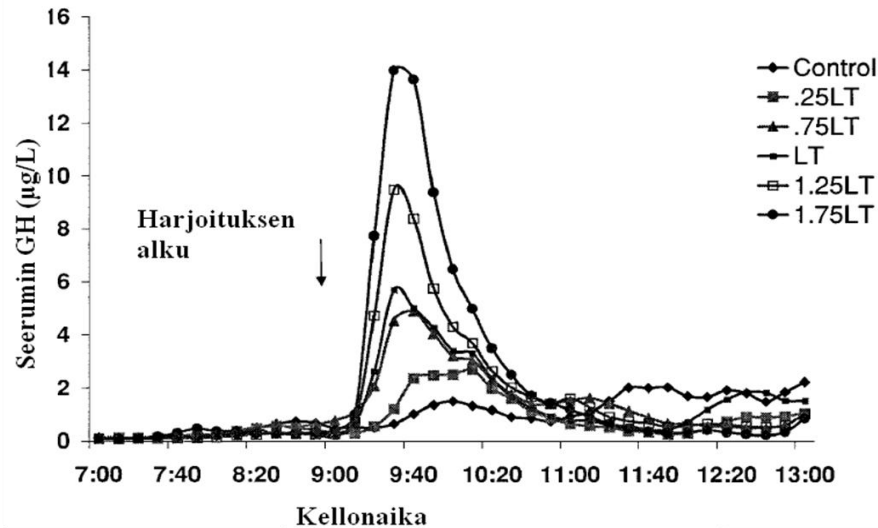
Testosteroni. Kestävyyskuormitus saa aikaan vasteen veren testosteronipitoisuudessa ja sen on havaittu olevan riippuvainen kuormituksen kestosta. Tutkittaessa kuormituksen keston vaikutusta testosteronivasteeseen Tremblayn ym. (2005) mukaan veren testosteronipitoisuus kasvoi noin 20 % ensimmäisen tunnin aikana 80 minuutin ja 120 minuutin juoksussa, kun taas 40 minuutin juoksu sai aikaiseksi huomattavasti pienemmän vasteen matalan intensiteetin kuormituksessa. Lisäksi tutkijat havaitsivat testosteronivasteen kasvavan kuormituksen keston pidentyessä. (Tremblay ym. 2005). Myös kovan intensiteetin uupumukseen saakka tehdyn kuormituksen ja intervallikuormituksen on havaittu lisäävän veren testosteronipitoisuutta (Daly ym. 2005; Tanner ym. 2013). Pitkäkestoisten kuormitusten on havaittu aiheuttavan kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä suorituksen kestosta riippuen joko testosteronipitoisuuden kasvua (Guglielmini ym. 1984; Ponjee ym. 1994) tai laskua erityisesti suorituksen kestäessä yli kolme tuntia (Semple ym. 1985; Guglielmini ym. 1984; Karkoulis ym. 2008; Kraemer ym. 2008). Kohonneiden testosteronipitoisuuksien on osoitettu palautuvan takaisin lepotasolle 1-4 tunnin kuluessa kuormituksen loputtua (Tanner ym. 2013; Tremblay ym. 2004). Karkoulis ym. (2008) mukaan testosteronipitoisuus laski perustason alle tunti maratonsuorituksen jälkeen ja viikko kuormituksesta testosteronipitoisuus oli palautunut takaisin lähtötasolle. Lac & Berthon (2000) tutkivat pitkän viestijuoksun (kokonaisjuoksumatka noin 28 kilometriä) vaikutusta testosteronipitoisuuteen. Tutkijoiden mukaan testosteronipitoisuus laski juoksumatkan (viestiosuoksien) lisääntyessä ja oli vielä kuormituspäivän iltana lepotasoa alempana. Seurattaessa kuormitusta seuraavien päivien palautumista, havaitaan testosteronipitoisuuden palautuvan takaisin lepotasolle yhden vuorokauden jälkeen. (Lac & Berthon 2000.) Taulukossa 1 on yhteenveto harjoitustaustan, suorituksen intensiteetin, suorituksen keston ja kuormitustyypin aiheuttamat muutokset testosteronin pitoisuuksissa eri tutkimuksissa.

TAULUKKO 1. Erityyppisten kestävyyskuormitusten vaikutus elimistön akuuttiin testosteronivasteeseen.

Tutkimus	Kuormitustyyppi	Harjoitustausta	Intensiteetti	Kesto	Tulos T-pitoisuudessa
Tanner ym. 2013	Tasavauhtinen juoksu	Kestävyysurheilijoita	75% VO _{2max}	30min	+
Tanner ym. 2013	Intervallikuormitus 3,5min kova juoksua / 2min kevyttä juoksua	Kestävyysurheilijoita	90% VO _{2max} /kova juoksu, 30% VO _{2max} /kevyt juoksu	31min	+
Karkoulia ym. 2008	Maratonjuoksu	Kestävyysurheilijoita	-	264min	-
Semple ym. 1985	Maratonjuoksu	Kestävyysurheilijoita	-	182-258min	-
Guglielmini ym. 1985	Maratonjuoksu	Eliittuurheilijoita	-	155min	+
Guglielmini ym. 1985	Ultramaratonjuoksu	Eliittuurheilijoita	-	840min	-
Daly ym. 2005	Tasavauhtinen juoksu	Kestävyysurheilijoita	VT=Ventilatorinen kynnys	Uupumukseen saakka. Keskiarvo 84,8min.	+
Ponjee ym. 1995	Maratonjuoksu	Kestävyysurheilijoita	-	-	+
Tremblay ym. 2004	Tasavauhtinen juoksu	Ei harjoitelleita	50-55% VO _{2max}	40min	+

Kasvuhormoni. Kasvuhormonipitoisuuksien on osoitettu lisääntyvän kestävyyskuormituksen seurauksena, mikäli suorituksen intensiteetti on riittävän kova. Kovemalla intensiteetillä suoritettu kuormitus vaikuttaa aiheuttavan suuremman kasvuhormonivasteen kuin matalammalla intensiteetillä tehty kuormitus. Felsing ym. (1992) havaitsivat kasvuhormonivasteen syntyvän minimissään 10 minuutin riittävän kuormittavan polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena. Samankertainen matalammalla intensiteetillä tehty kuormitus ei saanut aikaan merkittävää kasvuhormonivastetta. Tutkijoiden mukaan, kasvuhormonivasteen syntymiseksi kuormituksen intensiteetille on löydettävissä tietty kynnystaso. (Felsing ym. 1992.) Myöhemmissä tutkimuksissa on havaittu kasvuhormonivasteen kasvavan suhteessa kuormituksen intensiteettiin (Pritzlaff ym. 1999) ja keston (Wideman ym. 2006). Wideman ym. (2006) mukaan yli 60 minuutin kuormitukset saattavat kuitenkin aiheuttaa kasvuhormonipitoisuuksien taantumista tai laskua, huippuarvon ollessa noin 50 minuutin kuormituksen jälkeen. Toisaalta esimerkiksi Kraemer ym. (2008) havaitsivat tilastollisesti merkitsevän kasvuhormonivasteen

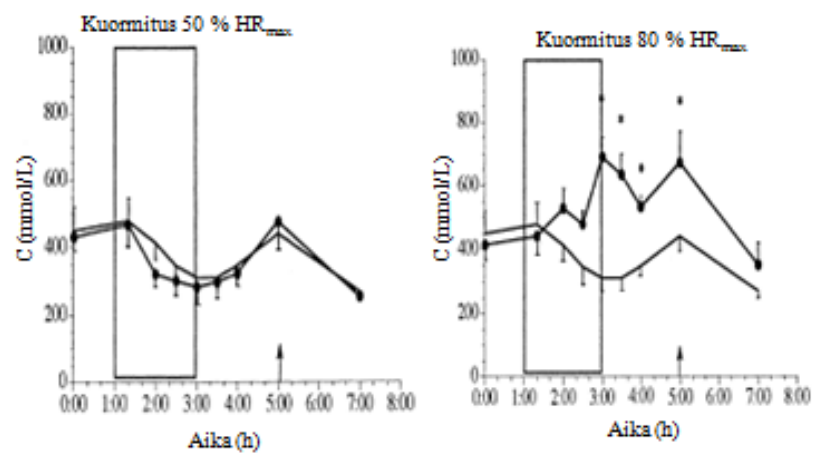
22-34 tunnin kestoisen kilpasuorituksen seurauksena. Kuvassa 2 on nähtävissä kuormituksen intensiteetin vaikutus kasvuhormonivasteisiin.



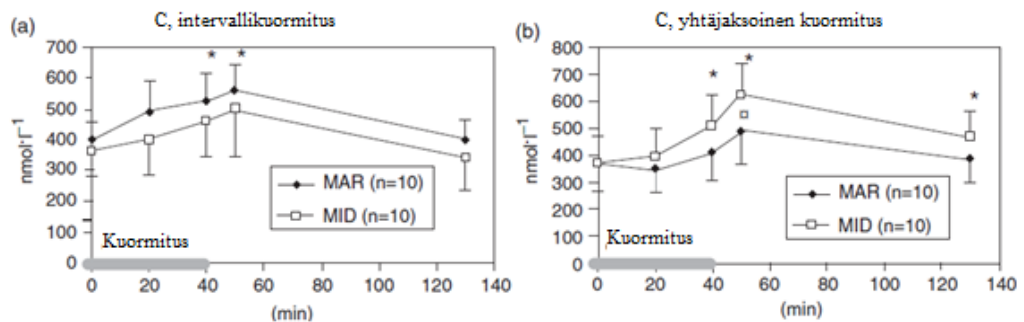
KUVA 2. Kasvuhormonivasteet 30 minuutin kestävyyskuormitukseen eri intensiteeteillä. .25LT ja .75LT tarkoittavat 25 % ja 75 % eroa laktaattikynnyksen ja lepotason hapenkulutuksen välillä. 1.25LT ja 1.75LT tarkoittavat 25 % ja 75 % eroa laktaattikynnyksen hapenkulutuksen ja maksimaalisen hapenkulutuksen välillä. (mukailtu: Pritzlaff ym. 1999).

Kortisoli. Kortisolipitoisuuden on havaittu nousevan sekä lyhyen intensiivisen että pitkän kova- tai matalatehoisen kestävyysuorituksen vaikutuksesta (Kraemer ym. 2008; Tremblay ym. 2005). Duclos ym. (1997) huomasivat kovemmalla teholla (80% HR_{max}) tehdyn kaksi tuntia pitkän kuormituksen aiheuttavan kasvua sekä ei harjoitelleiden että maratonjuoksijoiden kortisolipitoisuudessa (kuva 3). Matalammalla teholla (50% HR_{max}) tehty kuormitus ei saanut aikaiseksi vastaavaa reaktiota kortisolipitoisuudessa. Kargotich ym. (1997) ja Daly ym. (2005) havaitsivat kortisolipitoisuuden nousevan uupumukseen asti tehdyn kestävyyskuormituksen seurauksena. Myös Tanner ym. (2013) havaitsivat kovalla teholla tehdyn intervallikuormituksen lisäävän kortisolipitoisuutta. Lisäksi anaerobisen kuormituksen on havaittu nostavan veren kortisolipitoisuutta enemmän kuin aerobisen kuormituksen (Hackney ym. 1995). Tremblay ym. (2005) sen sijaan havaitsivat myös matalatehoisen (50–55 % koehenkilöiden maksimaalisesta hapenottokyvystä) kahden tunnin mittaisen kuormituksen aiheuttavan kasvua veren kortisolipitoisuudessa. Vuorimaa ym. (2008) tutkivat eri kuormitusmallien ja harjoitustaus-

tan yhteyttä kortisolivasteeseen. Keskimatkojen juoksijoiden kortisolivaste yhtäjaksoiseen kuormitukseen oli voimakkaampi kuin maratonjuoksijoilla. Intervallikuormituksessa tilanne oli päinvastainen (kuva 4). Tutkimuksen perusteella harjoittelutausta vaikuttaa kortisolivasteeseen, sillä elimistö on tottunut tietyn tyypiseen harjoitteluun. (Vuorimaa ym. 2008.) Kortisolin palautuminen lepotasolle vaikuttaisi vievän aikaa noin 1-4 tuntia (Duclos ym. 1997; Vuorimaa ym. 2008; Daly ym. 2005). Toisaalta kortisolipitoisuus saattaa olla perustasoa alempana vielä 1-2 vuorokautta kuormituksen jälkeen (Daly ym. 2005; Lac & Berthon 2000).



KUVA 3. Eri tehoilla tehtyjen 120 minuutin kestävyyskuormitusten aiheuttamat vasteet kortisolipitoisuudessa ja vertailu perustasoon maratonjuoksijoilla (mukailtu: Duclos ym. 1997).



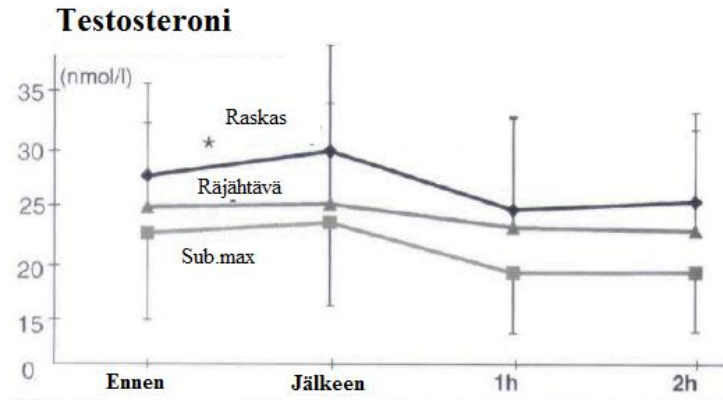
KUVA 4. 40 minuutin erilaisten kuormitusten aiheuttamat kortisolivasteet eri harjoitustaustan omaavilla koehenkilöillä. MAR=maratonjuoksijat, MID=keskimatkan juoksijat. (mukailtu: Vuorimaa ym. 2008).

Testosteroni-kortisolisuhte. Testosteronin ja kortisolin välistä suhdetta käytetään kuvaamaan elimistön hormonaalista tasapainoa anabolisen ja katabolisen tilan välillä (Daly ym. 2005; Vuorimaa ym. 2008). Matalatehoisen kestävyyskuormituksen aiheuttamien muutosten T/C-suhteessa on osoitettu olevan riippuvainen suorituksen kestosta. Tremblay ym. (2005) havaitsivat T/C- suhteen olevan lepotasoa suurempi 40 minuutin juoksun jälkeen, joka tarkoittaisi elimistön olevan anabolisemmassa tilassa lepotasoon verrattuna. 80 minuutin juoksun jälkeen elimistön havaittiin siirtyvän enemmän kataboliseen tilaan. (Tremblay ym. 2005.) Myös Lac & Berthon (2000) havaitsivat pitkän viestijuoksusuorituksen akuutisti laskevan T/C -suhdetta merkitsevästi. Seurattaessa palautumista tutkijat havaitsivat T/C -suhteen kasvavan merkitsevästi lepotasoon verrattuna kuormitusta seuraavina kolmena päivänä sekä aamu- että iltamittauksissa, mikä kertoo elimistön olevan suorituksen jälkeen anabolisemmassa tilassa. (Lac & Berthon 2000.)

2.2.2 Voimakuormitus

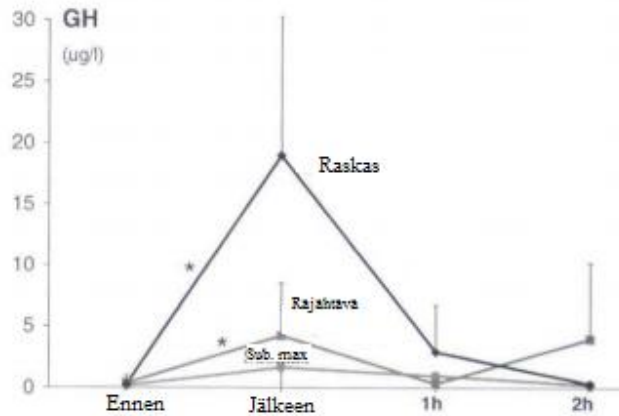
Testosteroni. Voimakuormituksen on osoitettu useassa tutkimuksessa lisäävän veren seerumin kokonaistestosteronipitoisuutta ja vapaan testosteronin määrää (Ahtiainen ym. 2004; Kraemer ym. 1998a). Tosin vapaan testosteronin pitoisuuden kasvamisesta on saatu myös aiemman kanssa ristiriidassa olevia tuloksia (Häkkinen ym. 1988). Voimakuormituksen aiheuttamat hormonaaliset vasteet testosteronipitoisuuksissa riippuvat yleisesti kuormitusmallista eli käytetyistä liikkeistä, intensiteetistä ja sarjojen määrästä. Intensiteetin voimakuormituksessa tulee tutkimusten mukaan olla riittävän kova aiheuttaakseen vasteen testosteronipitoisuudessa. Sarjojen määrä ja erityisesti kuormituksen kokonaisvolyymi vaikuttavat testosteronivasteisiin. Kuormituksen tulee olla metaboli- sesti riittävän kuormittavaa elimistölle aiheuttaakseen vasteen testosteronipitoisuuksissa. (Ratamess ym. 2005; Smilios ym. 2003; Migiano ym. 2010; Linnamo ym. 2005; Raastad ym. 2000.) Esimerkiksi Linnamo ym. (2005) havaitsivat eri kuormitusmalleja vertailevassa tutkimuksessaan vain kovan hypertrofisen voimakuormituksen aiheuttavan tilastollisesti merkitsevän kasvun testosteronipitoisuudessa (kuva 5). Harjoitustaustalla on havaittu olevan vaikutusta akuuttiin testosteronivasteeseen. Kestävyysharjoittelien ja harjoittelemattomien koehenkilöiden testosteronivasteet voimakuormitukseen ovat pienempiä kuin voimaharjoittelien koehenkilöiden. (Tremblay ym. 2003; Ahtiainen

ym. 2004). Testosteronipitoisuus voimakuormituksen jälkeen saattaa laskea lepopitoisuuden alapuolelle 30 minuuttia kuormituksen jälkeen (Ahtiainen ym. 2003b) ja pysyä lepotason alapuolella jopa kaksi vuorokautta kuormituksen jälkeen (Häkkinen & Pakarinen 1995).



KUVA 5. Testosteronivasteet miehillä erityyppisiin voimakuormituksiin. *=tilastollisesti merkitsevä muutos lepopitoisuuteen verrattuna. (mukailtu: Linnamo ym. 2005.)

Kasvuhormoni. Voimakuormituksen on havaittu saavan aikaan kasvuhormonivasteen, joka saavuttaa huipputasoa joko heti voimakuormituksen lopussa tai hieman kuormituksen lopettamisen jälkeen. Kraemer ym. 1990 havaitsivat, että kasvuhormonivaste raskaassa voimakuormituksessa oli riippuvainen käytetystä kuormitusmallista. Yleisesti ottaen kasvuhormonivaste voimakuormitukseen riippuu käytetyistä palautusajoista ja harjoitusintensiteetistä (Kraemer ym. 1990; Vanhelder ym. 1984). Esimerkiksi neljä sarjaa hypertrofista voimakuormitusta aiheutti kahta sarjaa voimakkaamman kasvuhormonivasteen (Smilios ym. 2003). On osoitettu, että submaksimaalinen ja räjähtävästi tehty voimakuormitus eivät ole metabolisesti niin vaativia kuin raskas voimakuormitus, joten kasvuhormonivaste ei ole myöskään niin suuri (kuva 6) (Linnamo ym. 2005). Kuormitusmallilla on siten erittäin suuri vaikutus kasvuhormonivasteisiin.



KUVA 6. Eri tyyppisten voimakuormitusten aikaansaamat kasvuhormonivasteet miehillä. *=tilastollisesti merkitsevä muutos lepopitoisuuteen verrattuna. (mukailtu: Linnamo ym. 2005.)

Kortisoli. Useissa tutkimuksissa on havaittu kortisolipitoisuuksien nousevan voimakuormituksen seurauksena. Kortisolipitoisuuksien kasvun on havaittu olevan riippuvainen voimakkaasti käytetystä kuormitusmallista. Ratamess ym. (2005) havaitsivat kortisolivasteen olevan voimakkaasti yhteydessä veren laktaattipitoisuuteen sekä tehtyjen sarjojen määrään. Täten kortisolivaste vaikuttaisi olevan riippuvainen kuormituksen metabolisesta vaatimuksesta. Myös Ahtiainen ym. (2003b) huomasivat työmäärän lisäämisen pakkotoistojen avulla aiheuttavan suuremman kortisolivasteen verrattuna ilman pakkotoistoja kuormituksen tehneeseen ryhmään. Kuormituksen aiheuttamassa laktaattipitoisuudessa ei kuitenkaan ollut eroa ryhmien välillä. Myös Smilios ym. (2003) havaitsivat vain riittävän monen sarjan nostavan kortisolipitoisuutta. Harjoitustaustan vaikutus kortisolivasteeseen vaikuttaisi olevan vähäinen. Esimerkiksi voimaharjoitteluiden ja harjoittelemattomien koehenkilöiden kortisolivasteessa samanlaiseen kuormitukseen ei ole havaittu merkitseviä eroja. (Ahtiainen ym. 2004.) Tremblay ym. (2003) sen sijaan havaitsivat tilastollisesti merkitsevän pienemmän kortisolivasteen kestävyysurheilijoilla verrattuna voimaurheilijoihin. Kortisolipitoisuus palautuu yleensä takaisin lepotasolle tunnin kuluessa kuormituksesta (McCaulley ym. 2009).

Testosteroni-kortisolisuhde. Tyypillisesti voimaharjoitus laskee akuutisti T/C -suhdetta. Tutkittaessa sarjojen välisten palautusaikojen vaikutusta T/C-suhteeseen on havaittu pidempien (120 sekuntia) palautusaikojen edistävän harjoituksen aikaista anaboliaa

voimaharjoitelleilla koehenkilöillä verrattuna lyhyempiin palautuksiin (60 ja 90 sekuntia). (Rahman ym. 2011.)

2.2.3 Yhdistetty kestävyys- ja voimakuormitus

Yhdistetyn kestävyys- ja voimakuormituksen aiheuttamia reaktioita hormonaalisessa vasteessa on huomioitu tutkimuksissa. Suurin osa hormonaalisia reaktioita tarkkailleista tutkimuksista on keskittynyt suoritusjärjestyksen tutkimiseen ja niiden väliseen vertailuun.

Testosteroni. Yhdistetty kestävyys- ja voimakuormitus aiheuttaa elimistössä testosteronivasteen (Taipale & Häkkinen 2013; Cadore ym. 2012; Schumann ym. 2013). Testosteronivasteen yhdistettyyn kuormitukseen on osoitettu olevan riippuvainen käytetystä kuormitusmallista sekä suoritusjärjestyksestä. On osoitettu, että kun kestävyyskuormitus tehdään ennen hypertrofista voimakuormitusta (K+V), akuutti vaste testosteronipitoisuudessa on korkeampi voimaharjoitelleilla ja yhdistettyä harjoittelua tehneillä koehenkilöillä sekä polkupyöräergometrillä että juosten tehdyssä kuormituksessa, verrattuna päinvastaiseen järjestykseen (V+K). (Cadore ym. 2012; Rosa ym. 2015). Toisaalta Taipale & Häkkinen (2013) ja Schumann ym. (2013) eivät havainneet eroja akuutissa vasteessa suoritusjärjestysten välillä. Eri havainnot tutkimusten välillä saattavat selittyä koehenkilöiden taustalla ja käytetyillä voimakuormitusmalleilla. Taipale & Häkkinen (2013) käyttivät tutkimuksessaan koehenkilöinä kestävyysharjoittelutaustaisia ja voimakuormituksena maksimaalista ja räjähtävää voimaa, kestävyyskuormitus tehtiin juosten. Schumann ym. (2013) koehenkilöinä oli ei harjoitelleita ja voimakuormitus toteutettiin räjähtävällä, maksimaalisella ja hypertrofisella mallilla, kestävyyskuormitus tehtiin polkupyöräergometrillä.

Tarkasteltaessa testosteronivastetta hieman pidemmällä aikavälillä (1-2 vuorokautta) on havaittu yhdistetyn kestävyys- ja voimakuormituksen aiheuttavan erityyppisiä vasteita riippuen suoritusjärjestyksestä. Taipale & Häkkinen (2013) eivät havainneet eroa akuutissa testosteronivasteessa suoritusjärjestyksen välillä, mutta V+K kuormituksessa veren testosteronipitoisuus oli lepotasoa alhaisempi vielä 48 tuntia kuormituksesta kestävyys-

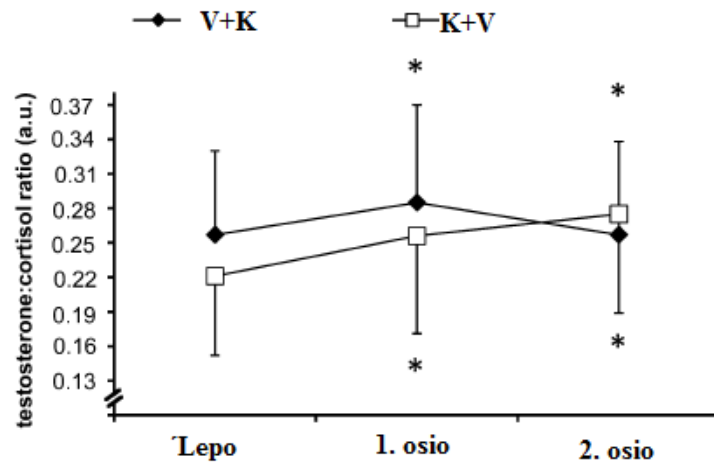
taustaisilla koehenkilöillä. Vastaavaa muutosta ei havaittu K+V kuormituksessa. Tämä saattaa olla osoitus siitä, että V+K tyyppisen kuormituksen jälkeen palautumisaika on pitkittynyt. (Taipale & Häkkinen 2013). Toisaalta Schumann ym. (2013) havaitsivat päinvastoin K+V kuormituksen aiheuttavan alentuneen testosteronipitoisuuden vielä 48 tuntia kuormituksen jälkeen tutkittaessa ei harjoitelleita koehenkilöitä. Erot tutkimusten tulosten välillä saattavat selittyä erityyppisillä kuormitusmalleilla ja koehenkilöiden harjoitustaustalla. Yhdistetty voima- ja kestävyyskuormitus saattaa siten aiheuttaa pitkittyneen palautumisajan endokriinisten toimintojen osalta.

Kasvuhormoni. Kasvuhormonin osalta on havaittu yhdistetyn kuormituksen nostavan veren kasvuhormonipitoisuutta. Taipale & Häkkinen (2013) huomasivat kasvuhormonin pitoisuuden nousevan yhdistetyn kuormituksen ensimmäisen osion jälkeen riippumatta siitä, oliko kyseessä voima- vai kestävyyskuormitusosio. Toisen osion jälkeen tutkijat havaitsivat, että K+V kuormituksessa kasvuhormonipitoisuus putosi tilastollisesti merkitsevästi voimakuormituksen jälkeen. V+K kuormituksessa kasvuhormonipitoisuus kasvoi myös kestävyyskuormituksen seurauksena. Tutkijoiden mukaan voimakuormitus (maksimi- ja räjähtävä voima) ei ollut välttämättä riittävän intensiivinen aikaansaamaan merkittävää kasvua kasvuhormonipitoisuudessa. (Taipale & Häkkinen 2013.) Saman suuntaisia tuloksia on saanut myös Schumann ym. (2013) harjoittelemattomilla koehenkilöillä huolimatta erityyppisestä voimakuormituksesta (räjähtävää, maksimi- ja hypertrofista voimaa) ja kestävyyskuormituksesta (polkupyöräergometri) sekä Goto ym. (2005) kestävyys- että voimaharjoittelutaustaa omaavilla koehenkilöillä toteutettaessa voimakuormitus hypertrofistyyppisesti. Ennen voimaharjoitusta suoritettu kestävyysharjoitus saattaa siis estää voimaharjoittelun aiheuttamaa kasvuhormonivastetta.

Kortisoli. Taipale & Häkkinen (2013) havaitsivat miehillä veren kortisolipitoisuuden nousevan yhdistetyn kuormituksen seurauksena, kun kestävyyskuormitus tehtiin voimakuormituksen jälkeen. Voimakuormitus ei aiheuttanut merkitsevää kortisolivastetta V+K tyyppin kuormituksessa, mutta voimakuormituksen jälkeinen kestävyyskuormitus sai aikaiseksi tilastollisesti merkitsevän kortisolipitoisuuden kasvun. (Taipale & Häkkinen, 2013.) Myös Schumann ym. (2013) tutkimuksessa kortisolipitoisuus nousi merkitsevästi V+K tyyppisessä kuormituksessa vertailtaessa voimakuormituksen ja kestävyyskuormituksen jälkeistä pitoisuutta. Cadore ym. (2012) havaitsivat kortisolipitoisuuden

kohoavan merkitsevästi ensimmäisen kuormitusosion jälkeen ja palautuvan takaisin lepotasolle toisen kuormitusosion aikana riippumatta siitä tehtiinkö voima- vai kestävyyskuormitus ensin.

Testosteroni-kortisolisuhte. Testosteroni-kortisolisuhdetta on tutkittu varsin vähän yhdistetyissä kestävyys- ja voimakuormituksissa. Cadore ym. (2012) huomasivat T/C-suhteen kasvavan yhdistetyn kuormituksen ensimmäisen osion jälkeen. Lisäksi tutkijat havaitsivat, että jos voimakuormitus tehdään ennen kestävyyskuormitusta, niin T/C-suhte laskee lepotason alapuolelle kestävyyskuormituksen jälkeen (Kuva 7). K+V - tyyppinen kuormitus saattaa tutkijoiden mukaan olla optimaalisempi anabolisen vaikutuksen aikaansaamiseksi. (Cadore ym. 2012.)



KUVA 7. Testosteroni-kortisolisuhte eri kuormitusmallien aikana (mukailtu: Cadore ym. 2012).

3 HARJOITTELUN AIKAANSAAMAT KROONISET ADAPTAATIOT HORMONIEN LEPOPITOISUUKSISSA JA AKUUTEISSA VASTEISSA

3.1 Adaptaatiot hormonien lepopitoisuuksissa

Voimaharjoittelun vaikutuksesta hormonien lepopitoisuuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia ja ne riippuvat hyvin paljon käytetystä harjoittelutyypistä sekä koehenkilöiden harjoitustaustasta. Häkkinen ym. (1987) mukaan testosteronin lepopitoisuuden muutokset heijastavat lihaksen nykytilaa ja harjoittelun aiheuttamaa kuormittavuutta mittaushetkellä. Ilman aiempaa voimaharjoittelutaustaa olevilla koehenkilöillä voimaharjoittelun on havaittu nostavan testosteronin lepopitoisuutta ja vastaavasti alentavan kortisolin lepopitoisuutta (Kraemer ym. 1998b; Staron 1994). Ahtiainen ym. (2003a) mukaan testosteronin pitoisuus kasvoi ensimmäisten 14 voimaharjoitteluviikon aikana, jonka jälkeen se palasi takaisin lepotasolle seuraavan seitsemän viikon aikana. Tämä johtui tutkijoiden mukaan harjoittelumäärän muutoksista. Kasvuhormonin lepopitoisuuksien ei ole havaittu muuttuvan voimaharjoittelun seurauksena (Ahtiainen ym. 2003a; Izquierdo ym. 2009).

Kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä on havaittu pienempiä testosteronin lepopitoisuuksia verrattuna harjoittelemattomiin koehenkilöihin (Hackney ym. 2003). Toisaalta harjoittelemattomilla koehenkilöillä viiden viikon matalatehoisen kestävyysharjoittelun on osoitettu lisäävän veren kokonaistestosteronipitoisuutta sekä vapaan testosteronin määrää (Grandys ym. 2009). Kasvuhormonin määrän on osoitettu joko lisääntyvän tai pysyvän samalla tasolla kestävyysharjoittelun seurauksena. Lisäksi kasvuhormonin pulssiivisen erittymisen on osoitettu lisääntyvän kestävyysharjoittelun seurauksena. (Weltman ym. 1992.)

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia hormonien lepopitoisuuksiin on tutkittu suhteellisen vähän. Erillisinä harjoitusosioina tehdyn yhdistetyn harjoittelun tutkimuksissa Bell ym. (2000) raportoivat, että 12 viikon yhdistetty harjoittelu ei saanut

aikaan tilastollisesti merkitseviä muutoksia hormonien lepopitoisuuksissa miehillä, mutta naisilla kortisolipitoisuus nousi. Taipale ym. (2014) sen sijaan havaitsivat yhdistetyn harjoittelun aiheuttavan testosteronin lepopitoisuuden kasvua ensimmäisten 12 viikon aikana, joka tutkijoiden mukaan saattaa olla osoitus yhdistetyn harjoittelun aiheuttamasta kehon anabolisemmasta ympäristöstä. Samassa harjoituksessa sekä kestävyyttä että voimaa harjoitteluiden kohdalla Schumann ym. (2014) havaitsivat sekä testosteronin että kortisolin lepopitoisuuksien nousevan merkitsevästi 24 viikon yhdistetyn harjoittelun seurauksena koehenkilöillä, joilla ei ollut aiempaa harjoittelutaustaa.

3.2 Adaptaatiot akuuteissa hormonaalisissa vasteissa

Testosteronivasteen voimakuormitukseen on havaittu kasvavan voimaharjoittelun seurauksena. Kraemer ym. (1998b) tutkivat harjoittelemattomilla koehenkilöillä kahdeksan viikon hypertrofisen voimaharjoittelun vaikutusta akuutteihin hormonaalisiin vasteisiin. Tutkijat havaitsivat voimaharjoittelun parantavan voimakuormituksen aikaista testosteronivastetta verrattuna ennen harjoittelua tehtyihin mittauksiin. (Kraemer ym. 1998b.) Ahtiainen ym. (2003a) sitä vastoin eivät havainneet muutosta akuutissa hormonaalisessa vasteessa harjoittelun seurauksena. Kasvuhormonin osalta ei ole havaittu muutosta akuutissa hormonaalisessa vasteessa (Kraemer 1998b; Ahtiainen 2000). Kortisolin akuutissa vasteessa on havaittu muutos voimaharjoittelun myötä. Kraemer ym. (1999) havaitsivat akuutin kortisolivasteen olevan pienempi kymmenen viikon voimaharjoittelun jälkeen. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aiheuttamia adaptaatiota akuuteissa hormonaalisissa vasteissa voimakuormitukseen ovat tutkineet Schumann ym. (2014). Tutkijat eivät havainneet eroja testosteronin, kortisolin tai kasvuhormonin akuutissa vasteessa voimakuormitukseen 24 viikon harjoittelun seurauksena (Schumann ym. 2014).

Tutkimuksia, jotka selvittävät kestävyysarjoittelun aiheuttamia kroonisia muutoksia kestävyyskuormituksen akuutteihin vasteisiin on olemassa suhteellisen vähän. Fellman ym. (1985) havaitsivat kestävyysarjoittelun lisäävän akuuttia testosteroni- ja kortisolivastetta kestävyyskuormituksessa. Toisaalta esimerkiksi Uusitalo ym. (1998) havaitsivat kortisolivasteen olevan pienempi ylikuormittavan harjoittelujakson jälkeen kuin ennen

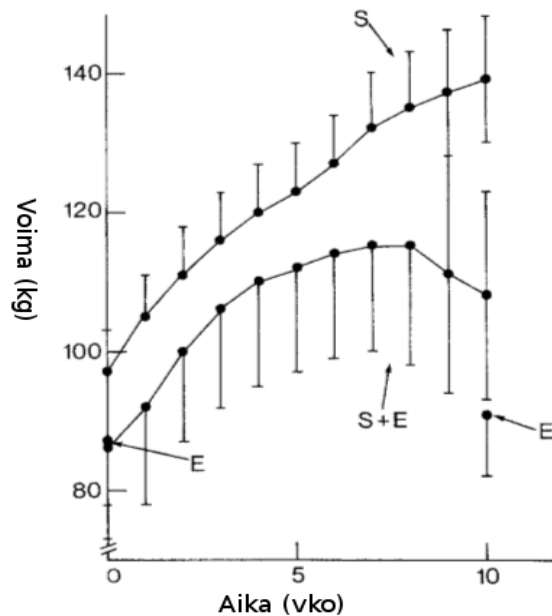
harjoittelujaksoa. Kraemer ym. (1995) havaitsivat 12 viikon voimaharjoittelun jälkeen pienemmän kortisolivasteen kestävyyskuormitukseen, mikä viittaisi kehon anabolisempaan tilaan. Samassa tutkimuksessa pelkkää kestävyysharjoittelua tehneellä ryhmällä ei havaittu muutosta akuuteissa hormonivasteissa, kun taas yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun todettiin aiheuttavan suuremman kortisolivasteen verrattuna ennen harjoittelujaksoa tehtyyn kuormitukseen. Tämä saattaa tutkijoiden mukaan viitata ylikuormittumiseen johtuen suuresta harjoitusmäärästä. (Kramer ym. 1995.) Schumann ym. (2014) havaitsivat myös kortisolivasteen kestävyyskuormitukseen olevan voimakkaampi yhdistetyn 24 viikon kestävyys- ja voimaharjoittelujakson jälkeen aiemmin harjoittelellemattomilla koehenkilöillä. Tutkijat havaitsivat myös, että K+V kuormitus sai aikaiseksi testosteronipitoisuuden pitkittyneen palautumisen (48 tuntia kuormituksen jälkeen) harjoitusjakson alussa. 24 viikon harjoittelun jälkeen vastaavaa pitkittyntä palautumista testosteronipitoisuudessa ei enää havaittu.

4 YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN AIHEUTTAMAT KROONISET ADAPTAATIOT SUORITUSKYVYSSÄ

4.1 Adaptaatiot voimantuotossa

Hickson (1980) havaitsi ensimmäisenä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun hidastavan voiman kehittymistä verrattuna pelkkään voimaharjoitteluun (Kuva 8). Suurten määrien yhdistettyä harjoittelua on esitetty erityisesti vaikuttavan negatiivisesti voimatasojen kehittymiseen (Leveritt ym. 1999a; Wilson 2012). Wilsonin (2012) tekemässä meta-analyysissä harjoituspäivien ja kestävyysharjoittelun määrä sekä kestävyysharjoittelumuoto (pyöräily vs. juokseminen) vaikuttivat voiman kehittymiseen. Tutkimuksissa, joissa kestävyysharjoittelu on tehty juosten, on havaittu erityisesti heikentävän voiman kehittymistä. (Wilson 2012.) Erillisinä harjoituksina tehtävän yhdistetyn harjoittelun osalta Bell ym. (2000) mukaan 12 viikon yhdistetty harjoittelu kuusi kertaa viikossa vaikutti negatiivisesti maksimivoiman kehittymiseen. Saman suuntaisia tuloksia ovat saaneet myös Kraemer ym. (1995) neljä kertaa viikossa tapahtuvan yhdistetyn harjoittelun osalta (samana päivänä molempia ominaisuuksia, välissä 5-6 tuntia) ja Hickson (1980) kuusi kertaa viikossa tapahtuvan yhdistetyn harjoittelun osalta. Häkkinen ym. (2003) eivät havainneet neljä kertaa viikossa eri päivinä tehtävän yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun estävän maksimivoiman kehittymistä, mutta voimatuottonopeudessa kehittämisessä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero pelkkää voimaharjoittelua tekeeseen ryhmään. Myös Glowacki ym. (2004) havaitsivat nopeusvoiman kehittyvän pelkkää voimaharjoittelua tekevällä ryhmällä, ilman kehitystä yhdistettyä harjoittelua tekevässä ryhmässä. Kaikissa edellä esiteltyissä tutkimuksissa koehenkilöinä on ollut joko voimaharjoittelutaustaisia tai ilman aiempaa harjoittelutaustaa olevia henkilöitä. Mikkola ym. (2011) vertaili erilaisten voimaharjoittelumuotojen (maksimi-, räjähtävä ja kestovoima) ja matalatehoisen kestävyysharjoittelun yhdistelmän vaikutusta voimantuottokykyyn kestävyysharjoitelleilla miehillä. Pääosin juoksemalla tehdyn kestävyysharjoittelun määrä oli kaikissa ryhmissä samanlainen. Tutkijat havaitsivat kahdeksan viikon harjoittelun jälkeen vain maksimivoiman tai räjähtävän voiman harjoittelun

yhdistettynä kestävyysharjoitteluun parantavan maksimivoimaa. Lisäksi vain maksimivoimaharjoittelun yhdistämisen kestävyysharjoitteluun todettiin olevan hyödyllistä nopeusvoiman (kevennyshypyn nousukorkeus) kehittymiselle. (Mikkola ym. 2011). Myös Ferrauti ym. (2010) havaitsivat jo pienen määrän voimaharjoittelua (yksi kerta viikossa alaraajojen maksimivoimaa, yksi kerta viikossa keskivartalon lihaskuntoa) parantavan alaraajojen maksimivoimaa maratonjuoksun harrastajilla kahdeksan viikon tutkimusjakson aikana.



KUVA 8. Voiman kehittyminen 10 viikon harjoitusjakson aikana aiemmin harjoittelmattomilla koehenkilöillä. S=pelkkää voimaharjoittelua tehnyt ryhmä, S+E=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä. (mukailtu: Hickson 1980.)

Tutkimuksia, joissa molempia ominaisuuksia pyritään kehittämään samassa harjoituksessa, on saatavilla suhteellisen vähän ja ne keskittyvät pääasiassa suoritusjärjestyksen tutkimiseen, jolloin vertailua voimantuoton kehittymisestä pelkkään voimaharjoittelua tekevään ryhmään ei voida tehdä. Muutamia tutkimuksia kuitenkin löytyy, joissa molempia ominaisuuksia tehtiin samassa harjoituksessa ja voimaharjoitteluryhmää on käytetty vertailuryhmänä. Chtara ym. (2008) havaitsivat kaksi kertaa viikossa tapahtuvan

yhdistetyn harjoittelun vaikuttavan negatiivisesti voiman kehittymiseen fyysisesti aktiivisilla opiskelijoilla, kun molempia ominaisuuksia tehtiin samassa harjoituksessa. Myös Hunter ym. (1987) havaitsivat samansuuntaisia tuloksia aiemmin harjoittelemattomilla, mutta eivät kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä. McCarthy ym. (2002) eivät sen sijaan havainneet eroa voiman kehittämisessä, kun koehenkilöinä oli aiemmin harjoittelemattomia ja yhdistettyä harjoittelua tehtiin kolme kertaa viikossa. Erona Chtara ym. (2008) ja McCarthy ym. (2002) tutkimuksissa oli harjoitusmäärän lisäksi kestävyysharjoittelumuoto. Chtara ym. (2008) koehenkilöt harjoittelivat juosten ja McCarthy ym. (2002) pyöräilivät.

4.2 Adaptaatiot kestävyysuorituskyvyssä

Tarkasteltaessa yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutusta kestävyysuorituskykyyn, voidaan todeta, ettei kestävyysominaisuuksien kehittyminen häiriinny voimaharjoittelun lisäämisestä harjoitusohjelmaan aiemmin harjoittelemattomilla henkilöillä. (Wilson 2012). Maksimaalisen hapenottokyvyn kehittyminen vaikuttaisi olevan yhtä tehokasta tekemällä joko yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua tai pelkkää kestävyysharjoittelua ainakin aiemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä (Hickson 1980; Bell ym. 2000) ja sotilailla (Kraemer ym. 1998), mikäli kestävyys- ja voimaharjoitukset tehdään erillisinä osiina. Tehtäessä molempia ominaisuuksia samassa harjoituksessa on havaittu, että maksimaalisen hapenottokyvyn kehittyminen saattaa olla parempaa tehtäessä ensin kestävyysharjoitus. Täten hapenottokyvyn kehittyminen voi olla riippuvainen osioiden suoritusjärjestyksestä, ainakin tehtäessä kestävyysharjoittelu juosten (Chtara ym. 2005). Toisaalta esimerkiksi Schumann ym. (2014) eivät havainneet eroa 24 viikon yhdistetyn harjoittelun suoritusjärjestyksellä aiemmin harjoittelemattomilla koehenkilöillä ja tehtäessä kestävyysharjoittelu polkupyöräergometrillä. Maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi kestävyysuorituskyvyn mittareina on käytetty tutkimuksissa esimerkiksi tiettyyn matkaan kuluvaa aikaa, joka niin ikään näyttäisi kehittyvän paremmin yhdistettyä harjoittelua tekemällä kuin pelkkää kestävyysharjoittelua tekemällä. (Chtara ym. 2005.)

Kestävyysharjoittelutaustaisilla koehenkilöillä voimaharjoittelun lisäämisen harjoitusohjelmaan vaikuttaisi olevan tehokas keino parantaa absoluuttista kestävyys- ja voimansuorituskykyä ilman maksimaalisessa hapenottokyvyssä tapahtuvia muutoksia. Eri päivinä toteutettavan yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on osoitettu vaikuttavan positiivisesti juoksun taloudellisuuteen, juoksunopeuteen laktaattikynnyksellä, maksimaaliseen aerobiseen nopeuteen ja tiettyyn matkaan kuluvaan juoksuaikaan (Millet ym. 2002; Storen ym. 2008; Paavolainen ym. 1999; Mikkola ym. 2011). Erityisesti maksimaalisen ja räjähtävän voiman harjoittelu vaikuttaisi olevan hyödyllistä juoksun taloudellisuuden kehittämiseksi verrattuna oman kehon painolla tehtävään kuntopiiriharjoitteluun (Taipale ym. 2010). Myös Mikkola ym. (2011) havaitsivat maksimivoimaharjoittelun parantavan kovatehoista juoksusuoritusta (MART –testi). Sedano ym. (2013) havaitsivat sekä kontrastivoimaharjoittelun (vuorotellen räjähtävää ja nopeusvoimaa) että kestovoimaharjoittelun (40% 1 RM: stä) parantavan maksimivoimaa ja juoksun taloudellisuutta eliittitason kestävyysjuoksijoilla verrattuna pelkkää kestävyysharjoittelua tehneeseen ryhmään. Ferrauti ym. (2010) eivät sen sijaan havainneet hyötyä voimaharjoittelun yhdistämisestä kestävyysharjoitteluun maratonjuoksun harrastajilla, vaikka maksimivoimassa havaittiin kehittymistä. Tutkijoiden mukaan lyhyt harjoitusjakson (kahdeksan viikkoa) ei ollut riittävän pitkä vaikuttaakseen positiivisesti juoksun taloudellisuuden kehittymiseen. (Ferrauti ym. 2010). Yksittäistä yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoitusta tarkasteltaessa Doma & Deakin (2013) havaitsivat kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä voimaharjoituksen vaikuttavan negatiivisesti juoksun taloudellisuuteen ja juoksun biomekaniikkaan vielä kuusi tuntia voimaharjoituksen jälkeen. Lisäksi samana päivänä tehtyjen voima- ja kestävyysharjoitusten on todettu myös vaikuttavan negatiivisesti juoksun suorituskykyyn ja taloudellisuuteen vielä seuraavana päivänä, erityisesti tehtäessä voimaharjoitus ennen kestävyysharjoitusta. Tutkijoiden mukaan kestävyys- ja voimaharjoitukset kannattaisi tehdä eri päivinä riittävän palautumisen varmistamiseksi. (Doma & Deakin 2012.)

Mahdollinen positiivinen muutos kestävyys- ja voimansuorituskyvyssä voimaharjoittelun lisäämisestä kestävyysjuoksuohjelmaan vaikuttaisi johtuvan parantuneesta voimantuottonopeudesta (Paavolainen ym. 1999), lisääntyneestä lihas-jänneyksikön jäykkyydestä ja II -tyypin lihassolujen viivästyneestä aktiivisuudesta sekä voimaharjoittelun aiheuttamista solumuutoksista, jossa erittäin nopeat IIX -tyypin solut muuttuvat paremmin väsymystä

kestäviin IIA -tyypin soluihin. Voimaharjoittelun lisäämisestä harjoitusohjelmaan ei ole kestävyuden kehittymisen kannalta negatiivista tutkimusnäyttöä. (Rønnestad & Mujika 2014.)

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena on vertailla 24 viikkoa kestävästä yhdistetystä kestävyys- ja voimaharjoittelusta ja pelkän kestävyysharjoittelun vaikutusta yksittäisen maksimaalisen kestävyyskuormituksen aiheuttamiin hormonaalisiin vasteisiin kestävyysharjoitelleilla miehillä, joilla ei ole aiempaa voimaharjoittelutaustaa. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat harjoittelun aiheuttamat krooniset muutokset kestävyys- ja voimassa ja seerumin hormonilepopitoisuuksien muutokset.

Tutkimusongelma 1: Tapahtuuko seerumin testosteronin, kortisolin, kasvuhormonin, vapaan testosteronin lepopitoisuudessa tai testosteroni / kortisoli ja vapaa testosteroni / kortisoli -suhteessa muutosta harjoittelun seurauksena? Muuttuuko toisella ryhmällä hormonien lepopitoisuudet harjoitusjakson aikana toista ryhmää enemmän?

Hypoteesi 1: Ryhmien välillä ei havaita eroa hormonien lepopitoisuuksien välillä tai lepopitoisuuksien suhteellisissa muutoksissa 24 viikon harjoittelun seurauksena. Yhdistettyä harjoittelua tekevällä ryhmällä testosteronipitoisuudessa havaitaan kasvua ensimmäisten 12 viikon aikana, jonka jälkeen testosteronin lepopitoisuudet palaavat lähtötasolle (Taipale ym. 2014). Muiden hormonien lepopitoisuuksissa ei havaita muutoksia.

Tutkimusongelma 2: Tapahtuuko seerumin testosteronin, kortisolin, kasvuhormonin tai testosteroni / kortisoli -suhteen akuuteissa vasteissa kestävyyskuormitukseen muutosta harjoittelun seurauksena?

Hypoteesi 2: Ennen ja jälkeen harjoittelujakson havaitaan molemmilla ryhmillä kohonneet testosteroni, kasvuhormoni ja kortisolipitoisuudet kestävyyskuormituksen seurauksena. Useimmissa kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä tehdyissä tutkimuksissa, joissa kuormitus on maksimaalinen tai lähes maksimaalinen on havaittu akuutti kasvu testosteronin (Ponjee ym. 1994; Daly ym. 2005), kortisolin (Daly ym. 2005; Duclos ym. 1997) ja kasvuhormonin (Pritzlaff ym. 1999) osalta. Akuuteissa hormonaalisissa vasteissa havaitaan suurentunut kortisolivaste kestävyyskuormitukseen yhdistettyä harjoittelua tekevällä ryhmällä, mutta muiden hormonien vasteissa ei havaita muutoksia. Harjoitusmäärä tässä tutkimuksessa on yhdistetyllä ryhmällä erityisen suuri (7-8 harjoitusta vii-

kossa). Aiemmissa tutkimuksissa suuren määrän yhdistettyä harjoittelua on havaittu nostavan akuuttia kuormitusvastetta kortisolin osalta (Kraemer ym. 1995).

Tutkimusongelma 3: Kehittykö maksimaalinen kestävyysuorituskyky ja juoksun taloudellisuus molemmilla harjoittelumuodoilla yhtä paljon ja tapahtuuko kehitystä nopeusvoimassa tai maksimivoimassa?

Hypoteesi 3: Ryhmien välisessä maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn kehittämisessä ei havaita eroja. Yhdistettyä harjoittelua tekevällä ryhmällä juoksun taloudellisuus kehittyy paremmin verrattuna pelkkään kestävyysuoritusuuteen. Yhdistettyä harjoittelua tekevällä ryhmällä havaitaan kehitystä maksimaalisessa voimassa tutkimuksen alussa, jonka jälkeen voiman kehittyminen taantuu. Pelkkää kestävyysuoritusuutea tekevällä ryhmällä voimantuotossa ei tapahdu kehittymistä. Nopeusvoimassa ei havaita kehittymistä kummallakaan ryhmällä. Aiemmissä tutkimuksissa voimaharjoittelun lisäämisen kestävyysjuoksuohjelmaan on todettu olevan hyödyllistä juoksun taloudellisuuden kannalta (Paavolainen ym. 1999; Mikkola ym. 2011). Yhdistetyn harjoittelun on todettu aiheuttavan voiman kehittymisen taantumista, erityisesti kun kestävyysuoritusuuteen määrää on suurta ja kestävyysuoritusuutea toteutetaan juosten (Wilson 2012; Hickson 1980). Nopeusvoimatasojen kehittymisen on havaittu häiriintyvän jo pienestäkin kestävyysuoritusuuteen määrästä (Häkkinen ym. 2003).

6 MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Yhteensä 33 miespuolista kestävyys- ja voimaharjoittelutaustaista koehenkilöä rekrytoitiin sanomalehti-, radio- ja Internet-ilmoituksilla Jyväskylän alueelta. Valittavilta koehenkilöiltä edellytettiin, etteivät he ole aiemmin tehneet voimaharjoittelua eikä heillä ollut kroonisia sairauksia, jotka olisivat voineet vaikuttaa tuloksiin. Lisäksi koehenkilöiltä edellytettiin vähintään 4 kertaa viikossa tapahtuvaa säännöllistä kestävyys- ja voimaharjoittelua. Koehenkilöille tuotiin tietoon koeasetelma sekä mahdolliset tutkimukseen liittyvät riskit ja he allekirjoittivat suostumuksen osallistumisestaan tutkimukseen. Kaikille koehenkilöille suoritettiin EKG -tutkimus ja he täyttivät terveystarkastuslomakkeen. Koehenkilöiden terveydentilan ja kyvyn osallistua tutkimukseen arvioi asiantunteva lääkäri. Koehenkilöiden antropometriset tiedot on nähtävissä taulukossa 2. Tutkimuksen suoritti loppuun asti 27 koehenkilöä.

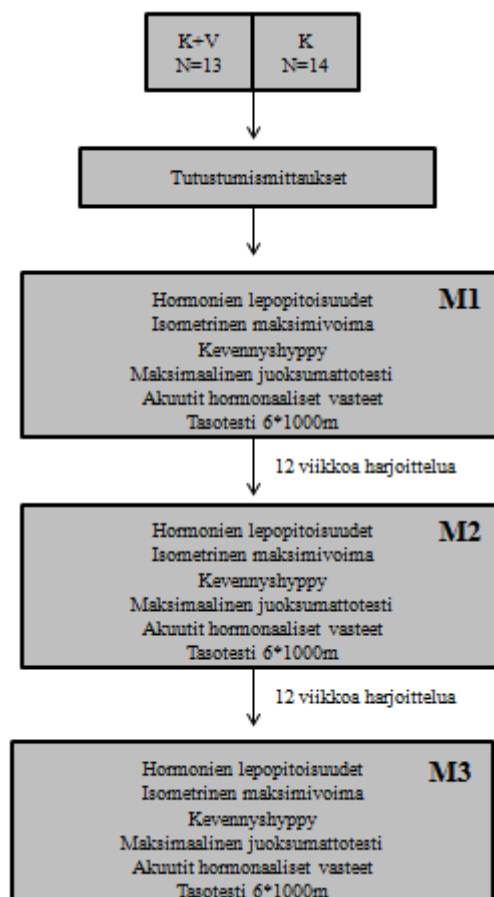
Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa rekrytoitiin 15 koehenkilöä tekemään yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua. Näistä koehenkilöistä 11 suoritti tutkimuksen loppuun asti. Toisessa vaiheessa rekrytoitiin 15 koehenkilöä tekemään pelkkää kestävyys- ja voimaharjoittelua sekä 3 koehenkilöä lisäämään edellisen vaiheen koehenkilöiden määrää. Lopullinen koehenkilömäärä oli yhdistetyn harjoittelun ryhmässä 13 ja pelkän kestävyys- ja voimaharjoittelun ryhmässä 14. Tutkimuksen keskeyttämiset johtuivat sairastumisista, loukkaantumisista tai henkilökohtaisista syistä.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden antropometriset tiedot.

	K+V (n=13)	K (n=14)
Ikä (v)	31,8 ± 6,4	34,4 ± 6,8
Pituus (m)	1,8 ± 0,03	1,8 ± 0,1
Paino (kg)	79,0 ± 5,6	78,2 ± 8,6
BMI	24,7 ± 1,9	24,1 ± 2,4

6.2 Koeasetelma

Koehenkilöt jaettiin ryhmiin, joissa toinen ryhmä (K) teki pelkkää kestävyysharjoittelua ja toinen (K+V) ryhmä teki saman kestävyysharjoituksen lisäksi kaksi viikoittaista voimaharjoitusta heti tiettyjen kestävyysharjoitusten jälkeen. Tutkimus toteutettiin 24 viikon harjoittelututkimuksena, jossa molemmille ryhmille (K+V ja K) tehtiin samat mitaukset. Mittauksiin sisältyi isometrinen ja dynaaminen voimamittaus, akuutti kestävyyskuormitus juoksumatolla, hormonitasojen määrittäminen laskimoverinäytteistä ennen harjoittelun aloittamista (M1), 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2) ja 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3) (kuva 8). Voimamittaukset ja akuutit kuormitusmittaukset suoritettiin jokaisessa mittauskohdassa (M1, M2 ja M3) samaan kellonaikaan. Hormonien leptasot määritettiin aamulla koehenkilöiden paastottua 12 tuntia. (kuva 9).



KUVA 9. Koeasetelma 24 viikon tutkimuksen kulusta. M1=ennen harjoittelua tehty alkumittaus, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen tehty välimittaus ja M3=24 viikon harjoittelun jälkeen tehty loppumittaus.

6.2 Harjoittelu

Koehenkilöt harjoittelivat joko pelkää kestävyysharjoittelua tai tekivät kestävyysharjoitteluohjelman lisäksi kaksi kestävyysharjoitukseen yhdistettyä voimaharjoitusta.

Kestävyysharjoittelu. Kestävyysharjoittelun intensiteettiä kontrolloitiin sykemittareilla (harjoittelu tehtiin tietyllä prosentilla maksimisykkeestä). Molemmat ryhmät toteuttivat samaa kestävyysharjoitteluohjelmaa. Koehenkilöt opastettiin ensimmäisen harjoituksen yhteydessä käyttämään oikein sykemittaria. Harjoittelun teho ilmaistiin prosentteina ensimmäisen juoksumattotestin maksimaalisesta sykkeestä. Kestävyysharjoitteluohjelma ensimmäisillä 12 viikolla koostui viidestä pakollisesta harjoituksesta. Lisäksi koehenkilöillä oli mahdollisuus tehdä yksi lisäharjoitus viikossa, jolla pyrittiin minimoimaan muutokset aiemmissa harjoittelumäärissä. Ohjelmassa oli viikoittain kaksi nousujohteista harjoitusta, yksi pitkä kestävyysharjoitus, 5 minuutin mittaiset intervallit sekä kevyt lenkki. Nousujohteiset harjoitukset, intervalliharjoitukset ja kevyt lenkki toteutettiin aina juosten. Pitkä lenkki ja lisäkestävyysharjoitus oli mahdollista tehdä myös pyöräillen tai hiihtäen. Viikoilla 1, 12 ja 24 toinen nousevavauhtisista harjoituksista korvattiin 200m sisäradalla tehdyllä tasotestillä. Taulukossa 3 on kuvailtu ensimmäisen 12 viikon kestävyysharjoitteluohjelma. Nousevavauhtinen harjoitus toteutettiin siten, että ensimmäiset 10-15 minuuttia juostiin alle 65 % teholla (taso 1, T1), jonka jälkeen vauhtia nostettiin 10 minuutiksi siten, että syke nousi 80 % maksimista (taso 2, T2). Tämän jälkeen vauhtia nostettiin vielä 10 minuutiksi 85 % (taso 3, T3) tehoalueelle. Tämän jälkeen jatkettiin vielä 10-15 minuuttia alle 65 % teholla (taso 4, T4). Intervalliharjoitus toteutettiin siten, että vetojen välissä oli kolmen minuutin palautus ennen seuraavaa vetoa. Harjoittelu oli nousujohteista kolmen viikon ajan ja joka neljäs viikko oli niin kevennetty viikko.

TAULUKKO 3. Kestävyysharjoittelu viikoilla 1-12.

	Viikot 1-4		Viikot 4-8		Viikot 9-12	
	Kesto (min)	Teho (%HRmax)	Kesto (min)	Teho (%HRmax)	Kesto (min)	Teho (%HRmax)
Nouseva- vauhtinen 1	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 10, T4: 10)	65-85	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 10, T4: 10)	65-85	45 (T1: 10, T2: 15, T3: 10, T4: 10)	65-85
Nouseva- vauhtinen 2	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 10, T4: 10)	65-85	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 10, T4: 10)	65-85	45 (T1: 10, T2: 15, T3: 10, T4: 10)	65-85
Pitkä kes- tävyyshar- joitus	70-110	<65	75-115	<65	80-120	<65
Kevyt lenkki	35-40	<66	35-40	<66	35-40	<66
Intervallit	4*5	85	4*5	85	5*5	85
Vapaaeh- toinen harjoitus	35-40	70-75	35-40	70-75	35-40	70-75

Toisen 12 viikon jakson kestävyysharjoitteet olivat pääpiirteittäin samat, mutta harjoittelun intensiteetti kasvoi. Muuten samat harjoitukset toistuivat myös toisella harjoittelujaksolla, mutta vapaaehtoista kestävyysharjoitusta ei enää ollut ja ohjelmaan tuli lisäksi neliviikkoisen harjoittelujakson kahdella keskimmaisella viikoilla tehtävät lyhyemmät intervallit 200 m radalla. Lyhyempiin intervaleihin tavoiteajat laskettiin 85 % vetomatkan arvioidusta maksimaalisesta suorituskvyyvystä. Taulukossa 4 on nähtävissä harjoittelun tehot ja määrät harjoitusviikkojen 13-24 aikana.

TAULUKKO 4. Kestävyysharjoittelu viikoilla 13-24.

	Viikot 13-16		Viikot 17-20		Viikot 21-24	
	Kesto (min)	Teho	Kesto (min)	Teho	Kesto (min)	Teho
		(%HRmax)		(%HRmax)		(%HRmax)
Nouseva- vauhtinen 1	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 65-85 10, T4: 10)		45 (T1: 10, T2: 15, T3: 65-85 10, T4: 10)		45 (T1: 10, T2: 15, T3: 65-85 10, T4: 10)	
Nouseva- vauhtinen 2	40 (T1: 10, T2: 10, T3: 65-85 10, T4: 10)		45 (T1: 10, T2: 15, T3: 65-85 10, T4: 10)		45 (T1: 10, T2: 15, T3: 65-85 10, T4: 10)	
Pitkä kes- tävyyshar- joitus	85-115	<65	90-120	<65	100-120	<65
Kevyt lenkki	40	<66	40	<66	35-40	<66
Intervallit	4*5	85	5*5	85	5*5	85
Lyhyet intervallit	3-4*800m, 3-4*400m	Yksilöl- linen (n. 85 %)	3-4*800m, 3- 4*400m	Yksilöl- linen (n. 85 %)	5-6*800m, 5-6*400m	Yksilöl- linen (n. 85 %)

Voimaharjoittelu. K+V -ryhmä suoritti nousevavauhtisten harjoitusten jälkeen voimaharjoitusosion. Voimaharjoittelu kohdistui alaraajoihin, keskivartaloon ja ylävartaloon. Harjoittelu eteni 24 viikon aikana kesto-voimaharjoittelusta hypertrofiseen harjoitteluun ja maksimivoimaharjoitteluun ja siitä edelleen räjähtävän voiman harjoitteluun. Taulukossa 5 on listattuna voimaharjoittelussa käytetyt liikkeet. Jokaisella harjoitusjaksolla ohjelmassa oli mukana hyppelytyyppistä räjähtävän voiman harjoittelua.

TAULUKKO 5. Voimaharjoittelussa käytetyt harjoitteet.

Alavartalon voimaliikkeet	Ylävartalon voimaliikkeet	Keskivartalon voimaliikkeet	Räjähättävän voiman liikkeet
Jalkaprssi (polvikulma alasennessa alle 60°)	Hauiskääntö	Vatsarutistus	Kuntopallon työntö rinnalta eteen
Takareisilaite	Pystypunnerrus	Selänojenus	Kuntopallon heitto pään yli eteen
Päkiöillenousut	Yliveto		Vuoroloikat
Askelkyykky			Kyykkyhyppy Pudotushyppy Penkillenousut

Voimaharjoittelussa kuorma määräytyi prosentteina arvioidusta liikkeen 1 RM: stä. Taulukossa 6 on nähtävissä eri harjoitusviikoilla käytetyt kuormat ja painopisteet voimaharjoittelun osalta.

TAULUKKO 6. Voimaharjoittelun eteneminen eri harjoitusviikoilla.

Harjoitusviikko	1-4	5-8	9-12	13-14	15-16	17-20	21-24
Painopiste	Kesto-voima	Hyper-trofia	Maksimivoima	Kesto-voima	Maksimivoima	Maksimi-/räjähtävä voima	Maksimi-/räjähtävä voima
Toistomäärät	20-25	8-10	4-5	20-25	5-6	3-4	3-8
Sarjamäärät	2-3	2-3	3-4	2-3	3-4	3-5	2-4
Intensiteetti (% arvioidusta 1 RM: stä)	40-50	60-80	80-85	40-50	75-80	80-85	40-80

6.3 Mittaukset

Hormonien lepopitoisuudet. Seerumin hormonilepopitoisuudet mitattiin osaavan laboratoriotyöntekijän toimesta. Laskimoverta otettiin 10 ml seerumiputkiin (Venosafe, Terumo Medical Co., Leuven, Belgia). Veri sentrifugoitiin 3,500 kierroksella (Megafuge 1,0R, Heraeus, Saksa) 10 minuuttia, jonka jälkeen veren seerumi otettiin talteen säilytykseen (-80 °C) analysointiin saakka. Seeruminäytteistä analysoitiin testosteroni (T), kortisoli (C), kasvuhormoni (GH) ja SHBG. Lepopitoisuudet analysoitiin kemiallisella luminesenssi tekniikalla (Immulite 1000) ja eri hormoneille tarkoitetuilla kiteillä (Siemens, New York, NY, USA). Mittausherkkyydet eri hormoneille olivat: T, 0.5nmol·l⁻¹; C, 5.5nmol·l⁻¹; GH, 0.003nmol·l⁻¹ ja SHBG, 0.2nmol·l⁻¹. Vapaan testosteronin (Tv) määrä laskettiin käyttäen Vermeulen ym. (1999) metodologiaa. Albumiini vakioarvona laskuissa käytettiin 4,3 g/dL.

Akuutit hormonaaliset vasteet. Akuuttien vasteiden selvittämiseksi käytetty kuormitusmalli on nähtävissä kuvassa 10. Akuutteja hormonaalisia vasteita tutkittiin maksimaalisen juoksumattotestin yhteydessä. Koehenkilöiltä otettiin ennen kuormitusta leponäyte, mikäli kuormitusta ei tehty klo 7-9 välisenä aikana. Aamulla kuormituksen tehneillä paastonäyte toimii akuutin kuormituksen leponäytteenä. Aamulla kuormituksen tekeville tarjottiin lisäksi standardisoitu aamupala ennen kuormitusta. Leponäytteen ja isometrisen maksimivoimatestin jälkeen koehenkilö suoritti maksimaalisen juoksumattotestin. Erillistä verryttelyä kuormitukseen ei tehty. Kuormituksen jälkeen koehenkilöt suorittivat viiden minuutin loppuverryttely 9 km/h nopeudella, jonka jälkeen otettiin verinäyte. Verinäytteet käsiteltiin ja analysoitiin samalla tavalla kuin lepopitoisuuksien määrittämisessä.



KUVA 10. Akuutin kuormituksen kulku. Paastoverinäyte annettiin 12 tunnin paaston jälkeen. *=Leponäyte ennen kuormitusta otettiin, mikäli akuuttia kuormitusta ei tehty heti aamulla. **=Aamupala tarjottiin kaikille, joilla kuormitus oli klo. 7-9 välillä.

Voimamittaukset. Kaikille koehenkilöille järjestettiin tutustumiskäynti voimamittausten osalta, jolloin he tutustuivat käytettäviin testilaitteisiin sekä koehenkilöt opetettiin oikeisiin suoritustekniikoihin.

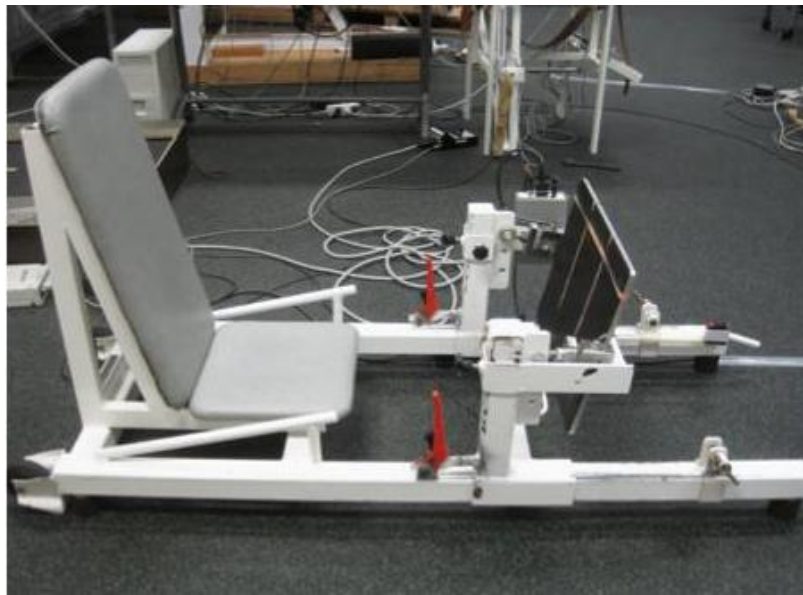
Isometrinen maksimivoima mitattiin jalkadynamometrillä 107 asteen polvikulmalla ennen juoksumattotestiä (kuva 11). Isometrisessä voimatestissä koehenkilöt suorittivat 2-3 verryttelysuoritusta ennen kuin suorittivat kolme maksimaalista suoritusta. Koehenkilöitä pyydettiin tuottamaan voimaa mahdollisimman paljon ja mahdollisimman nopeasti tutkijan käskystä. Koehenkilön tuli työntää voimalevyä maksimaalisesti 2-4 sekunnin ajan ja tutkija kannusti suullisesti suorituksen ajan. Voimasignaali siirrettiin Windows – ohjelmistoon, jossa se käsiteltiin 20 Hz:n alipäästösuotimella ja automaattisilla skripteillä Signal 2.6 ohjelmistossa (Cambridge electronics Design Ltd, Cambridge, United Kingdom). Isometrisestä maksimivoimatestistä analysoitiin maksimaalinen isometrinen voima. Paras suoritus maksimivoiman osalta kustakin mittausajankohdasta huomioitiin tilastollisiin analyysiin. (Häkkinen ym. 1998.)

Nopeusvoimaa mitattiin tekemällä 3 kevennyshyppyä yhden minuutin palautuksella voimalevyn päällä (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi). Koehenkilöt ohjeistettiin pitämään kädet lantiolla, kyykistymään nopeasti noin 90 asteen polvikulmalle ja ponnistamaan välittömästi niin korkealle kuin mahdollista. Paras yritys kustakin mitta-

usajankohdasta huomioitiin tilastollisiin analyysiin. Voimalevyn data kerättiin Signal 2.6 ohjelmistolla ja maksimaalinen hypyn nousukorkeus (h) laskettiin lentoaikaan perustuen (Moir 2008) kaavalla

$$h=1/2g(t/2)^2,$$

missä $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ja t =lentoaika.



KUVA 11. Isometrisen maksimivoiman mittauksessa käytetty jalkadynamometri.

Kestävyysuorituskyvyn mittaukset. Kestävyysuorituskykyä mitattiin maksimaalisella juoksumattotestillä. Juoksumattotesti oli uupumukseen asti suoritettu nousevaportainen kuormitus. Juoksumaton kulma oli testin ajan $0,5^\circ$. Mattotestin aloitusvauhtina oli 9 km/h, jota nostettiin 1 km/h kolmen minuutin välein, kunnes koehenkilö ei pysynyt maton vauhdissa mukana, halusi keskeyttää testin tai ei jaksanut jatkaa testiä. Juoksumatto pysäytettiin jokaisen kolmen minuutin kohdalla, jolloin sormenpäältä otettiin kapillaariverinäyte. Pysäytyksen pituus oli 20 sekuntia, jonka jälkeen juoksumaton vauhtia nostettiin ja testi jatkui. Testituloksista huomioitiin mattotestin kokonaiskesto maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn mittarina ja juoksun taloudellisuuden mittarina laskennallinen nopeus neljän millimoolin (mmol) laktaattipitoisuudella (Heck ym. 1985). Nopeus neljän mmol laktaattipitoisuudella (S_4) laskettiin kaavalla

$$S_4=(4-LaA)-(LaY-LaA)*(Sy-Sa)+Sa,$$

missä LaA=Laktaattipitoisuus (mmol) 4mmol alapuolella, LaY=Laktaattipitoisuus (mmol) 4mmol yläpuolella, Sa=Nopeus (m/s) 4mmol laktaattipitoisuuden alapuolella, Sy=Nopeus (m/s) 4mmol laktaattipitoisuuden yläpuolella.

Mattotesti toimi myös kuormituksena akuutteihin hormonaalisiin vasteisiin. Lisäksi koehenkilöt suorittivat nousevaportaisen 6*1000 metrin juokсутestin 200 metrin sisäradalla. Aloitajuoksunopeus oli 6 min / km ja vauhti kasvoi 30 s. / km neljälle seuraavalle kuormitusportalle, vauhtia kontrolloitiin 100 metrin välein. Viimeinen 1000m juostiin maksimaalisesti, johon kulunutta aikaa käytettiin toisena maksimaalisen suorituskyvyn mittarina. Palautus kuormitusportaiden välissä oli yksi minuutti. Jokaisen kuormitusportaan jälkeen koehenkilöiltä otettiin kapillaariverinäyte sormenpästä. Laktaattipitoisuudet analysoitiin automaattisella laktaattianalyysaattorilla (Biosen S_line Lab+, EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa).

6.4 Tilastolliset analyysit

Kaikki data analysoitiin ja käsiteltiin käyttäen Microsoft Excel ja IBM SPSS Statistics 20.0 –ohjelmistoja. Tulokset on esitetty keskiarvoina \pm keskihajonta. Tulosten normaali-jakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilk –testillä.

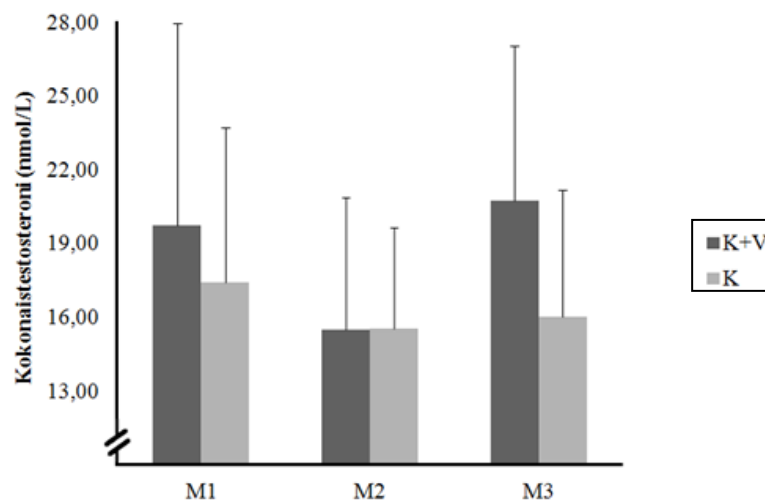
Ryhmiin sisäiset muutokset analysoitiin käyttämällä absoluuttisia arvoja ja ryhmien välinen vertailu tehtiin käyttäen suhteellisia muutoksia viikkojen 0, 12 ja 24 välillä hormonien lepotasojen ja suorituskyvyn tulosten osalta. Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin riippumattomien otosten T-testillä normaalisti jakautuneiden tulosten osalta ja mikäli log –muunnoksella dataa ei saatu muokattua normaalisti jakautuneeksi, käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä. Ryhmien sisäisten muutosten vertailussa käytettiin toistomittauksien ANOVA: a normaalisti jakautuneilla tuloksilla ja mikäli log –muunnoksella dataa ei saatu muokattua normaalisti jakautuneeksi, käytettiin Friedmanin kaksisuuntaista varianssianalyysii. Akuuttien kuormitusten osalta eri mittausajankohtien (M1, M2 ja M3) vertailussa käytettiin parillisten otosten T-testiä tai Friedmanin kaksisuuntaista va-

rianssianalyysia ei normaalisti jakautuneiden tulosten osalta. Mittausajankohtien vertailu toteutettiin suhteellisia arvoja käyttäen. Tilastollisen merkitsevyyden arvoiksi asetettiin $*p \leq 0.05$, $**p \leq 0.01$ ja $***p \leq 0.001$.

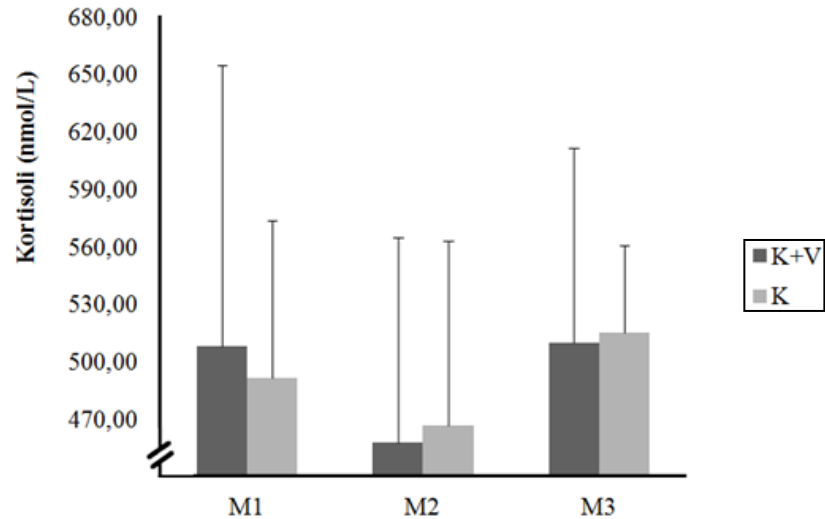
7 TULOKSET

7.1 Hormonien lepopitoisuudet

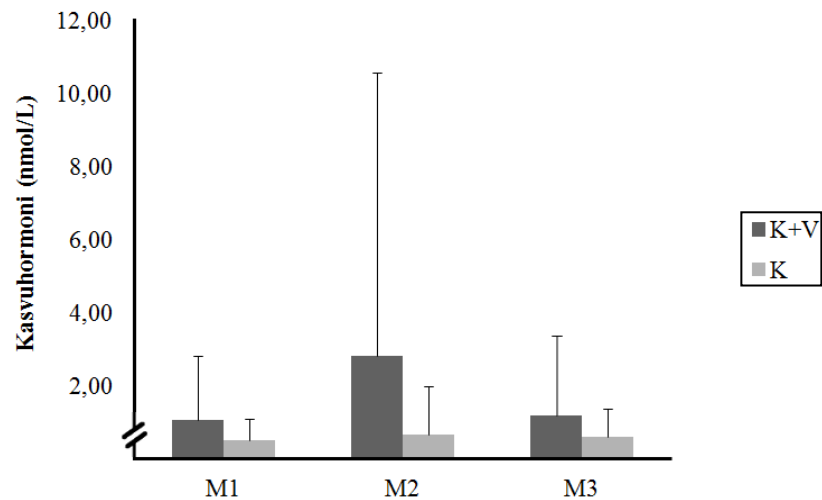
Seerumin kokonaistestosteronin, kortisolin, kasvuhormonin pitoisuuksien ja testosteroni / kortisoli -suhteen muutoksissa ei havaittu ryhmien välillä eikä ryhmien sisällä tilastollisesti merkitseviä muutoksia (kuvat 12, 13, 14 ja 15).



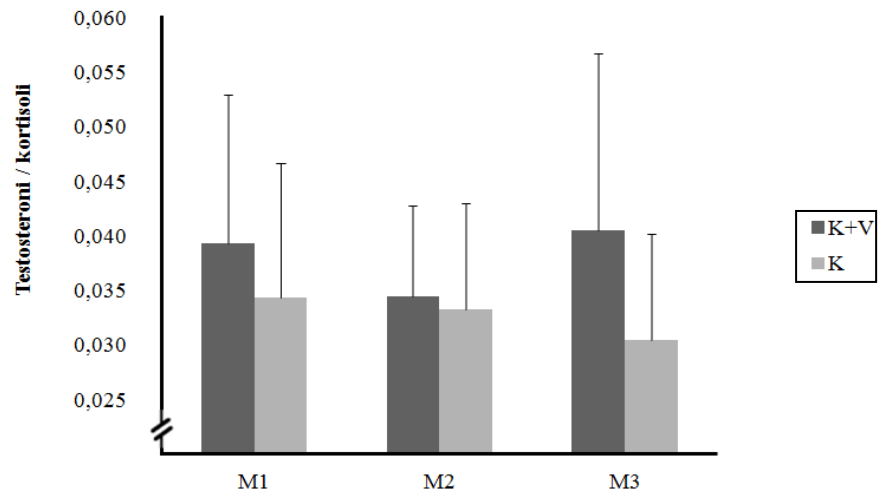
KUVA 12. Seerumin kokonaistestosteronin lepopitoisuudet tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä.



KUVA 13. Seerumin kortisolin lepopitoisuudet tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä.

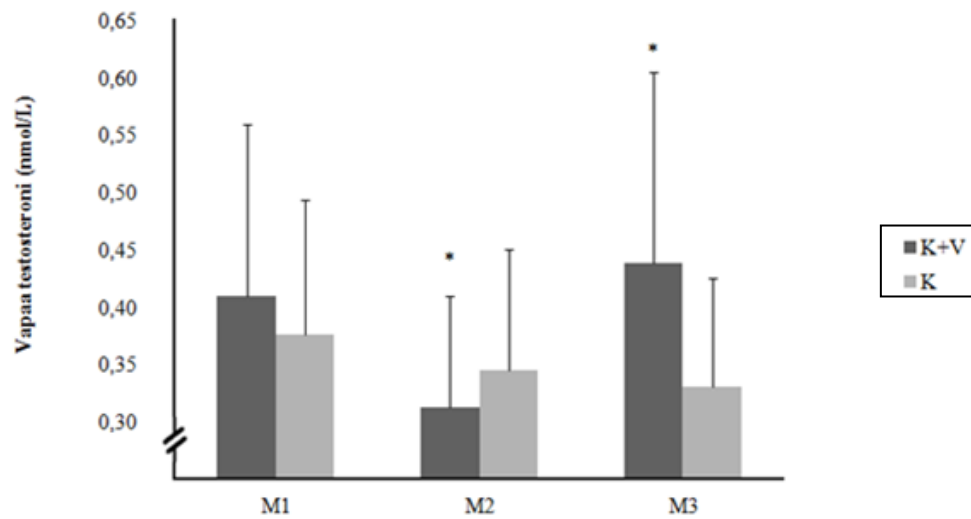


KUVA 14. Seerumin kasvuhormonin lepopitoisuudet tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä.

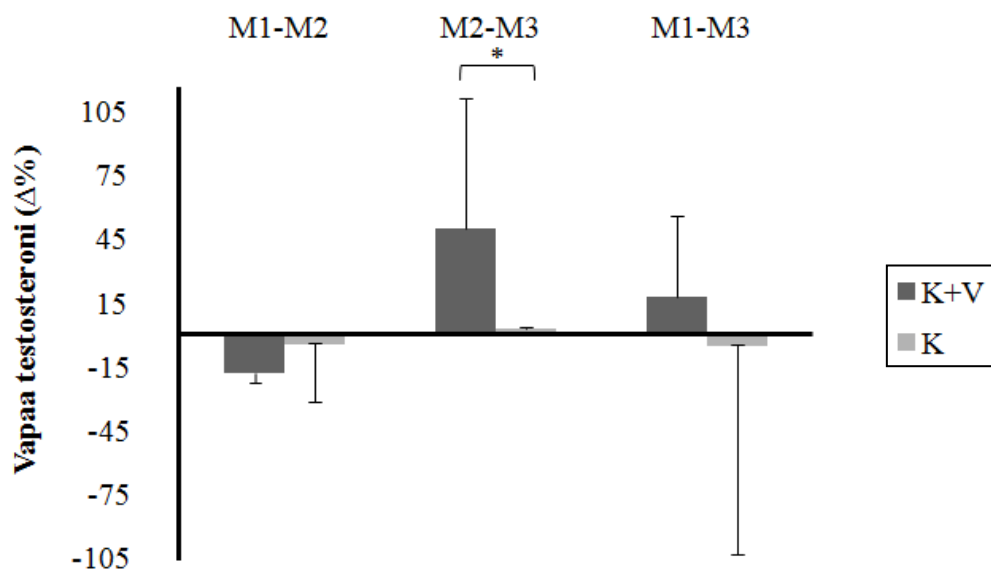


KUVA 15. Seerumin testosteroni / kortisoli -suhteet tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä.

Vapaan testosteronin (T_v) lepopitoisuus muuttui tilastollisesti merkitsevästi vain K+V –ryhmällä. T_v laski ensimmäisen 12 viikon harjoittelun aikana (M1-M2) $18 \% \pm 5$, $p < 0.05$ ja nousi jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun aikana (M2-M3) $50 \% \pm 61$ verrattuna M2 mittauksen pitoisuuteen (kuva 16). Tilastollisesti merkitsevä ryhmien välinen ero ($p < 0.005$) vapaan testosteronin muutoksessa löydettiin M2 ja M3 mittausten välisessä suhteellisessa muutoksessa (K $-5 \% \pm 48$ vs. K+V $50 \% \pm 61$) (kuva 17).

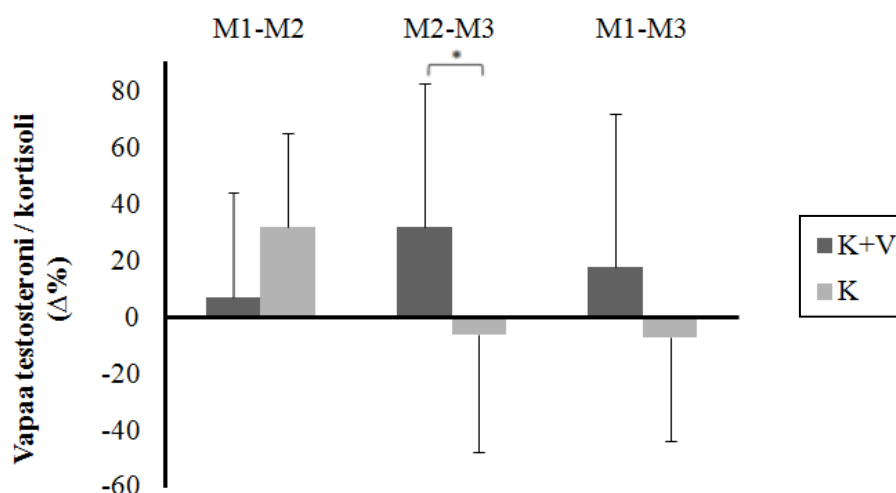


KUVA 16. Seerumin vapaan testosteronin lepopitoisuudet tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. *=tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0.05$) M1 ja M2 sekä M2 ja M3 mittausten välillä ryhmän sisällä.



KUVA 17. Seerumin vapaan testosteronin lepopitoisuuden suhteelliset muutokset tutkimusjakson aikana. M1-M2=ensimmäisen 12 viikon harjoitusjakson jälkeen, M2-M3=jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M1-M3=koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. *=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p < 0.05$).

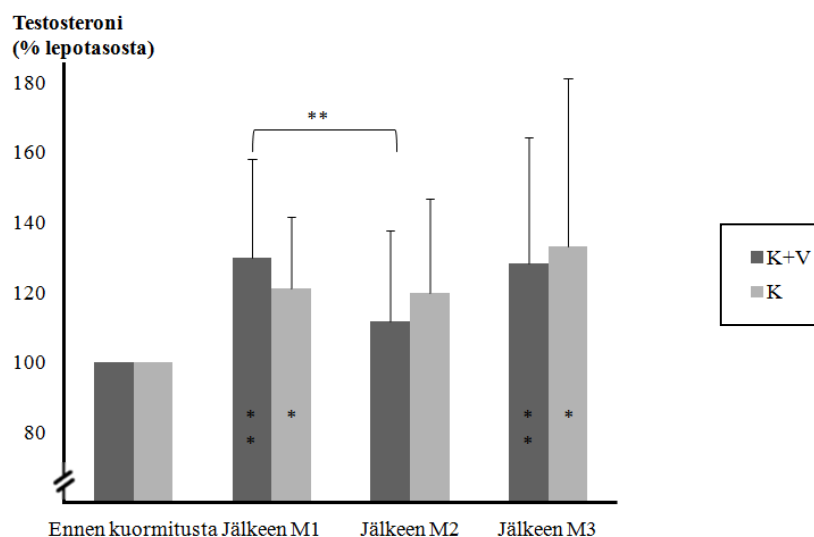
Vapaa testosteroni / kortisoli –suhteen suhteellisessa muutoksessa oli ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0.005$) jälkimmäisen 12 viikon harjoittelujakson jälkeen verrattuna ensimmäisen harjoittelujakson jälkeiseen mittaukseen (K $-6 \% \pm 42$ vs. K+V $32 \% \pm 51$) (kuva 18).



KUVA 18. Vapaan testosteronin ja kortisolin välisen suhteen lepopitoisuuden suhteelliset muutokset tutkimusjakson aikana. M1-M2=ensimmäisen 12 viikon harjoitusjakson jälkeen, M2-M3=jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M1-M3=koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävysharjoittelua tehnyt ryhmä. *=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p < 0.05$).

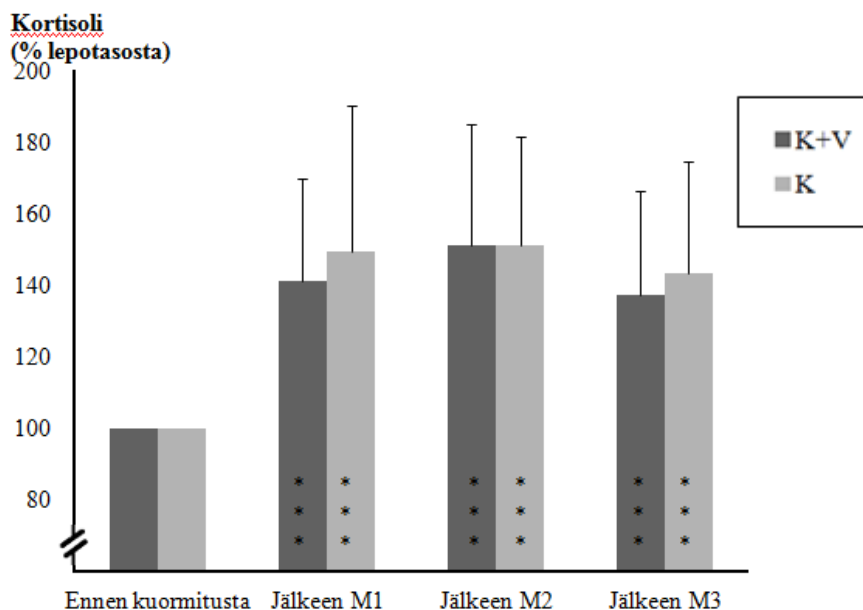
7.2 Akuutit hormonaaliset vasteet

Seerumin testosteronipitoisuudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä akuutti vaste molemmilla ryhmillä ennen harjoittelua (M1) (K $18 \% \pm 22$, $p < 0.05$ ja K+V $26 \% \pm 27$, $p < 0.01$) ja 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3) (K $32 \% \pm 46$, $p < 0.05$ ja K+V $27 \% \pm 36$, $p < 0.01$), mutta ei 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2). K+V –ryhmällä M1 ja M2 mittausten testosteronivasteen suhteellisen muutoksen ero oli tilastollisesti merkitsevä ($26 \% \pm 27$ vs. $12 \% \pm 26$, $p < 0.05$) (kuva 19).



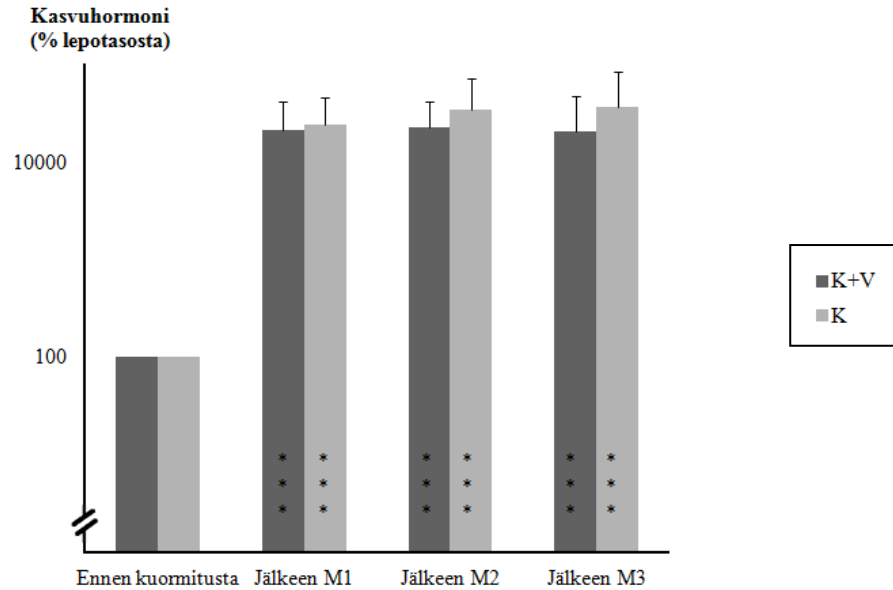
KUVA 19. Seerumin testosteronin suhteellinen muutos eri mittausajankohtina verrattuna ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. Pylväiden sisällä olevat * ja **=tilastollisesti merkitsevä muutos ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen (*= $p<0.05$, **= $p<0.01$). Yhdysviivan päällä oleva **=tilastollisesti merkitsevä ero suhteellisessa akuutissa vasteessa ($p<0.01$).

Kortisolipitoisuudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä akuutti vaste molemmilla ryhmillä ennen harjoittelua (M1) (K $47\% \pm 40$, $p \leq 0.001$ ja K+V $37\% \pm 28$, $p \leq 0.001$), 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2) (K $51\% \pm 29$, $p \leq 0.001$ ja K+V $46\% \pm 33$, $p \leq 0.001$) ja 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3) (K $42\% \pm 31$, $p \leq 0.001$ ja K+V $35\% \pm 29$, $p \leq 0.001$). Ryhmien välillä tai akuutin vasteen suhteellisessa muutoksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja tai muutoksia eri mittausajankohtien välillä (kuva 20).



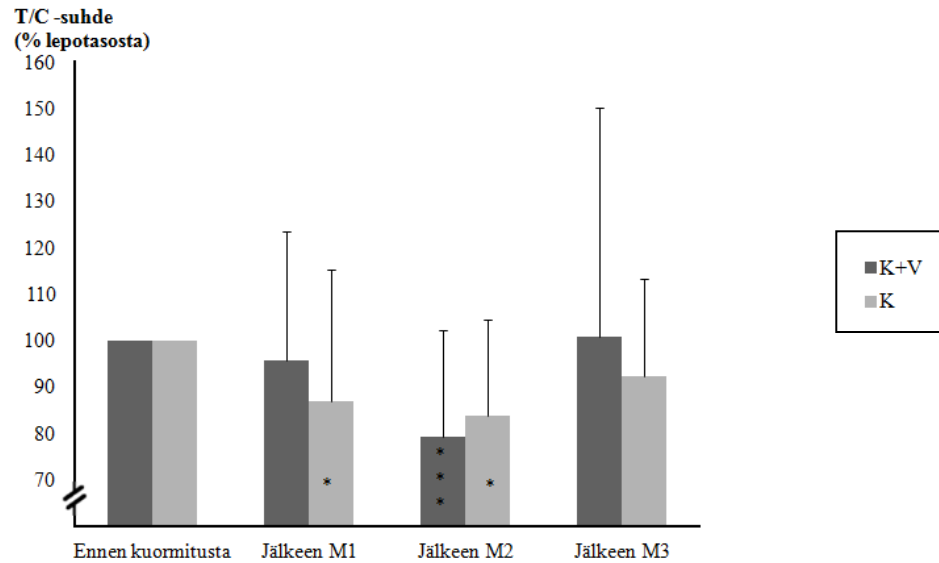
KUVA 20. Seerumin kortisolin suhteellinen muutos eri mittausajankohtina verrattuna ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. Pylväiden sisällä olevat ***=tilastollisesti merkitsevä muutos ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen ($p \leq 0.001$).

Kasvuhormonipitoisuudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä akuutti vaste molemmilla ryhmillä ennen harjoittelua (M1) (K $24 \cdot 10^3 \% \pm 21 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$ ja K+V $22 \cdot 10^3 \% \pm 21 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$), 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2) (K $34 \cdot 10^3 \% \pm 39 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$ ja K+V $23 \cdot 10^3 \% \pm 19 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$) ja 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3) (K $36 \cdot 10^3 \% \pm 49 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$ ja K+V $21 \cdot 10^3 \% \pm 27 \cdot 10^3$, $p \leq 0.001$). Ryhmien välillä tai akuutin vasteen suhteellisessa muutoksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja tai muutoksia eri mittausajankohtien välillä (kuva 21).



KUVA 21. Seerumin kasvuhormonin suhteellinen muutos eri mittausajankohtina verrattuna ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. Pylväiden sisällä olevat ***=tilastollisesti merkitsevä muutos ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen ($p \leq 0.001$).

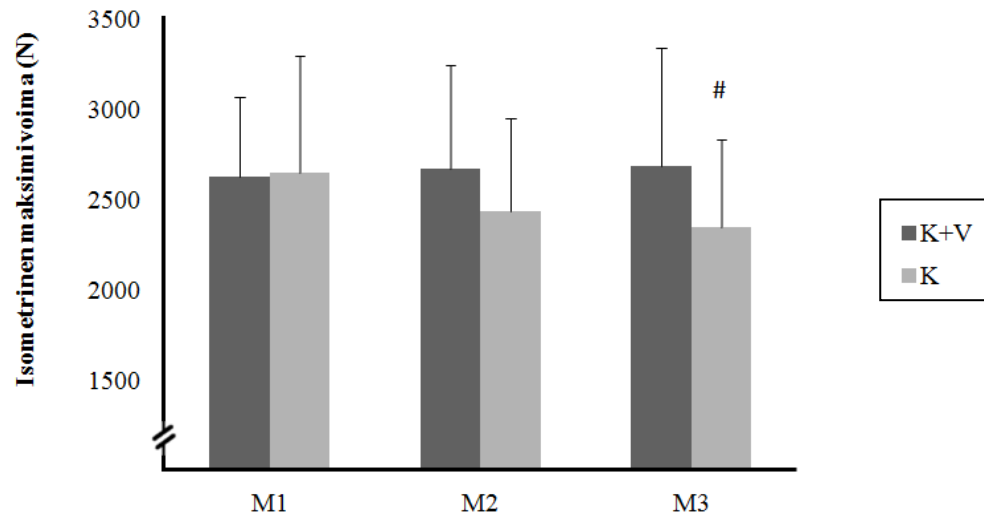
T/C -suhteessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä akuutti vaste K -ryhmällä ennen harjoittelua (M1) (K $-14 \% \pm 27$, $p < 0.05$), 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2) molemmilla ryhmillä ($-19 \% \pm 23$, $p < 0.05$ ja K+V $-21 \% \pm 23$, $p < 0.001$), mutta ei enää kummallakaan ryhmällä 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3). Ryhmien välillä tai akuutin vasteen suhteellisessa muutoksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja tai muutoksia eri mittausajankohtien välillä (kuva 22).



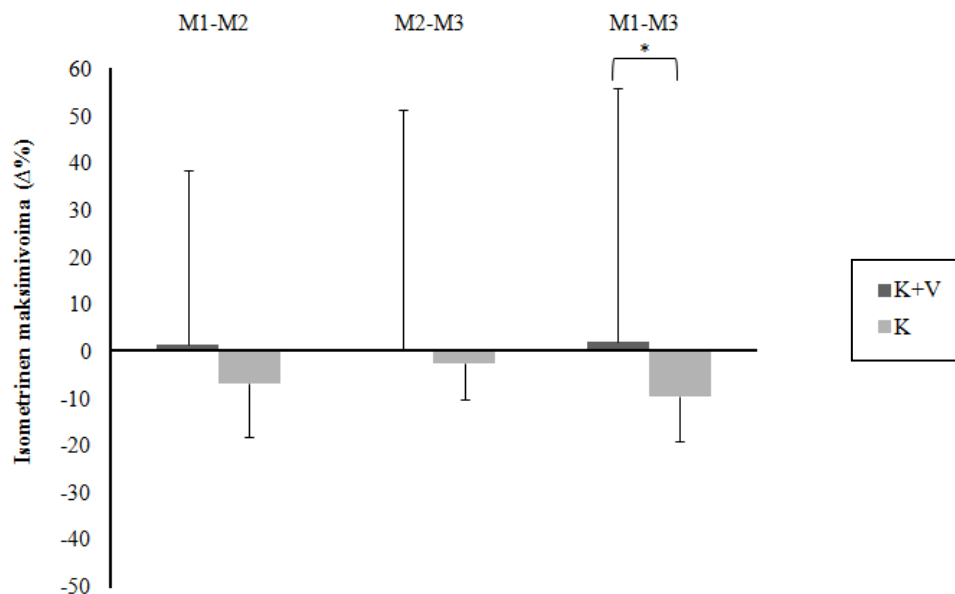
KUVA 22. Seerumin T/C -suhteen suhteellinen muutos eri mittausajankohtina verrattuna ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. Pylväiden sisällä olevat * ja ***=tilastollisesti merkitsevä muutos ennen kuormitusta mitattuun pitoisuuteen (*= $p < 0.05$, ***= $p < 0.001$).

7.3 Maksimivoima ja nopeusvoima

Isometrisessä maksimivoimassa tapahtui tilastollisesti merkitsevä lasku K -ryhmällä 24 viikon harjoittelun seurauksena (M3) (K -10 % \pm 10, $p < 0.05$) (kuva 23). Lisäksi ryhmien välillä havaittiin merkitsevä ero 24 viikon harjoittelun seurauksena maksimivoiman suhteellisessa muutoksessa (M1-M3) (K -10 % \pm 10 vs. K+V 2 % \pm 14, $p < 0.05$) (kuva 24).

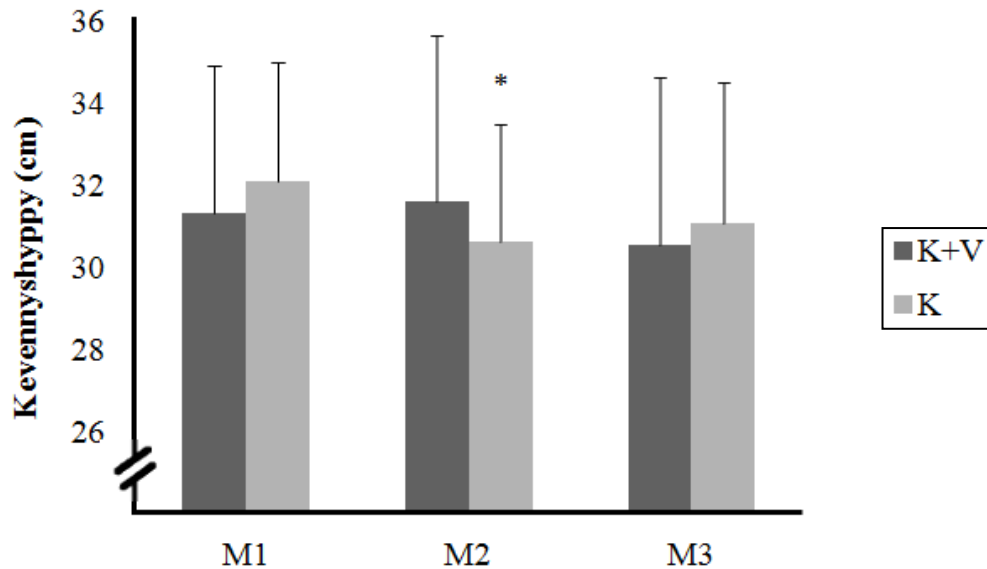


KUVA 23. Isometrinen maksimivoima eri mittausajankohtina. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. #=tilastollisesti merkitsevä ero M1 ja M3 mittausten välillä ($p<0.05$).



KUVA 24. Isometrisen maksimivoiman suhteellinen muutos tutkimusjakson aikana. M1-M2=ensimmäisen 12 viikon harjoitusjakson jälkeen, M2-M3=jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M1-M3=koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. *=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p<0.05$).

Kevennyshypyssä tapahtui tilastollisesti merkitsevä muutos vain ensimmäisen 12 viikon harjoittelun seurauksena K –ryhmällä ($-5 \% \pm 5$, $p < 0.05$), mutta koko tutkimusjakson aikaisessa vertailussa eroja ei löytynyt ryhmien sisältä eikä väliltä (kuva 25).



KUVA 25. Kevennyshypyn nousukorkeus tutkimusjakson aikana. M1=ennen tutkimusjakson aloittamista, M2=12 viikon harjoittelun jälkeen, M3=24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. #=tilastollisesti merkitsevä ero M1 ja M2 mittausten välillä ($p < 0.05$).

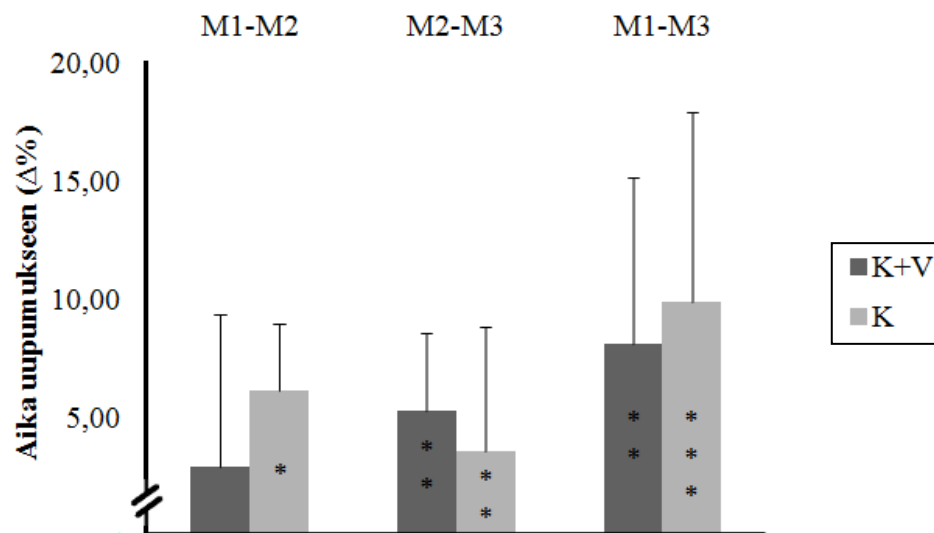
7.4 Kestävyysuorituskyky ja taloudellisuus

Maksimaalinen kestävyysuorituskyky. Tasotestin nopeimman 1000m juoksuajan vertailussa ennen harjoittelujakson aloittamista tehtyihin mittauksiin verrattuna molemmat ryhmät paransivat tilastollisesti merkitsevästi tulokisaan ensimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen (M2) (K $-7 \% \pm 5$, $p \leq 0.001$ ja K+V $-7 \% \pm 3$, $p \leq 0.001$) ja koko 24 viikon harjoittelun jälkeen (M3) (K $-13 \% \pm 5$, $p \leq 0.01$ ja K+V $-9 \% \pm 5$, $p \leq 0.05$) (Taulukko 7). Tutkimusjakson aikana ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien suhteellisissa muutoksissa. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ennen alkumittauksissa.

TAULUKKO 7. Parhaan 1000m juoksuajan keskiarvot ryhmittäin tutkimusjakson aikana. *, ** ja ***=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä verrattuna alkumittaukseen (M1) (*= $p \leq 0.05$, **= $p \leq 0.01$, ***= $p \leq 0.001$).

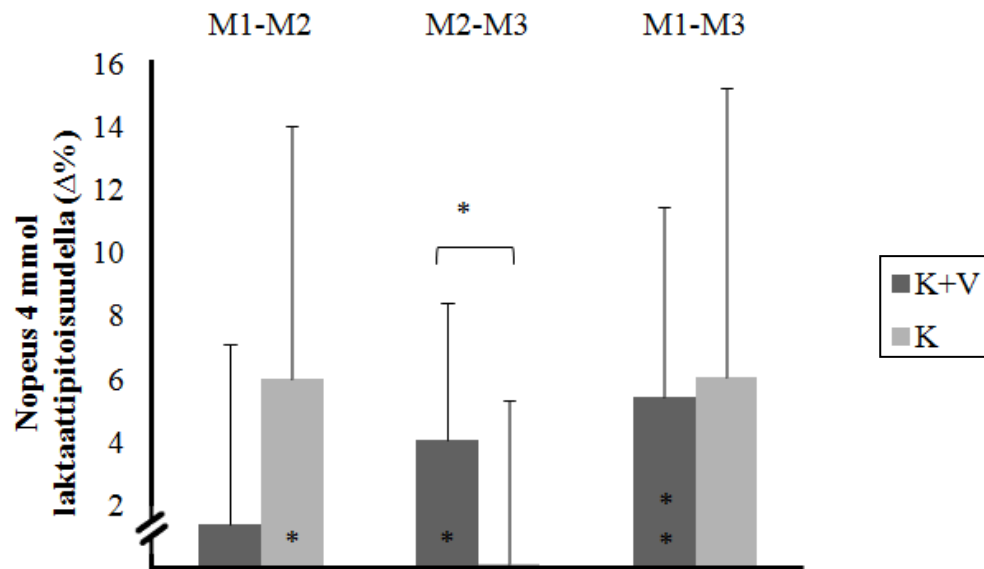
	M1 (min:sek)	M2 (min:sek)	M3 (min:sek)
K	3:49 ± 0:17	3:31 ± 0:19***	3:18 ± 0:12**
K+V	3:38 ± 0:23	3:22 ± 0:21***	3:17 ± 0:14*

Maksimaalisen uupumukseen asti suoritettujen juoksumattotestien juoksuajassa ensimmäisen 12 viikon harjoittelujakson aikana (M1-M2) tilastollisesti merkitsevä muutos tapahtui K -ryhmällä (6 % ± 6, $p \leq 0.05$). Jälkimmäisen harjoittelujakson aikana molempien ryhmien tulokset paranivat tilastollisesti merkitsevästi (K 4 % ± 3, $p \leq 0.01$ ja K+V 5 % ± 5, $p \leq 0.01$). Koko 24 viikon harjoittelujakson vertailtaessa molemmat ryhmät kehittivät tilastollisesti merkitsevästi (K 10 % ± 7, $p \leq 0.001$ ja K+V 8 % ± 7, $p \leq 0.001$) (kuva 26). Tutkimusjakson aikana ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien suhteellisissa muutoksissa. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ennen alkumittauksissa.



KUVA 26. Maksimaalisen juoksumattotestien juoksuajan suhteelliset muutokset tutkimusjakson aikana. M1-M2=ensimmäisen 12 viikon harjoitusjakson jälkeen, M2-M3=jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M1-M3=koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. *=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä (*= $p \leq 0.05$, **= $p \leq 0.01$, ***= $p \leq 0.001$).

Juoksun taloudellisuus. S_4 kehittyi ensimmäisen 12 viikon harjoittelun aikana tilastollisesti merkitsevästi vain E –ryhmällä ($6 \% \pm 8$, $p < 0.05$). Jälkimmäisen 12 viikon ja koko 24 viikon harjoittelun aikana vain K+V –ryhmän tuloksissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä kasvu (M2-M3 $4 \% \pm 4$, $p < 0.05$ ja M1-M3 $5 \% \pm 6$, $p < 0.01$). Ryhmien välillä havaittiin tulosten suhteellisessa muutoksessa tilastollisesti merkitsevä ero M2-M3 mittauksen välillä (K $0,1 \% \pm 5$ vs. K+V $5 \% \pm 6$, $p < 0.05$) (kuva 26).



KUVA 26. Laskennallisen 4 mmol laktaattipitoisuuden nopeuden suhteelliset muutokset tutkimusjakson aikana. M1-M2=ensimmäisen 12 viikon harjoitusjakson jälkeen, M2-M3=jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen, M1-M3=koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. K+V=yhdistettyä harjoittelua tehnyt ryhmä, K=pelkkää kestävyysharjoittelua tehnyt ryhmä. Pylväiden sisällä olevat * ja **=tilastollisesti merkitsevä ero ryhmän sisällä (*= $p \leq 0.05$, **= $p \leq 0.01$). Yhdysviivan päällä oleva *=tilastollisesti merkitsevä ero mittausajankohtien suhteellisessa muutoksessa ($p < 0.05$).

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla 24 viikkoa kestävästä yhdistetystä kestävyys- ja voimaharjoittelusta ja pelkän kestävyysharjoittelun vaikutusta yksittäisen maksimaalisen kestävyyskuormituksen aiheuttamiin hormonaalisiin vasteisiin sekä muutoksiin suorituskyvyssä ja hormoneiden lepopitoisuuksissa. Tutkimuksen päälöydökset olivat:

1) 24 viikon yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei aiheuttanut muutoksia seerumin hormonien lepopitoisuuksissa eikä aiheuttanut erilaisia adaptaatioita verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun. Laskennallisen vapaan testosteronin osalta havaittiin ensimmäisen 12 viikon yhdistetyn harjoittelun aiheuttavan laskua vapaan testosteronin pitoisuudessa. Jälkimmäisten 12 viikon aikana vapaan testosteronin pitoisuus nousi kuitenkin takaisin ennen harjoittelua mitatulle tasolle. Jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun aikaansaama nousu oli tilastollisesti merkitsevä verrattuna pelkän kestävyysharjoittelun ryhmään. Vapaan testosteronin ja kortisolin suhteessa tapahtui jälkimmäisten 12 viikon harjoittelun aikana merkitsevää nousua yhdistetyn harjoittelun ryhmällä verrattuna pelkän kestävyysharjoittelun ryhmään. Tarkasteltaessa koko 24 viikon tutkimusjaksoa, ei tilastollisesti merkitseviä muutoksia tapahtunut lepopitoisuuksien osalta kummallakaan ryhmällä.

2) Akuuttien vasteiden osalta kokonaistestosteronin vasteessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero alkumittausten ja 12 viikon harjoittelun jälkeisten mittausten välillä vain yhdistettyä harjoittelua tehneellä ryhmällä. Testosteronivaste 12 viikon harjoittelun jälkeen oli merkitsevästi pienempi kuin ennen harjoittelua. 24 viikon harjoittelun jälkeen eroa testosteronivasteessa ei ollut enää havaittavissa.

3) Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tekemisestä ei ollut hyötyä maksimaalisen suorituskyvyn kehittymisen kannalta, sillä molempien harjoitusryhmien kehitys oli samankaltainen. Nopeus neljän millimoolin laktaattipitoisuudella kehittyi koko 24 viikon tutkimusjakson aikana molemmilla ryhmillä yhtä paljon. Pelkkää kestävyysharjoittelua tekevällä ryhmällä juoksun taloudellisuus kehittyi merkitsevästi ensimmäisen 12

viikon harjoitusjakson aikana ja yhdistetyn harjoittelun ryhmällä jälkimmäisen 12 viikon harjoitusjakson aikana. Ryhmien välillä havaittiin ero jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun aiheuttamassa kehityksessä.

4) Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu auttoi säilyttämään isometrisen maksimivoimatason yhdistetyn harjoittelun ryhmällä verrattuna pelkän kestävyysharjoittelun ryhmään. Tilastollisesti merkitsevää kehitystä ei kuitenkaan voimatasoissa tapahtunut.

Tässä tutkimuksessa ei havaittu merkittävää etua 24 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tekemisestä verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun, mutta toisaalta yhdistetty harjoittelu ei myöskään vaikuttanut negatiivisesti kestävyysominaisuuksien kehittymiseen. Tämän tutkimuksen koehenkilöillä maksimivoima ei kehittynyt, mutta yhdistetyn harjoittelun ryhmällä maksimivoimatason havaittiin säilyvän ennallaan. Pelkän kestävyysharjoittelun ryhmällä sen sijaan havaittiin maksimivoiman laskua. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on aiemmissa tutkimuksissa todettu häiritsevän maksimivoiman kehitystä, erityisesti kestävyysharjoittelun määrän ollessa suuri (Wilson ym. 2012). Yhdistetyn harjoittelun negatiivisesta vaikutuksesta voiman kehittymiselle on kaksi eri hypoteesia: krooninen ja akuutti hypoteesi. Hickson (1980) mukaan kestävyys- ja voimaharjoittelun erityyppiset adaptaatiomekanismit estävät erityisesti voiman kehittymistä pidemmällä aikavälillä. Molemmat harjoitusmuodot aiheuttavat erilaisia adaptaatioita solutasolla (mitokondriaalinen biogeneesi vs. hypertrofia) ja lihaksisto ei kykene sopeutumaan molempiin yhtä aikaa yhdistetyn harjoittelun aikana (Hawley 2009). Craig ym. (1991) esittivät, että toteutettaessa eri harjoitusosiot liian lähellä toisiaan, voi voimaharjoitusta edeltävä kestävyysosio vaikuttaa negatiivisesti välittömästi kestävyysharjoituksen jälkeen tehtävään voimaharjoitukseen. Esimerkiksi De Souza ym. (2007) havaitsivat intervallityyppisen kestävyysjuoksuorjituksen vaikuttavan negatiivisesti vakiokuormalla (80 % 1 RM: stä) tehtyjen toistojen määrään. Syyksi akuutille väsymykselle kestävyyskuormituksen seurauksena on esitetty veren pH: n laskua (Leveritt & Abernethy 1999b). Tässä tutkimuksessa koehenkilöt altistuivat sekä akuutille että krooniselle hypoteesille, jotka selittävät voiman kehittymisen puuttumisen yhdistetyn harjoittelun ryhmällä. Hormonaalisista muuttujista vapaan testosteronin ja kortisolin välistä suhdetta tarkastelemalla voidaan päätellä, että yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ei altistanut koehenkilöitä ylikuntotilalle (Banfi & Dolci

2006), huolimatta suuresta harjoittelumäärästä. Kramer ym. (1995) esittivät, että suuri määrä yhdistettyä harjoittelua altistaa ylikuntotilalle, joka voi olla esteenä yhdistetyn harjoittelun onnistuneelle toteutumiselle. Tässä tutkimuksessa merkkejä ylikuntotilasta ei kuitenkaan havaittu hormonaalisten muuttujien tai suorituskykymuuttujien perusteella. Tämän tutkimuksen perusteella voimaharjoittelun lisäämistä kestävyysjuoksijoiden harjoitusohjelmiin voidaan suositella, kunhan harjoitukset tehdään erillisinä harjoitusosioina. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että samana päivänä tehdyt kestävyys- ja voimaharjoitukset vaikuttavat negatiivisesti jopa seuraavana päivänä tehtävän kestävyysharjoituksen taloudellisuuteen ja suorituskykyyn (Doma & Deakin 2012). Pitkällä aikavälillä riittämätön palautuminen yhdistetystä harjoituksesta voi siten vaikuttaa negatiivisesti harjoitusadaptaatioihin. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu yhdistetyn harjoituksen jälkeisen päivän palautumistilaa, josta olisi voitu todeta mahdollinen riittämätön palautuminen. Tämä olisi voinut osaltaan selittää miksi tässä tutkimuksessa ei löydetty erityistä hyötyä voimaharjoittelun lisäämisestä kestävyysharjoitteluohjelmaan.

8.1 Muutokset hormonaalisessa toiminnassa

Seerumin testosteronin, kortisolin ja kasvuhormonin lepopitoisuuksissa ei tapahtunut tutkimuksen 24 viikon harjoittelun seurauksena muutosta, eikä ryhmien välillä ollut merkitseviä eroja. Vastoin alkuperäistä hypoteesia testosteronin pitoisuudessa ei havaittu merkitsevää muutosta koko harjoittelujakson aikana. Taipale ym. (2014) havaitsivat tutkimuksessaan yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun lisäävän testosteronipitoisuutta 12 viikon harjoittelun jälkeen. Kyseisessä tutkimuksessa kestävyys- ja voimaharjoitukset suoritettiin erillisinä osioina, joten voi olla, että tässä tutkimuksessa välittömästi kestävyysharjoituksen jälkeen tehty voimakuormitus ei ollut riittävän kova aikaansaamaan voimakuormituksen tyypillisesti aiheuttamia akuutteja hormonaalisia vasteita eikä siten myöskään pitkäaikaista adaptaatiota hormonitoimintojen lepopitoisuuksissa havaittu. De Souza ym. (2007) osoittivat erityisesti kovatehoisen intervallityyppisen kestävyyskuormituksen vaikuttavan negatiivisesti voimantuottoon. Tässä tutkimuksessa voimaharjoitusta edelsi aina nousevavauhtinen kestävyysharjoitus, jossa intensiteetti oli suhteellisen korkea (65-85 % HR_{max}), joten kestävyysharjoitus on todennäköisesti vaikuttanut voimaharjoitukseen negatiivisesti heikentämällä hermoston

aktivointikykyä sentraalisella tasolla (Millet ym. 2003) ja lisäksi lihaksiston happamoituminen kestävyysharjoituksen seurauksena on saattanut niin ikään heikentää suorituskykyä voimaharjoituksen aikana (Leveritt & Abernethy 1999b). Tyypillisesti pitkäaikainen voimaharjoittelu saa aikaan kasvua anabolisten hormoneiden lepopitoisuuksissa (Ahtiainen ym. 2003a;) ja laskua katabolisten hormoneiden pitoisuuksissa (Staron ym. 1994; Kraemer ym. 1998b), joka voi olla hyödyllinen muutoksissa elimistön hormonaalisessa ympäristössä myös kestävyysurheilijalle. Tässä tutkimuksessa muutoksia testosteronin ja kortisolin lepopitoisuuksissa ei kuitenkaan havaittu johtuen kestävyysharjoituksen negatiivisesta vaikutuksesta välittömästi tehtävään voimaharjoitukseen. Välittömästi kestävyysharjoituksen jälkeen tehty voimaharjoitus ei ollut riittävän kuormittava samaan aikaiseksi muutoksia hormonaalisessa toiminnassa pidemmällä aikavälillä. Jälkimmäisellä 12 viikon harjoitusjaksolla havaittiin kuitenkin yhdistetyn harjoittelun ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi voimakkaampi kasvu elimistön palautumistilaa kuvaavassa vapaan testosteronin ja kortisolin suhteessa verrattuna pelkän kestävyysharjoittelun ryhmään. Tämä muutos saattaa olla osoitus kohonneesta anaboliasta yhdistetyn harjoittelun ryhmällä. Toisaalta jälkimmäisen 12 viikon voimaharjoittelu koostui enemmän maksimaalisen ja räjähtävän voiman harjoittelusta, jolloin voimaharjoituksen kuormittavuus elimistön aineenvaihdunnallisille toiminnoille oli pienempi. Täten myös hyvin elimistön palautumistilaa kuvaavassa vapaan testosteronin ja kortisolin suhteessa nähtäisiin nousu, kuten tässä tutkimuksessa kävi.

Akuuttien hormonaalisten vasteiden osalta tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä vaste kestävyyskuormitukseen testosteronin osalta ennen harjoitusjaksoa ja 24 viikon harjoittelun jälkeen molemmilla ryhmillä. 12 viikon harjoittelun jälkeen tilastollisesti merkitsevää vastetta ei havaittu kummallakaan ryhmällä. Lisäksi K+V –ryhmän suhteellinen akuutti testosteronivaste oli 12 viikon harjoittelun jälkeen merkitsevästi pienempi kuin ennen harjoittelua. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu tilastollisesti merkitsevä akuutti vaste kestävyyskuormitukseen, mikäli kuormitus on joko riittävän pitkä (Ponjee ym. 1995) tai riittävän kovalla intensiteetillä tehty (Daly ym. 2005). Toisaalta myös matalatehoisen yksittäisen kestävyyskuormituksen on osoitettu aiheuttavan akuutin testosteronivasteen (Tremblay ym. 2004). Tutkimusjakson alussa mitatut akuutit vasteet testosteronin osalta ovat yhtenevät aiempien tutkimusten kanssa (esimerkiksi Kraemer ym. 1995; Taipale ym. 2014) sekä kasvuhormonin osalta Craig ym. (1999)

kanssa. Kuitenkin 12 viikon harjoittelun jälkeen tutkimuksessa havaittu merkittävästi pienempi vaste K+V -ryhmän seerumin testosteronissa on ristiriidassa esimerkiksi Kraemer ym. (1995) kanssa, jotka havaitsivat 12 viikon yhdistetyn harjoittelun aiheuttavan suuremman akuutin vasteen kuin ennen harjoittelua. Kraemer ym. (1995) tutkimuksessa kestävyys- ja voimaharjoitukset tehtiin erillisinä yksikköinä ja voimaharjoitusten määrä oli suurempi, joka altistaa kehon useammille voimakuormituksille harjoitusviikon sisällä. Erilaiset harjoitusohjelmat saattavat siten olla syynä erilaisiin tuloksiin aiempien tutkimusten kanssa yhdistetyn harjoittelun ryhmän osalta. Kortisolissa ja kasvuhormonissa havaittiin akuutti vaste kaikissa mittausajankohdissa. Vasteiden muutosten suuruudet eivät kuitenkaan olleet merkittäviä alkumittaukseen verrattuna. Kraemer ym. (1995) havaitsivat yhdistetyn harjoittelun nostavan akuuttia kortisolivastetta, mikä viittaisi tutkijoiden mukaan mahdolliseen ylikuntoon. Tässä tutkimuksessa, huolimatta suuresta määrästä kestävyysharjoittelua, ei havaittu kuitenkaan kohonnutta akuuttia kortisolivastetta. Suurena erona Kraemer ym. (1995) tutkimukseen on yhdistettyjen harjoitusten määrä. Kramer ym. (1995) tutkimuksessa koehenkilöt tekivät neljä kestävyysharjoitusta ja neljä voimaharjoitusta. Tässä tutkimuksessa voimaharjoitusten määrä oli kaksi, mutta kestävyysharjoitusten määrä oli 5-6. Suuri määrä kestävyysharjoittelua yhdistettynä pieneen määrään voimaharjoittelua ei siis vaikuta olevan merkityksellinen akuuttien kortisolivasteiden muuttamiseksi eikä altista ylikuntoon kun sekä kestävyttä että voimaa tehdään samassa harjoituksessa. Testosteroni / kortisolisuhteen osalta havaittiin merkittävä lasku K -ryhmällä alkumittauksissa, molemmilla ryhmillä 12 viikon harjoittelun jälkeen, mutta ei enää 24 viikon harjoittelun jälkeen kummallakaan ryhmällä. Tämä voi kertoa osaltaan kehon parantuneesta anaboliasta 24 viikon harjoitusjakson aikana tai parantuneesta sietokyvystä kovaa kuormitusta kohtaan. Kokonais-testosteronin akuutissa vasteessa ei havaittu tilastollisesti merkittävää muutosta 12 viikon harjoittelun seurauksena, mutta akuutti vaste ei ollut niin voimakas kuin alkumittauksissa. Kortisolin akuutti vaste oli sen sijaan kaikissa mittauskohdissa hyvin samankaltainen. Tästä johtuen myös testosteroni / kortisolisuhteessa nähtiin lasku 12 viikon harjoittelun jälkeen.

8.2 Muutokset kestävyysuorituskyvyssä ja taloudellisuudessa

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu kestävyysjuoksun suorituskyvyn sekä juoksun taloudellisuuden parantuvan lisäämällä maksimaalisen ja räjähtävän voiman harjoittelua kestävyysurheilijoiden harjoitusohjelmiin (Millet ym. 2002; Taipale ym. 2010; Paavolainen ym. 1999). Suorituskyvyn muutosten on havaittu olevan seurausta erityisesti hermo-lihasjärjestelmän adaptaatioista ilman suuria muutoksia esimerkiksi maksimaalisessa hapenottokyvyssä (Spurrs ym. 2003; Paavolainen ym. 1999). Tässä tutkimuksessa ei havaittu hyödylliseksi yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tekemistä verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun, vaan kehittyminen sekä juoksun taloudellisuuden että maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn osalta oli samanlaista molemmilla ryhmillä 24 viikon tutkimusjakson aikana. 4 millimoolin laktaattipitoisuuden nopeuden osalta tilastollisesti merkitsevä kehitys havaittiin K –ryhmällä vain 12 viikon harjoittelun jälkeen sekä K+V –ryhmällä vain jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun jälkeen. Ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero juoksunopeuden suhteellisessa kehitymisessä jälkimmäisen 12 viikon harjoittelun osalta. Tämä saattaa osittain selittyä paremmalla hermolihaskäytön toiminnalla, sillä myös isometrinen maksimivoima säilyi paremmin yhdistetyn harjoittelun ryhmällä viimeisen 12 viikon harjoittelun aikana. Parempi maksimivoiman säilyminen jälkimmäisellä harjoitusjaksolla sen sijaan selittyy voimaharjoittelun painopisteen muuttumisessa enemmän maksimivoiman ja räjähtävän voiman harjoitteluun. Suurin eroavaisuus aiempien tutkimusten ja tämän tutkimuksen välillä on yhdistetyn harjoittelun toteuttamismuoto: tutkimukset, joissa voimaharjoittelun lisäämisestä kestävyysjuoksijoiden harjoitusohjelmaan on todettu olevan hyötyä, ovat toteuttaneet kestävyys- ja voimaharjoitukset erillisinä harjoituksina (esimerkiksi Millet ym. 2002; Guglielmo ym. 2008). Tässä tutkimuksessa voimaharjoitus tehtiin välittömästi kohtalaisen kuormittavan kestävyysharjoituksen jälkeen, jolloin kestävyysharjoitus on saattanut vaikuttaa negatiivisesti sitä seuraavaan voimaharjoitukseen. Tämä on niin sanottu ”interference-effect”, jossa kestävyysharjoittelun ja voimaharjoittelun yhdistäminen häiritsee erityisesti voimaominaisuuksien kehittymistä (Hickson 1980) ja siten hermo-lihasjärjestelmän toimintakyvyn tehostumisesta aiheutuvaa kehittymistä esimerkiksi juoksun taloudellisuudessa ei havaittu.

8.3 Muutokset voimantuotossa

Erityisesti suurten kestävyysharjoittelumäärien ja juoksemalla tehdyn kestävyyskuormituksen on todettu vaikuttavan negatiivisesti voimaominaisuuksien kehittymiseen (Wilson 2012). Chtara ym. (2008) havaitsivat jo kaksi kertaa viikossa tehtävän yhdistetyn harjoittelun häiritsevän maksimaalisen voiman kehittymistä. Tämän tutkimuksen alkuperäinen hypoteesi oli, että voimaominaisuudet kehittyvät ensimmäisen 12 viikon aikana, jonka jälkeen voiman kehittyminen taantuu. Isometrisessä maksimivoimassa ei kuitenkaan havaittu kehittymistä koko tutkimusjakson aikana kummallakaan tutkimusryhmällä. Kuitenkin pelkkää kestävyysharjoittelua tekevällä ryhmällä havaittiin maksimivoiman merkitsevää laskua koko 24 viikon harjoittelun jälkeen. Tämä ero oli myös ryhmien välisen kehityksen välisessä vertailussa tilastollisesti merkitsevä. Vaikka yhdistetyn ryhmän maksimivoima ei parantunut, niin voimatasot säilyivät merkitsevästi paremmin kuin pelkkää kestävyysharjoittelua tehneellä ryhmällä. Voimaharjoittelu vaikutti auttavan myös nopeusvoimaominaisuuksien säilymiseen, sillä pelkän kestävyysharjoittelun ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä lasku kevennyshypyn nousukorkeudessa 12 viikon harjoittelun jälkeen. K+V –ryhmällä nopeusvoimaominaisuudet säilyivät ennallaan koko tutkimusjakson ajan. Häkkinen ym. (2003) havaitsivat nopeusvoimaominaisuuksien kehittymisen häiriintyvän jo pienestä määrästä yhdistettyä harjoittelua, joten tämän tutkimuksen tulokset tukevat kyseisen tutkimuksen tuloksia.

8.4 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitteet

Tutkimuksen mittaukset olivat tarkasti suunniteltu ja vakioitu. Tutkimuksessa käytettiin vain hyväksi havaittuja ja validoituja mittausten menetelmiä sekä koulutettuja testiaajia. Koehenkilöiden rekrytointi suoritettiin tarkasti ja harkitusti mahdollisimman yhdenvertaisen koehenkilöjoukon saavuttamiseksi. Eroja kuitenkin koehenkilöiden taustoista löytyi jonkin verran, mikä ei voi olla vaikuttamatta tulosten lopulliseen luotettavuuteen. Koehenkilöiden määrä oli myös hieman pieni. Koehenkilömäärää nostamalla, olisi tulosten sovellettavuus ollut huomattavasti parempaa.

Oman haasteensa tutkimuksen läpiviemiselle aiheutti myös tutkimuksen pituus. Harjoittelujakson ja mittausten ulottuessa syksystä kevääseen, voi kausittaiset vaihtelut aiheut-

taa virheitä esimerkiksi hormonien tuloksiin. Harjoittelu suoritettiin aina valvotusti ja ohjatusti tarkan kontrollin alaisuudessa, mikä lisää todellisten harjoitusvaikutusten löydettävyyttä.

Hormonaalisten muuttujien osalta akuutin kuormituksen jälkeisten 48 tunnin seuranta voimatasojen ja hormonien perustasojen osalta olisi antanut vielä lisää tärkeää tietoa akuutin kuormituksen aiheuttamasta hormonivasteesta. Seurantamittauksista olisi ollut mahdollista analysoida tarkemmin esimerkiksi elimistön anabolian ja katabolian välistä tilaa.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen perusteella yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu kestävyysurheilijoilla vaikuttaisi olevan hyödyllistä maksimivoimatasojen ylläpidon kannalta. Pelkkä kestävyysharjoittelu saattaa pitkällä aikavälillä aiheuttaa merkittävää laskua sekä maksimivoimassa että nopeusvoimassa, joka edelleen saattaa vaikuttaa negatiivisesti juoksun taloudellisuuden kehittymiseen. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun hyödyt tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaisi tulevan enemmän neuromuskulaarisen kehittymisen kautta kuin hormonaalisen toiminnan tehostumisen kautta. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun tekeminen samassa harjoituksessa ei näytä vaikuttavan positiivisesti elimistön anaboliseen tilaan. Toisaalta hormonaalisissa mittauksissa ei ollut viitteitä myöskään ylikuntotilasta.

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun on useissa tutkimuksissa todettu olevan hyödyllistä juoksun taloudellisuuden ja maksimaalisen suorituskyvyn kehittymisen kannalta. Tämän tutkimuksen perusteella kestävyys- ja voimaharjoituksen suositellaan tehtäväksi erillisinä harjoituksina ja mieluiten eri päivinä. Mikäli tavoitteena on pyrkiä parantamaan räjähtävää ja maksimaalista voimaa parantaakseen juoksun taloudellisuutta, harjoittelun periodisointiin ja erityisesti kestävyysharjoittelun määrään ja intensiteettiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Mikäli kestävyys- ja voimaominaisuuksia haluaa kehittää samanaikaisesti, tulee tehdä vain vähän kevyttä kestävyysharjoittelua. Mikäli molempia ominaisuuksia haluaa tehdä samassa harjoituksessa, kannattaa voimaharjoitus tehdä ensimmäisenä. Tällöin edeltävä harjoitus ei vaikuta negatiivisesti esimerkiksi voimaharjoituksen intensiteettiin ja kuormittavuuteen. Lisäksi on osoitettu palautumisaajan olevan tällöin lyhyempi (Schumann ym. 2013).

LÄHTEET

- Ahtiainen J.P., Pakarinen A., Kraemer W.J., 2003b. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *International journal of sport medicine* 24, 410-8
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2004. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in strength athletes versus nonathletes. *Canadian journal of applied physiology* 29, 527-543.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2005. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: Influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19 (3), 572-582.
- Ahtiainen J.P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W.J., Häkkinen, K. 2003a. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European journal of applied physiology* 89, 555–563.
- Bagatell, C., Bremner W. 1996. Androgens in men -uses and abuses. *New England journal of medicine* 334 (11), 707–714.
- Banfi, G. & Dolci, A. 2006. Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *Journal of sports medicine, physiology and fitness* 46, 611-616.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. 2000. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European journal of applied physiology* 81, 418–427.
- Cadore, E.L., Izquierdo, M., dos Santos, M.G. 2012. Hormonal responses to concurrent strength and endurance training with different exercise orders. *Journal of strength and conditioning research* 26, 3281–3288.
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, G. P. & Amri, M. 2005. Effects of Intra-Session Concurrent Endurance and Strength Training Sequence on Aerobic Performance and Capacity. *British journal of sports medicine* 39: 555-560.

- Cooke, B., Lingh, M., Janszen, F. 1976. Correlation of Protein Kinase Activation and Testosterone Production after Stimulation of Leydig Cells with Lutenizing Hormone. *The biochemical journal* 160(3), 439-436.
- Craig, B.W., Lucas, J., Pohlman, R., and Stelling, H. 1991. The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *Journal of Strength and Conditioning Research* 5(4), 198–203.
- Daly, W., Seegers, C.A., Rubin, D.A. 2005. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *European journal of applied physiology* 93, 375–80.
- De Souza, E. O., Tricoli, V., Franchini, E., Paulo, A. C., Regazzini, M. & Ugrinowitschi, C. 2007. Acute Effect of Two Aerobic Exercise Modes on Maximum Strength and Strength Endurance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 21, 1286-1290.
- Doma, K. & Deakin, G. 2012. The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied physiology and nutrition metabolism* 38, 651-656.
- Doma, K. & Deakin, G. 2013. The effects of combined strength and endurance training on running performance the following day. *International journal of sport and health science* 11, 1-9
- Duclos, M., Corcuff, J.-B., Rashedi, M., Fougère, V. & Manier, G. 1997. Trained versus untrained men: different immediate post- exercise responses of pituitary adrenal axis. *European journal of applied physiology* 75, 343-350.
- Durand R.J., Castracane V.D., Hollander D.B. 2003. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Medicine and science in sport an exercise* 35, 937-943.
- Fellmann, N., Coudert, J., Jarrige, J.-F., Bedu, M., Denis, C., Boucher, D. & Lacou, J.-R. 1985. Effects of endurance training on the androgenic response to exercise in man. *International journal of sport medicine* 6, 215-219.
- Felsing N.E., Brasel J.A., Cooper D.M. 1992. Effect of low and high intensity exercise on circulating growth hormone in men. *Journal of clinical endocrinology metabolism*. 75, 157-162.
- Ferrando, A., Tipton, K., Doyle, K., Phillips, S., Cortiella, J., Wolfe, R. 1998. Testosterone injection stimulates net protein synthesis but not tissue amino acid

- transport. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 275, 864-871.
- Ferrauti, A., Bergermann, M & Fernandez-Fernandez, J. 2010. Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24, 2770-2778.
- Galbo, H. 1981. Endocrinology and metabolism in exercise. *International journal of sport medicine* 2, 203-211.
- Guglielmini C., Paolini A.R., Conconi F. 1984. Variations of serum testosterone concentrations after physical exercises of different duration. *International journal of sport medicine* 5, 246-249.
- Grandys, M., Majerczak, J., Duda, K., Zapart-Bukowska, J., Kulpa, J., Zoladz, J. 2009. Endurance training of moderate intensity increases testosterone concentration in young, healthy, men. *International Journal of Sports Medicine*. 30 (7), 489-496.
- Griffin, J.E., & Ojeda, S.R. 2004. *Textbook of endocrine physiology* (5th edition). Oxford, University Press.
- Giustina, A. & Veldhuis, J. 1998. Pathophysiology of the Neuroregulation of Growth Hormone Secretion in Experimental Animals and the Human. *Endocrine Reviews* 19, 717-797
- Gilbert, K., Stokes, K., Hall, M. & Thompson, D.. 2008. Growth hormone responses to 3 different exercise bouts in 18- to 25- and 40- to 50-year-old men. *Applied physiology and metabolism journal* 33, 706-712 .
- Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green, J.S. & Crouse, S.F. 2004. Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36, 2119-2127.
- Goto, K., Higashiyama, M., Ishii, N., & Takamatsu, K. 2005. Prior endurance exercise attenuates growth hormone responses to subsequent resistance exercise. *European journal of applied physiology* 94, 333-338.
- Hackney, A. C., Szczepanowska, E., Viru, A. 2003. Basal testicular testosterone production in endurance-trained men is suppressed. *European journal of applied physiology* 89, 198-201.

- Hackney, A. C, Premo, M. C., McMurray R. G 1995. Influence of aerobic versus anaerobic exercise on the relationship between reproductive hormones in men. *Journal of sport science* 13, 305-311.
- Hameed, M., Lange, K. H., Andersen, J. L., Schjerling, P., Kjaer, M., Harridge, S. D. & Goldspink, G. 2003. *Journal of physiology* 555, 231-240.
- Hawley, J. A. 2009. Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible? *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 34, 355-361.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. & Hollmann, W. 1985. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine* 6, 117-130.
- Hickson, R., C. 1980 Interference of Strength Development by Simultaneously Training for Strength and Endurance. *Eur J Appl Physiol* 45:255–263.
- Hikida, R. 1994. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology* 76 (3), 1247-1255.
- Hill, E. E., Zack, E., Battaglini, C., Viru, M., Viru, A. & Hackney, A. C. 2008. Exercise and circulating cortisol levels : the intensity threshold effect. *Journal of Endocrinology Investigation* 31, 587-591.
- Hoogeveen, A., Zonderland, M. 1996. Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 17 (6), 423-428.
- Hunter G., Demment R., Miller D. 1987. Development of strength and maximal oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *Journal of sports medicine and physical fitness* 27, 269-275.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H. & Komi, P.V. 1987. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *International Journal of Sports Medicine* 8 (Suppl.), 61–65.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A. 1993. Acute hormonal responses to two different fatiguing resistance exercise protocols in male athletes. *Journal of Applied Physiology* 74, 882-887.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. 1998. Changes in agonist-antagonist

- EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology* 84, 1341-1349.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J. & Paavolainen, L. 2003. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*. 89, 42-52.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Calbet, J., Navarro-Amezqueta, I., Gonzalez-Izal, M., Idoate, F., Häkkinen, K., Kraemer, W. J. 2009. Cytokine and hormonal responses to resistance training. *European Journal of Applied Physiology* 107, 397–409.
- Kargotich, S., Goodman, C., Keast, D., Fry, R.W., Garcia-Webb, P., Crawford, P.M. & Morton, A.R. 1997. Influence of exercise-induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical data following high-intensity exercise. *Clinical journal of sport medicine* 7, 185-191.
- Karkoulas, K., Habeos, I., Charokopos, N., Tsiamita, M., Mazarakis, A., Pouli, A., & Spiropoulos, K. 2008. Hormonal responses to marathon running in non-elite athletes. *European Journal of Internal Medicine*, 19, 598-601.
- Kuoppasalmi, K., Näveri, H., Härkönen, M., Adlercreutz, H. 1980. Plasma cortisol, androstenedione, testosterone and luteinizing hormone in running exercise of different intensities. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 40 (5), 403–409.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S.E., Harman, E., Dziados, J., Mello, R., Frykman, M., McCurry, F., Fleck, S. J. 1990. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology* 69, 1442-1450.
- Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K. 1995. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of applied physiology*. 78, 976–989.
- Kraemer W.J., Spiering B.A., Volek J.S. 2006. Androgenic responses to resistance exercise: effects of feeding and L-carnitine. *Medicine and science in sport and exercise* 38, 1288-96.

- Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., Gotshalk, L. A., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Campbell, W. W., Putukian, M. & Evans, W. J. 1999. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *Journal of applied physiology* 87, 982-992.
- Kraemer W.J., Häkkinen K., Newton R.U. 1998a. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *European journal of applied physiology* 77, 206-211.
- Kraemer, W. & Rogol, A. 2005. *The endocrine system in sports and exercise*. Blackwell Publishing.
- Kraemer, W., Staron, R., Hagerman, C., Hikida, R., Fry, A., Gordon, S., Nindl, B., Gotshalk, L., Volek, J., Marx, J., Newton, R., Häkkinen, K. 1998b. The endocrine effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *European Journal of Applied Physiology*. 78, 69-76.
- Kraemer, W. J., Fragala, M., Watson, G., Volek, J., Rubin, M., French, D., Maresh, C., Vingren, J., Hatfield, J., Spiering, B., Yu-Ho, J., Hughes, S. 2008. Hormonal responses to a 160-km race across frozen Alaska. *British journal of sports medicine* 42, 116–120.
- Lac, G. & Berthon, P. 2000. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery. *Journal of sport medicine and physical fitness* 40, 139-144.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. 1999a. Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Medicine*. 28: 413–427.
- Leveritt, M. & Abernethy, P. J. 1999b. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *Journal of Strength & Conditioning Research* 13, 47-51.
- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P. V., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2005. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *International journal of conditioning and research* 19, 566-571.
- Mauras, N., Hayes, V., Welch, S., Rini, A., Helgeson, K., Dokler, M., Veldhuis, J. & Urban, R. 1998. Testosterone Deficiency in Young Men: Marked Alterations in Whole Body Protein Kinetics, Strength, and Adiposity. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 83, 1886–1886.

- Malerba, M., Bossoni, S., Radaeli, A., Mori, E., Bonadonna, S., Giustina, A., Tantucci, C. 2005. Growth Hormone Response to Growth Hormone-Releasing Hormone Is Reduced in Adult Asthmatic Patients Receiving Long-term Inhaled Corticosteroid Treatment. *Chest* 127, 515-521.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 1996. *Exercise physiology* (fourth edition). Williams & Wilkins, USA.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A. & Agre, J. C. 2002. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and exercise*. 34, 511-519.
- McCayley, G., McBride, J., Cormie, P., Hudson, M., Nuzzo, J., Quindry, J. & Triplett, T. 2009. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European journal of applied physiology* 105, 695-704.
- Migiano M. J., Vingren J. L., Volek, J. S. 2010. Endocrine response patterns to acute unilateral and bilateral resistance exercise in men. *Journal of strength and conditioning research* 24, 128-134.
- Millet, G., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. 2002. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and science in sport and exercise* 34, 1351-1359.
- Millet, G. Y., Martin, V., Lattier, G. & Ballay, Y. 2003. Mechanisms contributing to knee extensor strength loss after prolonged running exercise. *Journal of Applied Physiology* 94 (1), 193-198.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., Nummela, A. 2011. Effects of strength training regimens on performance in recreational endurance runners. *Journal of sport science*. 29, 1359–1371.
- Moir, G. 2008. Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 12, 207-218.
- Näveri, H., Kuoppasalmi, K., Härkönen, M. 1985. Metabolic and hormonal changes in moderate and intense long-term running exercises. *International journal of sports medicine* 6, 276-281.

- Paavolainen, L. M., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology* 86, 1527-1533.
- Ponjee G., De Rooy H.A., Vader H.L. 1994. Androgen turnover during marathon running. *Medicine and science in sport and exercise* 26, 1274-1277.
- Pritzlaff, C., Wideman, L., Weltman, J., Abbott, R., Gutgesell, M., Hartman, M., Veldhuis, J. & Weltman, A. 1999. Impact of acute exercise intensity on pulsatile growth hormone release in men. *Journal of applied physiology* 87, 498-504.
- Raastad T, Bjoro T, Hallen J. 2000. Hormonal responses to high and moderate-intensity strength exercise. *European journal of sport medicine* 82, 121-128.
- Rannels, S. & Jefferson, L. 1980. Effects of glucocorticoids on muscle protein turnover in perfused rat hemicorpus. *American journal of physiology – Endocrinology and metabolism* 238, 564-572.
- Ratamess N.A., Kraemer W.J., Volek J.S. 2005. Effects of heavy resistance exercise volume on post-exercise androgen receptor content in resistance-trained men. *Journal of steroids and biochemicals* 93, 35-42.
- Rao, M., Strebleb, B., Halarisc, A., Grossa, G., Bräunigd, P., Hubera, G., Marlera, M. 1995. Circadian rhythm of vital signs, norepinephrine, epinephrine, thyroid hormones, and cortisol in schizophrenia. *Psychiatry Research* 57, 21-39.
- Rodriguez-Tolrà, J., Barreda, J., del Rio, L., di Silvana, G., Miranda, E. 2013. Effects of testosterone treatment on body composition in males with testosterone deficiency syndrome. *The Aging Male* 16, 184-190.
- Rønnestad, B.R., & Mujika, I. 2014. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine and science in sport* 24, 603–612.
- Rosa, C., Vilaca-Alves, J., Fernandes, H., Saavedra, F., Pinto, R., dos Reis, V. 2015. Order effects of combined strength and endurance training on testosterone, cortisol, growth hormone, and igf-1 binding protein 3 in concurrently trained men. *Journal of strength and conditioning research* 29, 74-79.
- Schally, A., Arimura, A., Kastin, A., Matsuo, H., Baba, Y., Redding, T., Nair, R., Debeljuk, L., White, W. 1971. Gonadotropin-releasing hormone: one polypeptide regulates secretion of luteinizing and follicle-stimulating hormones. *Science* 173,1036–1038.

- Schumann, M., Eklund, D., Taipale, R. S., Nyman, K., Kraemer, W. J., Häkkinen, A., Izquierdo, M., & Häkkinen, K. 2013. Acute neuromuscular and endocrine responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: "Order effect" in untrained young men. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 421-433.
- Schumann, M., Walkert, S., Izquierdo, M., Newton, R. U., Kraemer, W. J., Häkkinen, K. 2014. The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: effects of prolonged training. *European journal of applied physiology* 114, 867-880.
- Semple, C., Thompson, J., Beastall, G. 1985. Endocrine responses to marathon running. *British journal of sports medicine* 19, 148-151.
- Smilios, I., Piliandis, T., Karamouzis, M. & Tokmakidis, S. 2003. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Medicine and science in sport and exercise* 35, 644-654.
- Staron, R., Karapondo, D., Kraemer, W., Fry, A., Gordon, S., Falkel, J., Hagerman, F., Smilios, i., t. Piliandis, m. Karamouzis, and s. P. Tokmakidis. 2003. Hormonal Responses after Various Resistance Exercise Protocols. *Medicine and science in sport and exercise* 35, 644–654.
- Storen, O., Helgerud, J., Stoa, E.M., & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sport an exercise* 40, 1087–1092.
- Taipale, R.S., Mikkola, J., Salo, T., Hokka, L., Vesterinen, V., Kraemer, W.J., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2014. Mixed maximal and explosive strength training in recreational endurance runners. *Journal of strength and conditioning research* 28, 689–699.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Citonga, D., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2010. Strength training in endurance runners. *International journal of sports medicine* 31, 468-476.
- Taipale, R. & Häkkinen, K. Acute Hormonal and Force Responses to Combined Strength and Endurance Loadings in Men and Women: The “Order Effect”. *Plos One* 8, e55051.

- Tanner, A., Nielsen, B., Allgrove, J. Salivary and plasma cortisol and testosterone responses to interval and tempo runs and a bodyweight-only circuit session in endurance-trained men. *Journal of sport science* 32, 680-689.
- Tomas, F., Munro, H., Young, V. 1979. Effect of glucocorticoid administration on the rate of muscle protein breakdown *in vivo* in rats, as measured by urinary excretion of N^{α} -methylhistidine. *Biochemical Journal* 178, 139-146.
- Tremblay, M., Copeland, J. & Van Helder, W. 2004. Effect of training status and exercise mode on endogenous steroid hormones in men. *Journal of applied physiology* 96, 531-539.
- Tremblay, M., Copeland, J. & Van Helder, W. 2005. Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormone responses in trained males. *European journal of applied physiology* 94, 505–513.
- Uusitalo, A. L. T., Huttunen, P., Hanin, Y., Uusitalo, A. J. & Rusko, H. 1998. Hormonal responses to endurance training and overtraining in female athletes. *Clinical journal of sport medicine* 8, 178-186.
- Vanhelder, W.P., Radomski M.W., Goode, R.C. 1984. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *European journal of applied physiology* 53, 31-42.
- Vermeulen, A., Verdonck, L., Kaufman, J.M. 1999. A critical evaluation of simple methods for the estimation of free testosterone in serum. *Journal of clinical endocrinology and metabolism* 84, 3666-3672.
- Viru, A., Smirnova, T., Karelson, K., Snegovskaya, S., Viru, M. 1996. Determinants and modulators of hormonal responses in exercise. *Biology of Sport* 13, 169-187.
- Viru, A. 1992. Plasma hormones and physical exercise. *International journal of sports medicine*.13, 201-209.
- Vuorimaa, T., Ahotupa, M., Häkkinen, K. & Vasankari, T. 2008. Different hormonal response to continuous and intermittent exercise in middle-distance and marathon runners. *Scandinavian journal of medicine and science in sport* 18, 565-572.
- Weltman, A., Weltman, J. Y., Schurrer, R., Evans, W. S., Veldhuis, J. D. & Rogol, A. D. 1992. Endurance training amplifies the pulsatile release of growth hormone: effects of training intensity. *Journal of Applied Physiology* 72, 2188-2196.

- Wideman, L., Consitt, L., Patrie, J., Swearingin, B., Bloomer, R., Davis, P. & Weltman, A. 2006. The impact of sex and exercise duration on growth hormone secretion. *Journal of applied physiology* 101, 1641-1647.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P. & Anderson, J. C. 2012. Concurrent Training: A Meta-Analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises. *Journal of strength and conditioning research*. 26, 2293-2307.